



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2015

**Ana Luísa
Sebastião
Rodrigues dos
Santos**

**Geoquímica, mineralogia e luminescência de
um mundo Pré-histórico em negativo**





**Universidade de
Aveiro
2015**

Departamento de Geociências

**Ana Luísa
Sebastião
Rodrigues dos
Santos**

**Geoquímica, mineralogia e luminescência
de um mundo Pré-histórico em negativo**

**Do Neolítico à Idade do Bronze região do
Alentejo**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências - Recursos Geológicos e Geomateriais, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, da Doutora Maria Isabel Marques Dias, Investigadora Auxiliar com Agregação do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico e do Doutor Christopher Ian Burbidge, Investigador Auxiliar do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico.

Apoio financeiro da FCT no
âmbito da Bolsa de
Doutoramento
SFRH/BD/62396/2009

À Clarinha, ao João Maria e ao Tiago,
os amores da minha vida

o júri

presidente

Professor Doutor Joaquim Manuel Vieira
professor catedrático da Universidade de Aveiro

vogais

Professor Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha
professor catedrático, Universidade de Aveiro (orientador)

Doutor Iuliu Bobos Radu
professor associado com agregação, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Doutora Maria Isabel Garrido Prudêncio
investigadora Principal com Agregação, Instituto Superior Técnico de Lisboa

Doutora Agnès Le Gac
professora auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Doutora Maria Isabel Marques Dias
investigadora auxiliar com agregação, Instituto Superior Técnico de Lisboa
(coorientadora)

Doutor Paulo do Carmo Sá Caetano
professor auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Doutor António Carlos Valera
investigador da ERA Arqueologia S.A

agradecimentos

O trabalho desenvolvido no âmbito deste estudo só foi possível com o apoio de diversas pessoas e instituições às quais expresso o meu sincero agradecimento.

Agradeço à Fundação para a Ciência e Tecnologia pela concessão da Bolsa de doutoramento, bem como pelo financiamento por meio dos projectos Convénio Bilateral FCT/CNR 2011-2012 (italia128584682220330), Vadose - PTDC/AAC-AMB/121375/2010 e PEst-OE/CTE/UI4035/2014.

Agradeço aos meus orientadores, ao Professor Doutor Fernando Rocha, à Doutora Isabel Dias e ao Doutor Christopher Burbidge, pela oportunidade de aprendizagem, pelo incentivo, disponibilidade, apoio, paciência e acompanhamento, desde o trabalho de campo à escrita da tese. Bem como terem-me facultado a apresentação dos resultados deste trabalho em congressos internacionais.

E porque a participação da Era-Arqueologia neste trabalho foi imprescindível, agradeço ao Doutor António Valera a possibilidade de recolha de amostras nos sítios arqueológicos estudados, bem como a disponibilidade para facultar toda a informação necessária à compreensão dos contextos estudados.

Ao Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico, em particular a todo o grupo de investigação anteriormente designado GeoLuC, agradeço a disponibilidade de laboratórios, equipamentos, materiais e, o mais importante, pessoas, imprescindíveis à execução de todo o trabalho de campo e de laboratório. Aos técnicos do laboratório de espectrometria gama e à Doutora Isabel Prudêncio pelo planeamento e execução de análises químicas por ativação neutrónica. O meu agradecimento também ao técnico do laboratório de Luminescência, pela ajuda na colheita e preparação das amostras.

Agradeço à Universidade de Aveiro, em especial ao Departamento de Geociências, pela execução das análises granulométricas de finos, análises por fluorescência de raios-X executadas pela técnica Cristina Sequeira.

Aos colegas do “gab dos G’s”, pelo apoio, amizade e partilha, o meu muito obrigado. E, porque durante a gravidez da Clarinha, muito do trabalho “perigoso” foi feito pelo Gui, pela Dulce e pela Rosa, mais uma vez obrigada.

E por último, agradeço aos primeiros...Muito obrigada à minha família e amigos pelo amor, compreensão, amizade e paciência. Agradeço por todos os momentos em que demonstraram que este projeto, por ser importante para mim, também o é para vós.

palavras-chave Estruturas negativas arqueológicas, calcretos, luminescência e datação, análise instrumental por activação neutrónica, geoquímica, mineralogia, paleoambientes, geoarqueologia, Alentejo /Sul de Portugal), Pré-História

resumo

Os trabalhos de investigação arqueológica realizados nos últimos anos no Sul de Portugal têm revelado a existência de estruturas arqueológicas negativas com arquiteturas e funcionalidades inéditas, que levantaram questões quanto à sua dinâmica de preenchimento e cronologia. Estas estruturas (fossos, fossas e hipogeus) estão associadas a sociedades Pré-Históricas, do Neolítico à Idade do Bronze, e foram escavadas em formações carbonatadas e materiais de alteração de granitos, e de dioritos e gabros associados.

Neste trabalho estudaram-se diferentes fracções granulométricas de materiais de preenchimento das estruturas negativas e contexto geológico com uma nova abordagem: (i) composição química (ativação neutrónica e fluorescência de raios-X), (ii) composição mineralógica (difração de raios-X), (iii) estudos de luminescência estimulada ópticamente e termicamente, e (iv) datação por luminescência dos materiais de preenchimento.

As diferenças encontradas na granulometria, composição química e mineralógica, nomeadamente da fração argilosa das diferentes formações estudadas, permitiram definir condições paleoambientais para os materiais de preenchimento das estruturas negativas, bem como diferenciar as formações carbonatadas: (i) calcretos freáticos, (ii) calcretos lacustes (jovens/maduros e pobres/ricos em Mg) e (iii) formações detríticas carbonatadas. Os resultados da luminescência combinados com os da mineralogia e geoquímica (complementando os da arqueologia) permitiram contribuir para a identificação de diferentes fases na sequência de preenchimento das estruturas, a proveniência dos materiais e o tipo de relação com o substrato geológico, destacando-se o papel dos elementos traço, particularmente das terras raras. A datação por luminescência confirmou em alguns casos a sequência cronológica estabelecida pela interpretação arqueológica. Contudo, verificou-se que em outras situações a idade de luminescência foi afectada por uma grande contribuição de materiais geológicos e/ou pela presença de calcite. Para atenuar o efeito da calcite propõe-se uma nova abordagem metodológica para o cálculo da taxa de dose, permitindo re-interpretar as idades determinadas.

Desta forma, contribuiu-se para o conhecimento da composição e comportamento de amostras de natureza geológica sujeitas a processos de meteorização naturais e antrópicos, numa perspectiva interdisciplinar para uma melhor compreensão de um “mundo Pré-Histórico negativo” na região do Alentejo.

keywords Negative archaeological structures, calcretes, luminescence and dating, instrumental neutron activation analysis, geochemistry, mineralogy, paleoenvironments, geoarchaeology, Alentejo (South of Portugal), Prehistory

abstract Archaeological research developed in recent years in South Portugal has revealed negative archaeological structures with original architectures and features, posing questions related to their chronology and fill dynamics. These structures (ditches, pits and hypogeum) have been excavated in carbonate-rich rocks and materials derived by weathering of granites, diorites and associated gabbros. They are related with Pre-Historic societies, from the Neolithic through the Bronze Age.

In this work, different granulometric fractions of the fill materials of the negative structures and geological contexts have been studied by an innovative approach comprising: (i) chemical composition (neutron activation analysis and X-ray fluorescence), (ii) mineralogical composition (X-ray diffraction), (iii) thermo and optically stimulated luminescence profiling, and (iv) luminescence dating of fill materials.

Results found for granulometry, chemical and mineralogical composition, particularly of the clay fraction, enable differentiation of the paleoenvironments of the fill materials, as well as classification of the carbonate-rich materials: (i) phreatic calcretes, (ii) lacustrine calcretes (young/mature and poor/rich in Mg) and (iii) carbonate detrital formations. Luminescence together with geochemical and mineralogical results (complementing archaeological ones) contributed to the identification of different phases in the stratigraphic sequence, materials provenance and relation with the geological background, with particular emphasis in the role of trace elements, namely rare earth elements. Luminescence dating is often in accordance with archaeological interpretations of stratigraphy. Nevertheless calcite and/or the contribution of geological materials disturb the obtained age. In order to attenuate the effect of calcite, a new methodological approach is proposed in this work for the dose rate estimation, allowing a re-interpretation of the obtained age.

Thus this work contributes to better establish behaviour of geological materials subjected to natural and anthropogenic weathering effects, in an interdisciplinary point of view, and better understanding the “negative Pre-Historical world” in the Alentejo region.

Abreviaturas

AAN	Análise por ativação neutrónica
aMPr	Amostra adjunta de material de preenchimento para datação
CIA	Chemical index of alteration – Índice Químico de Alteração
CTN	Campus Tecnológico e Nuclear
C2TN	Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares do IST
d.e.e.	Diâmetro esférico equivalente
dMPr	Amostra de material de preenchimento para datação
DRX	Difração de raios-X
EGER	Espectrometria gama de elevada resolução
EGIS	Espectrometria gama <i>in situ</i>
EQZG	Fração enriquecida em quartzo grosseiro
FRX	Fluorescência de raios-X
GeoBioTec	Centro de Geobiociências, Geoengenharias e Geotecnologias da Univ. De Aveiro
GeoLuc	Geoquímica aplicada e luminescência no património cultural (designação inicial do grupo de investigação onde desenvolvi este trabalho)
IRSL	Infrared stimulated luminescence – luminescência estimulada por infravermelhos
IST	Instituto Superior Técnico
MGeo	Amostra de material geológico
MIA	Mineralogical index of alteration – Índice mineralógico de alteração
OSL	Optically stimulated luminescence – Luminescência estimulada opticamente
PIA	Plagioclase index of alteration – Índice de alteração da plagioclase
PMF	Poliminerais finos
PMG	Poliminerais grosseiros
pMPr	Amostra de perfil de material de preenchimento
QZF	Quartzo grosseiro
QZG	Quartzo fino
R	Índice Ruxton
RD	Razão de dolomitização
REE	Rare earth elements – Terras raras
RC	Razão de calcificação
RL	Radioluminescência
SAR	Single aliquot regenerative protocol - Protocolo regenerativo de alíquotas simples
TSL	Thermally stimulated luminescence – Luminescência estimulada termicamente
UCC	Upper continental crust – Crosta continental superior
UPGMA	unweighted pair-group method average - agrupamento hierárquico implementando a ligação média

Índice geral

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do trabalho e objetivos.....	1
1.2	Organização do trabalho	7
2	O contexto geográfico, arqueológico e geológico	9
2.1	Os sítios arqueológicos estudados - localização, descrição e problemáticas	14
2.1.1	Monte Carrascal	14
2.1.2	Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões	19
2.1.2.1	Monte de Cortes	22
2.1.2.2	Covas.....	24
2.1.2.3	Outeiro Alto.....	26
2.1.2.4	Horta dos Quarteirões	31
2.1.3	Malhada da Orada	33
2.1.4	Recinto de fossos dos Perdigões	39
2.2	Classificação de materiais carbonatados.....	49
2.2.1	Os materiais carbonatados do Baixo Alentejo.....	59
3	Os materiais estudados	61
3.1	Metodologia da amostragem	61
3.2	Amostragem	67
3.2.1	Monte do Carrascal	67
3.2.2	Monte de Cortes	70
3.2.3	Covas.....	76
3.2.4	Outeiro Alto	81
3.2.5	Horta dos Quarteirões	86
3.2.6	Malhada da Orada	93
3.2.7	Recinto de fossos dos Perdigões	96
4	Métodos	107
4.1	Protocolos para preparação das amostras	110
4.1.1	Para a determinação da composição e da granulometria.....	110
4.1.2	Para estudos de luminescência.....	112
4.2	Determinação da granulometria	115
4.3	Determinação da mineralogia por difração de raios-X.....	116
4.3.1	Índices mineralógicos	118
4.4	Determinação da composição química	119
4.4.1	Fluorescência de raios-X.....	119
4.4.2	Determinação das perdas por ignição.....	120
4.4.3	Análise química por ativação neutrónica.....	120
4.4.4	Normalização aos valores médios da crosta continental	124
4.4.5	Normalização dos elementos terras raras aos condritos	124
4.4.6	Índices químicos	125
4.4.7	Análise estatística.....	126
4.4.8	Espectrometria gama <i>in situ</i>	126
4.4.9	Espectrometria gama de elevada resolução no laboratório	127
4.5	Datação por luminescência	128
4.5.1	Estudos de comportamento: testes iniciais e perfis	130
4.5.2	Determinação da dose absorvida.....	132
4.5.3	Dosimetria - determinação da taxa de dose.....	135
4.5.3.1	Determinação do teor em humidade	136

4.5.3.2	Proposta de protocolo de avaliação dos efeitos de calcite e matéria orgânica na taxa de dose	137
4.5.3.3	Determinação da eficácia da radiação alfa	137
4.6	Radioluminescência.....	138
5	Materiais geológicos e arqueológicos – resultados e discussão	139
5.1	Monte Carrascal	139
5.1.1	Granulometria	139
5.1.2	Mineralogia	141
5.1.2.1	Amostra total.....	141
5.1.2.1.1	Índices mineralógicos	142
5.1.2.2	Fração argilosa	144
5.1.3	Composição química	146
5.1.3.1	Materiais representativos da geologia local	146
5.1.3.1.1	Índices químicos	148
5.1.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	148
5.1.3.2	Materiais de preenchimento – amostra total	151
5.1.3.2.1	Índices químicos	157
5.1.3.2.2	Comportamento dos elementos terras raras	158
5.1.3.3	Materiais de preenchimento – fração argilosa.....	163
5.1.3.3.1	Comportamento dos elementos terras raras	167
5.1.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento..	169
5.1.4.1	Estudos em perfil	169
5.1.4.2	Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro.....	176
5.1.4.3	Radioluminescência.....	177
5.1.5	Datação dos materiais de preenchimento	178
5.1.5.1	Determinação da dose absorvida	178
5.1.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro.....	178
5.1.5.1.2	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro.....	179
5.1.5.2	Determinação da taxa de dose.....	182
5.1.5.3	Estimativa da idade – Interpretação	182
5.1.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico.....	184
5.2	Monte de Cortes	188
5.2.1	Granulometria	188
5.2.2	Mineralogia	191
5.2.2.1	Amostra total.....	191
5.2.2.1.1	Índices mineralógicos	193
5.2.2.2	Fração argilosa	195
5.2.3	Composição química	197
5.2.3.1	Materiais representativos da geologia local – Amostra total.....	197
5.2.3.1.1	Índices químicos	199
5.2.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	200
5.2.3.2	Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa	202
5.2.3.2.1	Comportamento dos elementos terras raras	204
5.2.3.3	Materiais de preenchimento da fossa – Amostra total	206
5.2.3.3.1	Índices químicos	207
5.2.3.3.2	Comportamento dos elementos terras raras	208
5.2.3.4	Materiais de preenchimento do fosso – Amostra total	209
5.2.3.4.1	Índices químicos	213
5.2.3.4.2	Comportamento dos elementos terras raras	214
5.2.3.5	Materiais de preenchimento da fossa e do fosso – Fração argilosa	217
5.2.3.5.1	Comportamento dos elementos terras raras	220
5.2.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento..	222
5.2.4.1	Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso.....	222
5.2.4.2	Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro.....	228
5.2.4.3	Radioluminescência.....	229
5.2.5	Datação dos materiais de preenchimento	230
5.2.5.1	Determinação da dose absorvida	230
5.2.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro.....	230

	5.2.5.1.2	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosso	231
	5.2.5.2	Determinação da taxa de dose	232
	5.2.5.3	Estimativa da idade – Interpretação	233
	5.2.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico	235
5.3		Covas	239
	5.3.1	Granulometria	239
	5.3.2	Mineralogia	242
	5.3.2.1	Amostra total	242
	5.3.2.1.1	Índices mineralógicos	244
	5.3.2.2	Fração Argilosa	245
	5.3.3	Composição química	248
	5.3.3.1	Materiais representativos da geologia local – Amostra total	248
	5.3.3.1.1	Índices químicos	250
	5.3.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	250
	5.3.3.2	Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa	252
	5.3.3.2.1	Comportamento dos elementos terras raras	253
	5.3.3.3	Materiais de preenchimento da fossa – Amostra total	256
	5.3.3.3.1	Índices químicos	261
	5.3.3.3.2	Comportamento dos elementos terras raras	263
	5.3.3.4	Materiais de preenchimento da fossa - Fração argilosa	266
	5.3.3.4.1	Comportamento dos elementos terras raras	267
	5.3.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento	270
	5.3.4.1	Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso	270
	5.3.4.2	Sensibilidade dos grãos de quartzo grosso	278
	5.3.5	Datação dos materiais de preenchimento	278
	5.3.5.1	Determinação da dose absorvida	278
	5.3.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosso	278
	5.3.5.1.2	Testes iniciais nos grãos de quartzo fino	279
	5.3.5.1.3	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosso	280
	5.3.5.1.4	SAR – OSL nos grãos de quartzo fino	282
	5.3.5.2	Determinação da taxa de dose	284
	5.3.5.3	Estimativa da idade - interpretação	284
	5.3.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico	286
5.4		Outeiro Alto	291
	5.4.1	Granulometria	291
	5.4.2	Mineralogia	293
	5.4.2.1	Amostra total	293
	5.4.2.1.1	Índices mineralógicos	296
	5.4.2.2	Fração Argilosa	296
	5.4.3	Composição química	297
	5.4.3.1	Materiais representativos da geologia local	297
	5.4.3.1.1	Índices químicos	299
	5.4.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	299
	5.4.3.2	Materiais de preenchimento das estruturas negativas – Amostra total	300
	5.4.3.2.1	Índices químicos	305
	5.4.3.2.2	Comportamento dos elementos terras raras	305
	5.4.3.3	Materiais de preenchimento das estruturas negativas - Fração argilosa	308
	5.4.3.3.1	Comportamento dos elementos terras raras	309
	5.4.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento	312
	5.4.4.1	Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso	312
	5.4.4.2	Sensibilidade dos grãos de quartzo grosso	317
	5.4.5	Datação dos materiais de preenchimento	317
	5.4.5.1	Determinação da dose absorvida	317
	5.4.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosso	317
	5.4.5.1.2	Testes iniciais nos grãos de quartzo fino	318
	5.4.5.1.3	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosso	319
	5.4.5.1.4	SAR – OSL nos grãos de quartzo fino	322
	5.4.5.2	Determinação da taxa de dose	324

	5.4.5.3	Estimativa da idade - interpretação	324
	5.4.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico.....	328
5.5		Horta dos Quarteirões	330
	5.5.1	Granulometria	330
	5.5.2	Mineralogia	333
	5.5.2.1	Amostra total.....	333
	5.5.2.1.1	Índices mineralógicos	337
	5.5.2.2	Fração Argilosa.....	338
	5.5.3	Composição química	340
	5.5.3.1	Materiais representativos da geologia local – Amostra total.....	340
	5.5.3.1.1	Índices químicos	343
	5.5.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	345
	5.5.3.2	Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa	347
	5.5.3.2.1	Comportamento dos elementos terras raras	350
	5.5.3.3	Materiais de preenchimento – Amostra total	352
	5.5.3.3.1	Índices químicos	354
	5.5.3.3.2	Comportamento dos elementos terras raras	355
	5.5.3.4	Materiais de preenchimento - Fração argilosa	358
	5.5.3.4.1	Comportamento dos elementos terras raras	360
	5.5.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento..	362
	5.5.4.1	Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso.....	362
	5.5.4.2	Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro.....	368
	5.5.4.3	Radioluminescência.....	368
	5.5.5	Datação dos materiais de preenchimento	369
	5.5.5.1	Determinação da dose absorvida	369
	5.5.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro.....	369
	5.5.5.1.2	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro.....	370
	5.5.5.2	Determinação da taxa de dose.....	371
	5.5.5.3	Estimativa da idade – Interpretação	372
	5.5.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico.....	374
5.6		Malhada da Orada	378
	5.6.1	Granulometria	378
	5.6.2	Mineralogia	380
	5.6.2.1	Amostra total.....	380
	5.6.2.1.1	Índices mineralógicos	381
	5.6.2.2	Fração Argilosa.....	381
	5.6.3	Composição química	383
	5.6.3.1	Amostra total.....	383
	5.6.3.1.1	Índices químicos	386
	5.6.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	387
	5.6.3.2	Fração argilosa	390
	5.6.3.2.1	Comportamento dos elementos terras raras	392
	5.6.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento - Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro	394
	5.6.5	Datação dos materiais de preenchimento	394
	5.6.5.1	Determinação da dose absorvida	394
	5.6.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro.....	394
	5.6.5.1.2	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro.....	395
	5.6.5.2	Determinação da taxa de dose.....	396
	5.6.5.3	Estimativa da idade – Interpretação	396
	5.6.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico.....	396
5.7		Recinto de fossos dos Perdígões	397
	5.7.1	Granulometria	397
	5.7.1.1	Fossos 5 e 12 e contexto geológico envolvente.....	397
	5.7.1.2	Fosso 8 e contexto geológico envolvente	398
	5.7.1.3	Estrutura circular.....	399
	5.7.2	Mineralogia	402
	5.7.2.1	Amostra total.....	402
	5.7.2.1.1	Fossos 5 e 12 e contexto geológico envolvente.....	402

5.7.2.1.2	Fosso 8 e contexto geológico envolvente	405
5.7.2.1.3	Fosso 6	406
5.7.2.1.4	Estrutura circular	408
5.7.2.1.5	Índices mineralógicos	409
5.7.2.2	Fração argilosa	413
5.7.3	Composição química	413
5.7.3.1	Materiais representativos da geologia local – Amostra total - Fossos 5 e 12	413
5.7.3.1.1	Índices químicos	416
5.7.3.1.2	Comportamento dos elementos terras raras	417
5.7.3.2	Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa – Fossos 5 e 12	419
5.7.3.3	Materiais de preenchimento – Amostra total – Fossos 5 e 12	420
5.7.3.3.1	Índices químicos	425
5.7.3.3.2	Comportamento dos elementos terras raras	425
5.7.3.4	Materiais de preenchimento - Fração argilosa – Fosso 12	428
5.7.3.4.1	Comportamento dos elementos terras raras	429
5.7.3.5	Materiais representativos da geologia local – Amostra total – Fosso 8	430
5.7.3.5.1	Índices químicos	432
5.7.3.5.2	Comportamento dos elementos terras raras	433
5.7.3.6	Materiais de preenchimento – Amostra total – Fosso 8	435
5.7.3.6.1	Índices químicos	438
5.7.3.6.2	Comportamento dos elementos terras raras	439
5.7.3.7	Materiais representativos da geologia local – Amostra total – Fosso 6	441
5.7.3.7.1	Índices químicos	444
5.7.3.7.2	Comportamento dos elementos terras raras	445
5.7.3.8	Materiais de preenchimento – Amostra total – Fosso 6	448
5.7.3.8.1	Comportamento dos elementos terras raras	450
5.7.3.9	Materiais de preenchimento – Amostra total – Estrutura circular	452
5.7.3.9.1	Índices químicos	454
5.7.3.9.2	Comportamento dos elementos terras raras	457
5.7.4	Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento	459
5.7.4.1	Estudos em perfil – materiais de preenchimento da estrutura circular	459
5.7.4.2	Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiros.....	464
5.7.5	Datação dos materiais de preenchimento	464
5.7.5.1	Determinação da dose absorvida.....	465
5.7.5.1.1	Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro	465
5.7.5.1.2	SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro	467
5.7.5.2	Determinação da taxa de dose.....	472
5.7.5.3	Estimativa da idade – Interpretação	472
5.7.6	Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico	475
5.8	Síntese comparativa dos resultados obtidos para os sete sítios arqueológicos.....	479
5.8.1	Mineralogia e geoquímica dos materiais estudados. Considerações paleoambientais	479
5.8.1.1	Materiais Geológicos	479
5.8.1.2	Materiais geológicos vs materiais de preenchimento.....	485
5.8.2	Medidas de Luminescência	486
5.8.2.1	Sensibilidade do quartzo dos materiais de preenchimento.....	486
5.8.2.2	Taxa de dose e dose absorvida	488
5.8.3	Idades obtidas vs idades esperadas	490
6	Conclusões	493
7	Bibliografia	499
8	Trabalhos apresentados no âmbito da tese	519
8.1	Publicações	519
8.2	Comunicações orais	519

8.3	Comunicações em painel	519
-----	------------------------------	-----

Anexos em formato digital (em CD)

Anexo I – Formulários de amostragem para estudos de luminescência

Anexo II – Resultados das análises de granulometria

Anexo III – Difractogramas e semiquantificação obtidos por DRX

Anexo IV – Resultados das análises químicas

Anexo V – Cálculos intermédios para a determinação da taxa de dose

Índice de Figuras

Figura 2.1 Localização geográfica da zona de estudo no mapa de Portugal e detalhe dos sítios arqueológicos estudados. 1- Ferreira do Alentejo; 2- Brinches-Serpa; 3 – Reguengos de Monsaraz.....	9
Figura 2.2 a) Magnetograma do Recinto de fossos dos Perdigões, adaptado de Valera (2013); b) Esquema ilustrativo da distribuição de fossas no núcleo C do Outeiro Alto, adaptado de Valera e Filipe (2012).....	11
Figura 2.3 Distribuição dos recintos de fossos em Portugal, evidenciando o significativo aumento de registos nos últimos anos, a sua grande concentração no interior alentejano, mas também extensão pontual a zonas setentrionais do país (adaptado de Valera, 2013).	12
Figura 2.4 Localização da Zona Ossa-Morena no contexto geológico de Portugal Continental (adaptado de Araújo et al, 2006)	13
Figura 2.5 Localização do sítio arqueológico Monte Carrascal em Ferreira do Alentejo (círculo vermelho), na adaptação da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folha 509. Coordenada: 38° 4'32.84"N 8° 6'34.76"W.....	14
Figura 2.6 Localização do local de amostragem no Monte Carrascal (círculo a vermelho) na adaptação da carta geológica de Portugal, 1:200 000, Folha 8 (Oliveira, 1992).	15
Figura 2.7 Vista do sítio arqueológico do Monte do Carrascal, durante a fase de implementação da rede de rega do Alqueva: a) vista Sul-Norte; b) vista Norte-Sul. Esquema do sítio arqueológico do Monte Carrascal, com evidência na sondagem 20 do local de amostragem (fosso/átrio de acesso aos hipogeus) (adaptado de Valera et al, 2010a)	18
Figura 2.8 Identificação dos contextos arqueológicos na estrutura negativa do Monte Carrascal: d - depósitos associados ao fecho da entrada do hipogeu 1; c - sequência de pisos de circulação no interior do fosso/átrio, de acesso aos outros hipogeus; b - depósitos calcolíticos que preenchem um corte feito na sequência anterior (reescavação parcial do enchimento do fosso no Calcolítico); a - restante preenchimento do fosso ainda durante o Calcolítico (adaptado de Santos, 2010).....	19
Figura 2.9 Localização dos sítios arqueológicos Monte de Cortes (1, 38°04'18.3"N 7°36'12.8"W), Covas (2, 38°05'32.2"N 7°36'15.7"W), Outeiro Alto (3, 38°1'34.81"N 7°34'0.46"W) e Horta dos Quarteirões (4, 38°02'8.42"N 7°35'25.18"W), adaptado da Cartas Militar Portuguesa 1:25 000, folhas 511, 522 e 523.	20
Figura 2.10 Localização dos sítios arqueológicos Monte de Cortes (1), Covas (2), Outeiro Alto (3) e Horta dos Quarteirões (4), adaptado da Carta Geológica de Portugal, 1:200000, Folha 8 (Oliveira, 1992).....	21
Figura 2.11 Fosso estudado no Monte de Cortes com indicação do corte amostrado a ponteadado vermelho: a) vista geral da vala para a linha de rega; b) Vista do local de amostragem do corte do fosso, após remoção do solo superficial, adaptado de Berraquero (2011); c) plano final do fosso evidenciando a secção de corte amostrada, adaptado de Berraquero (2011); d) esquema representativo do fosso, adaptado de Valera et al (2010b).....	23
Figura 2.12 Fossa estudada no Monte de Cortes: a) corte da estrutura no início da escavação, adaptado de Berraquero (2011); b) vista do preenchimento inicial da estrutura, adaptado de Berraquero (2011); c) pormenor do local de amostragem, antes do final da escavação; d) plano final da fossa após escavação completa com indicação do corte amostra a ponteadado vermelho, adaptado de Berraquero (2011).....	24
Figura 2.13 Fossa 7 escavada no sítio arqueológico de Covas (a e b adaptadas de Santos, 2011a): a) plano intermédio da escavação; b) plano final da escavação onde se observa o corte amostrado no âmbito do presente trabalho; c) pormenor da secção Norte da fossa onde foram identificadas os depósitos referentes às diferentes fases de deposição de materiais.....	25
Figura 2.14 Sítio arqueológico do Outeiro Alto: a) planta geral do sítio arqueológico com identificação dos 4 núcleos (adaptado de Valera e Filipe, 2012); b) vista geral do núcleo C (adaptado de Valera et al, 2010b). c) Esquema do núcleo C onde as fossas estão identificadas a creme, os hipogeus, na periferia, a azul e cinzento, e as estruturas estudadas estão identificadas pelas circunferências vermelhas (adaptado de Valera e Filipe, 2012); d) esquema da distribuição das fossas segundo os tipos definidos com base na forma e profundidade, estruturas estudadas identificadas pelas circunferências pretas (adaptado de Valera e Filipe, 2012).	27
Figura 2.15 Fossas estudadas no Outeiro Alto (adaptado de Valera e Filipe, 2012 e Filipe, 2009): a) esquema das fossas; b) fossa 22; c) fossa 28; d) fossa 30.	29

Figura 2.16 Hipogeu 4/5 no sítio arqueológico do Outeiro Alto (adaptado de Valera e Filipe, 2012): a) Esquema do hipogeu, planta e perfis (Amarelo: pedras de encerramento da entrada; verde: argilas de selagem. Esc:1m); b) topo da estrutura de fecho do hipogeu (fossa 4); c) fossa 4 após remoção da laje e do material argiloso de selagem; d) túnel entre as fossas 4 e 5 ainda parcialmente colmatado; e) túnel entre as fossas 4 e 5 após escavação total (adaptado de Filipe, 2009)	30
Figura 2.17 Horta dos Quarteirões: a) vista geral do sítio arqueológico durante a fase de escavação (adaptado de Santos, 2011b); b) esquema de implantação das sondagens 2, 3 e 4, com as respetivas estruturas negativas identificadas em cada uma delas (adaptado de Santos, 2011b): fossos 1 e 2 no sítio arqueológico Horta dos Quarteirões.	31
Figura 2.18 Intersecção entre fossos circulares no sítio arqueológico Horta dos Quarteirões (adaptado de Santos, 2011b): a) vista geral do plano final do fosso 1; b) vista geral do plano final do fosso 2; c) corte norte da intersecção entre os fossos 1 e 2 d) Sondagem 3; d) vista norte do derrube de pedras na intersecção entre os fossos 1 e 2; e) pormenor do corte norte da intersecção entre os fossos 1 e 2.	32
Figura 2.19 Localização do sítio arqueológico Malhada da Orada (adaptado da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folha 511): circunferência a preto. Coordenada 38° 6'33.90"N 7°37'35.20"W.....	34
Figura 2.20 Fotografias do sítio arqueológico Malhada da Orada: a) vista geral do da área envolvente com o local assinalado pela seta vermelha (adaptado de Ferreira et al, 2009b); b) a f) vista geral do local.	35
Figura 2.21 Localização do sítio arqueológico Malhada da Orada (circulo preto), adaptado da Carta Geológica de Portugal, 1:200 000, Folha 8 (Oliveira, 1992).....	36
Figura 2.22 Sítio arqueológico Malhada da Orada: a) vista geral do sítio adaptado de Ferreira et al (2009a); b) pormenor dos materiais de preenchimento, depositados por coluvião, que cobriam as estruturas de combustão, com indicação do local de amostragem (circunferência a ponteadado vermelho); c) exemplos das estruturas escavadas no local – duas estruturas de combustão e o possível empedrado (da esquerda para a direita) (Ferreira et al, 2009a). ...	38
Figura 2.23 Localização do sítio arqueológico Recinto de fossos dos Perdígões em Reguengos de Monsaraz (circunferência a ponteadado vermelho), na adaptação da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folha 473. Coordenada: 38°26'26.82"N 7°32'51.60"W	39
Figura 2.24 Localização do Recinto de fossos dos Perdígões (circulo a vermelho) na adaptação da carta geológica de Portugal, 1:500 000, folha sul.....	40
Figura 2.25 Localização do Recinto de fossos dos Perdígões (circunferência a ponteadado vermelho) na adaptação da carta geológica de Portugal, 1:50 000, folha 40 B- Reguengos de Monsaraz (Barros e Zbyzewski, 1991).....	40
Figura 2.26 Magnetograma do recinto de fossos do Recinto de fossos dos Perdígões evidenciando as linhas de fossos (adaptado de Valera, 2013a).....	41
Figura 2.27. Indicação da cronologia e espaços de algumas das estruturas intervencionadas nos Perdigões (adaptado de Valera, 2010b).	42
Figura 2.28. Localização dos fossos e das estruturas no Recinto de fossos dos Perdígões com indicação dos locais de amostragem (adaptado de Valera et al, 2014)	42
Figura 2.29 Fotografia do fosso 12 no Povoados dos Perdígões: a) vista da base do fosso (adaptado de Valera, 2013c); b) pormenor do corte amostrado.....	43
Figura 2.30 Vista dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdígões com a indicação do corte amostrado: a) no início da escavação; b) no final da escavação aquando da amostragem.	44
Figura 2.31 Vista do corte estudado no fosso 5 do Recinto de fossos dos Perdígões, onde se verifica a bilateralidade do preenchimento (Valera, 2013c).....	44
Figura 2.32 Fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdígões: a) Vista geral aquando da amostragem, durante os trabalhos de escavação; b) vista do corte norte onde foi efetuada a amostragem; c) vista este dos limites do fosso; d) vista oeste dos limites do fosso; e) vista do corte a sul.	45
Figura 2.33. Vista da sequência de preenchimento do fosso 6 (corte norte) no Recinto de fossos dos Perdígões, com evidência do depósito de material de meteorização do substrato da parede do fosso (camadas esbranquiçadas mais ou menos a meio da sequência, mais evidente do lado esquerdo).....	46
Figura 2.34 Estrutura circular escavada no Recinto de fossos dos Perdígões.....	48
Figura 2.35 Localização dos recintos de fossos (circunferências a vermelhos) identificados na Carta Geológica de Portugal 1:500 000 folha sul (Serviços geológicos de Portugal, 1992) (Adaptado de Valera e Pereiro, 2013).	50

Figura 2.36 Relação entre os diferentes tipos de depósitos carbonatados (adaptado de Alonso-Zarza, 2003).	51
Figura 2.37 Esquema de um perfil de calcreto pedogénicos, com indicação dos diferentes horizontes que o constituem (adaptado de Alonso-Zarza, 2003).	57
Figura 3.1 Fotografia de pormenor da amostragem de materiais de preenchimento em tubos de pequenas dimensões (amostra de perfil, pMPr, para estudos composicionais e dosimétricos).	61
Figura 3.2 Amostragem dos materiais de preenchimento das estruturas negativas, com tubos de grandes dimensões (dMPr e aMPR, para estudos dosimétricos, datação por luminescência) e pormenor da recolha de dados dosimétricos <i>in situ</i> por espectrometria gama.	63
Figura 3.3 Material para a colheita de amostras para determinações por luminescência: tubos de inox vedados à luz, de diferentes dimensões.	64
Figura 3.4 (a) Identificação das amostras durante o trabalho de campo; (b) Recolha de informação para a localização da amostra na sequência de preenchimento das estruturas negativas.	64
Figura 3.5 Amostragem dos materiais de preenchimento no fosso do Monte Carrascal: a) pormenor da amostragem dentro do fosso, no corte oeste; b) Vista em pormenor do local de colheita da amostra MC3; c) esquema representativo do enchimento da estrutura negativa e da amostra recolhida (os círculos brancos representam os nódulos de calcreto e os cinzentos calhaus de diferentes litologias e tamanhos).	68
Figura 3.6 Amostragem na fossa do Monte de Cortes: a) vista do local com evidência do corte amostrado (a ponteadado verde); pormenor do corte amostrado com evidência do local de amostragem (a ponteadado verde); c) esquema representativo do enchimento da estrutura negativa e da amostra recolhida (os círculos brancos representam os nódulos de calcreto e os cinzentos os blocos de calcreto).	71
Figura 3.7 Amostragem no fosso do Monte de Cortes: a) localização do corte amostrado; b) pormenor da amostragem na sequência de preenchimento; c) Esquema da sequência de preenchimento da estrutura negativa e indicação das amostras recolhidas (os círculos brancos representam os nódulos de calcreto mais evidentes).	72
Figura 3.8 Localização do sítio arqueológico do Monte de Cortes e do local de amostragem do perfil de calcreto, adaptado da Cartas Militar Portuguesa 1:25 000, folha 511.	73
Figura 3.9 Amostragem do perfil de calcreto representativo da geologia local do Monte de Cortes: a) vista geral do perfil; b) pormenor do local de amostragem; c) aspeto dos materiais recolhidos; d) esquema representativo do perfil de calcreto amostrado.	74
Figura 3.10 Esquema representativo das fases de preenchimento da fossa 7 em Covas.	76
Figura 3.11 Amostragem na fossa 7 no sítio arqueológico de Covas: a) Corte amostrado com indicação da amostra CV3; b) pormenor da fase 2 de preenchimento onde foram recolhidas as amostras CV1 e CV2; c) esquema representativo da amostragem efetuada (círculos a branco representam nódulos e blocos de calcreto).	78
Figura 3.12 Perfil de calcreto pulverulento amostrado em Covas.	79
Figura 3.13 Esquema representativo do perfil de calcreto amostrado em Covas.	79
Figura 3.14 Vista do interior da fossa 22 no Outeiro Alto aquando da amostragem (fossa com cerca de 0,8 m de profundidade).	82
Figura 3.15 Vista do interior da fossa 28 no Outeiro Alto aquando da amostragem amostragem (fossa com cerca de 1,0 m de profundidade).	82
Figura 3.16 Vista do interior da fossa 30 no Outeiro Alto aquando da amostragem amostragem (fossa com cerca de 0,95 m de profundidade).	82
Figura 3.17 Localização do local de recolha da amostra OA3 no interior do hipogeu 4/5 no Outeiro Alto (adaptado de Filipe, 2009).	83
Figura 3.18 Esquemas representativos da amostragem feita nas fossas e hipogeu do Outeiro Alto (círculos brancos representam os nódulos de calcreto).	83
Figura 3.19 Vista do material amostrado no solo superficial (pOA11) que cobria as estruturas negativas do Outeiro Alto.	84
Figura 3.20 Local de amostragem do bloco de calcreto representativo da geologia local (OAa) no Outeiro Alto.	84
Figura 3.21. Amostragem no sítio arqueológico de Horta dos Quarteirões; a) vista da área de intersecção dos fossos, aquando da amostragem com indicação das amostras recolhidas para datação (circunferências a roxo); b) pormenor dos materiais de preenchimento amostrados abaixo dos blocos de xisto, com especial relevo para a heterogeneidade dos materiais e a para as amostras recolhidas para datação (circunferências a roxo); c) esquema da amostragem.	87

Figura 3.22 Localização da amostragem dos materiais representativos da geologia local do sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões. Imagem adaptada da Carta Militar Portuguesa 1:25 000 folhas 522 e 523 (o círculo roxo indica a localização do sítio arqueológico e as circunferências indicam a localização da amostragem dos materiais representativos da geologia local).	88
Figura 3.23 Recolha da amostra Hh junto ao sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões.	88
Figura 3.24 Amostragem junto ao sítio arqueológico Horta dos Quarteirões: a) vista geral da área de amostragem; b) perfil à esquerda; c) perfil à direita; d) e e) pormenor dos materiais recolhidos.	90
Figura 3.25 Esquemas representativos dos perfis amostrados junto ao sítio arqueológico Horta dos Quarteirões: a) perfil norte; b) perfil sul.	91
Figura 3.26 Amostragem no sítio arqueológico Malhada da Orada: a) fotografia com localização da amostra no sítio arqueológico; b) esquema representativo da amostragem.	93
Figura 3.27 Amostragem dos materiais representativos da geologia da Malhada da Orada: a) vista geral do granito rosado pouco alterado onde foi recolhida a amostra MOa; b) vista do perfil de alteração do granito com indicação da localização das amostras MOb, MOc e MOd; c) pormenor da amostra Moa; d) pormenor da amostra MOc; e) esquema representativo do perfil de alteração.	94
Figura 3.28 Amostragem dos materiais representativos da geologia na área de escavação dos fossos 5 e 11 no Povoado dos Perdigões: a) pormenor das amostras recolhidas; b) amostragem do solo moderno (PDGb).	96
Figura 3.29 Amostragem no fosso 5 do Povoado dos Perdigões: a) localização da amostra PDG1; b) vista da parede Norte do fosso onde foram recolhidas as amostras representativas da geologia do substrato; c) pormenor da amostra PDGc; d) pormenor da amostra PDGd; e) pormenor da amostra PDGe.	97
Figura 3.30 Amostragem no fosso 12 do Povoado dos Perdigões.	98
Figura 3.31 Esquema de amostragem nos fossos 5 e 12 do Povoado dos Perdigões.	98
Figura 3.32 Amostragem no fosso 8 do Povoado dos Perdigões: a) pormenor do corte norte onde foi feita a amostragem; b) esquema representativo da amostragem realizada.	100
Figura 3.33 Fotografias da amostragem dos materiais representativos da geologia local na área do fosso 8 no Povoado dos Perdigões: a) substrato geológico, dioritos e gabros; b) pormenor da amostra PGDg de cor cinzenta acastanhada; c) pormenor da amostra PDGf de cor castanha rosada; d) pormenor das amostras PDGf e PDGg com evidência da diferença de cor; e) amostragem do solo moderno; f) pormenor da amostra de solo moderno, PDGh.	101
Figura 3.34 Amostragem no fosso 6 do Povoado dos Perdigões: a) vista geral do corte do fosso amostrado com indicação das amostras recolhidas no preenchimento do fosso e na parede oeste (representativas da geologia da parede exterior do fosso); b) pormenor da amostra PDGn (base do lado este do fosso); c) pormenor da amostra PDGp, no lado este do fosso, coberta pela amostra equivalente à pDG1; d) pormenor da amostra PDGi, na base do lado oeste do fosso; e) pormenor da amostra PDGj; f) Pormenor da amostra PDGk, fácies mais carbonatada em relação à amostra PDGj; g) pormenor da amostra PDGI.	102
Figura 3.35 Esquema representativo da amostragem efetuada no fosso 6 do Povoado dos Perdigões (os triângulos indicam as amostras recolhidas nos perfis das paredes do fosso, os círculos indicam as amostras recolhidas no interior da sequencia de preenchimento, os círculos cinzentos localizam os fragmentos de rochas encontrados no preenchimento da estrutura e as linhas azuis indicam as várias camadas de material de erosão do substrato geológico intercaladas com finas camadas de material mais argiloso, depositadas no fosso por ação humana).	103
Figura 3.36 Amostragem na estrutura circular no Povoado dos Perdigões (Amostras PDG15 e pPDG1 recolhidas na vertical).	105
Figura 3.37 Esquema da amostragem efetuada na estrutura circular no Povoado dos Perdigões.	105
Figura 4.1 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais de preenchimento recolhidos em perfil (pMPr).	108
Figura 4.2 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais de preenchimento selecionados para datação por luminescência (dMPr).	108
Figura 4.3 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais de preenchimento adjuntos dos selecionados para datação por luminescência (aMPr).	109
Figura 4.4 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais representativos da geologia local (MGeo).	109

Figura 4.5 Esquema representativo do procedimento efetuado para preparação das amostras adjuntas de materiais de preenchimento (aMPr) e representativas da geologia local (MGeo) para determinação da granulometria e da composição.....	111
Figura 4.6 Esquema representativo do procedimento efetuado para preparação dos materiais preenchimento recolhidos em perfil (pMPr) para os estudos de luminescência.	113
Figura 4.7 Esquema representativo do procedimento efetuado para preparação dos materiais preenchimento selecionados para datar por luminescência (dMPr).	114
Figura 4.8 Diagrama de Shepard (1954).	115
Figura 4.9. Esquema representativo da difração de raios-X (a) e da Lei de Bragg (b).	116
Figura 4.10 a) Difrátometro utilizado no ETN/C ² TN para difração de raios X. b) Preparações de agregados de pós não orientados da amostra total.	117
Figura 4.11. Reator Português de Investigação, sediado no Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico.	121
Figura 4.12 Sequência de montagem das amostras, padrões e monitores para irradiação no RPI.	123
Figura 4.13 Equipamentos utilizados para a determinação das taxas de contagem dos radionuclídeos após irradiação das amostras estudadas (Laboratório de radiação gama – ETN/ C ² TN).	124
Figura 4.14. Equipamentos de medida HPI Rainbow MCA e Target Nanospec com sondas com cristais de NaI de 2" x 2".	127
Figura 4.15. Leitor automático Risø, equipado com fontes β de 90Sr/90Y em placa para irradiação.	130
Figura 5.1 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C _c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (<63 μm) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <63μm para os materiais amostrados no Monte Carrascal.	140
Figura 5.2 Variação da composição mineralógica da amostra total (fração < 2mm) com a profundidade. Foi considerada como base do fosso a amostra MCa, representativa dos materiais geológicos, calcreto. As linhas vermelhas separam os contextos geológico, de ocupação humana, pós abandono e solo moderno.....	142
Figura 5.3 Variação do índice mineralógico de alteração (a) e da razão silicatos/carbonatos (b) com a profundidade para a amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos na estrutura negativa no Monte Carrascal. As circunferências vazias a vermelho representam os materiais recolhidos lateralmente em relação ao perfil central.....	143
Figura 5.4 Mineralogia da fração argilosa carbonatada (a) e descarbonatada (b) dos materiais de preenchimento (MC1 – MC4) recolhidos na estrutura arqueológica negativa e do calcreto (amostra MCa) do Monte Carrascal, determinada por DRX.....	145
Figura 5.5 Composição química da amostra total do calcreto, recolhido no Monte Carrascal, MCa, determinada por AAN e FRX e dos valores médios da crosta continental superior, UCC..	147
Figura 5.6 Composição química da fração argilosa relativamente à amostra total MCa, do calcreto amostrado no Monte Carrascal.....	147
Figura 5.7 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total e da fração argilosa do calcreto do Monte Carrascal (MCa), valores médios da crosta continental superior (UCC) e no calcreto de Beringel (CB).	150
Figura 5.8 Variação do teor de elementos químicos com a profundidade, determinados por AAN e FRX, para os materiais de preenchimento da estrutura negativa e do calcreto (MCa, representada na base do perfil), amostrados no Monte Carrascal.....	152
Figura 5.9 Composição química da amostra total (fração <2 mm) em elementos traço Sr, Y, Nb, Mo, Cd e I determinados por FRX nas amostras de preenchimento MC1 – MC4 e na amostra de calcreto MCa, recolhidas no Monte Carrascal.....	153
Figura 5.10 Variação dos teores em óxidos de Na e K determinados por AAN nos materiais de preenchimento da estrutura negativa e no calcreto, recolhidos no Monte Carrascal.....	153
Figura 5.11 Variação dos teores em Sc, Cr e Co em função do teor em óxido de Fe (a) e do teor em Zn em função do óxido de Fe (b). Variação dos valores de Zn em função do teor em óxido de Fe para as materiais de preenchimento com menores teores em Zn (c, os rótulos de dados indicam a profundidade em cm à qual a mostra foi recolhida). Variação dos valores de Zn em função do teor em Mn na amostra total e de esmectite na fração argilosa das amostras de materiais e preenchimento selecionadas para datação (MC1 – MC4) (d).	

Valores determinados por AAN e FRX na amostra total dos materiais de preenchimento amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal.	155
Figura 5.12 a) Variação da proporção de filossilicatos, determinados por DRX, em função da razão entre o óxido de K e o Rb determinados por AAN; b) variação do teor em óxido de Fe em função do teor em Sb, determinados por AAN, na amostra total (fração < 2 mm) dos materiais de preenchimento da estrutura negativa e do calcreto do Monte Carrascal.	156
Figura 5.13 a) Variação da razão de calcificação em função da razão Si ₂ O/CaCO ₃ (teor em CaCO ₃ determinado com base no LOI determinados por FRX) na amostra total dos materiais de preenchimento amostrados no fosso; b) variação das razões SiO ₂ /Al ₂ O ₃ e CaO/MgO, determinadas a partir dos valores obtidos por FRX, para a amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura negativa e do calcreto MCa; c) variação da razão CaO/MgO em função da razão Si ₂ O/CaCO ₃ , na amostra total dos materiais de preenchimento e na amostra de calcreto MCa, recolhidos no Monte Carrascal.	158
Figura 5.14 a) Variação do teor em REE com a profundidade, determinados por AAN, nos materiais de preenchimento da estrutura negativa do Monte Carrascal e na amostra de calcreto MCa; b) Variação do somatório de REE ao longo da sequência de preenchimento do fosso e comparação com o somatório de REE na amostra de calcreto MCa, nas amostras recolhidas lateralmente pMC14 e pMC15, no caliche de Beringel CB e nos valores médios da crosta continental superior UCC.	160
Figura 5.15 a) Padrão de distribuição de REE, normalizado aos condritos, na amostra total dos materiais de preenchimento, recolhidos na estrutura negativa do Monte Carrascal (na legenda está indicada a profundidade à qual cada material foi recolhido); b) Fracionamento entre REE leves e pesadas e leves e intermédias; c) Anomalias de Ce e Eu nos materiais de preenchimento amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal.	162
Figura 5.16 Composição química da fração argilosa carbonatada (a) e descarbonatada (b) e relação entre a composição química da fração argilosa carbonatada e descarbonatada (c) dos materiais de preenchimento do fosso do Monte Carrascal, MC1 – MC4, determinada por AAN.	164
Figura 5.17 a) Relação entre a composição química da fração argilosa carbonatada das amostras de materiais de preenchimento MPr e da fração argilosa carbonatada da amostra de calcreto MCa; b) relação entre a composição química da fração argilosa carbonatada e a amostra total dos materiais de preenchimento; c) relação entre a composição química da fração argilosa descarbonatada e a amostra total dos materiais de preenchimento MC1 - MC4, recolhidos no fosso do Monte Carrascal.	166
Figura 5.18. a) Somatório do teor em REE na amostra total e frações argilosas carbonatada e descarbonatada dos materiais de preenchimento MC1 – MC4 e amostra de calcreto MCa, na amostra total do caliche de Beringel Cb, e nos valores médios da crosta continental superior UCC; b) padrão de distribuição de REE, normalizado aos condritos, na fração argilosa carbonatada e descarbonatada das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação recolhidos na estrutura negativa e nos materiais representativos da geologia local, no Monte Carrascal; c) Valores das anomalias de Ce e Eu; d) fracionamento entre REE leves e pesadas e leves e intermédias na fração argilosa dos materiais de preenchimento selecionados para datação, amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal.	168
Figura 5.19 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração fina e grosseira de polimineriais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil no Monte Carrascal. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.	170
Figura 5.20 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil pMC14 e pMC15 recolhidas lateralmente em relação ao perfil central e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.	171
Figura 5.21 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidas em perfil no Monte Carrascal. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil pMC14 e pMC15 recolhidas lateralmente em relação ao perfil central e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.	172

Figura 5.22 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil no Monte Carrascal. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil p14 e p15, recolhidas lateralmente em relação ao perfil central.	174
Figura 5.23 Variação do teor em calcite na amostra total em função das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos finos de polimineriais dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais.	175
Figura 5.24 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos finos de polimineriais dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade.	175
Figura 5.25 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos grosseiros de quartzo dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade.	176
Figura 5.26 Intensidade do pico de radioluminescência do quartzo grosseiro da amostra MC4 recolhida no Monte Carrascal, natural (a) e com ativação (b).	177
Figura 5.27 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) do QZG em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal.	179
Figura 5.28 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal.	181
Figura 5.29. Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico e ao Calcolítico. A idade das amostras de perfil (círculos vermelhos e circunferências vermelhas que correspondem ao perfil recolhido no centro do fosso e às amostras recolhidas lateralmente, respetivamente) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em QZG nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade ao longo do perfil foi interpolada com base na taxa de dose determinada para as amostras MC1 – MC4. As circunferências a preto indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao QZG das amostras MC1 – MC4, recolhidas no fosso do Monte Carrascal.	183
Figura 5.30 Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico e ao Calcolítico. Os círculos vermelhos indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao quartzo grosseiro das amostras MC1 – MC4, recolhidas no fosso do Monte Carrascal e os círculos cinzentos representam a estimativa feita considerando a condição extrema de ausência de calcite na composição das amostras.	187
Figura 5.31 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (<63 μm) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <63 μm para os materiais amostrados no Monte de Cortes.	190
Figura 5.32 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais amostrados no perfil de calcreto representativo da geologia no Monte de Cortes.	192
Figura 5.33 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento amostrados na fossa no Monte de Cortes.	192
Figura 5.34 Composição mineralógica(%) da amostra total dos materiais de preenchimento amostrados no fosso no Monte de Cortes.	193
Figura 5.35 Distribuição do índice mineralógico de alteração (MIA) na amostra total, em função da profundidade, no Monte de Cortes: a) perfil de calcreto; b) perfil de preenchimento do fosso.	194
Figura 5.36 Razão entre o teor de silicatos e carbonatos na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto (a) e na sequência de preenchimento do fosso no Monte de Cortes (b)	195
Figura 5.37 Composição mineralógica da fração argilosa (%) no perfil de calcreto representativo da geologia do Monte de Cortes, identificados por DRX.	196

Figura 5.38 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto do Monte de Cortes.....	198
Figura 5.39 Relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no topo e na da base do perfil de calcreto.....	198
Figura 5.40 Composição química das amostras recolhidas no perfil de calcreto relativamente à média da crosta continental superior (UCC).....	199
Figura 5.41 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto no Monte de Cortes e para os valores médios da crosta continental (UCC); c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE.....	201
Figura 5.42. Composição química da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto do Monte de Cortes.....	202
Figura 5.43 Razão entre a composição química da fração argilosa e a amostra total das amostras recolhidas no perfil de calcreto recolhido no Monte de Cortes.....	203
Figura 5.44 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento das REE na fração argilosa e na amostra total das amostras recolhidas no perfil de calcreto no Monte de Cortes e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	205
Figura 5.45 Composição química da amostra COR1 recolhida no preenchimento da fossa do Monte de Cortes, relativamente à média da crosta continental superior (UCC) e as amostras recolhidas no perfil de calcreto.....	206
Figura 5.46 Dendrograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis o teor de 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto e no preenchimento da fossa no Monte de Cortes.....	207
Figura 5.47 a) Somatório do teor em REE, determinados por AAN na amostra total dos materiais de preenchimento da fossa (COR1), no perfil de calcreto (CORa – CORb) e para os valores médios da crosta continental superior (UCC); b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra recolhida na fossa do Monte de Cortes e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	208
Figura 5.48 Variação da composição química em óxidos dos elementos maiores e em elementos traço com a profundidade na amostra total dos materiais de preenchimento do corte do fosso recolhidos no Monte de Cortes.....	210
Figura 5.49 Composição química em elementos maiores, menores e traço nos materiais recolhidos no corte do fosso do Monte de Cortes e a sua relação com: a) os valores médios para a crosta continental superior (UCC); b) a composição química da amostra COR1 recolhida no preenchimento da fossa no Monte de Cortes; c) a composição química das amostras recolhidas no perfil de calcreto.....	211
Figura 5.50 Dendrograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis o teor dos 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais de preenchimento do fosso das amostras do perfil de calcreto no Monte de Cortes.....	212
Figura 5.51 Relação entre a composição química da amostra COR2, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes e as amostras COR1, CORa, CORb e CORc, bem como com os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	213
Figura 5.52 Correlação entre o índice químico de alteração e a razão de calcificação (a), a razão de dolomitização (b) e o índice de maturação dos calcretos (c), determinados para a amostra total dos materiais de preenchimento COR 1 e COR2 e os materiais recolhidos no perfil de calcreto no Monte de Cortes.....	214
Figura 5.53 Somatório dos REE, determinados por AAN, na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento das estruturas negativas (COR1 e COR2), no perfil de calcreto (COR1 - CORc) e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	215
Figura 5.54 a) Somatório do teor em REE ao longo da sequência de preenchimento do fosso; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE nas amostras recolhidas no fosso do Monte de Cortes.....	216
Figura 5.55 Composição química da fração argilosa das amostras COR1 e COR2 recolhidas no preenchimento da fossa e do fosso do Monte de Cortes, respetivamente, determinados por AAN.....	217
Figura 5.56 Relação entre a composição química da fração argilosa e a amostra total nos materiais COR1 e COR2, recolhidos no Monte de Cortes.....	217

Figura 5.57	Relação entre a composição química da fração argilosa das amostras de preenchimento da fossa (COR1, a) e do fosso (COR2, b) e as amostras recolhidas no perfil de calcreto, no Monte de Cortes.	219
Figura 5.58	Dendrograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis o teor de 30 elementos químicos determinados na fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento da fossa e do fosso no Monte de Cortes.	220
Figura 5.59	a) Perfil de REE normalizado aos condritos; b) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; c) fracionamento de REE na fração argilosa das amostras COR1 e COR2 e na amostra total dos materiais recolhidos nas estruturas negativas do Monte de Cortes, bem como para os valores médios da crosta continental.	221
Figura 5.60	Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração fina e grosseira de polimineriais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil no Monte de Cortes. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.	224
Figura 5.61	Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil no fosso do Monte de Cortes.	225
Figura 5.62	Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidas em perfil no fosso do Monte de Cortes.	226
Figura 5.63	Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil no fosso do Monte de Cortes.	227
Figura 5.64	Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos grosseiros enriquecidos em quartzo (a) e nos grãos de polimineriais finos (b) e grosseiros (c) dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no fosso do Monte de Cortes, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade. d) variação da proporção de calcite em função da estimativa de dose aparente.	228
Figura 5.65	Intensidade do pico de radioluminescência do quartzo grosseiro da amostra COR2 recolhida no fosso no Monte de Cortes, natural (a) e com ativação (b).	230
Figura 5.66	Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) do QZG em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal.	231
Figura 5.67	a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.	232
Figura 5.68.	Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao calcolítico e ao Neolítico. A idade das amostras de perfil (triângulos verdes) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em QZG nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade ao longo do perfil foi a determinada para os grãos de quartzo da amostra COR2. OS triângulos a preto indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao QZG da amostra COR2, recolhidas no fosso do Monte de Cortes.	234
Figura 5.69	Possível relação entre as estruturas arqueológicas do Monte de Cortes e o perfil de calcreto: a) com base na composição química e mineralógica bem como nas características macroscópicas e granulometria; b) e c) com base na composição química e mineralógica da amostra total e da fração argilosa.	236
Figura 5.70	Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico e ao Calcolítico. OS pontos vazios indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao quartzo grosseiro das amostras recolhidas no Monte de Cortes. Os triângulos correspondem a idade estimada para as amostras de perfil (verde) e idade estimada para as amostras de perfil considerando a ausência de calcite (cinzento). Os pontos cinzentos representam a estimativa feita considerando a condição extrema de ausência de calcite na composição das amostras de datação recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.	238

Figura 5.71 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficientes de uniformidade (C_u) e de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino ($< 63 \mu\text{m}$) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração $< 63 \mu\text{m}$ para os materiais amostrados em Covas.	241
Figura 5.72 Composição mineralógica (%) dos materiais amostrados no perfil de calcreto representativo da geologia em Covas.....	242
Figura 5.73 Composição mineralógica (%) dos materiais de preenchimento amostrados no perfil lateral da fossa em Covas.....	243
Figura 5.74 Composição mineralógica (%) dos materiais de preenchimento amostrados no perfil central da fossa em Covas.....	244
Figura 5.75 Razão entre o teor de silicatos e carbonatos nas amostras do perfil de calcreto (a), no perfil lateral do preenchimento da fossa (b) e no perfil central do preenchimento da fossa em covas.	245
Figura 5.76 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil de calcreto.....	247
Figura 5.77 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais recolhidos na fossa, em Covas.	248
Figura 5.78a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto; b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto em Covas e os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	249
Figura 5.79 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto em Covas e valores médios da crosta continental superior.	251
Figura 5.80. Composição química da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto em Covas.	253
Figura 5.81 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto em Covas e valores médios da crosta continental superior.....	255
Figura 5.82 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil lateral do preenchimento da fossa em Covas.....	258
Figura 5.83 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil central do preenchimento da fossa em Covas.....	259
Figura 5.84 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa, em Covas (amostras adjuntas das amostras selecionada para datação) b) composição química da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa, em Covas, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.	261
Figura 5.85 Variação do índice de maturação (a) e do Índice de alteração química (b) em função da razão de calcificação; c) índices de meteorização intensa, calcificação e reprecipitação na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa e no perfil de calcreto em Covas.	263
Figura 5.86 a) somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no perfil lateral; b) somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no perfil central; c) somatório de REE na amostra total em função da proporção de calcite; d) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total; e) anomalias de Eu e Ce na amostra total; f) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos em Covas.....	265
Figura 5.87 a) Composição química da fração argilosa; b) relação entre a composição química na fração argilosa e na amostra total das amostras CV1, CV2 e CV3 recolhidas no preenchimento da fossa em Covas.....	267
Figura 5.88 a) Somatório do teor em REE na fração argilosa e amostra total; b) Perfil de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento da fossa, recolhidos em Covas.	269
Figura 5.89 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL aos testes iniciais para as frações PMF, PMG e EQZG recolhidas nos materiais de preenchimento amostrados em perfil na fossa em Covas. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy. O perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento é identificado por pontos de cor mais escura.	271

Figura 5.90 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil na fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral que representa a primeira fase de preenchimento e os cheios às amostras de perfil recolhidas no perfil central.	273
Figura 5.91 Sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidas em perfil na fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral que representa a primeira fase de preenchimento e os cheios às amostras de perfil recolhidas no perfil central.....	274
Figura 5.92 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil na fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.	276
Figura 5.93 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas à estimulação ótica e térmica (sequência de testes iniciais) a partir dos grãos fração enriquecida em quartzo grosseiro (a), de poliminerálicos grosseiros (b) e finos (a) em função da profundidade (esquerda) e respectivas correlações entre a dose absorvida aparente e o teor em calcite na amostra total (direita) para os materiais recolhidos no preenchimento da fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.....	277
Figura 5.94 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo grosseiro em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (CV1, CV2 e CV3), recolhidas na fossa em Covas.	279
Figura 5.95 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo fino em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (CV1 e CV3), recolhidas na fossa em Covas.	280
Figura 5.96 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação CV1 e CV2 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase na fossa em Covas.	281
Figura 5.97 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação CV1 e CV3 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase na fossa em Covas.	283
Figura 5.98. Distribuição da idade estimada para as amostras recolhidas na fossa em Covas, com a profundidade com indicação dos períodos entre o Neolítico e a Idade do Bronze e esquema representativo da fossa com indicação das diferentes fases de preenchimento indicadas pelos arqueólogos (a vermelho). A idade aparente das amostras de perfil está representada a círculos e circunferências azuis que correspondem ao perfil recolhido no centro do fosso e às amostras recolhidas lateralmente, respetivamente. As circunferências a preto indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza.....	286
Figura 5.99 Esquema representativo do preenchimento da fossa e do perfil de calcreto com indicação da mineralogia da fração argilosa dos materiais recolhidos em Covas.	287
Figura 5.100 Dendrograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis o teor em 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais recolhidos em Covas.	288
Figura 5.101 Dendrograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis o teor em 30 elementos químicos determinados na fração argilosa dos materiais recolhidos em Covas.	289

Figura 5.102 Distribuição da idade estimada considerando a condição extrema de ausência de calcite na composição das amostras recolhida na fossa em Covas, com a profundidade com indicação dos períodos entre o Neolítico e a Idade do Bronze.	290
Figura 5.103 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficientes de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino ($< 63 \mu\text{m}$) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração $< 63 \mu\text{m}$ para os materiais amostrados no Outeiro Alto.	292
Figura 5.104 Composição mineralógica da amostra total (fração $< 2 \text{ mm}$), determinada por DRX, dos materiais representativos do preenchimento das fossas 22 (a), 28 (b) e 30 (c) no Outeiro Alto, usando a amostra de calcetreto OAa como base e a amostra de solo moderno como o topo da sequência.	295
Figura 5.105 Composição mineralógica da fração argilosa dos materiais amostrados no Outeiro Alto, determinada por DRX.	297
Figura 5.106 a) Composição química da amostra total do calcetreto e dos valores médios da crosta continental superior; b) composição química da amostra total e da fração argilosa do calcetreto; c) Composição química da fração argilosa em relação à amostra total de calcetreto recolhido no Outeiro Alto.	298
Figura 5.107 Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total e na fração argilosa da amostra de calcetreto lacustre recolhida no Outeiro Alto para os valores médios da crosta continental superior (UCC).	300
Figura 5.108 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa 22 (a), e da fossa 30 e a sua relação com a amostra de calcetreto e do solo moderno (0 cm de profundidade), recolhidos no sítio arqueológico Outeiro Alto. Os teores em óxidos dos elementos maiores em % e teores em elementos menores e traço em mg/Kg.	301
Figura 5.109 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa 28 (a), e do hipogeu 4/5 (b) e a sua relação com a amostra de calcetreto e do solo moderno (0 cm de profundidade), recolhidos no sítio arqueológico Outeiro Alto. Os teores em óxidos dos elementos maiores em % e teores em elementos menores e traço em mg/Kg.	302
Figura 5.110 a) Composição química da amostra total dos materiais selecionados para datação recolhidos no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto; b) Composição das amostras relativamente à amostra de calcetreto OAa; c) composição das amostras relativamente aos valores médios da crosta continental superior.	304
Figura 5.111 Somatório dos teores absolutos em REE na amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto.	306
Figura 5.112 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total; b) anomalias de Eu e Ce na amostra total; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.	307
Figura 5.113 a) Composição química da fração argilosa; b) relação entre a composição química na fração argilosa e na amostra total das amostras recolhidas no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto.	309
Figura 5.114 a) Somatório do teor em REE na fração argilosa e amostra total; b) Perfil de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento das estruturas negativas e representativos da geologia local (calcetreto) recolhidos no Outeiro Alto.	311
Figura 5.115 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL aos testes iniciais para as frações PMF, PMG e EQZG recolhidas para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.	313
Figura 5.116 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo moderno: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e solo moderno a laranja. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no nível correspondente ao preenchimento inicial e os pontos cheios correspondem às amostras de perfil amostras no nível correspondente ao preenchimento por colúvio.	314
Figura 5.117 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo moderno: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e solo	

	moderno a laranja. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no nível correspondente ao preenchimento inicial e os pontos cheios correspondem às amostras de perfil amostras no nível correspondente ao preenchimento por coluvião.	315
Figura 5.118	Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo moderno: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e solo moderno a laranja. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no nível correspondente ao preenchimento inicial e os pontos cheios correspondem às amostras de perfil amostras no nível correspondente ao preenchimento por coluvião.	316
Figura 5.119	Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo grosseiro nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (OA1 – OA4), recolhidas nsa fossas 22, 30 e 28 e no hipogeu 4/5 no Outeiro Alto.	318
Figura 5.120	Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo fino nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (OA1 – OA4), recolhidas nsa fossas 22, 30 e 28 e no hipogeu 4/5 no Outeiro Alto.	319
Figura 5.121	a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação OA1 – OA4 recolhidas no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto.	321
Figura 5.122	a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação OA1 – OA4 recolhidas no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto.	323
Figura 5.123.	Distribuição da idade estimada com a profundidade, com indicação dos periodos entre o Neolítico e a Idade do Bronze, em cada uma das estruturas: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e hipogeu 4/5 a laranja. Os pontos maiores representam a idade obtida para as amostras selecionadas para datação aplicando o protocolo SAR-OSL nos grãos de quartzo grosseiros (cheios a cinzento) e os grãos de quartzo fino (vazios). A idade das amostras de perfil (pontos cheios) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em quartzo grosseiro nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade em cada estrutura foi a determinada para as amostras OA1 – OA4 sendo aplicada as amostras de perfil consideradas da mesma fase de preenchimento de cada uma das estruturas. ...	327
Figura 5.124	Projecção das idades aparentes e estimadas em função da profundidade e com indicação dos periodos correspondentes ao Neolítico Final, Neolítico Médio e Antigo, Calcolítico e Idade do Bronze: a) daterminações efectuadas; b) idades especuladas a partir da hipotese de remoção total da calcite do meio.	329
Figura 5.125	a) Projecção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projecção dos teores em material fino ($< 63 \mu\text{m}$) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração $< 63 \mu\text{m}$ para os materiais amostrados na Horta dos Quarteirões.	332
Figura 5.126	Composição mineralógica (%) da amostra total (fração $< 2 \text{ mm}$) dos materiais representativos da geologia na Horta dos Quarteirões, recolhidos no perfil Norte (a), no perfil Sul (b) e da fácies mais carbonatada (c).	334
Figura 5.127	Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos 1 e 2 na Horta dos Quarteirões.	336
Figura 5.128	Variação do Índice Mineralógico de Alteração (MIA) em função da razão silicatos/carbonatos para a amostra total ($< 2 \text{ mm}$) dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.	337
Figura 5.129	Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais representativos do substrato geológico amostrados na Horta dos Quarteirões.	339
Figura 5.130	Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.	340

Figura 5.131 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Norte; b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Norte na Horta dos Quarteirões e os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	341
Figura 5.132 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Sul; b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Sul na Horta dos Quarteirões e os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	342
Figura 5.133 a) Composição química da fração <2 mm da amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões; b) relação entre a composição química da fração <2 mm da amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões e os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	343
Figura 5.134 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões e valores médios da crosta continental superior.	346
Figura 5.135. Composição química da fração argilosa dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões.	349
Figura 5.136 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões e valores médios da crosta continental superior.	351
Figura 5.137 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção entre os dossos na Horta dos Quarteirões.	353
Figura 5.138 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos, na Horta dos Quarteirões (amostras adjuntas das amostras selecionada para datação) b) composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos, na Horta dos Quarteirões, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.	354
Figura 5.139 a) Variação do índice de maturação em função da razão de calcificação; c) índices de meteorização intensa, calcificação e reprecipitação na amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.	355
Figura 5.140 a) somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total; c) anomalias de Eu e Ce na amostra total; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.	357
Figura 5.141 a) Composição química da fração argilosa; b) relação entre a composição química na fração argilosa e na amostra total das amostras H1 e H2 recolhidas no preenchimento da área de interseção entre os fossos na Horta dos Quarteirões.	359
Figura 5.142 Dendrograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis o teor em 30 elementos químicos determinados na fração argilosa de 10 amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões.	360
Figura 5.143 a) Somatório do teor em REE na fração argilosa e amostra total; b) Perfil de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento e representativos da geologia local recolhidos na Horta dos Quarteirões.	361
Figura 5.144 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração fina e grosseira de polimineriais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil na área de interseção dos fossos na Horta dos Quarteirões. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.	363
Figura 5.145 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil na área de interseção dos fossos na Horta dos Quarteirões.	364
Figura 5.146 Sensibilidade do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidos em perfil na área de interseção dos fossos na Horta dos Quarteirões.	365
Figura 5.147 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil na área de interseção entre os fossos na Horta dos Quarteirões.	366

- Figura 5.148 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos grosseiros enriquecidos em quartzo (a) e nos grãos de poliminerais grosseiros (b) e finos (c) dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil na area de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade, e variação da proporção de calcite em função da estimativa de dose aparente para cada uma das frações. 367
- Figura 5.149 Intensidade do pico de radioluminescência entre 365 e 380 nm, do QZG da amostra H2 recolhida no preenchimento inicial comum aos dois fossos na Horta dos Quarteirões, sem (a) e com (b) ativação (aquecimento prévio até 500 °C). 369
- Figura 5.150 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo grosseiro nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas na area de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões. 370
- Figura 5.151 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões. 371
- Figura 5.152. Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação das janelas de tempo para o Neolítico e para o Calcolítico. A idade das amostras de perfil (circulos roxos) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em quartzo grosseiro nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade ao longo do perfil foi a determinada para os grãos de quartzo grosseiros das amostras H1 e H2. As circunferências pequenas a roxo identificam a amostra de perfil recolhida lateralmente. As circunferências grandes a roxo indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao quartzo grosseiro das amostras H1 e H2, recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões. 373
- Figura 5.153 Dendrograma construído com o programa *Statística 10*, usando como variáveis a proporção dos 7 minerais detetados na amostra total (fração <2 µm) dos materiais recolhidos na Horta dos Quateirões. 375
- Figura 5.154 Dendrograma construído com o programa *Statística 10*, usando como variáveis o teor em 28 elementos químicos determinados na amostra total das 16 amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões. Com indicação da interpretação arqueológica dada aos diferentes materiais e com indicação da interpretação obtida neste trabalho. 376
- Figura 5.155 Projecção das idades aparentes e estimadas em função da profundidade e com indicação dos periodos entre o Neolítico e o Calcolítico, para as amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões: a) daterminações efectuadas; b) idades especuladas a partir da hipotese de remoção total da calcite do meio..... 377
- Figura 5.156 a) Projecção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projecção dos teores em material fino (< 63 µm) em diagrama triangular;d) curvas granulométricas da fração <63µm para os materiais amostrados na Malhada da Orada. . 379
- Figura 5.157 Composição mineralógica (%) da amostra total (fração <2 mm, exceto na amostra MOa, na qual se determinou a mineralogia na amostra total) dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito do Pedrogão (a) e nos materiais de preenchimento das estruturas negativas (b) recolhidos na Malhada da Orada..... 381
- Figura 5.158 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais recolhidos no topo do perfil de alteração do granito (MOd, solo moderno) (a) e dos materiais de preenchimento das estruturas negativas MO1, recolhidos na Malhada da Orada. 383
- Figura 5.159 a) Composição química da amostra total, determinada por AAN e FRX, dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito (MOa - MOd) e nos materiais de preenchimento das estruturas negativas (MO1); b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito e nos materiais de preenchimento das estruturas negativas na Malhada da Orada e os valores médios da crosta continental superior (UCC); c) composição química dos materias amostrados (MO1, MOb - MOd) relativamente à composição química da amostra da base do perfil de alteração do granito (MOa). 385

Figura 5.160 Dendograma construído com o programa <i>Statistica 10</i> , usando como variáveis os 46 elementos detetados na amostra total dos materiais recolhidos na Malhada da Orada.....	386
Figura 5.161 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos na Malhada da Orada e valores médios da crosta continental superior.....	389
Figura 5.162. Composição química da fração argilosa dos materiais recolhidos no topo do perfil de alteração do granito (MOd) e no preenchimento das estruturas negativas (MO1), na Malhada da Orada.....	391
Figura 5.163 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais recolhidos na Malhada da Orada e valores médios da crosta continental superior.....	393
Figura 5.164 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG da amostra de materiais de preenchimento recolhidas no sítio arqueológico da Malhada da Orada.....	395
Figura 5.165 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard; b) projeção dos teores em material fino; c) Curvas granulométricas da fração <63µm para as amostras recolhidas no preenchimento dos fossos 5, 12 e 8 e para os materiais do substrato geológico e do solo na área de escavação dos fossos, bem como para os materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular, no Recinto de fossos dos Perdigões..	401
Figura 5.166 Composição mineralógica (%) da amostra total do substrato geológico e do solo moderno amostrados na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.	402
Figura 5.167 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais amostrados no perfil de alteração do diorito na parede Norte do fosso 5.....	403
Figura 5.168 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 5 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	404
Figura 5.169 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento amostrados no fosso 12 do Recinto de fossos dos Perdigões.....	404
Figura 5.170 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo moderno recolhidos na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.	405
Figura 5.171 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais recolhidos na sequência de preenchimento do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.	406
Figura 5.172 Composição mineralógica da amostra total dos materiais recolhidos na parede Oeste do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	406
Figura 5.173 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais recolhidos na parede Este do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	407
Figura 5.174 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6 e a sua relação com os materias recolhidos nas paredes Oeste e Este do fosso 6, no Recinto de fossos dos Perdigões.....	408
Figura 5.175 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular no Recinto de fossos dos Perdigões.....	409
Figura 5.176 Índice mineralógico de alteração na amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.....	411
Figura 5.177 Composição química nos óxidos de elementos maiores e nos elementos menores e traço, determinados por AAN e FRX, para a amostra total dos materiais recolhidos no substrato e no solo moderno da área de escavação arqueológica dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	413
Figura 5.178 Composição química das amostras representativas da geologia local e do solo moderno recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PGDa e PDGb) e na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe).	415
Figura 5.179 Composição química das amostras representativas da geologia local e do solo moderno recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PGDa e PDGb) e na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe), relativamente aos valores médios na UCC	416
Figura 5.180 a) Perfil de distribuição de REE normalizados aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE nas amostras de substrato geológico e no solo moderno	

recolhidas na área da escavação dos fossos 5 e 12 e nas amostras recolhidas no perfil da parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.....	418
Figura 5.181 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no substrato geológico e solo na area de escavação dos fossos 5 e 12 e na parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.	419
Figura 5.182. Composição química da fração argilosa da amostra de solo moderno recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões	419
Figura 5.183 Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na fração argilosa e na amostra total do solo moderno recolhida na aérea de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.	420
Figura 5.184 Composição química das amostras de materiais de preenchimento recolhidos nos fosso 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões, determinada por AAN e FRX.....	421
Figura 5.185 Composição química das amostras de materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 recolhida no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente à média da crosta continental superior (UCC).....	422
Figura 5.186 Composição química na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos nos fosso 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões com a composição química dos materiais representativos da geologia local.	424
Figura 5.187. Variação do índice químico de alteração em função do índice de alteração da plagioclase para a amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento e na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	425
Figura 5.188 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidas nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).....	427
Figura 5.189 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no substrato geológico (PDGa) e no solo PDGb na área de escavação dos fossos 5 e 12, na parede Norte do fosso 5 (PDGc;d;e) e nos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 (PDG1; 2; 3) , no Recinto de fossos dos Perdigões.	427
Figura 5.190 Relação entre a composição química da fração argilosa e a amostra total nos materiais de preenchimento do fosso 12, PDG2 e PDG3, no Recinto de fossos dos Perdigões.	428
Figura 5.191 Relação entre a composição química da fração argilosa dos materiais de preenchimento do fosso 12, PDG2 e PDG3, e a fração argilosa da amostra de solo moderno, PDGb, no Recinto de fossos dos Perdigões.	429
Figura 5.192 Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na fração argilosa e na amostra total das amostras de materiais de preenchimento do fosso 12 e da amostra de solo recolhida na area de escavação dos fossos 5 e 12, no Recinto de fossos dos Perdigões.	430
Figura 5.193 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos na area de escavação do fosso 8, no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente ao substrato geológico, determinada por AAN e FRX.	431
Figura 5.194 Composição química da amostra total do substrato geológico e do solo recolhidas na area de escavação do fosso 8 em relação às amostras de substrato geológico e solo recolhidas na area de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	432
Figura 5.195 Composição química da amostra total dos materiais representativos da geologia local, recolhidos na area de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.	432
Figura 5.196 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE nas amostras de substrato geológico e no solo moderno recolhidas na área da escavação dos fossos 5, 12 e 8, no Recinto de fossos dos Perdigões,	434
Figura 5.197 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no substrato geológico e solo na area de escavação dos fossos 5, 12 e 8 e na parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.	435
Figura 5.198 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento em relação: a) aos valores médios da crosta continental superior; b) à amostra de substrato geológico PDGg; c) à amostra de solo PDGh, recolhidas no fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdigões.	438

Figura 5.199. Variação do índice químico de alteração em função do índice de alteração da plagioclase para a amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento e na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	439
Figura 5.200 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento, no substrato geológico e solo na área de escavação dos fossos 5, 12 e 8 e na parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.....	440
Figura 5.201 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE nas amostras de materiais de preenchimento e no substrato geológico e no solo moderno recolhidas na área da escavação do fosso 8, no Recinto de fossos dos Perdigões.	441
Figura 5.202 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos nos perfis nas paredes do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões: a) parede Oeste – PDGi - PDGI; b) parede Este – PDGm - PDGp; c) comparação entre os dois perfis e os valores médios para a crosta continental superior UCC.	443
Figura 5.203 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos nas paredes Este (a azul) e Oeste (a laranja) do fosso 6 do Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente à amostra de substrato geológico PDGa, recolhida na área de escavação dos fossos 5 e 12, correspondente aos dioritos e gabros associados.....	444
Figura 5.204 Variação do índice de Ruxton ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) (a) e do índice de alteração da plagioclase (PIA) (b) em função do índice de alteração químico (CIA), na amostra total dos materiais recolhidos nas paredes do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	445
Figura 5.205 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos nas paredes Oeste (a laranja) e Este (a azul) do fosso 6, no Recinto de fossos dos Perdigões, comparados com as anomalias e fracionamentos dos restantes materiais recolhidos no sítio arqueológico.	447
Figura 5.206 Somatório do teor em REE nas amostra total dos materiais recolhidos nos perfis das paredes Este e Oeste do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.....	448
Figura 5.207 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6 do Povoados dos Perdigões, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.	448
Figura 5.208 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6 do Recinto de fossos dos Perdigões em relação aos materiais recolhidos nas paredes Este e Oeste do fosso.	450
Figura 5.209 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento do fosso 6, no Recinto de fossos dos Perdigões, comparados com as anomalias e fracionamentos dos restantes materiais recolhidos no sítio arqueológico.	451
Figura 5.210 Somatório do teor em REE nas amostra total dos materiais recolhidos nos perfis das paredes Este e Oeste e nos materiais de preenchimento do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.	452
Figura 5.211 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular no Povoados Perdigões.	455
Figura 5.212 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente a) aos valores médios da crosta continental superior; b) aos materiais do substrato geológico (dioritos e gabros associados) recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGa); c) ao solo recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGb).	456
Figura 5.213 a) distribuição do teor absoluto em REE na amostra total com a profundidade; b) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) anomalias de Ce e Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular, no Recinto de fossos dos Perdigões, comparados com as anomalias e fracionamentos dos restantes materiais recolhidos no sítio arqueológico e os valores médios da crosta continental superior.	458
Figura 5.214 Somatório dos REE na amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura circular recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões em comparação com os materiais representativos dos materiais geológicos (dioritos e gabros associados), solo, materiais recolhidos na parede do fosso 5 e valores médios da crosta continental superior.	459
Figura 5.215 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração grosseira de polimineriais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos	

dos Perdigões. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.	460
Figura 5.216 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.	461
Figura 5.217 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidos em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.	462
Figura 5.218 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.	463
Figura 5.219 Variação da sensibilidade (a e b) e da dose absorvida (b) do QZG nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdigões.	466
Figura 5.220 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento recolhidas nos fossos 5 (PDG1) e 12 (PDG2 e PDG3) do Recinto de fossos dos Perdigões.	469
Figura 5.221 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento recolhidas no fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdigões.	470
Figura 5.222 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.	471
Figura 5.223. Distribuição da idade com a respetiva incerteza em função da profundidade e com indicação dos períodos Neolítico Antigo e Médio, Neolítico Final, Calcolítico e Idade do Bronze, para as amostras recolhidas na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.	474
Figura 5.224 Variação do teor em REE em função do teor em SiO ₂ na amostra total dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões e nos materiais do maciço de Reguengos de Monsaraz, estudados por Silva e Pinto (2006).	476
Figura 5.225 Projecção da composição dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões nos diagrama TAS (a) e de La Roche (b) (Rollinson, 1993).	477
Figura 5.226 Projecção das idades aparentes e estimadas em função da profundidade e com indicação dos períodos Neolítico Médio e Antigo, Neolítico Final, Calcolítico e Idade do Bronze, para as amostras recolhidas no Recinto de fossos dos Perdigões: a) daterminações efectuadas; b) idades especuladas a partir da hipótese de remoção total da calcite do meio.	478
Figura 5.227 Composição mineralógica (%) da amostra total (a) e da fração argilosa (b), determinada por DRX, dos materiais carbonatados representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação do tipo de materiais e origem.	482
Figura 5.228 a) Variação do teor em MgO em função da razão de dolomitização (MgO/CaO) na amostra total dos calcretos representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação da mineralogia dominante; b) variação do teor em elementos da primeira série de transição em função do teor em REE (determinados por AAN) na amostra total dos materiais carbonatados representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação da fração ou mineral em que as REE se fixam.	483

Figura 5.229 a) Variação da razão de calcificação ($\text{MgO}+\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) em função da razão silicatos/carbonatos na amostra total dos materiais carbonatados; b) variação da razão CaO/MgO em função da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, determinados por FRX, na amostra total dos materiais carbonatados representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação do tipo de materiais, origem e estado de maturação.	484
Figura 5.230 Sensibilidade do quartzo grosseiro, obtido das amostras de materiais de preenchimento, à estimulação por OSL.....	488
Figura 5.231 Taxa de dose para as amostras selecionada para datar considerando os grãos de quartzo grosseiros e os grãos de quartzo fino.....	489
Figura 5.232 Relação entre a taxa de dose calculada convencionalmente, e o modelo extremo de remoção total dos efeitos de calcite e matéria orgânica nas amostras com base no LOI. .	490
Figura 5.233 Idade de luminescência para as amostras recolhidas nas estruturas negativas a partir dos grãos de quartzo grosseiro (pontos a cheio) e dos grãos de quartzo finos (pontos vazios); e idades estimadas considerando a hipótese de remoção total da calcite e da matéria orgânica da amostra (asteriscos preto para as determinações com grãos grosseiros e cinzento para determinações com grãos finos), com indicação da idade esperada (atribuída tipologicamente e/ou por datação por radiocarbono) para cada uma das estruturas arqueológicas.	492

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Classificação morfológica de calcretos com base na descrição dos estados de desenvolvimento (maturação) de um perfil de calcreto (Netterberg, 1980; Goudie, 1983; Manchette, 1985).	54
Tabela 2.2 Diferenciação entre calcretos pedogénicos e freáticos (Pimentel et al, 1996).	55
Tabela 2.3 Descrição dos horizontes presentes num perfil de calcreto pedogénico (adaptado de Alonso-Zarza, 2003).....	57
Tabela 3.1 Resumo da amostragem efetuada.	66
Tabela 3.2 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos no fosso 1 do Monte Carrascal e dos materiais representativos da geologia local.	69
Tabela 3.3 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos no fosso e na fossa do Monte de Cortes e dos materiais representativos da geologia local.	75
Tabela 3.4 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos na fossa de Covas e no perfil de calcreto representativo da geologia local.....	80
Tabela 3.5 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos nas fossas do Outeiro Alto e do calcreto representativo da geologia local.....	85
Tabela 3.6 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos na estrutura negativa da Horta dos Quarteirões e nos perfis de xistos alterados e carbonatados representativos da geologia local.	92
Tabela 3.7 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos na Malhada da Orada e no perfil de granito representativo da geologia local.	95
Tabela 3.8 Correspondência entre as amostras do preenchimento do fosso e as amostras recolhidas nos perfis das paredes do fosso (representativas da geologia).....	103
Tabela 3.9 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos no Povoado dos Perdigões e dos materiais representativos da geologia local.....	106
Tabela 4.1. Espaçamentos dos máximos de difração e poderes refletores típicos de cada mineral (Schultz, 1964; Biscaye, 1965; Martín Pozas, 1968; Rocha, 1993).	118
Tabela 4.2 Sequência de medidas aplicadas às frações estudadas dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil.	132
Tabela 4.3 Sequências de medição SAR-OSL aplicadas às frações enriquecidas em quartzo das amostras selecionadas para datação.	134
Tabela 4.4 Modo de combinação das taxas de dose alfa, beta e gama para o cálculo da taxa de dose em determinações feitas em frações enriquecidas em quartzo fino e grosseiro.....	136
Tabela 5.1 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas no Monte Carrascal	177
Tabela 5.2 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.	180
Tabela 5.3 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas no fosso do Monte Carrascal.	182
Tabela 5.4 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas no fosso do Monte Carrascal.	182
Tabela 5.5 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas no Monte de Cortes.	229
Tabela 5.6 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.	232
Tabela 5.7 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.....	233
Tabela 5.8 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.....	233
Tabela 5.9 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas na fossa em Covas.	278
Tabela 5.10 Dose absorvida pelo quatzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento CV1 e CV2 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase, na fossa em	

Covas, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.	282
Tabela 5.11 Dose absorvida pelo quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento CV1 e CV3 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase, na fossa em Covas, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.	284
Tabela 5.12 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas na fossa em Covas, atendendo às aproximações necessárias para a determinação em grãos finos e grosseiros.	284
Tabela 5.13 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas na fossa em Covas utilizando o protocolo SAR – OSL em grãos de quartzo finos (QZF) e grosseiros (QZG). ..	285
Tabela 5.14 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas nas fossas 22 e 30 e no hipogeu 4/5 no Outeiro Alto.	317
Tabela 5.15 Dose absorvida pelo quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.	320
Tabela 5.16 Dose absorvida pelo quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento das estruturas negativas do Outeiro Alto determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.	324
Tabela 5.17 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas nas estruturas negativas do Outeiro Alto, atendendo às aproximações necessárias para a determinação em grãos finos e grosseiros.	324
Tabela 5.18 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas nas estruturas negativas no Outeiro Alto utilizando o protocolo SAR – OSL em grãos de quartzo finos (QZF) e grosseiros (QZG).	325
Tabela 5.19 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.	368
Tabela 5.20 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância. ..	370
Tabela 5.21 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.	371
Tabela 5.22 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.	372
Tabela 5.23 Sensibilidade e dose absorvida nos testes iniciais pelos grãos de quartzo grosseiro extraídos da amostra MO1, recolhida no sítio arqueológico da Malhada da Orada.	394
Tabela 5.24 Índice mineralógico de alteração dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões.	412
Tabela 5.25 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdigões.	464
Tabela 5.26 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdigões, determinadas pelos protocolos SAR- OSL I e II.	468
Tabela 5.27 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdigões, considerando os grãos de quartzo grosseiro.	472
Tabela 5.28 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões.	474

1 Introdução

1.1 Enquadramento do trabalho e objetivos

A região do Alentejo é conhecida pela importância histórica da ocupação humana em Portugal, desde a pré-história. A investigação arqueológica nesta região tem-se focado essencialmente nos sítios arqueológicos mais evidentes e de maiores dimensões, que foram intensificados no âmbito dos estudos de impacto da barragem do Alqueva. Após a implementação desta, a construção de linhas de rega, veio revelar estruturas arqueológicas negativas cuja identificação do tipo de utilização e a datação da ocupação suscitaram o interesse da comunidade científica.

A expressão “mundo Pré-Histórico negativo” surge na sequência do carácter inédito do ponto de vista arqueológico (arquitetónico e funcional) destas estruturas escavadas no substrato geológico, no Alentejo. Nesta região, em particular na peneplanície de Beja o megalitismo clássico tem uma expressão residual e, como oposição, surge recentemente o conhecimento acerca de estruturas escavadas (fossos, fossas e hipogeus) de onde resulta a designação de “negativas”, cronologicamente atribuídas ao período entre o Neolítico e a Idade do Bronze (Valera et al, 2014b). Os fossos correspondem a valas escavadas no substrato, com configuração circular e profundidade variável enquanto as estruturas designadas por fossas correspondem a cavidades genericamente circulares que podem apresentar profundidades e diâmetros distintos. Como hipogeu entenda-se um monumento funerário subterrâneo. Estas estruturas negativas foram escavadas maioritariamente em substratos geológicos pouco consolidados, na sua maioria ricos em calcite, bem como compostos por material proveniente da meteorização de dioritos e gabros associados, e ainda em materiais de alteração de granito, em diferentes contextos geológicos da Zona Ossa Morena.

Estas estruturas arqueológicas negativas acumularam no seu interior materiais que na sua maioria são desprovidos de artefactos, o que condiciona as interpretações arqueológicas quanto ao modo como foram preenchidas, bem como a sua cronologia. No que respeita à cronologia deste tipo de estruturas existem já estudos para sítios arqueológicos na região, na sua maioria datações por radiocarbono (Cardoso, 2009, 2012; Valera, 2012a, 2013a-c; Valera et al, 2014d) e algumas com recurso a luminescência (Odriozola et al, 2014). Contudo, na datação absoluta de estruturas negativas, quando o problema da quantidade de artefactos não se coloca e é possível o recurso à datação de material orgânico por radiocarbono, surgem questões problemáticas. Entre elas salienta-se: i) a dificuldade em datar diretamente a abertura das estruturas, mas sim a morte de elementos orgânicos que são integrados nos enchimentos destas estruturas, podendo estes ocorrer com um intervalo de tempo significativo relativamente à abertura da estrutura; ii) o ritmo da colmatação que não é uma questão alheia para a interpretação da funcionalidade das estruturas e a determinação da natureza social e/ou natural dos processos de enchimento; iii) a existência numerosa de estruturas negativas, com períodos de construção, ocupação e abandono, aleada à possibilidade de reescavação e reutilização de espaços e materiais perturbando a relação

estratigráfica; e iv) o processo de construção das estruturas nem sempre ocorre em simultâneo em toda a sua área (Valera, 2013c).

Foram então colocadas novas questões arqueológicas quanto à natureza, dinâmica e cronologia do preenchimento destas estruturas, para as quais este trabalho visa contribuir com uma nova abordagem metodológica e interpretativa. Realiza-se um primeiro estudo composicional e dosimétrico de materiais de preenchimento de estruturas negativas, num conjunto de 7 sítios arqueológicos (Monte Carrascal, Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto, Horta dos Quarteirões, Malhada da Orada e Recinto de fossos dos Perdigões), localizados nos distritos de Évora e Beja. Estes sítios incluem recintos de fossos, fossas e hipogeus, associados com as sociedades do Neolítico ao início da Idade do Bronze (Ferreira et al, 2009b; Santos, 2011a-b; Valera, 2010a-b, 2011, 2012a-b, 2013a-c; Valera e Filipe, 2010, 2012; Valera et al, 2014a-d).

Desta forma, este trabalho justifica-se pela necessidade de caracterização composicional desses materiais de preenchimento de estruturas negativas e do seu substrato geológico, na tentativa de uma melhor interpretação da dinâmica de preenchimento, assim como discutir questões relativas à génese dos diferentes materiais de preenchimento, contemplando questões paleoambientais, dosimétricas e cronológicas. Neste sentido, a datação por luminescência pode contribuir para a datação de materiais de preenchimento (não orgânico), de artefactos (quando existentes), bem como do substrato, contribuindo com dados para as estruturas desprovidas de material orgânico (por exemplo ossos) e com o aumento do número de dados numa determinada sequência estratigráfica, contribuindo para uma boa série cronológica, em especial com recurso a recolha de amostras em perfil para uma estimativa da idade aparente tanto verticalmente, como em área. Neste trabalho, a datação de artefactos não foi contemplada, privilegiando a dos materiais de preenchimento das estruturas arqueológicas, bem como o estudo do comportamento luminescente detalhado, como resposta à estimulação, em perfis ao longo da sequência estratigráfica de enchimento das estruturas. Refira-se ainda que, dada a natureza dos solos da região, em casos como nos sítios do Outeiro Alto e do Recinto de fossos dos Perdigões, a datação por radiocarbono nem sempre foi possível pelo facto dos ossos não terem quantidade de colagénio suficiente para tal (Evangelista e Silva, 2013; Valera e Filipe, 2012).

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito de uma bolsa de doutoramento, concedida pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/62396/2009), constituindo o primeiro estudo realizado em estruturas pré-históricas negativas do país, e contextos geológicos associados, recorrendo à conjugação de metodologias do âmbito das ciências da terra, para a resolução de problemas arqueológicos, nomeadamente a geoquímica, mineralogia e luminescência. Para este tipo de estruturas não foram também encontradas referências internacionais que apliquem simultaneamente e com o detalhe efetuado esta abordagem metodológica aos materiais de preenchimento e substrato geológico, para responder ao tipo de questões colocadas.

Este trabalho, atendendo aos materiais estudados, às metodologias aplicadas e aos objetivos propostos, no que concerne às questões arqueológicas que pretende responder, enquadra-se nos domínios da geoarqueologia e/ou da arqueometria, ambos visando o estudo dos contextos arqueológicos sob a aplicação de metodologias comuns

e usadas nas ciências da terra e nas ciências físicas de forma colaborativa e interdisciplinar (Herz e Garrison, 1998; Reits e Shackley, 2012). O conceito de arqueometria surgiu em 1958, associado à criação da revista *Archaeometry* pelo Research Laboratory for Archaeology and the History of Art onde estão publicados trabalhos de aplicação das ciências ditas exatas na investigação arqueológica. Os principais métodos físicos e químicos utilizados em arqueometria são os relacionados com técnicas de prospecção, obtenção de cronologias absolutas e análise de artefactos arqueológicos (Herz e Garrison, 1998; Angelucci, 2003). A palavra “Geoarqueologia” começou a aparecer de forma frequente na bibliografia arqueológica a partir dos anos 70 do século passado. Com este termo pretendia-se indicar a disciplina científica que, utilizando conceitos e técnicas das Ciências da Terra, visa solucionar problemas arqueológicos. Na sua aceção original, “Geoarqueologia” indica assim uma ciência inter- e multidisciplinar que emprega aproximações teóricas, vocabulários e instrumentos metodológicos variados, provenientes quer das Ciências da Terra, quer da Arqueologia. No entanto, o início da utilização, de forma específica, de conceitos e técnicas das Geociências à Arqueologia data dos anos 50-60 do século passado. Em 1958, Ian Cornwall publica o manual *Soils for the Archaeologist* e, poucos anos depois, Karl W. Butzer (1964) edita *Environment and Archaeology: An Introduction to Pleistocene Geography*, livro onde métodos geológicos são sistematicamente aplicados na classificação de sítios pré-históricos e na reconstituição paleoambiental, referido em Angelucci (2003).

Os dados fornecidos pelas ciências da terra são fundamentais para a compreensão de como a paisagem se transformou no decurso do tempo, como as comunidades humanas do passado exploraram e modificaram os seus territórios, como se formaram os depósitos arqueológicos e quais são as informações que podemos recolher da análise estratigráfica. Em suma, permitem conhecer de que forma os grupos humanos interagiram com o contexto paisagístico em que viveram, levando à compreensão das inter-relações existentes entre os grupos humanos do passado e o ambiente à sua volta (Angelucci, 2003). De um modo geral, e independentemente da designação aplicada (Geoarqueologia, Arqueometria), estes estudos multidisciplinares, consoante a problemática em estudo, podem focar-se em: i) estabelecer cronologias e estratigrafias arqueológicas por forma a reconstruir sequências estratigráficas, localizando-as no tempo, tanto ao nível local como numa área mais abrangente; ii) estudos paleoambientais com vista à reconstituição do ambiente físico, das suas modificações no tempo e das relações com as oscilações climáticas a nível global ou regional; iii) compreender as inter-relações entre o Homem e o ambiente, com o intuito de estabelecer o sistema de ocupação e compreender as relações entre povoamento e ambiente físico, assim como a utilização dos recursos naturais ou os efeitos do impacto antrópico sobre o território; iv) estudos que se centram nos processos de formação dos sítios arqueológicos e dos seus componentes, nas interferências entre processos antrópicos e não antrópicos, nas modificações durante e pós-deposicionais dos elementos arqueológicos e na conservação dos artefactos; v) estudo da composição e proveniência de matérias-primas utilizados na produção de artefactos (Cardoso, 1996; Herz e Garrison, 1998; Angelucci, 2003; Goldberg e Macphail, 2006; Reits e Shackley, 2012).

Verificou-se nos últimos anos um aumento de estudos interdisciplinares na área de arqueometria/geoarqueologia, no que respeita ao país e na região Sul em particular, que

nesta região teve especial impulso com a construção da barragem do Alqueva, e os consequentes canais de rega. Destacam-se na região estudos arqueométricos, nomeadamente relacionados com a proveniência e tecnologia de produção cerâmica (Calado, 2008; Dias, 2008; Dias et al, 2003a-d, 2005a-b; 2007, 2008a, 2012, 2013a-c), bem como no país (Antunes et al, 2013; Cardoso et al, 2014; Coroado et al, 2005, 2010, 2013; Coroado e Gomes, 2005; Dias et al, 2002, 2010; Le Gac et al, 2012a-b, 2015; Pessenha et al, 2013a-b; Prudêncio, 2008; Prudêncio et al, 2006, 2009; Triães, et al, 2012a-b), e de datação por luminescência (Burbidge et al, 2014; Richter et al, 2014; Calado, 2008; Dias et al, 2008b, 2009). Também a um nível regional mais alargado, já na vizinha Espanha, realizaram-se trabalhos de datação por luminescência em estruturas negativas para o sítio arqueológico de Las Mesas (margem este do rio Guadiana, Badajoz - Espanha), enquadrado na mesma zona geológica (Zona Ossa Morena) (Odriozola et al, 2009, 2014). Ainda no âmbito de estudos geoarqueológicos, Angelucci (2003) cita um conjunto de projetos realizados e em curso (à data da publicação) em Portugal pelo laboratório de geoarqueologia do Ex-IPA, com um especial foco em sítios arqueológicos no Alto Alentejo. São também de destacar os trabalhos realizados no âmbito de estudos de geofísica, arqueometalurgia e arqueologia isotópica, no país e em especial na região em estudo (Araújo et al, 2013; Becker, 1999; Carvalho, 2013; Carvalho e Petche, 2013; Carvalho et al, 2012; Lubell et al, 1994; Márquez Romero et al, 2011a; Soares et al, 2012; Valera e Becker, *no prelo*, 2011; Valera et al, *no prelo*; Valério et al, 2012, 2014; Waterman et al, 2014).

Os sítios arqueológicos aqui estudados encontram-se na sua maioria no âmbito dos estudos de impacte ambiental decorrentes da instalação dos referidos canais de rega da barragem do Alqueva, sob responsabilidade da empresa ERA Arqueologia. Refira-se ainda que parte do programa de trabalhos desta dissertação complementa os objectivos referentes a um dos sítios arqueológicos estudados (Recinto de fossos dos Perdigões), no âmbito do projeto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC-CS/ANT/104333/2008), (Silva et al, 2010), designado por “Death management in Recent Prehistory: funerary practices in Perdigões enclosure” (Gestão da morte na Pré-História Recente: práticas funerárias no recinto dos Perdigões), com a participação da Universidade de Coimbra, Era Arqueologia SA e Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico. A abordagem interdisciplinar deste projecto, para além dos estudos antropológicos, contempla o estudo composicional das pastas das cerâmicas dos sepulcros e povoado dos Perdigões, e potenciais matérias-primas, através de análises químicas por ativação neutrónica (AAN) e mineralógicas por difração de raios-X (DRX), assim como a datação por luminescência de artefactos e paleossolos.

Realce-se que a seleção dos sítios a estudar neste trabalho, para além de contemplar a disponibilidade existente de resultados/questões decorrentes de escavações arqueológicas, contemplou também o aspeto referente ao contexto geológico, no intuito de melhor avaliar em que medida este condicionaria o comportamento dos materiais, particularmente os referentes à dosimetria e características que pudessem condicionar a datação por luminescência. Este facto é muito relevante em termos de datação por luminescência, pois minerais diferentes respondem de modo distinto ao estímulo por luminescência e um dado mineral responderá de forma distinta consoante a sua natureza e a concentração de defeitos na sua rede cristalina (Krbetschek et al, 1997; Hashimoto et al, 2007; Wintle, 2008; Preusser

et al, 2009). No quartzo este aspeto tem vindo a ser relacionado com o ambiente geoquímico e o historial geomorfológico do material (Hashimoto et al, 2007; Pietsch et al, 2008; Zheng et al, 2009; Fitzsimmons, 2011; Lü e Sun, 2011; Sawakuchi et al; 2011; Jeong e Choi, 2012). No presente trabalho este aspeto é estudado de uma forma estratigraficamente detalhada através da aplicação de uma abordagem recente à análise de diferentes sinais de luminescência estimulada (IRSL, OSL e TSL) (Burbidge et al, 2007; Rodrigues et al, 2013; Sanderson et al, 2001, 2008) e também com recurso a análises por radioluminescência que permitem analisar diretamente a sensibilidade das amostras à radiação (Burbidge, 2012; Martini et al, 2012), estas últimas realizadas no âmbito do Convénio Bilateral FCT/CNR 2011-2012 (italia128584682220330) com a Universidade de Milano-Bicocca.

A presença de calcite (mineral predominante em muitos dos sítios estudados), nos materiais a estudar por luminescência, é desde há muito considerada problemática e condicionante da obtenção de idades exatas por luminescência, nomeadamente no que respeita à influência da presença de calcite na determinação da taxa de dose. Efetivamente a obtenção de datações por luminescência em quartzo proveniente de materiais carbonatados é citada em vários estudos como sendo uma situação problemática e um desafio (Aitken, 1985; Prescott e Robertson, 1997; Roberts, 1997; Wintle, 2008; Nathan e Mauz, 2008), dadas as dificuldades existentes no cálculo da taxa de dose nestes materiais carbonatados devido ao empobrecimento na generalidade dos elementos, aos problemas de equilíbrio na série dos radionuclídeos de interesse, bem como às questões da retenção de água pelas amostras carbonatadas. Este aspeto é explorado neste trabalho, através de avaliações radiométricas de radionuclídeos em geometrias diferentes e ao longo das séries naturais, de espectrometria gama *in situ* e no laboratório, integrados com análises geoquímicas: actividades desenvolvidas e apresentadas no âmbito do projecto financiado pela Fundação Ciência e Tecnologia PTDC/AAC-AMB/121375/2010. Neste trabalho é proposta uma nova abordagem metodológica para a determinação da taxa de dose, visando contribuir para a sua discussão e reflexão. A luminescência é aplicada ao estudo de contextos arqueológicos, com o objetivo de datar, quer artefactos, quer estruturas e deposições de materiais, sempre considerando a existência de um evento de interesse, geralmente o último aquecimento ou a última exposição à luz, utilizando a capacidade de acumulação de cargas nos minerais, em especial de minerais de silício como o quartzo e os feldspatos (Aitken, 1999; Bailiff, 2014; Burbidge et al, 2007; Feathers, 1997, 2003; Liritzis, 2011; Richter et al, 2014; Roberts, 1997; Roberts et al, 2015; Robertson e Prescott, 2006; Sanderson et al, 2003, 2007; Wintle, 2008). Para além da aplicação da luminescência aos estudos geoarqueológicos, as técnicas de luminescência são também utilizadas no estudo de eventos no âmbito da geomorfologia e paleoambiente (Cordier et al, 2010; Fuchs e Lang, 2009; Kinnaird et al, 2013; Liritzis, 2000a-b; Lian e Roberts, 2006; Madsen e Murray, 2009; Prescott e Robertson, 1997; Rhodes, 2011; Singhvi e Porat, 2008; Stokes, 1999).

Relativamente à abordagem geoquímica realce-se ainda que se utilizaram para além dos elementos maiores, maioritariamente determinados por FRX, a determinação da concentração de um conjunto alargado de elementos traço maioritariamente determinados por AAN (com elevada precisão e exatidão), de onde se destacam os elementos terras raras, que apresentam vantagens para o cumprimento dos objetivos em

questões, pois constituem os melhores indicadores para a distinção de materiais, quanto à sua proveniência e ambiente de formação (Bauluz et al, 2000; Compton et al, 2003; Dias e Prudêncio, 2006; Dias, 2013; Dias et al, 2003d; Feng et al, 2010; Gallelo, 2013; Ghosh e Sarkar, 2010; Gong et al, 2011; Hoefs, 2010; Laveuf e Cornu, 2009; López et al, 2005; Marques, 2007; Marques et al, 2010, 2012; Modi, 2011; Prudêncio et al, 2007, 2011; Sheldon e Tabor, 2009; Trindade et al, 2006, 2010a-b). Um indicador geoquímico fornece informações sobre a origem, a formação e/ou o ambiente de uma amostra geológica ou artefacto, não sofrendo praticamente alteração ao longo do tempo. Uma aplicação clássica dos indicadores geoquímicos é o seu uso em estudos de proveniência. É comum considerarem-se como indicadores geoquímicos concentrações pouco comuns de um dado elemento, moléculas orgânicas características, diferentes classes de radionuclídeos e grupos de elementos traço que apresentem padrões de comportamento, como é o caso dos elementos terras raras (Hoefs, 2010). Para que se possa ter em consideração um indicador geoquímico é essencial ter em conta a sua mobilidade durante os processos secundários (Hoefs, 2010). A mobilidade dos elementos traço é controlada pelas mudanças mineralógicas que ocorrem durante as alterações secundárias e pela natureza dos fluidos presentes num determinado ambiente. Os elementos traço são por norma considerados elementos móveis (López et al, 2005), contudo, elementos com um campo de potencial elevado (as terras raras, o Sc, o Y, o Th, o Zr, o Hf, o Ti, o Nb e o Ta) são considerados imóveis (Bauluz et al, 2000; Ghosh e Sarkar, 2010; Hoefs, 2010; Laveuf e Cornu, 2009; López et al, 2005; Sheldon e Tabor, 2009). O estudo da composição química dos solos e paleossolos possibilita obter informações sobre as características da área de origem ou das rochas-fonte e das condições químicas e climáticas dominantes. Por outro lado, podem também dar-nos indicações sobre a ocupação humana, como o P que traz importantes contribuições para a arqueologia, particularmente com vestígios de ossos, permitindo estimar o tamanho da população, duração e intensidade do assentamento, determinando a alimentação básica e estabelecendo a idade relativa e/ou absoluta do sítio (Collins e Shapiro, 1987; Griffith, 1981; Sjöberg, 1976; Woods, 1984). Com efeito, o facto de neste trabalho se determinarem um conjunto de elementos traço de elevado potencial constituirá sem dúvida uma mais-valia do programa de trabalhos, com vista a obter inferências quanto à proveniência e dinâmica dos materiais de preenchimento, bem como também teve potencial na interpretação dos vestígios da actividade humana. Elementos como o Cu, Ca, Zn e principalmente P são considerados excelentes marcadores geoquímicos (Novais et al, 1993) de ambientes de ocupação humana, aliás as concentrações de P, N, Ca, Cu, Zn, Ag, Mn podem ser interpretadas também como locais onde o “lixo” era depositado (Sokoloff e Carter, 1952), já que o modo de vida das populações proporcionou a dispersão e concentração desses marcadores geoquímicos, como resultado da concentração setorial de artefactos líticos e cerâmicos, carvões, ossadas, e outros resíduos orgânicos. Os estudos de geoquímica e mineralogia contemplados neste trabalho, particularmente da fração < 2 µm, visam a obtenção de dados úteis para o estabelecimento de proveniência dos materiais, dinâmica do enchimento e paleoambientes dos materiais que deram origem ao preenchimento das estruturas negativas. Com efeito, o estudo da composição química e mineralógica da fração argilosa é usualmente utilizada para estudos de definição de paleoambientes (Churchman e Lowe, 2012; Daoudi, 2008; Dias, 2013; Gomes, 2002; Martins et al, 2013; Rocha, 1993, 2011; Rocha e Gomes, 1995; Rocha et al, 2005; Shahbaz, 2013; Sheldon e Tabor, 2009; Trindade et al, 2010a) e também em estudos arqueométricos, particularmente no âmbito

de estudo de proveniências de matérias-primas para artefactos cerâmicos (Dias et al, 2003a-d, 2005a-b, 2007, 2010a, 2012; Prudêncio e Dias, 2014).

Este trabalho pretende assim contribuir para responder a uma série de questões do foro histórico-arqueológico das sociedades pré-históricas regionais, usando ferramentas e métodos analíticos, de forma integrada e interdisciplinar, não usados normalmente em conjunto para a interpretação deste “mundo em negativo”. Ao longo deste trabalho, tentou-se articular as informações do foro arqueológico com os dados obtidos, embora certamente trabalhos futuros com detalhes para cada problemática e com abordagem interdisciplinar mais vincada se vislumbrem na forma de publicações científicas.

Apontam-se como principais objetivos gerais (os objetivos específicos são apresentados mais detalhadamente na apresentação de cada um dos sítios e respetivas problemáticas) os seguintes:

- Caracterizar os materiais de preenchimento das estruturas arqueológicas negativas e dos materiais representativos da geologia local, recorrendo à análise química de elementos maiores, menores e traço, e à análise mineralógica, para a amostra total e a fração argilosa;
- Contribuir para o estabelecimento da proveniência dos materiais de preenchimento das estruturas negativas, tendo em consideração padrões de comportamento geoquímico e mineralógico da amostra total e da fração argilosa, e respetivos paleoambientes;
- Contribuir para a classificação genética dos calcretos no Alentejo, tendo em vista critérios geoquímicos e mineralógicos;
- Compreender os processos de preenchimento das estruturas negativas após abandono, tendo em consideração o estudo composicional e dosimétrico dos materiais de preenchimento e do contexto geológico, e as informações obtidas pelas escavações arqueológicas;
- Datar os materiais de preenchimento das estruturas arqueológicas negativas para complementar os dados de cronologia absoluta existentes para a região, explorando os aspetos da dose absorvida pelo quartzo com recurso à luminescência, tendo em consideração os diferentes substratos geológicos;
- Contribuir para o conhecimento e valorização do património natural e cultural da área circundante à barragem do Alqueva.

1.2 Organização do trabalho

Este trabalho apresenta-se dividido em 8 capítulos e em 5 anexos. O primeiro capítulo corresponde à introdução, enquadramento do trabalho e objetivos, e é onde é efetuada uma breve revisão do estado da arte no âmbito da geoarqueologia/arqueometria considerando os principais objetivos deste trabalho. O segundo capítulo centra-se na descrição do contexto geográfico, arqueológico e geológico. Neste capítulo é apresentada a localização geográfica dos sete sítios arqueológicos estudados, bem como o enquadramento arqueológico e geológico para cada um deles com a respetiva definição de objetivos específicos atendendo às problemáticas em causa. Neste capítulo é feita ainda uma revisão da literatura no que

respeita aos calcretos (nomeadamente a sua classificação quanto à génese), o substrato geológico carbonatado onde a grande maioria das estruturas foi escavada, dando especial ênfase aos materiais carbonatados do Alentejo. A informação obtida com esta revisão da literatura sobre calcretos será depois utilizada na interpretação e classificação realizada no capítulo referente (capítulo 5) aos resultados e discussão desses materiais amostrados neste trabalho nos cinco sítios arqueológicos que neles se implantam. O terceiro capítulo refere-se à descrição da metodologia de amostragem e da amostragem propriamente dita em cada uma das estruturas negativas e no substrato geológico envolvente. No quarto capítulo é feita a descrição da metodologia laboratorial utilizada, bem como a descrição do processamento dos dados obtidos. No capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos, divididos em secções de acordo com o sítio arqueológico, sendo cada secção finalizada pelas principais conclusões obtidas pelas várias abordagens metodológicas à luz da contribuição para a resolução do(s) problema(s) colocado(s). O capítulo 5 é finalizado com um estudo comparativo focando as principais diferenças e semelhanças encontradas nos diferentes sítios arqueológicos e respetivos substratos geológicos. O capítulo 6 contém as conclusões finais e perspetivas futuras. No capítulo 7 são elencadas as referências bibliográficas utilizadas e no capítulo 8 os trabalhos apresentados no âmbito da tese. Seguem-se os anexos apresentados em formato digital (em CD), onde são apresentados os formulários de amostragem e os dados obtidos pelas análises granulométricas, mineralógicas, químicas e dosimétricas.

2 O contexto geográfico, arqueológico e geológico

Os materiais estudados no presente trabalho, provêm de sete sítios arqueológicos localizados no Alentejo. Estes sítios têm em comum o facto de apresentarem estruturas arqueológicas negativas (fossos e fossas), que foram alvo de trabalhos de escavação arqueológica, alguns deles na fase inicial deste trabalho, o que, indo de encontro aos objetivos do trabalho, facilitou a amostragem em profundidade e em área de materiais de preenchimento dessas estruturas e de materiais representativos da geologia local.

Os sítios arqueológicos estudados distribuem-se por três áreas geográficas, no sul de Portugal (Alentejo), na área envolvente da barragem do Alqueva. Seis dos sítios estudados foram escavados durante a intervenção no âmbito da implementação do sistema de rega da bacia hidrográfica da barragem do Alqueva e encontram-se localizados no distrito de Beja: Monte Carrascal em Ferreira do Alentejo, (Figura 2.1, 1) e Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto, Horta dos Quarteirões e Malhada da Ourada na área geográfica de Brinches-Serpa (Figura 2.1, 2). O outro sítio arqueológico corresponde ao Recinto de fossos dos Perdigões, em Reguengos de Monsaraz, distrito de Évora (Figura 2.1, 3), onde desde há mais de uma década se tem desenvolvido intenso trabalho de investigação no âmbito de vários projetos cujas linhas temáticas são a temporalidade, a caracterização geral dos recintos de fossos, as práticas funerárias, os estudos populacionais, os estudos zoo-arqueológicos, a arqueometria de metais, cerâmicas, pigmentos e artefactos líticos, e os estudos paleontológicos (Aldana, 2000; Bastos, 2013; Cabaço, 2009, 2010, 2012; Coelho, 2008; Costa, 2010, 2013; Danielson e Mendes, 2013; Dias et al, 2008a; Duarte et al, 2006; Evangelista, 2003; Evangelista e Jacinto, 2008; Evangelista e Silva, 2013; Godinho, 2008; Lago, 2003; Lago et al, 1998; Márquez Romero et al, 2008, 2011a-c, 2013a-b; Mata Vivar et al, 2011; Mendonça, 2012; Milesi et al, 2013; Moreno-Garcia e Cabaço, 2009; Odriozola, 2008; Odriozola et al, 2008, 2010; Pereira, 2014; Silva et al, 2010, 2014; Valera, 2003, 2006, 2008a-b, 2010a-b, 2012c; Valera e Evangelista, 2014; Valera e Godinho, 2009, 2010; Valera e Silva, 2011; Valera et al, 2000, 2007, 2008, 2014c-d; Wheeler, 2010).

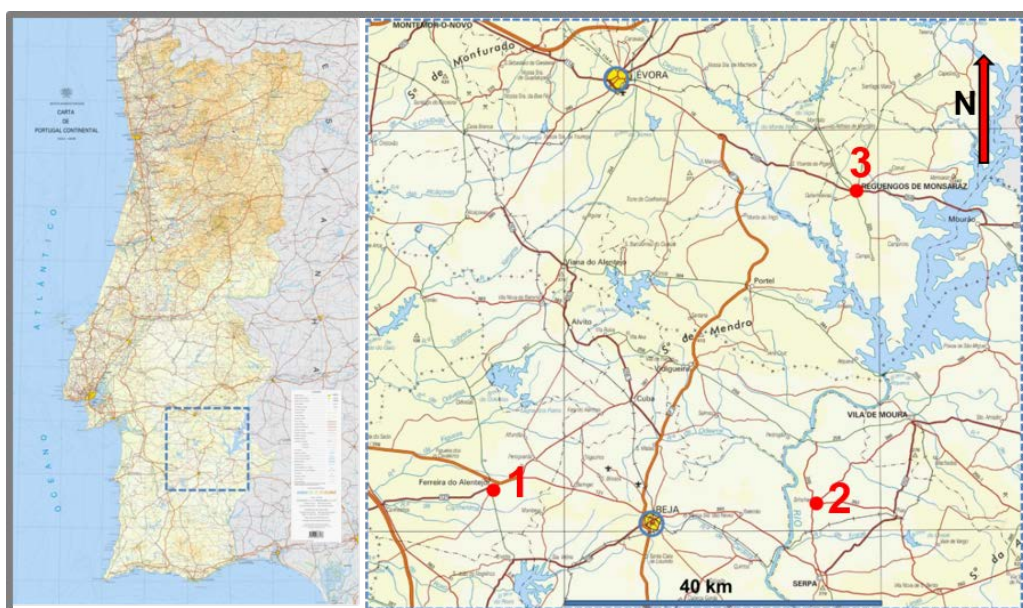


Figura 2.1 Localização geográfica da zona de estudo no mapa de Portugal e detalhe dos sítios arqueológicos estudados. 1- Ferreira do Alentejo; 2- Brinches-Serpa; 3 – Reguengos de Monsaraz.

Do ponto de vista arqueológico, a maioria dos sítios arqueológicos estudados caracterizam-se por serem compostos por fossas, hipogeus e recintos de fossos. A exceção reside no sítio arqueológico da Malhada da Ourada. Esta tipologia de sítios arqueológicos apresenta características inéditas no que diz respeito a estruturas arqueológicas da Pré-história Recente (Valera et al, 2010a; Valera, 2013a). A tipologia das estruturas encontradas nas escavações, bem como os artefactos, permitiram enquadrar estes sítios/estruturas cronológica e culturalmente entre o Neolítico e a Idade do Bronze (Ferreira et al, 2009b; Valera, 2014a-b; Valera et al, 2014b e d; Valera e Filipe, 2004, 2010, 2012; Valera, 2011 2012a-b, 2013a-c; Santos, 2011a-b). No caso dos fossos e fossas com deposições ósseas existem publicações de algumas datas determinadas por radiocarbono, nomeadamente para amostras recolhidas no Recinto de fossos dos Perdigões (Valera, 2012a, 2013b; Valera et al, 2014d). Para o Recinto de fossos dos Perdigões, tem vindo a ser desenvolvido, pelo C2TN, trabalho no âmbito da datação absoluta por luminescência de materiais de preenchimento e artefactos (Burbidge et al, 2012), bem como trabalho de arqueometria de cerâmicas e potenciais matérias-primas (Dias et al, 2005a, 2007, 2008a, 2012), no âmbito de um projeto FCT (Death management in Recent Prehistory: funerary practices in Perdigões enclosure. PTDC/CS-ANT/104333/2008).

O conceito de Recinto de fossos surgiu muito recentemente no panorama arqueológico português, decorrendo do carácter recente da investigação deste tipo de sítios e também da recente perceção da expressão que têm no território nacional (Valera, 2012a-b, 2013a-b). Este tipo de recintos constitui uma das mais comuns e importantes arquiteturas da Pré-história Recente na Europa e apresenta uma das mais longas cronologias. São espaços encerrados e delimitados por linhas de fossos escavados no solo ou no substrato rochoso, que embora possam apresentar plantas muito diversificadas, revelam uma tendência para a circularidade e frequentemente surgem com várias linhas de fossos concêntricas (Figura 2.2). Tanto a área dos recintos como a profundidade dos fossos é muito variável, surgem em diferentes topografias, têm normalmente associadas grandes quantidades de fossas circulares e tempos de “vida” que podem variar entre as poucas centenas e um milhar e meio de anos (Valera, 2013a).

A identificação e estudo de recintos de fossos nesta área tiveram início em 1985, contudo foi entre 1996 e 2013 que um grande número deles foi escavado e se intensificou a investigação (Valera, 2012a-b, 2013a-b). Muitos dos recintos de fossos apresentam particularidades que levam os arqueólogos a interpretá-los como tendo tido uma utilização para fins relacionados com fenómenos astronómicos de forte carga simbólica e cerimonial, para além do propósito de deposição funerária e reunião periódica das comunidades. Entre essas particularidades estão a orientação em relação ao sol, a topografia do local de implementação, a própria arquitetura dos fossos (muitas vezes sinuosos), o preenchimento de origem antrópica sequencial com aberturas, colmatações e reaberturas, e com enchimentos selecionados (Valera, 2012a-b, 2013a-b).

A distribuição destes recintos pelo país evidencia uma significativa concentração no interior do Alentejo, nas Bacias dos rios Guadiana, Tejo e Sado (Valera, 2012a-b), a Ocidente das coberturas Terciárias e Quaternárias do litoral Alentejano na Zona Ossa Morena (Bacias sedimentares Mesocenóicas) e a Norte da Zona Sul Portuguesa (Oliveira, 1992), o que sugere uma condicionante geológica e dos solos no

desenvolvimento deste tipo de arquiteturas e dos sistemas sociais associados (Figura 2.3) (Valera e Pereiro, 2013; Valera, 2013a).

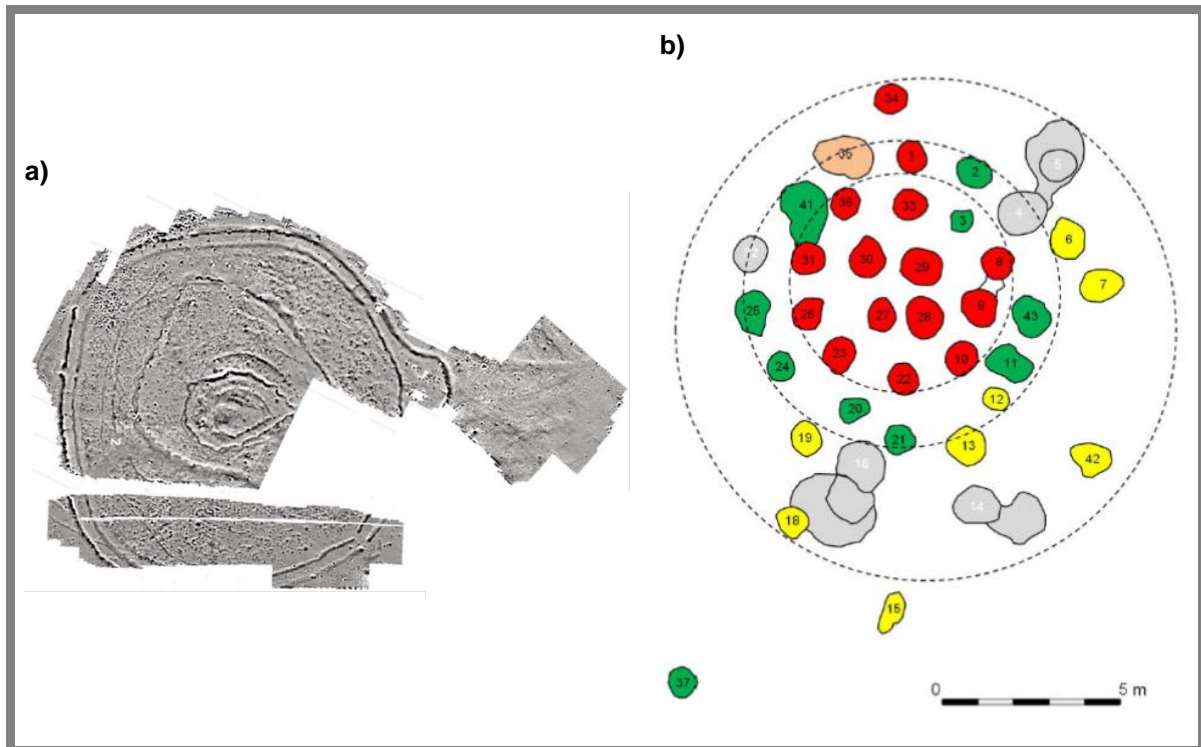


Figura 2.2 a) Magnetograma do Recinto de fossos dos Perdigões, adaptado de Valera (2013b); b) Esquema ilustrativo da distribuição de fossos no núcleo C do Outeiro Alto, adaptado de Valera e Filipe (2012).

Do ponto de vista geológico, a área em que se encontram implementados os sítios arqueológicos estudados está inserida na Zona Ossa-Morena (ZOM), uma das zonas tectonoestratigráficas em que se divide o Maciço Ibérico (Ribeiro et al, 1979). O Maciço Ibérico, como parte do soco Varisco, aflora essencialmente na zona Ocidental da Península Ibérica, com idades que vão do Precâmbrico ao Paleozóico Superior, parcialmente coberto por formações mesocenozóicas (Ribeiro et al, 1979). Neste maciço não se registam reativações significativas decorridas durante os eventos tectonometamórficos alpinos. Deu-se fundamentalmente erosão dos relevos herdados do Paleozóico, e no Cenozóico acumularam-se alguns produtos resultantes dessa erosão em bacias continentais tectonicamente condicionadas por zonas de falha (Ribeiro et al, 1979; Araújo e Marques, 2002). Com base em critérios estratigráficos, magmáticos, metamórficos e estruturais, a divisão do Maciço Ibérico é feita em diferentes zonas tectonoestratigráficas (Ribeiro et al, 1979). A Zona de Ossa-Morena encontra-se limitada Meridionalmente pelo Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches, que materializa a sutura Varisca, entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Sul-Portuguesa (Pedro et al, 2006; Ribeiro et al, 2010). A norte a limitação é feita pela Zona Centro-Ibérica, e a oeste pela Orla Ocidental. As características litológicas, estruturais, metamórficas e ígneas variam em função do andar estrutural e da idade das formações. Estas diferenças permitem dividir a Zona de Ossa-Morena em diferentes domínios, subdomínios, zonas, subzonas ou sectores (Figura 2.4). Atualmente é aceite a divisão em sectores proferida por Oliveira et al (1991) que segundo a qual a ZOM se divide em cinco sectores: Faixa

Blastomilonítica, Alter do Chão-Elvas, Estremoz-Barrancos, Montemor-Ficalho e Maciço de Beja (Complexo Ígneo de Beja).

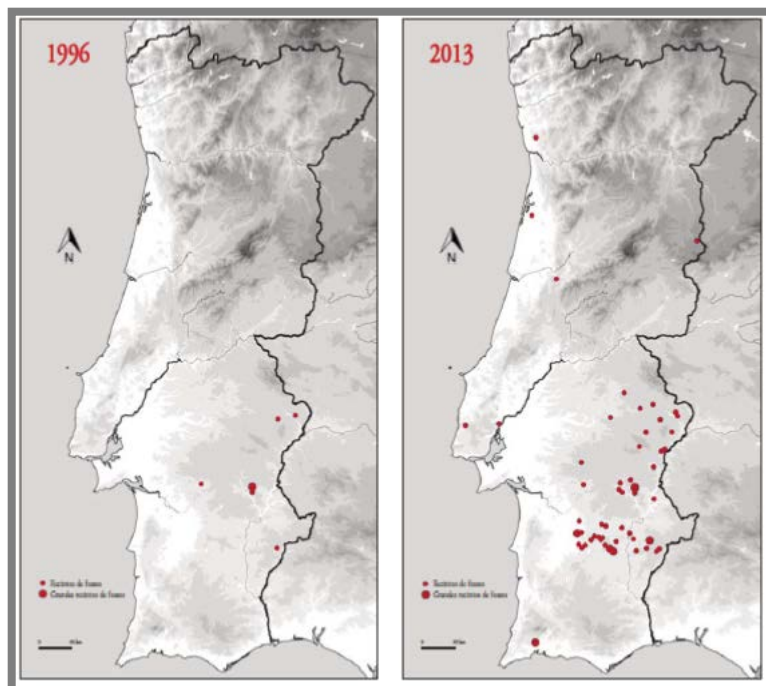


Figura 2.3 Distribuição dos recintos de fossos em Portugal, evidenciando o significativo aumento de registos nos últimos anos, a sua grande concentração no interior alentejano, mas também extensão pontual a zonas setentrionais do país (adaptado de Valera, 2013a).

Os sítios arqueológicos estudados encontram-se localizados maioritariamente em zonas de coberturas Mesocenozóicas das bacias sedimentares do Sado (Bacia de Alvalade) e do Guadiana (Bacia de Moura), que cobrem quer o complexo Ígneo de Beja (Monte Carrascal), quer o sector de Montemor-Ficalho (Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões). As coberturas Mesocenozóicas em questão são formações altamente carbonatadas do Paleogénico e Neogénico com unidades continentais no interior do território, que passam, progressivamente, a sedimentação marinha nas áreas mais próximas do litoral atual (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970; Oliveira, 1992; Cunha et al, 2009; Pais et al, 2010, 2012, 2013)

Os sítios arqueológicos Malhada da Ourada e Recinto de fossos dos Perdigões encontram-se localizados em locais formados por produtos de meteorização de granitóides Tardi-Variscos: granitos do Maciço do Pedrogão e dioritos e gabros associados do Maciço de Reguengos, respetivamente (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970; Oliveira, 1992; Carvalhosa e Zbyzewski, 1991).

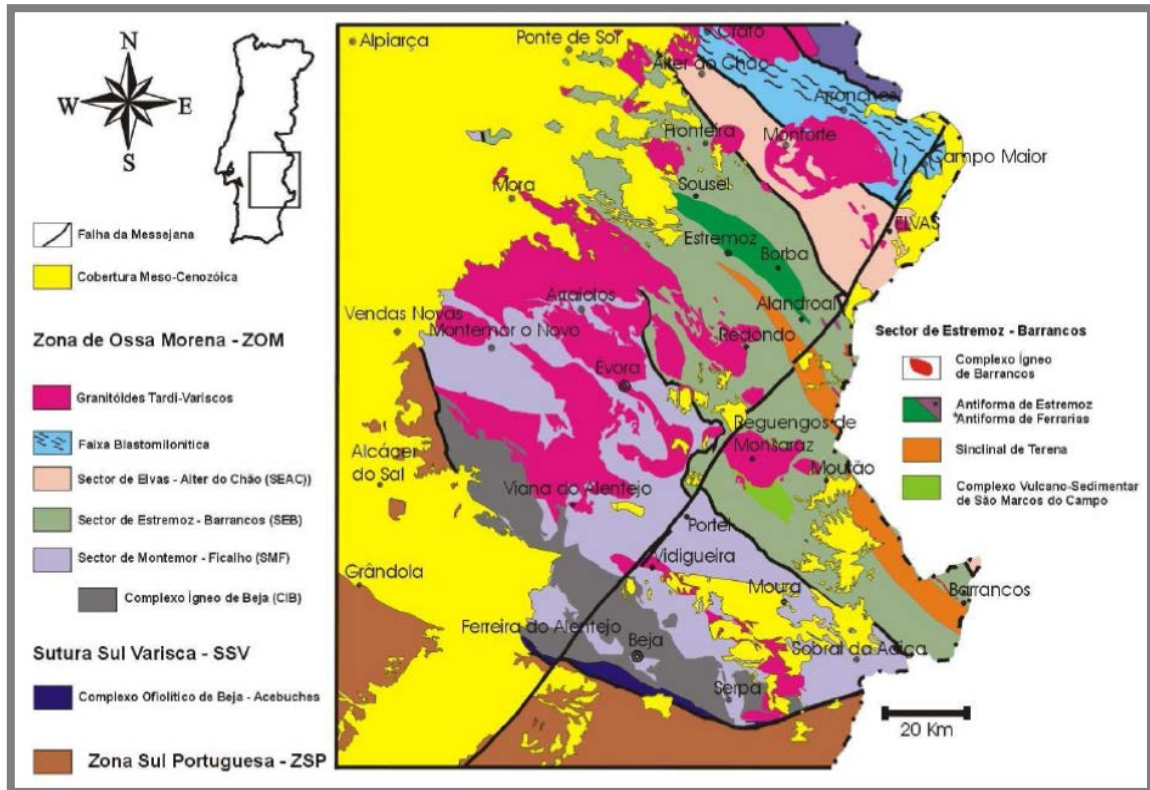


Figura 2.4 Localização da Zona Ossa-Morena no contexto geológico de Portugal Continental (adaptado de Araújo et al, 2006)

2.1 Os sítios arqueológicos estudados - localização, descrição e problemáticas

2.1.1 Monte Carrascal

O Monte Carrascal localiza-se a cerca de 400 m a norte da Ribeira de Vale do Ouro, numa área de declive muito suave, quase aplanada, que culmina num ponto mais elevado (125 m de altitude), mas pouco destacado em relação à peneplanície a norte de Ferreira do Alentejo, na coordenada: 38° 4'32.84"N 8° 6'34.76"W (Figura 2.5)

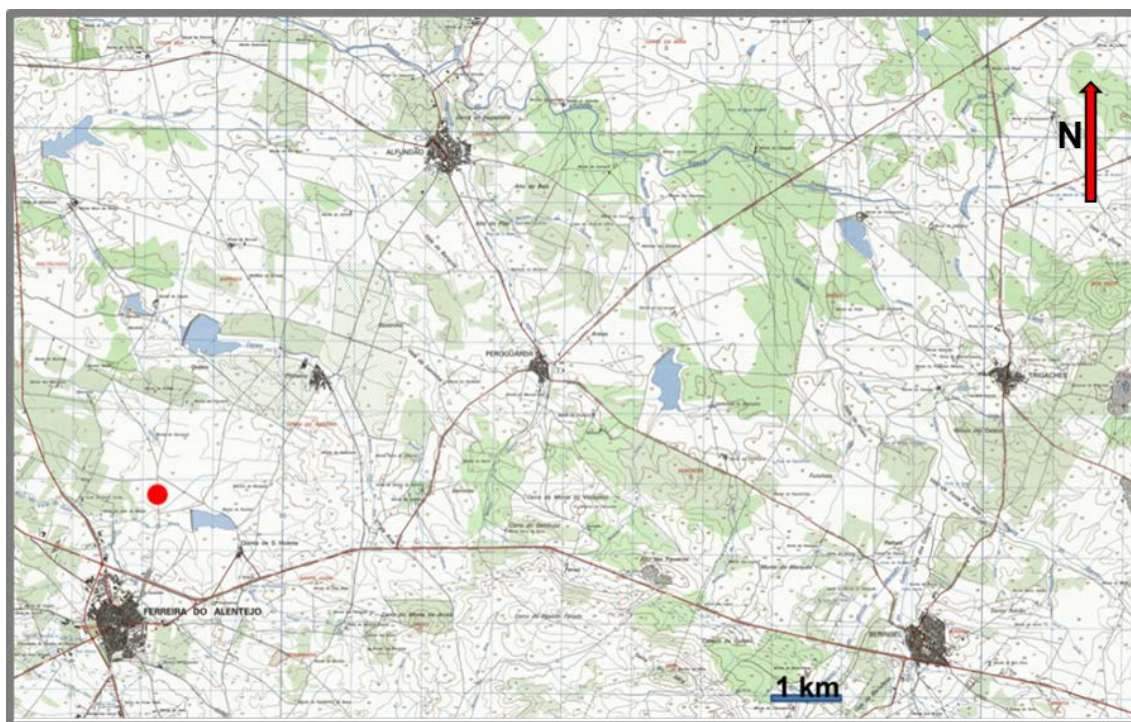


Figura 2.5 Localização do sítio arqueológico Monte Carrascal em Ferreira do Alentejo (círculo vermelho), na adaptação da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folha 509. Coordenada: 38° 4'32.84"N 8° 6'34.76"W

Na Carta Geológica (escala 1:200 000, Folha 8), a localização do sítio arqueológico do Monte Carrascal corresponde ao limite do Complexo Ígneo de Beja (Figura 2.6), caracterizando-se por apresentar gabros de quimismo toleítico, com nítido enriquecimento em TiO_2 e em P_2O_5 . A sul, a formação do gabros de Beja confronta-se com o complexo ofiolítico de Beja-Acebuches e a oeste com coberturas carbonatadas do Miocénico e do Paleogénico e Miocénico indiferenciado da bacia de Alvalade. A norte encontram-se basaltos e dúbases do complexo básico de Odivelas (Oliveira, 1992; Cunha et al, 2009; Pais et al, 2010, 2012, 2013).

Durante os trabalhos arqueológicos desenvolvidos no Monte Carrascal e nos sítios arqueológicos nas suas imediações (Valera, 2010a; Valera et al, 2014a) verificou-se que este tipo de estruturas negativas foram escavadas em substratos pouco consolidados e muito carbonatados, cuja descrição corresponde à feita na notícia explicativa da carta geológica para os depósitos miocénicos continentais da planície de Beja. Encontrando-se este sítio arqueológico numa zona de limites de diferentes substratos geológicos esta divergência entre a cartografia e os materiais encontrados no local pode dever-se à falta de detalhe, isto é, à inexistência de uma cartografia de maior pormenor para a área. O

trabalho de campo e amostragem permitiu verificar que o sítio do Monte Carrascal está implementado numa pequena área de geologia caracterizada por materiais carbonatados rodeados por materiais provenientes da meteorização dos gabros de Beja.

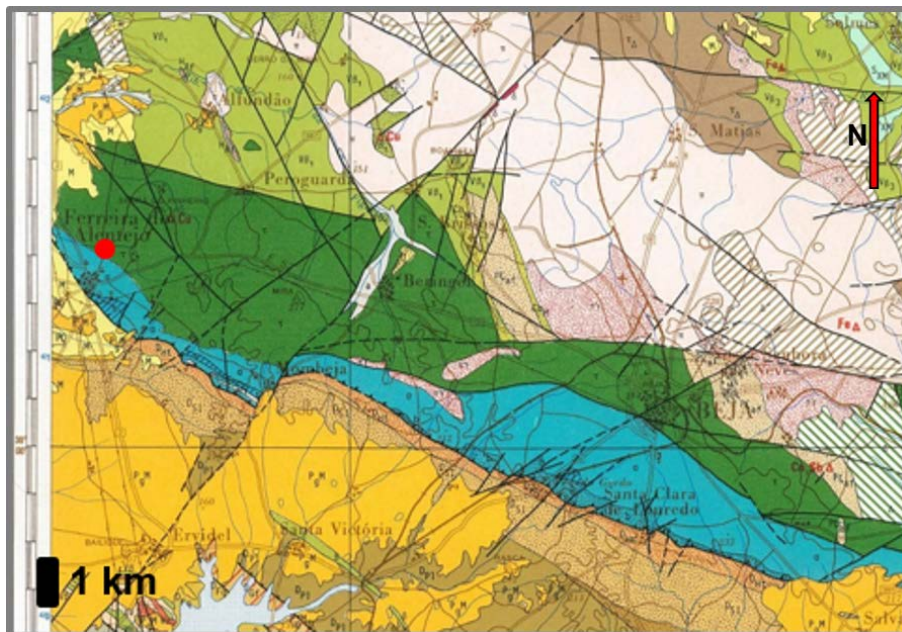


Figura 2.6 Localização do local de amostragem no Monte Carrascal (circulo a vermelho) na adaptação da carta geológica de Portugal, 1:200 000, Folha 8 (Oliveira, 1992).

Na notícia explicativa da Carta Geológica (escala 1:200 000, Folha 8) é descrito que em muitos pontos da peneplanície do Baixo Alentejo são visíveis formações carbonatadas superficiais e crostas, designadas por caliços (Oliveira, 1992). Estas são descritas como sendo de carbonato de cálcio branco, pulverulento ou concrecionado formado em condições de clima subárido, com fortes variações sazonais, em zonas baixas com escoamento difícil como ocorre na área geográfica do Monte Carrascal (Oliveira, 1992; Peralta, 1998). A oeste do sítio arqueológico do Monte Carrascal, na área geográfica de Beringel foram identificadas e estudadas formações carbonatadas, com aspeto pulverulento que repousam sobre a mancha gabro-diorítica do Alentejo e que foram designadas pelos autores por caliço/caliche/calcreto (Abreu et al, 1989; Marques et al, 1990; Santos, 2013). A alteração química dos gabros, essencialmente compostos por plagioclase cálcica, piroxenas, anfíbola e olivina, origina minerais argilosos como a ilite, minerais de caulino e esmectite, e disponibiliza Ca^{2+} à solução aquosa. Em situações de clima árido e seco, produzem-se estes depósitos carbonatados de origem química (Peralta, 1998).

Localizando-se o Monte Carrascal no extremo da bacia do Sado, na área atribuída atualmente à bacia de Alvalade (Pais et al, 2013), e estando a cartografia da região apenas disponível na escala 1:200 000 é importante referir que poderemos estar perante uma formação de preenchimento da bacia de Alvalade. O preenchimento desta bacia decorreu inicialmente sobre o soco metassedimentar Paleozóico e foi essencialmente composto por depósitos grosseiros arenosos conglomeráticos avermelhados, com abundantes calcretos e dolocretos freáticos e argilas (esmectite/paligorsquite) na parte superior. Esta fase corresponde à Formação do Vale do Guizo (Cunha et al, 2009; Pimentel, 2002; Pais et al, 2010, 2012, 2013). Esta unidade é atribuída a leques aluviais

gerados sob clima subárido e como resposta a eventos tectónicos. Segundo Pimentel et al (1996) a maioria destes carbonatos aluviais do Paleogénico na bacia do Sado, tiveram a sua origem na precipitação de águas subterrâneas e não uma origem pedogénica. Sobre a Formação do Vale do Guizo assenta a Formação do Esbarrondadoiro, uma formação essencialmente marinha fossilífera com fácies diversas, com predominância de areias finas micáceas, amarelas, com intercalações microconglomeráticas e lutíticas (ricas em esmectite). Foi ainda identificada a formação do Monte Coelho, composta por conglomerados quartzíticos grosseiros, com matriz esmectítica, exibindo abundante hidromorfismo (avermelhado a amarelado), níveis areníticos e lutíticos intercalados e concreções carbonatadas e ferruginosas dispersas. As fácies são maioritariamente maciças, sem organização e gradação significativas. A unidade está restrita à parte sul da orla da bacia, correspondendo a reativação da falha da Messejana e ao desenvolvimento de pequenos leques aluviais proximais, em condições semiáridas. Observações recentes sugerem que estes materiais podem corresponder a variações locais de fácies da formação de Esbarrondadoiro (Pais et al, 2013).

No que respeita ao contexto arqueológico o sítio do Monte Carrascal localiza-se a cerca de 900 metros a este dos limites inicialmente propostos para o Porto Torrão, um importante complexo de recintos neolíticos e calcolíticos, inicialmente intervencionado na década de 80 (século passado) e posteriormente escavado no âmbito de estudo de impacto no património arqueológico pela construção do sistema de rega do Alqueva, realizados pela Era Arqueologia (Valera e Filipe, 2004). Com efeito, a implementação da rede de rega do Alqueva potenciou o estudo arqueológico nesta área geográfica, aumentando o conhecimento acerca de uma série de contextos (dos quais faz parte o Monte Carrascal) que inicialmente se afiguravam como periféricos ao sítio do Porto Torrão mas que, após as intervenções arqueológicas, são considerados como parte integrante de uma extensa área de necrópole, possivelmente organizada de forma polinuclear (Valera, 2010a).

As estruturas negativas detetadas no Monte Carrascal foram identificadas durante os trabalhos arqueológicos de acompanhamento à abertura de uma conduta de rega (Figura 2.7 a e b) e entre elas encontram-se várias estruturas funerárias de grande complexidade arquitetónica e com um carácter inédito, e cronologia Calcolítica, para além de um conjunto de fossas e contextos correspondentes a uma ocupação mais antiga, possivelmente do Mesolítico Final (segundo quartel do 6º milénio a.C., informação transmitida pelo arqueólogo António Valera) (Santos, 2010; Valera, 2010a; Valera et al, 2014a). Note-se que, no âmbito do presente trabalho estudou-se a estrutura designada por fosso/átrio de acesso a um conjunto de hipogeus, com entradas escavadas a partir da parede norte do referido átrio (Figura 2.7, c). A estrutura estudada apresenta uma profundidade de cerca de 2,10 m e uma largura de boca de cerca de 4 metros do lado oeste, estreitando para este, e um perfil genericamente trapezoidal, mas algo irregular. A estratigrafia da estrutura permite estabelecer uma sequência de momentos de utilização para a área escavada, sendo que a construção e a utilização de um dos hipogeus (H1) corresponde a um dos primeiros momentos. Ainda neste contexto de utilização inicial, foram realizadas fogueiras na base do fosso/átrio. Depois de encerrada a entrada para o H1, o fosso/átrio foi preenchido por uma sucessão de pisos de circulação em argila batida e grande quantidade de materiais carbonatados, essencialmente associados à utilização dos hipogeus H2 e H3 (Santos, 2010). A presença de ossos humanos, assim como a

deposição intencional de cerâmicas, evidenciam a manipulação de ossadas e prática de rituais associados à utilização de sepulcros. Todos os materiais presentes apontam para uma cronologia relativa no período Calcolítico. Posteriormente (mas ainda no período Calcolítico) o preenchimento da estrutura obedeceu a processos distintos, possivelmente por coluvião, incorporando ainda materiais de cronologia Calcolítica (Valera et al, 2010a). De uma forma resumida e geral, foram identificados pelos arqueólogos quatro contextos distintos, na estrutura negativa estudada: d - depósitos associados ao fecho da entrada do hipogeu 1; c - sequência de pisos de circulação no interior do fosso/átrio, de acesso aos outros hipogeus; b - depósitos calcolíticos que preenchem um corte feito na sequência anterior (reescavação parcial do enchimento do fosso no Calcolítico); a - restante preenchimento do fosso ainda durante o Calcolítico (Figura 2.8).

Do ponto de vista da cronologia e fases de utilização/ abandono / preenchimento do fosso pretende-se caracterizar através de estudos composicionais (geoquímica e mineralogia), e datar por luminescência o preenchimento inicial do fosso (pisos de circulação) e verificar a existência de duas fases de preenchimento, uma fase inicial fruto da ação humana (Figura 2.8, c), e uma segunda fase correspondente à acumulação de materiais por coluvião (Figura 2.8, a), permitindo assim aos arqueólogos melhor delimitar o período de ação humana e o abandono da estrutura.

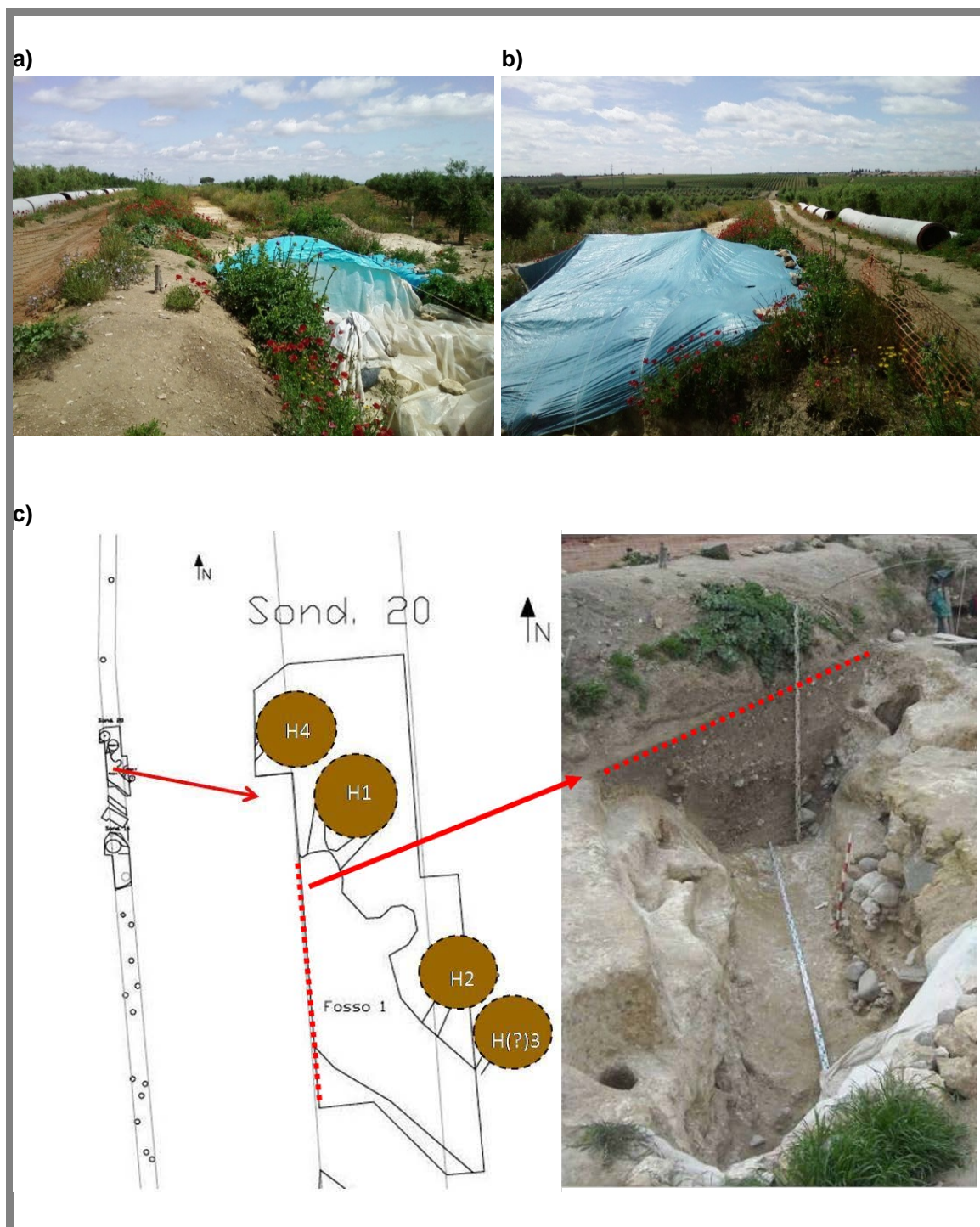


Figura 2.7 Vista do sítio arqueológico do Monte do Carrascal, durante a fase de implementação da rede de rega do Alqueva: a) vista Sul-Norte; b) vista Norte-Sul. Esquema do sítio arqueológico do Monte Carrascal, com evidência na sondagem 20 do local de amostragem (fosso/átrio de acesso aos hipogeus) (adaptado de Valera et al, 2014a)



Figura 2.8 Identificação dos contextos arqueológicos na estrutura negativa do Monte Carrascal: d - depósitos associados ao fecho da entrada do hipogeu 1; c - sequência de pisos de circulação no interior do fosso/átrio, de acesso aos outros hipogeus; b - depósitos calcolíticos que preenchem um corte feito na sequência anterior (reescavação parcial do enchimento do fosso no Calcolítico); a - restante preenchimento do fosso ainda durante o Calcolítico (adaptado de Santos, 2010).

2.1.2 Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões

Os sítios arqueológicos Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões localizam-se na freguesia de Brinches, concelho de Serpa, distrito de Beja, numa área que corresponde a uma superfície tendencialmente aplanada de relevos suaves e ligeiramente ondulantes, de inclinação este – oeste, drenada diretamente para o Guadiana, que a limita a oeste, ou para o Barranco da Amoreira a norte / noroeste e Rio Enxoé a sul (Figura 2.9): o Monte de Cortes (1) localiza-se na coordenada 38°04'18.3"N 7°36'12.8"W, a 134 m de altitude, Covas (2) localiza-se na coordenada 38°05'32.2"N 7°36'15.7"W a 144 m de altitude, o Outeiro Alto (3) localiza-se na coordenada 38°1'34.81"N 7°34'0.46"W a 187 m de altitude e a Horta do Quarteirões (4) localiza-se na coordenada 38°02'8.42"N 7°35'25.18"W a 163 m de altitude.

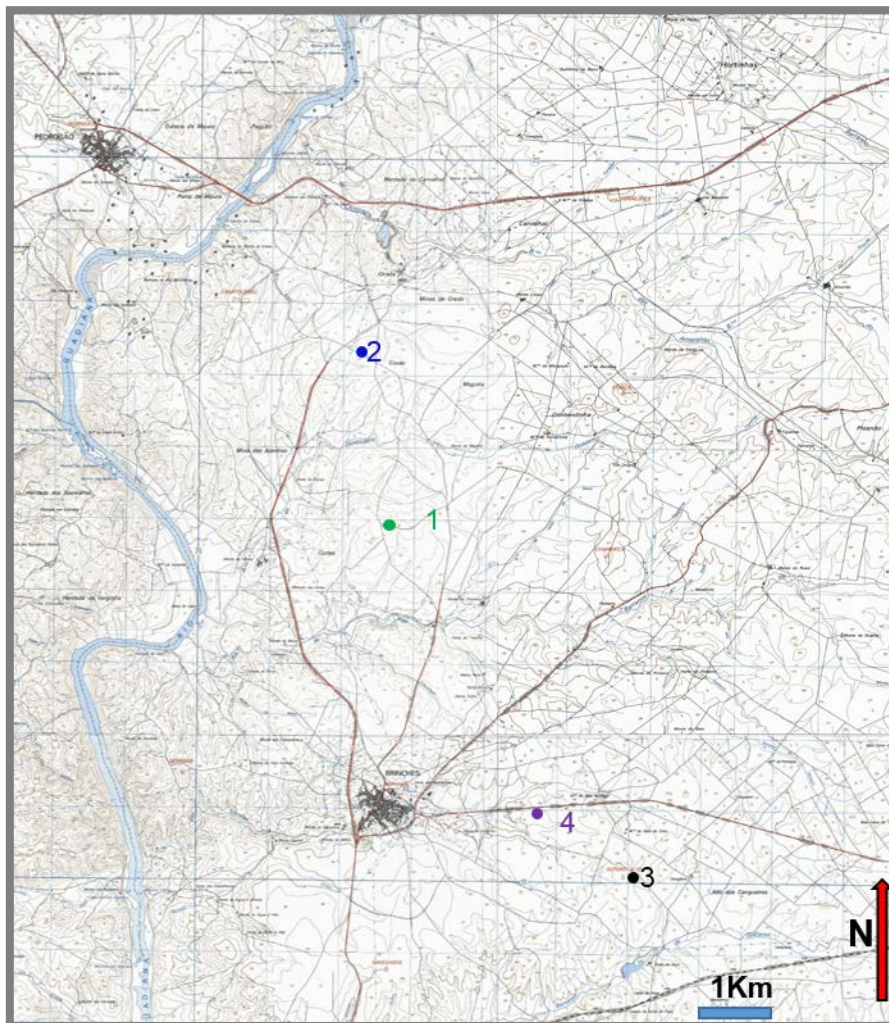


Figura 2.9 Localização dos sítios arqueológicos Monte de Cortes (1, 38°04'18.3"N 7°36'12.8"W), Covas (2, 38°05'32.2"N 7°36'15.7"W), Outeiro Alto (3, 38°1'34.81"N 7°34'0.46"W) e Horta dos Quarteirões (4, 38°02'8.42"N 7°35'25.18"W), adaptado da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folhas 511, 522 e 523.

Do ponto de vista geológico, a área de implementação destes sítios arqueológicos caracteriza-se por um domínio dos depósitos miocénicos carbonatados e detríticos da bacia sedimentar de Moura. Estes depósitos são cortados pela formação dos granitos de Pias e a oeste apresentam-se cobertos por terraços fluviais do Quaternário. A sul e sudoeste o limite é dominado maioritariamente por formações de xistos (Xistos de Moura) que se caracterizam por serem ricos em sericite, clorite e quartzo de exsudação (Oliveira, 1992). Surgem ainda afloramentos de metavulcanitos ácidos pertencentes ao complexo vulcano-sedimentar de Ficalho-Moura (Figura 2.10) (Araújo et al, 2006). A cartografia (escala 1:200 000) revela que a grande maioria dos sítios estudados (Figura 2.10) localiza-se em substratos geológicos calcários e detríticos miocénicos, que dominam a geologia a norte e este de Brinches (Oliveira, 1992). Devido à escala da carta, alguns dos sítios que se situam nos limites cartográficos das áreas de xistos e granitos, não aparecem cartografados na carta geológica 1:200 000, mas na realidade encontram-se em depósitos carbonatados e ou detríticos. No caso dos sítios de Monte de Cortes e Covas (Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, folha 43-B de Moura) pode confirmar-se a implementação destes sítios nos depósitos do Miocénico do complexo de Moura,

designados por calcários de Moura e Arrancadas (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970).

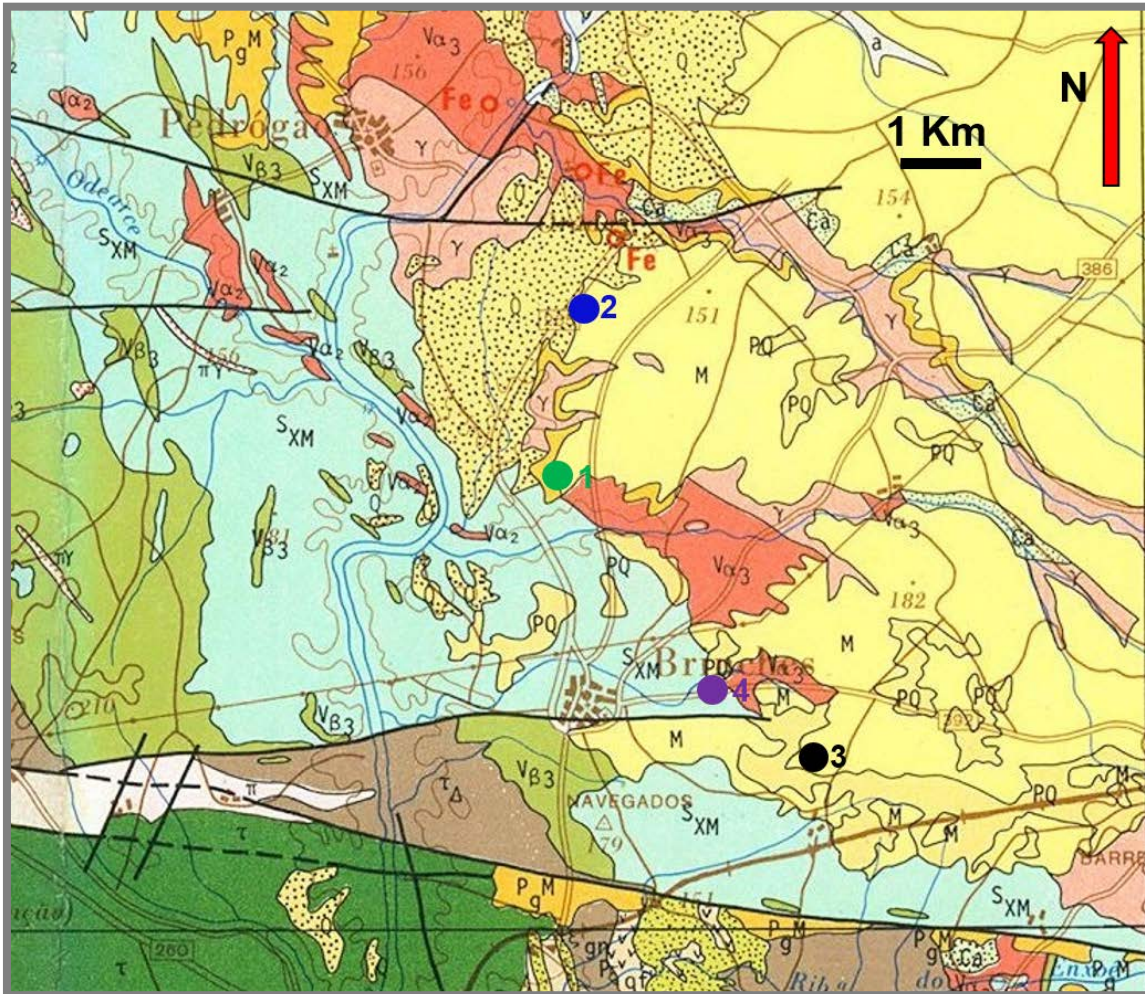


Figura 2.10 Localização dos sítios arqueológicos Monte de Cortes (1), Covas (2), Outeiro Alto (3) e Horta dos Quarteirões (4), adaptado da Carta Geológica de Portugal, 1:200000, Folha 8 (Oliveira, 1992).

A Bacia de Moura compreende várias sub-bacias tectónicas com um registo sedimentar de origem continental, sendo composta principalmente por deposições ocorridas entre o Miocénico e o Pleistocénico. São identificadas quatro sequências deposicionais com litologias distintas, maioritariamente devidas a sistemas de leques aluviais (conglomerados e arenitos), sistemas palustres (calcários), sistemas fluviais (arenitos, conglomerados e argilitos) e dois episódios de desenvolvimentos de carbonatos pedogénicos (calcretos) (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970; Brum da Silveira et al, 2009; Pais et al, 2012). Da base para o topo da sequência de deposições sedimentares na bacia de Moura entre o Miocénico e o Pleistocénico identificam-se a Unidade da Casa Branca (Paleogénico - Miocénico) e a Unidade Intermédia de Moura-Marmelar (Miocénico Superior) onde se inserem os sítios arqueológicos considerados neste ponto. A Unidade da Casa Branca, com uma espessura máxima de 10-15 m, é composta por arenitos silissiclásticos de grão médio a grosseiro e conglomerados com seixos de quartzo angulosos e clastos de xisto, metavulcanitos e metaliditos, muitas vezes cimentados e mostrando um horizonte de calcretos pedogénicos (Brum da Silveira et al, 2009; Pais et al, 2012). A unidade de Moura-Marmelar, com uma espessura máxima

de 30 m, compreende associações de fácies conglomeráticos, formados predominantemente por clastos de quartzo sub-angular e xisto, e arenitos de grão médio a grosseiro, com impregnações descontínuas de calcretos pedogénicos (pulverulentos) que na área mais a leste são substituídas por calcários lacustres e palustres (Brum da Silveira et al, 2009; Pais et al, 2012).

Do ponto de vista arqueológico os sítios do Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões, intervencionados no âmbito do plano de minimização da execução do Bloco de Rega de Brinches, apresentam estruturas negativas, fossas, fossos e hipogeus de carácter inédito na área geográfica que abrangem (Valera et al, 2014b)

2.1.2.1 Monte de Cortes

O sítio arqueológico do Monte de Cortes é formado por dois núcleos, sendo as estruturas estudadas parte do núcleo 1. Neste núcleo foi intervencionado um pequeno recinto definido por um fosso aparentemente circular e com cerca de 21 m de diâmetro interno (cortado sensivelmente ao meio pelas valas da linha de rega, Figura 2.11, a e b). O fosso apresentava 2,5 a 3 m de largura na boca, 0,5 m de profundidade e um perfil sub-trapezoidal. Sensivelmente ao centro existia um conjunto de três fossas associadas onde se implantava um menir. Ainda no interior do recinto foram detetadas outras duas pequenas fossas de planta tendencialmente ovalada, contendo um elevado número de elementos pétreos (quartzitos e granitos, mós manuais ou percutores). Pelo exterior do recinto, tanto para este como para oeste, registaram-se várias fossas escavadas no calcreto, cujos depósitos de colmatação não forneceram materiais arqueológicos. Os escassos materiais encontrados na sequência de preenchimento das estruturas indicam cronologias do Neolítico Final e do Calcolítico (Valera et al, 2014b).

No presente trabalho foram estudadas duas das estruturas deste núcleo: uma secção de corte no fosso circular (Figura 2.11) e a sequência de preenchimento de uma das fossas exteriores ao recinto do fosso (Figura 2.12). Pretende-se com o estudo das duas estruturas estabelecer correlações do ponto de vista composicional e cronológico dos materiais de preenchimento de cada uma delas. Para além disso, pretende-se contribuir para o melhor conhecimento da dinâmica de preenchimento destas estruturas, e permitir aos arqueólogos melhor balizar cronologicamente as fases de uso e abandono. A fossa estudada apresentava uma planta circular ligeiramente ovalada e paredes convergentes, sendo o diâmetro 1,6 m no topo e 3,1 m a 1,2 m de profundidade. No local onde foi feita a amostragem, ainda em fase de escavação (zona da fossa cortada pela vala da obra, secção este) a profundidade era de 0,5 m.

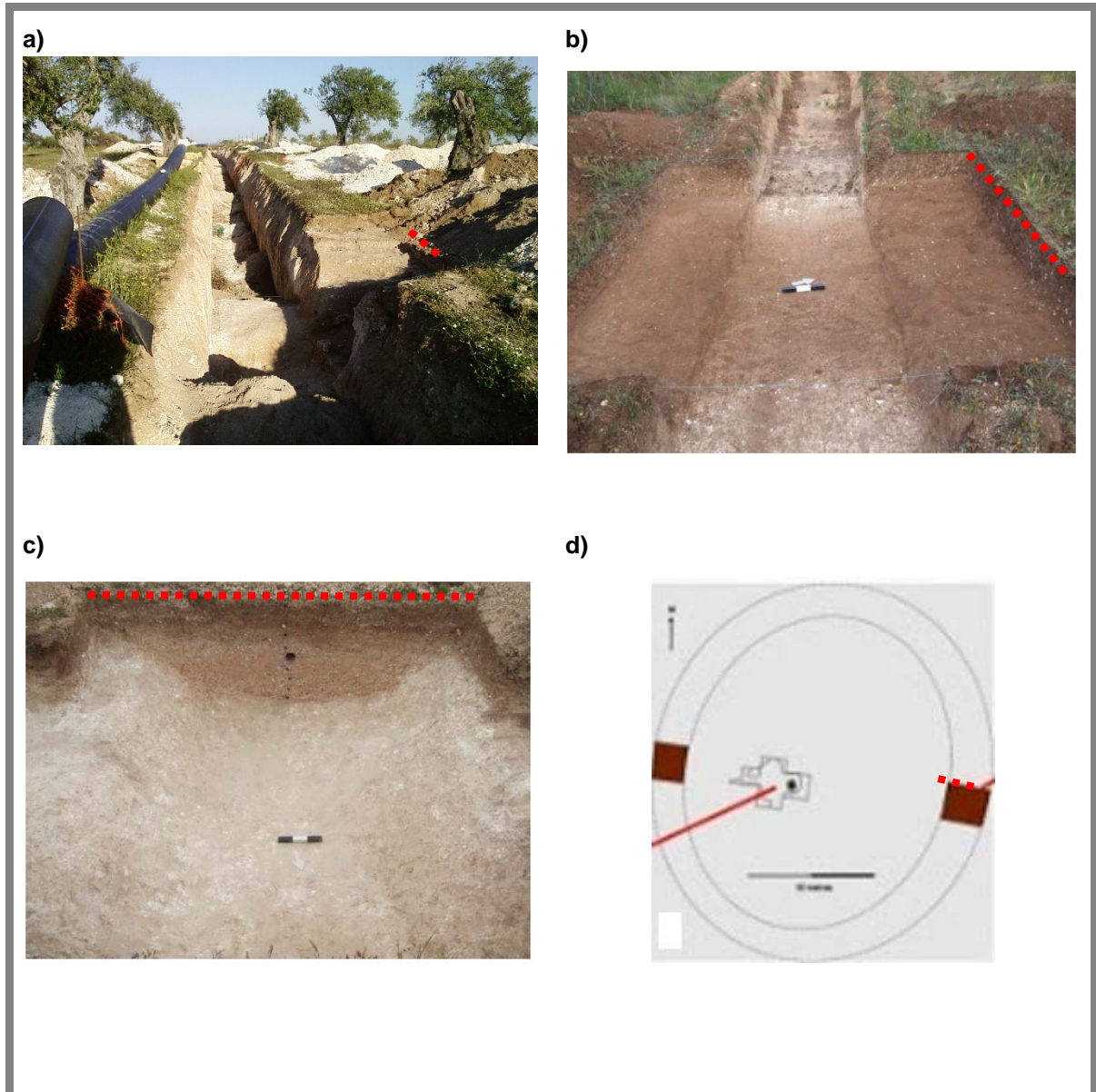


Figura 2.11 Fosso estudado no Monte de Cortes com indicação do corte amostrado a ponteadado vermelho: a) vista geral da vala para a linha de rega; b) Vista do local de amostragem do corte do fosso, após remoção do solo superficial, adaptado de Berraquero (2011); c) plano final do fosso evidenciando a secção de corte amostrada, adaptado de Berraquero (2011); d) esquema representativo do fosso, adaptado de Valera et al (2014b).

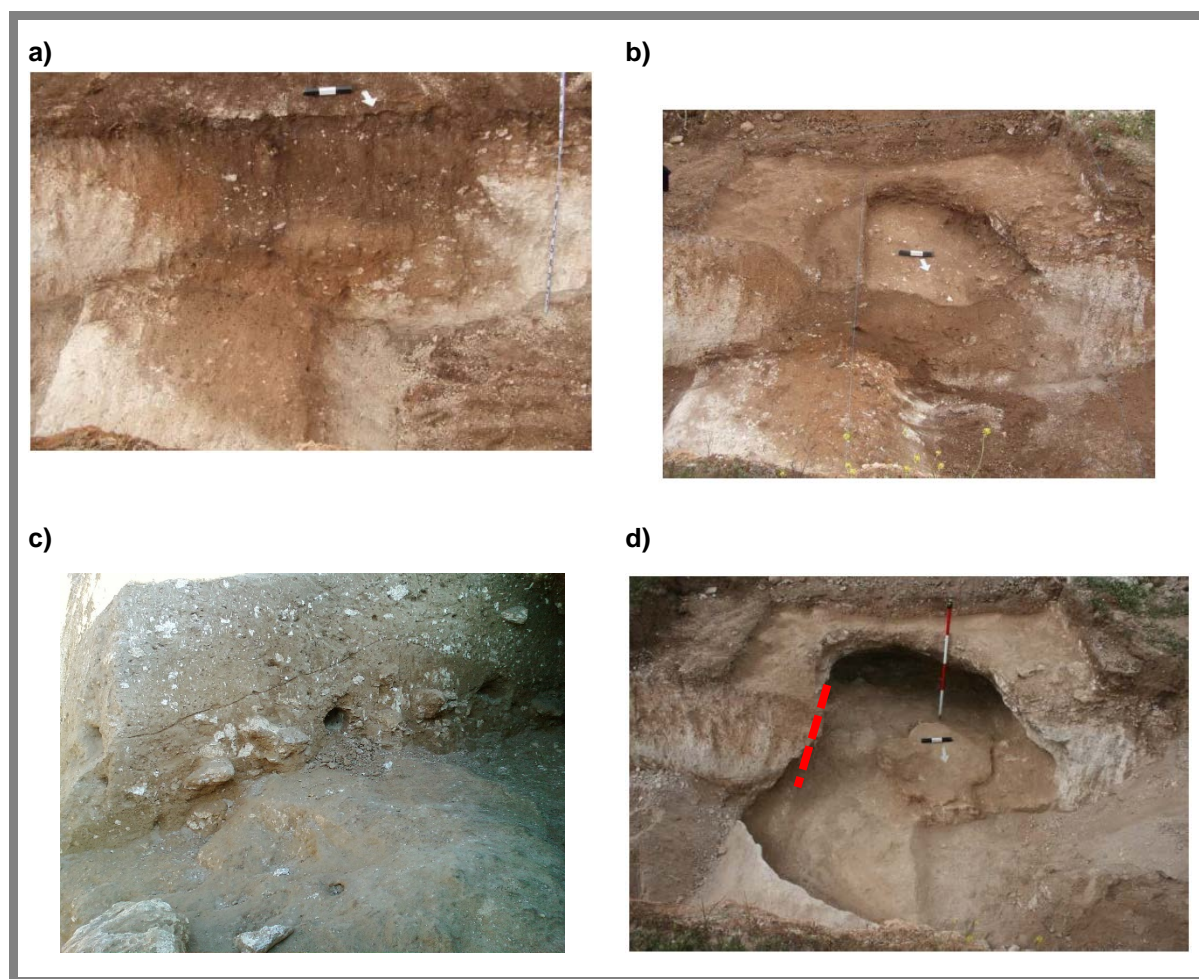


Figura 2.12 Fossa estudada no Monte de Cortes: a) corte da estrutura no início da escavação, adaptado de Berraquero (2011); b) vista do preenchimento inicial da estrutura, adaptado de Berraquero (2011); c) pormenor do local de amostragem, antes do final da escavação; d) plano final da fossa após escavação completa com indicação do corte amostra a ponteadado vermelho, adaptado de Berraquero (2011).

2.1.2.2 Covas

No sítio arqueológico de Covas, no âmbito da minimização de impactes sobre o Património Cultural decorrente da execução do Bloco de Rega de Brinches (trabalhos de decapagem para o adutor de Pedrógão), foram identificadas em fase de obra, um conjunto de estruturas negativas, tipo fossa. As 13 sondagens efetuadas revelaram um conjunto de 12 fossas que se caracterizaram por morfologias e enchimentos diferentes, decorrentes certamente da sua função primária e/ou secundária (Santos, 2011a). A forma das estruturas e a parca quantidade de materiais arqueológicos exumados comprometeram a atribuição funcional e cronológica, por parte dos arqueólogos.

No presente trabalho estudou-se o corte norte da fossa 7 identificada na sondagem 8 (Figura 2.13). Esta fossa tem uma orientação sul – norte e apresenta uma planta ovalada (alongada e estreita), com cerca de 3 m de comprimento e 1,40 m de largura, e tem de profundidade 1,50 m. Esta estrutura apresenta paredes retas e fundo plano (Figura 2.13, a e b). Segundo os arqueólogos a sua configuração é possivelmente o resultado da junção de pelo menos duas estruturas negativas de diferentes fases de

preenchimento, assumindo ainda como forte probabilidade a existência de uma terceira fase (fase 1), mais antiga, todas elas de natureza antrópica (Figura 2.13, c) (Santos, 2011a). Neste sentido, pretende-se estudar a dinâmica de preenchimento e balizar cronologicamente os depósitos e conseqüentemente as fases de preenchimento, reescavação e repreenchimento, através de estudos de geoquímica e mineralogia e de luminescência, contribuindo para uma melhor definição das diferentes fases de preenchimento da fossa 7.

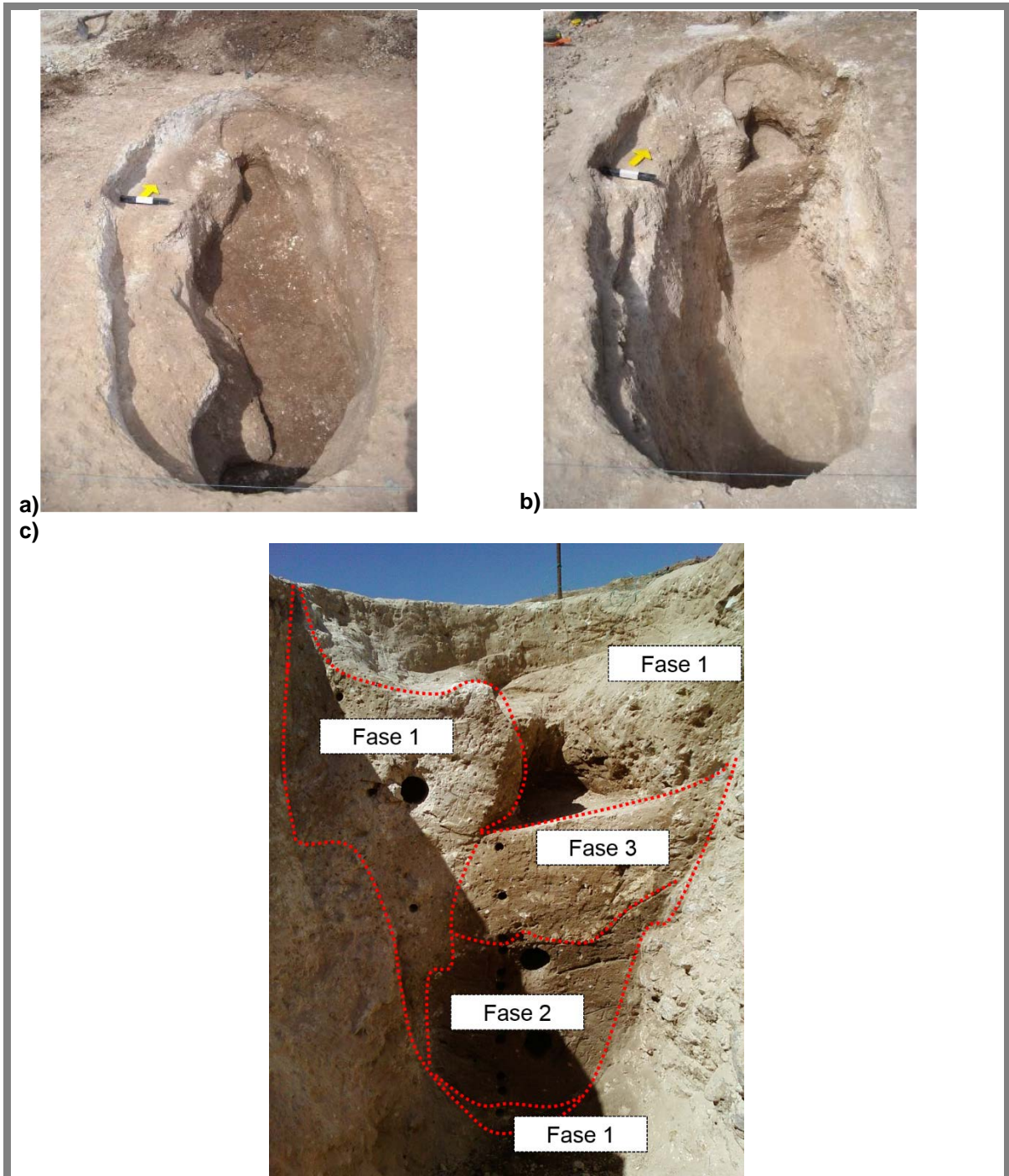


Figura 2.13 Fossa 7 escavada no sítio arqueológico de Covas (a e b adaptadas de Santos, 2011a): a) plano intermédio da escavação; b) plano final da escavação onde se observa o corte amostrado no âmbito do presente trabalho; c) pormenor da secção Norte da fossa onde foram identificadas os depósitos referentes às diferentes fases de deposição de materiais.

2.1.2.3 Outeiro Alto

No sítio arqueológico do Outeiro Alto os contextos arqueológicos detetados e intervencionados estão distribuídos por uma vasta área, divididos em quatro núcleos de estruturas negativas (Figura 2.14, a): o núcleo A, localizado na extremidade SE do outeiro; o núcleo B, localizado na extremidade NO; o núcleo C a norte, e o núcleo D, mais a nordeste (Valera et al, 2014b; Valera e Filipe, 2010). Os poucos artefactos associados ao conjunto de estruturas intervencionadas indicam uma cronologia atribuível ao Neolítico Final.

No âmbito do presente trabalho foram estudadas quatro estruturas, três fossas (22, 28 e 30) e um hipogeu (4/5), no núcleo C. Neste núcleo foram identificados três hipogeus e trinta e cinco fossas (Figura 2.14, b), a grande maioria das quais não forneceu materiais arqueológicos ou proporcionou apenas alguns fragmentos de cerâmica manual inclassificável (Valera et al, 2010b; Valera e Filipe, 2012). Os hipogeus são compostos por criptas, onde foram encontrados deposições funerárias coletivas. Estas criptas apresentam pequenas dimensões e acessos em poço lateral vertical estreito.

Um dos aspetos mais interessantes do núcleo C é a forte nuclearização de todas estas fossas, que no conjunto formam uma mancha circular, ocorrendo a localização dos contextos funerários (hipogeus) sempre na periferia do conjunto (Valera et al, 2014b; Valera e Filipe, 2012) (Figura 2.14, b e c). As fossas encontram-se muito concentradas, sendo o espaço entre fossas extremamente reduzido. A ausência de relações físicas diretas entre a totalidade das estruturas, associada ao facto de as fossas não funerárias estarem colmatadas apenas com um ou dois depósitos e raramente conterem materiais arqueológicos, bem como a grande densidade destas estruturas, sugere uma organização espacial que traduz intenção (Valera e Filipe, 2012). A hipótese sugerida pelos arqueólogos assenta na ideia de que a distribuição de fossas com diferentes formas e profundidades em círculos praticamente concêntricos esteja relacionada com um pequeno recinto de postes de madeira implantados nas fossas mais profundas (e eventualmente envolvido por elementos pétreos verticalizados) (Valera e Filipe, 2012) (Figura 2.14, d). As fossas 22, 28 e 30 encontram-se entre as fossas mais profundas (a vermelho na Figura 2.15, d).

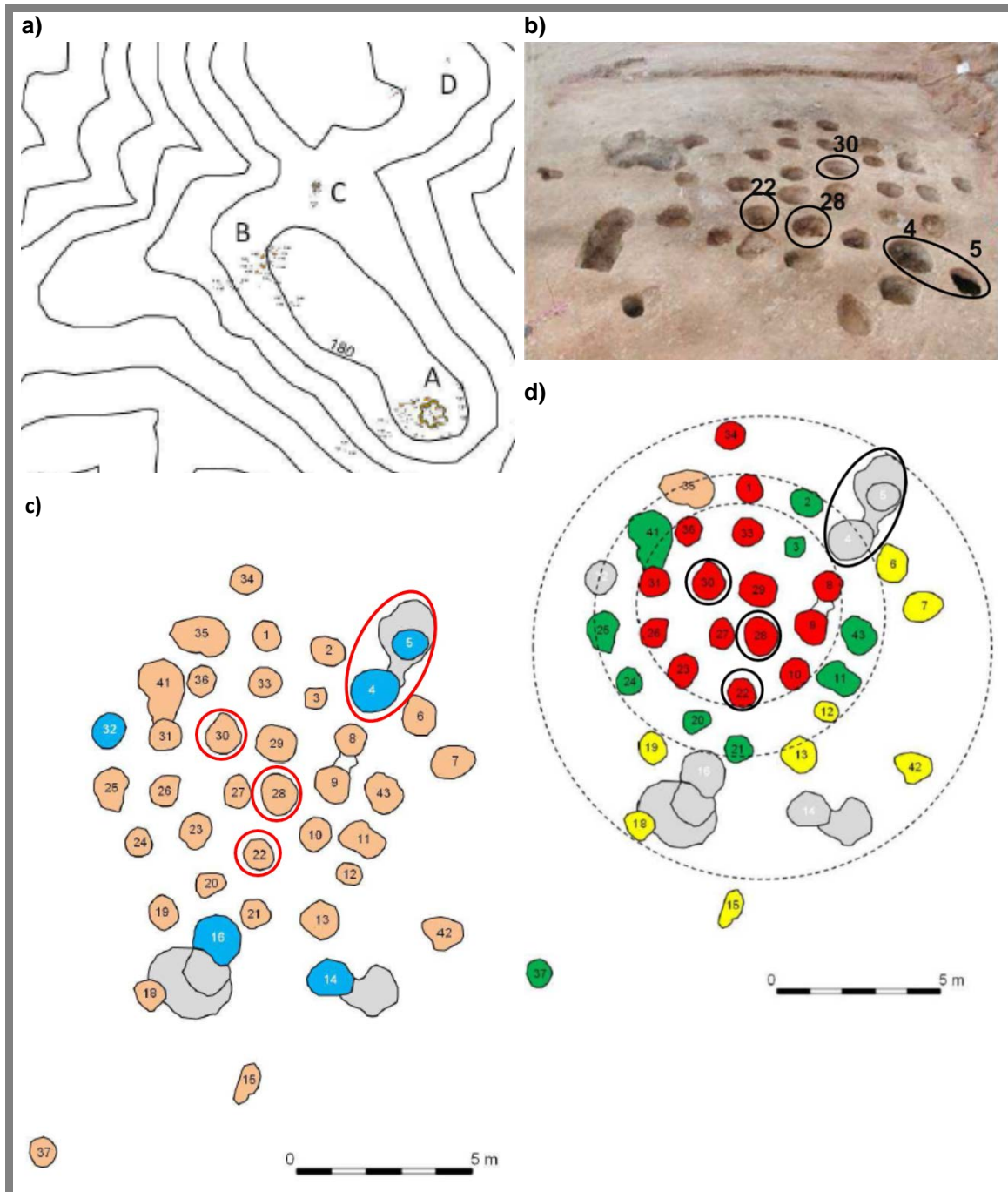


Figura 2.14 Sítio arqueológico do Outeiro Alto: a) planta geral do sítio arqueológico com identificação dos 4 núcleos (adaptado de Valera e Filipe, 2012); b) vista geral do núcleo C (adaptado de Valera et al, 2014b). c) Esquema do núcleo C onde as fossas estão identificadas a creme, os hipogeus, na periferia, a azul e cinzento, e as estruturas estudadas estão identificadas pelas circunferências vermelhas (adaptado de Valera e Filipe, 2012); d) esquema da distribuição das fossas segundo os tipos definidos com base na forma e profundidade, estruturas estudadas identificadas pelas circunferências pretas (adaptado de Valera e Filipe, 2012).

A fossa 22 apresentava uma planta circular, paredes ligeiramente inclinadas e fundo plano, e uma profundidade de 0,80m e diâmetro máximo de 0,90m. No seu interior foram registados dois depósitos que se distinguiam apenas pela coloração do depósito mais profundo (mais claro) (Figura 2.15, a e b) (Filipe, 2009). A fossa 28 de planta subcircular, paredes ligeiramente inclinadas e côncavas, e fundo ligeiramente côncavo e regular, apresentava uma profundidade de 0,95 m e diâmetro máximo de 1,10 m (Figura 2.15, a e c). No seu interior registou-se apenas um depósito de enchimento (Filipe, 2009). A fossa 30 de planta subcircular, com paredes ligeiramente inclinadas, fundo plano e regular, apresentava uma profundidade de 1 m e diâmetro máximo de 1 m (Figura 2.15, a e d). No seu interior registou-se apenas um depósito de enchimento (Filipe, 2009). Os dados estratigráficos destas três fossas indicaram que a fossa terá sido colmatada num curto espaço de tempo, indiciando uma ação antrópica intencional (Filipe, 2009).

O Hipogeu 4/5 apresentava uma câmara de planta subcircular com um diâmetro máximo de 1,90 m e uma altura de 1,14 m, na qual existia uma abertura no teto (Figura 2.16, a). É sugerida uma explicação para a existência desta abertura, que consiste na hipótese de ter sido realizada num momento em que a sedimentação no interior da câmara já inviabilizava o acesso pelo poço lateral, e esta seria uma entrada superior para continuar a existir acesso à cripta. Esta hipótese é baseada no fato de se tratar de uma abertura descentralizada relativamente à cripta (Valera e Filipe, 2012). A entrada original seria, assim, realizada através de um poço lateral de acesso, com uma planta subcircular, com diâmetro de 1,44 m e profundidade preservada de 1,12 m. Este poço conetava com a câmara através de um curto e estreito corredor, de 0,72 m de comprimento e 0,54 m de altura, que se desenvolvia em cotovelo. O encerramento do poço ocorreu com recurso à colmatção com dois depósitos argilosos com inclusões de calcreto. Da cripta deste hipogeu foram exumados materiais líticos e as ossadas depositas (Figura 2.16, b). A entrada entre o poço e a cripta encontrava-se encerrada por acumulação de lajes de mármore, calçadas com blocos mais pequenos de calcário e mármore, e com os interstícios vedados pela colocação de material argiloso (Filipe, 2009; Valera et al, 2010b; Valera e Filipe, 2012).

Dada a escassez de artefactos nas fossas e no poço de acesso à cripta do hipogeu, pretende-se com recurso ao estudo dos materiais de preenchimento recolhidos, contribuir para a investigação arqueológica no sentido de melhor delimitarem a construção, fase de ocupação e abandono das estruturas, bem como contribuir para a compreensão dos processos de colmatção destas estruturas e da relação entre elas. A relação cronológica entre as estruturas, assim como a relação cronológica entre os materiais de preenchimento de cada umas delas são aspetos de interesse, visto existir indícios de uma colmatção rápida e intencional.

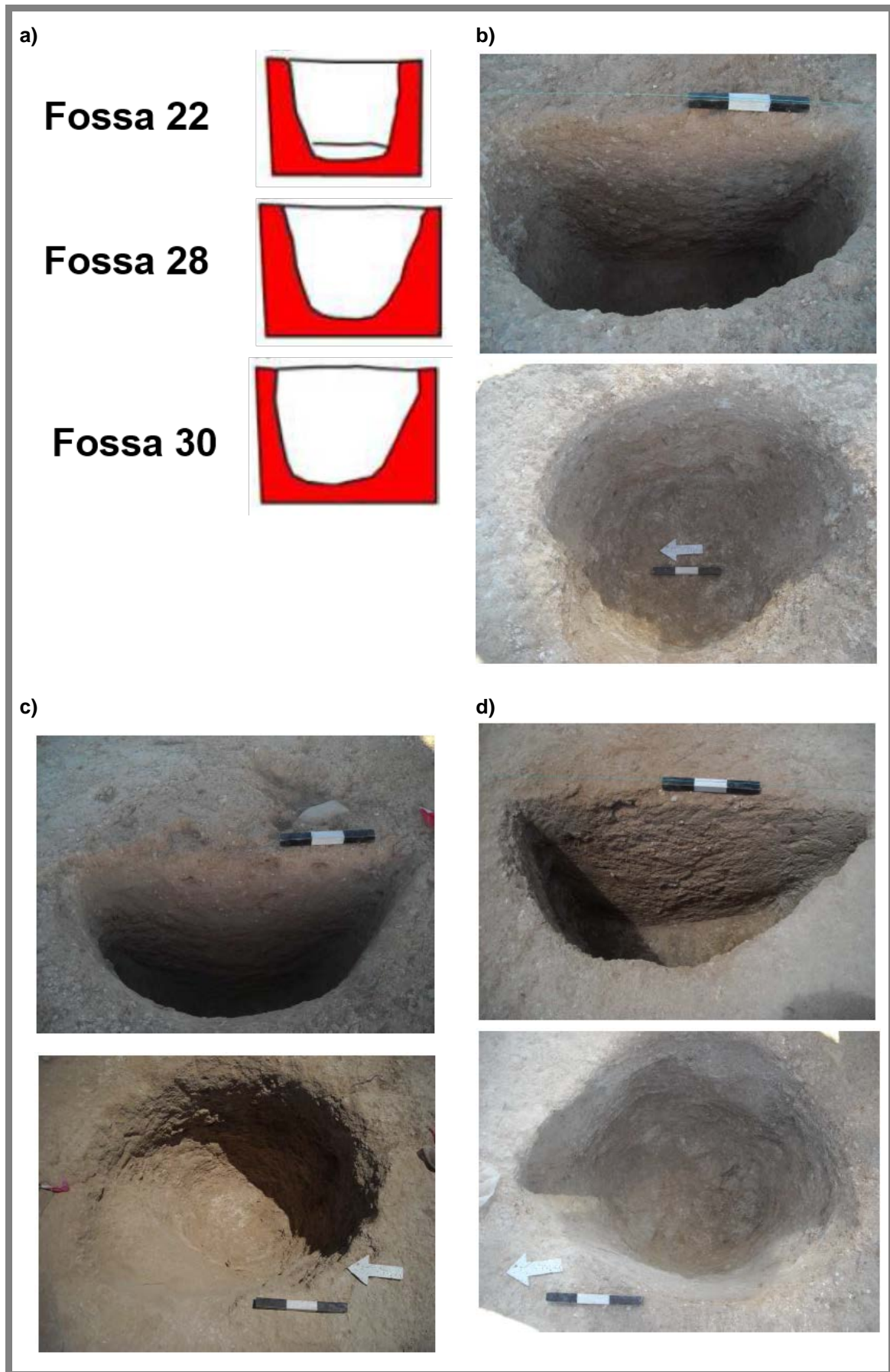


Figura 2.15 Fossas estudadas no Outeiro Alto (adaptado de Valera e Filipe, 2012 e Filipe, 2009):
a) esquema das fossas; b) fossa 22; c) fossa 28; d) fossa 30.

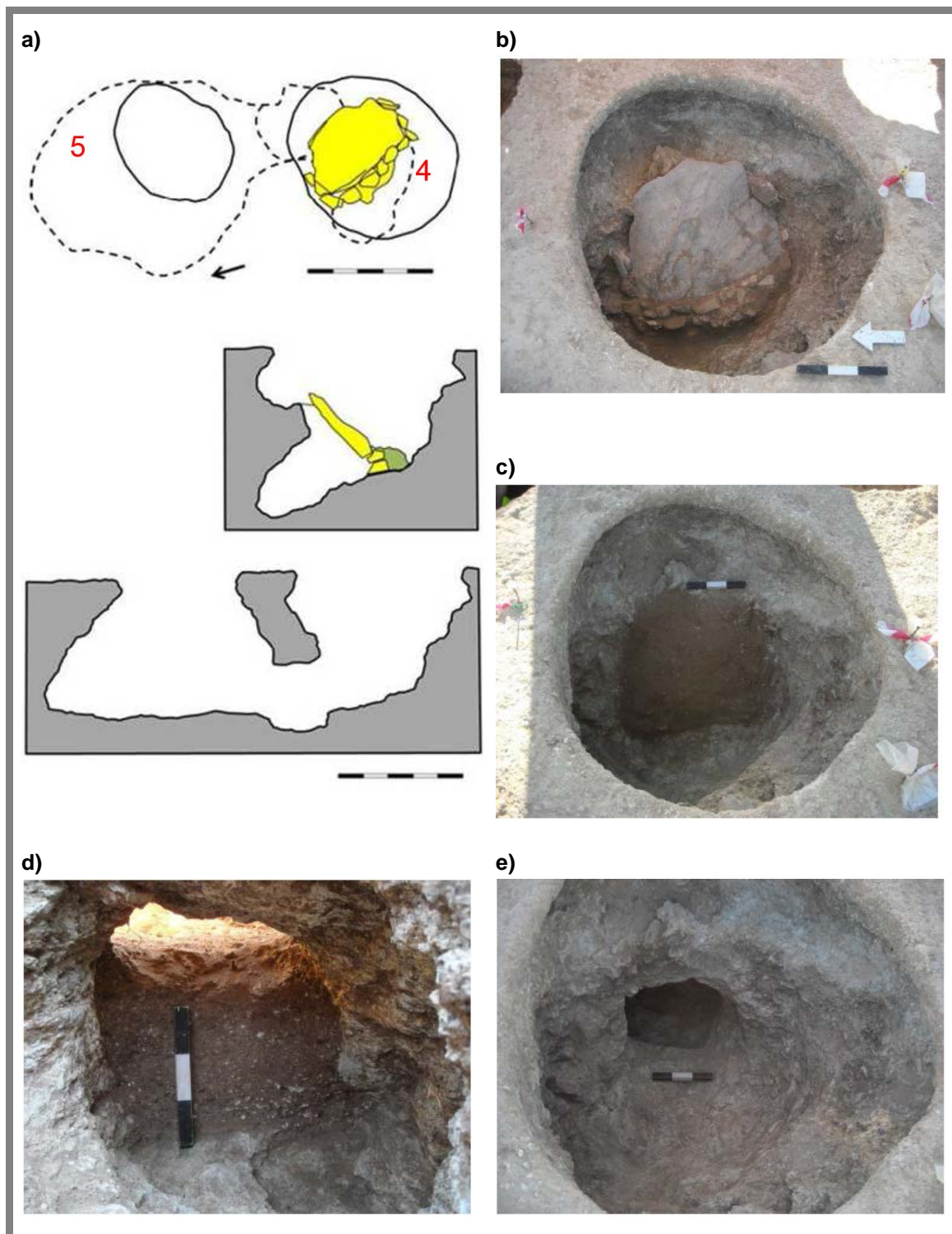


Figura 2.16 Hipogeu 4/5 no sítio arqueológico do Outeiro Alto (adaptado de Valera e Filipe, 2012): a) Esquema do hipogeu, planta e perfis (Amarelo: pedras de encerramento da entrada; verde: argilas de selagem. Esc:1m); b) topo da estrutura de fecho do hipogeu (fossa 4); c) fossa 4 após remoção da laje e do material argiloso de selagem; d) túnel entre as fossas 4 e 5 ainda parcialmente colmatado; e) túnel entre as fossa 4 e 5 após escavação total (adaptado de Filipe, 2009)

2.1.2.4 Horta dos Quarteirões

No sítio da Horta dos Quarteirões identificou-se um conjunto de interfaces, de funcionalidade e cronologia indeterminadas, durante os trabalhos de escavação em 3 sondagens que foram considerados como duas estruturas negativas do tipo fosso circular (fossos 1 e 2) que ocupam uma área de cerca de 18 m de comprimento, estimando-se uma largura máxima de aproximadamente 8m (Santos, 2011b) (Figura 2.17, Figura 2.18, a e b). No centro e na parte norte da sondagem 3, local onde os fossos se tocam, não foi possível aferir durante o processo de escavação qual das estruturas seria mais antiga, ou seja, se o fosso 1 cortava o 2 ou vice-versa (Figura 2.18, c). No entanto, foi possível perceber que, apesar de o fosso 2 ser mais profundo e a sua colmatação se ter iniciado mais cedo, ambos estiveram abertos e expostos em simultâneo, pois os depósitos são comuns (Santos, 2011b).

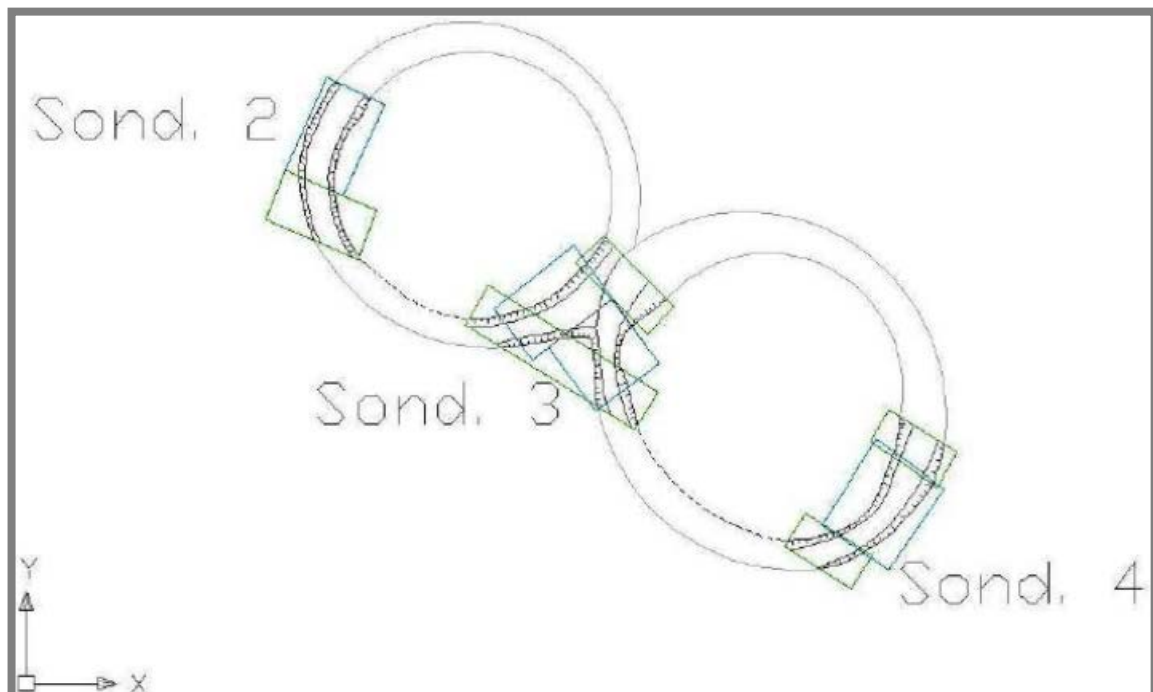


Figura 2.17 Horta dos Quarteirões: a) vista geral do sítio arqueológico durante a fase de escavação (adaptado de Santos, 2011b); b) esquema de implantação das sondagens 2, 3 e 4, com as respetivas estruturas negativas identificadas em cada uma delas (adaptado de Santos, 2011b): fossos 1 e 2 no sítio arqueológico Horta dos Quarteirões.

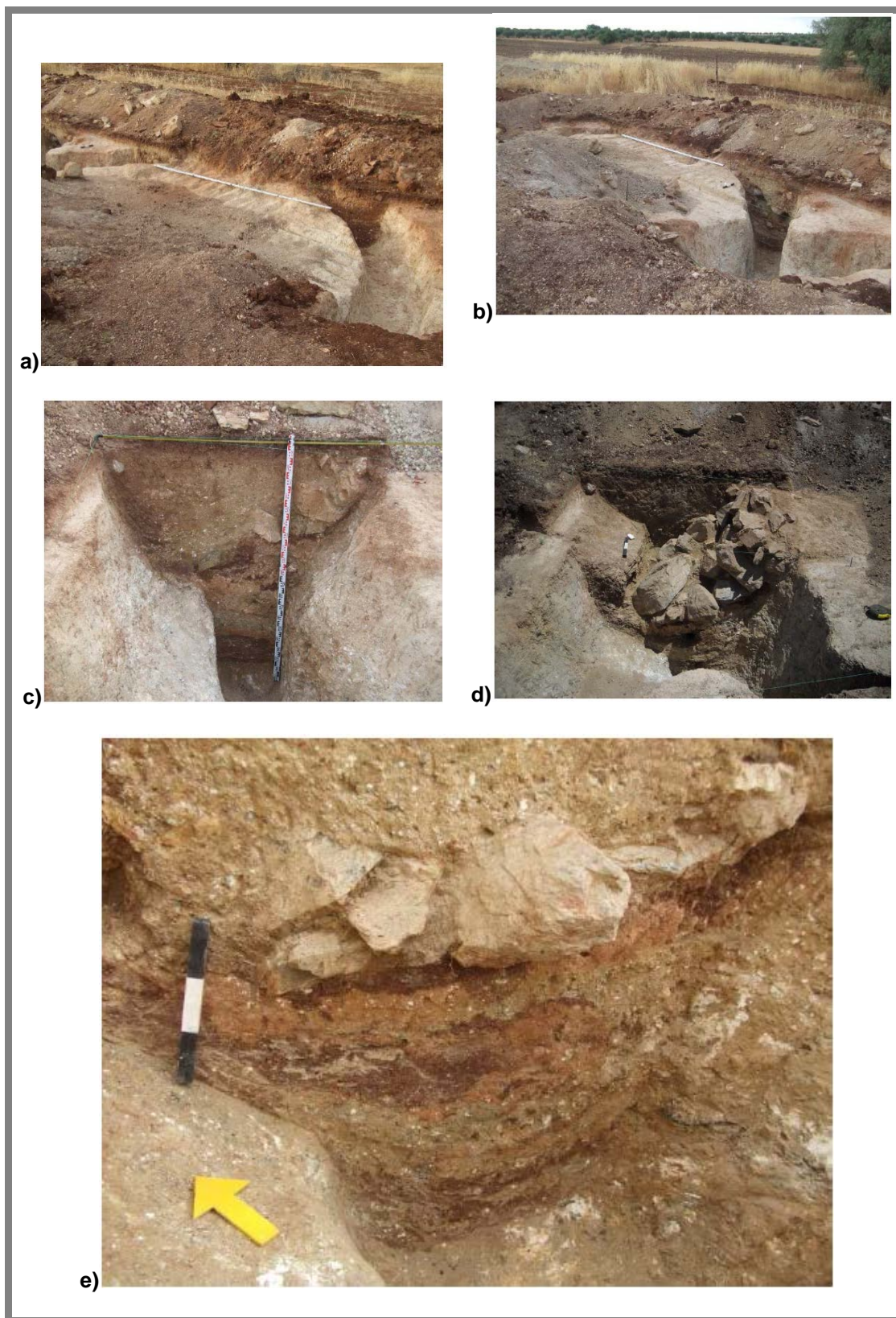


Figura 2.18 Intersecção entre fossos circulares no sítio arqueológico Horta dos Quarteirões (adaptado de Santos, 2011b): a) vista geral do plano final do fosso 1; b) vista geral do plano final do fosso 2; c) corte norte da intersecção entre os fossos 1 e 2 d) Sondagem 3; d) vista norte do derrube de pedras na intersecção entre os fossos 1 e 2; e) pormenor do corte norte da intersecção entre os fossos 1 e 2.

Foram identificados, sobretudo no topo e até meio do preenchimento das estruturas, derrubes de grandes pedras de xisto, granito e alguns mármore, envolvidas em sedimento bastante argiloso, compacto e de cor amarelada, que poderão ter sido parte constituinte de uma eventual estrutura existente à superfície ao longo do perímetro interior dos fossos (Santos, 2011b) (Figura 2.18, d). Abaixo do nível de derrube, a colmatação dos fossos da base até meio sensivelmente, apresenta depósitos aparentemente de formação natural, muito heterogéneos, de matriz tendencialmente argilosa, com cores que variam entre o vermelho, o castanho e o verde ou amarelado. Em corte, as diferentes camadas, com características distintas sobretudo ao nível da cor, distinguem-se facilmente (Figura 2.18, e). Este facto dever-se-á à deposição dos materiais sob fortes ações hídricas (Santos, 2011b).

Atendendo à ausência de estruturas e/ou artefactos que permitam identificar o período de construção, ocupação e abandono das estruturas, bem como explicar a relação cronológica entre os fossos e os processos de preenchimento dos mesmos, visa-se contribuir para melhor delimitar estes períodos com recurso à datação e caracterização composicional dos materiais depositados na secção de interseção entre os fossos 1 e 2, abaixo da linha de derrube/deposição de blocos de xisto, que pode indicar uma intenção de encerramento da estrutura ou queda por efeitos naturais (condições meteorológicas drásticas).

2.1.3 Malhada da Orada

O sítio arqueológico da Malhada da Orada localiza-se a SE do paredão da Barragem de Pedrogão, na freguesia de Brinches, concelho de Serpa, distrito de Beja (Figura 2.19), na coordenada 38° 6'33.90"N 7°37'35.20"W, a cerca de 107 m de altitude. Situa-se no topo de um cabeço pedregoso, numa área de montado com declive acentuado (Figura 2.20) (Ferreira et al, 2009a-b).

Do ponto de vista geológico, este sítio encontra-se localizado numa área onde ocorrem produtos de meteorização do afloramento granítico calco-alcálico do Carbonífero, do maciço intrusivo de Pedrogão/Pias (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970; Oliveira, 1992; Araújo et al, 2006), compreendido no Maciço de Beja. Estes granitos caracterizam-se por serem granitos de duas micas (maioritariamente biotite), de granularidade média, por vezes porfiroides. Trata-se de uma intrusão tardi a pós-tectónica que dá origem a uma auréola de metamorfismo de contacto. A norte e a sul do afloramento do maciço granítico, registam-se coberturas de formações do Miocénico. A sul da área que corresponde exatamente ao Maciço do Pedrogão, ocorrem os terraços fluviais da bacia do Guadiana do Quaternário (Figura 2.21) (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970; Oliveira, 1992).

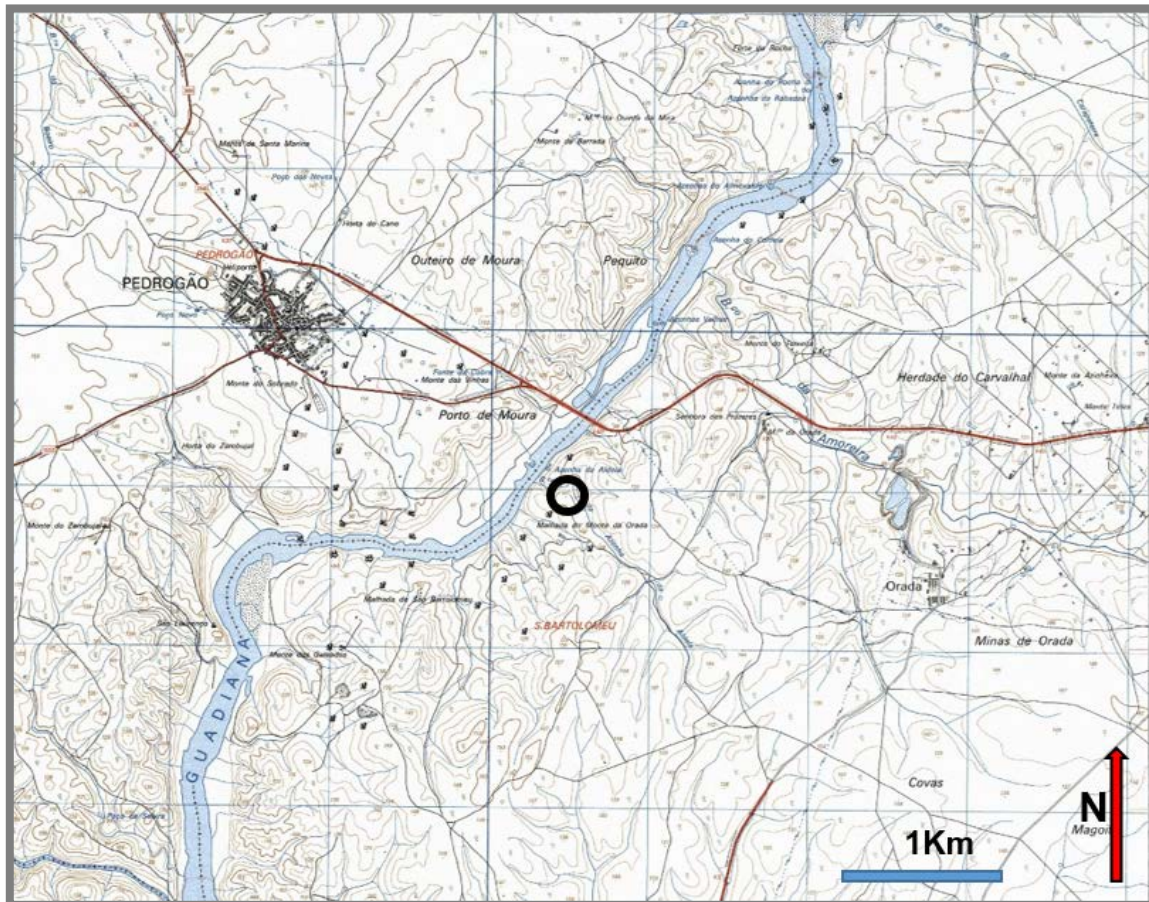


Figura 2.19 Localização do sítio arqueológico Malhada da Orada (adaptado da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folha 511): circunferência a preto. Coordenada 38° 6'33.90"N 7°37'35.20"W.

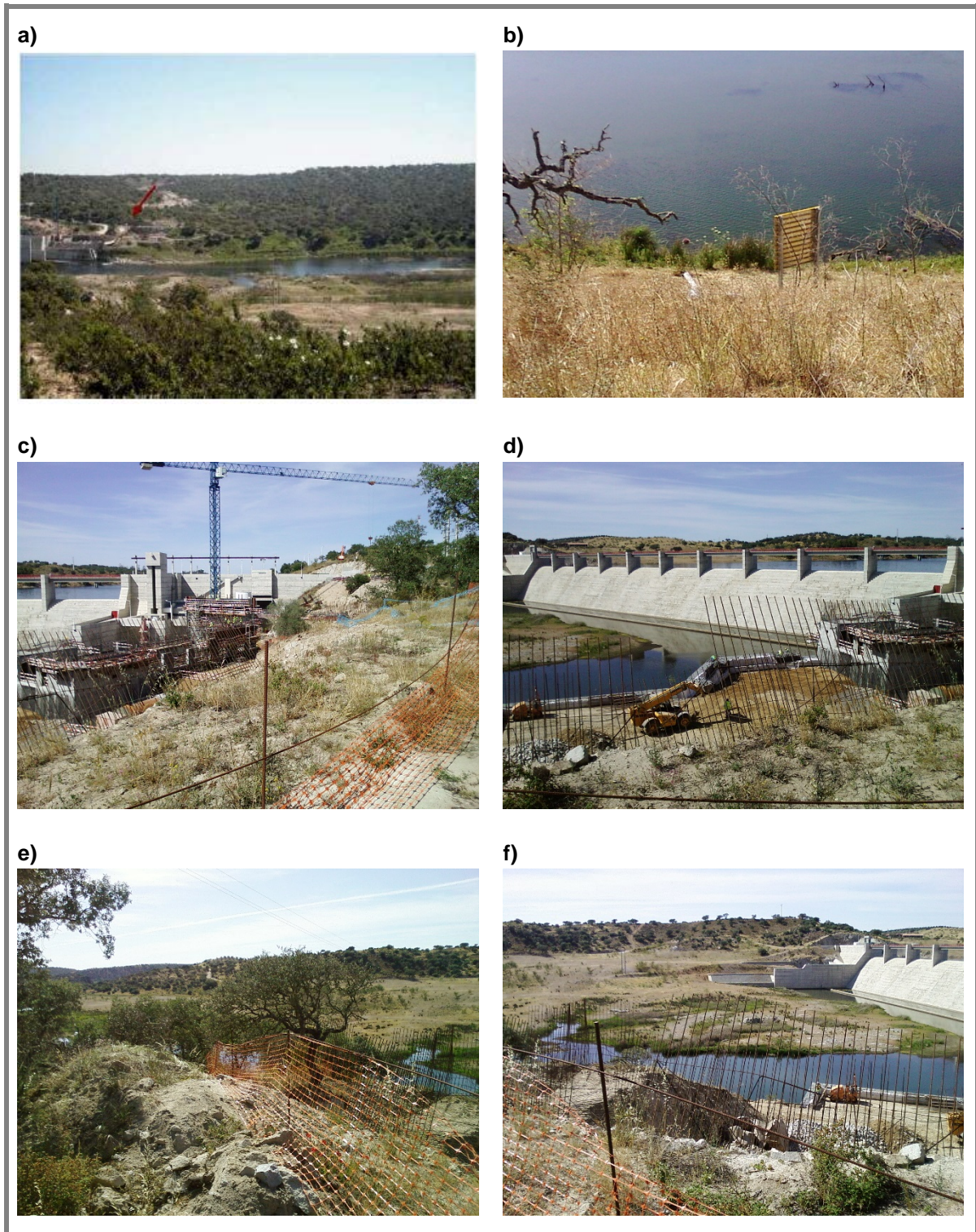


Figura 2.20 Fotografias do sítio arqueológico Malhada da Orada: a) vista geral do da área envolvente com o local assinalado pela seta vermelha (adaptado de Ferreira et al, 2009b); b) a f) vista geral do local.

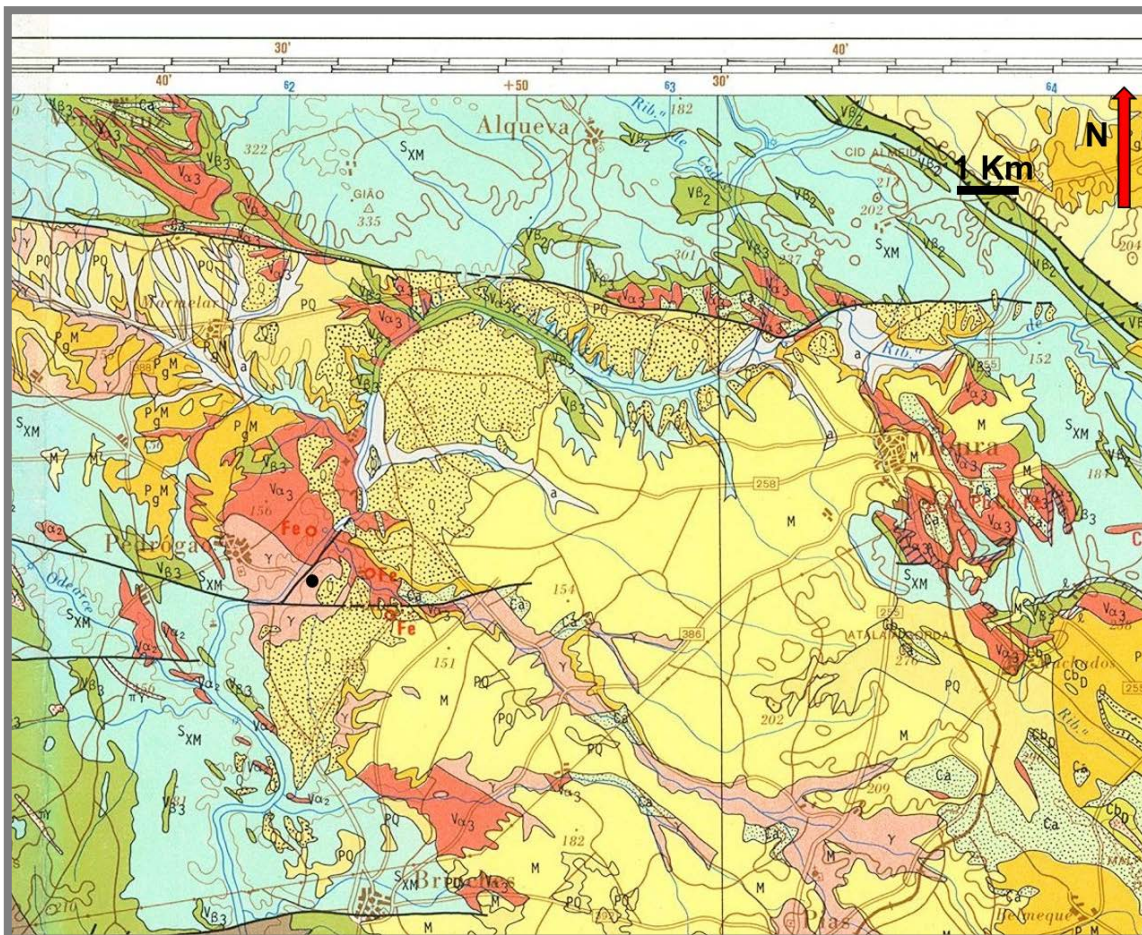


Figura 2.21 Localização do sítio arqueológico Malhada da Orada (circulo preto), adaptado da Carta Geológica de Portugal, 1:200 000, Folha 8 (Oliveira, 1992).

A intervenção arqueológica realizada neste sítio arqueológico enquadrou-se numa perspectiva de minimização de impactos decorrentes da execução da Conduta Elevatória de Pedrógão, da Central Hidroeléctrica de Serpa e Estação Elevatória de Torre do Lóbio (Ferreira et al, 2009a-b). A escavação permitiu a identificação de dois momentos de ocupação do espaço de época Pré-histórica (Figura 2.22, a). O momento mais antigo de ocupação está associado a duas estruturas de combustão escavadas no substrato geológico (Figura 2.22, c). As estruturas encontravam-se muito degradadas, correspondendo a concentrações pétreas bem delimitadas formando uma espécie de estrutura de planta subcircular, sendo constituídas por blocos de granito de média e pequena dimensão que apresentavam uma coloração avermelhada. Estas estruturas encontravam-se cobertas por um depósito muito compacto, com características argilosas e coloração acinzentada, sem artefactos arqueológicos (Ferreira et al, 2009b).

A segunda fase de ocupação do espaço é caracterizada por um maior número de estruturas (12), assim como por uma grande dispersão de material arqueológico, sobretudo lítico. Todas estas estruturas encontravam-se cobertas ou integradas num depósito de sedimento arenoso, pouco compacto, de cor cinzenta clara. As estruturas foram caracterizadas como onze estruturas de combustão (lareiras) e um empedrado (Figura 2.22, c). As lareiras apresentam uma forma subcircular, com presença maior ou menor de blocos de granito de pequena e média dimensão, com marcas de calor, assim como de vários elementos líticos. Algumas das lareiras foram feitas em locais de

aproveitamento dos desníveis do substrato geológico, havendo por isso uma espessura reduzida de materiais de preenchimento em alguns pontos da área escavada (Ferreira et al, 2009b).

Sobre as evidências das duas fases de ocupação encontraram-se depositados sedimentos medianamente soltos, com muitas raízes, onde se recolheram materiais arqueológicos de diversas cronologias, nomeadamente Romana e Pré-histórica.

O fato de o sítio se desenvolver no sentido da vertente, aliado à semelhança dos sedimentos de cobertura das estruturas de combustão entre si e com o substrato geológico, bem como a dispersão das estruturas identificadas, levantou aos arqueólogos dificuldades no estabelecimento das relações cronológicas. Apesar das dificuldades encontradas, e não sendo este tipo de realidade conhecido na região, pela análise dos materiais arqueológicos foi possível enquadrá-la no Neolítico Antigo (Ferreira et al, 2009b). No presente trabalho, vai-se estudar do ponto de vista composicional e de luminescência a amostra da matriz do coluvião que colmata as estruturas, no sentido de contribuir para a investigação arqueológica no que concerne à delimitação do final da ocupação antrópica. (Figura 2.22, b).

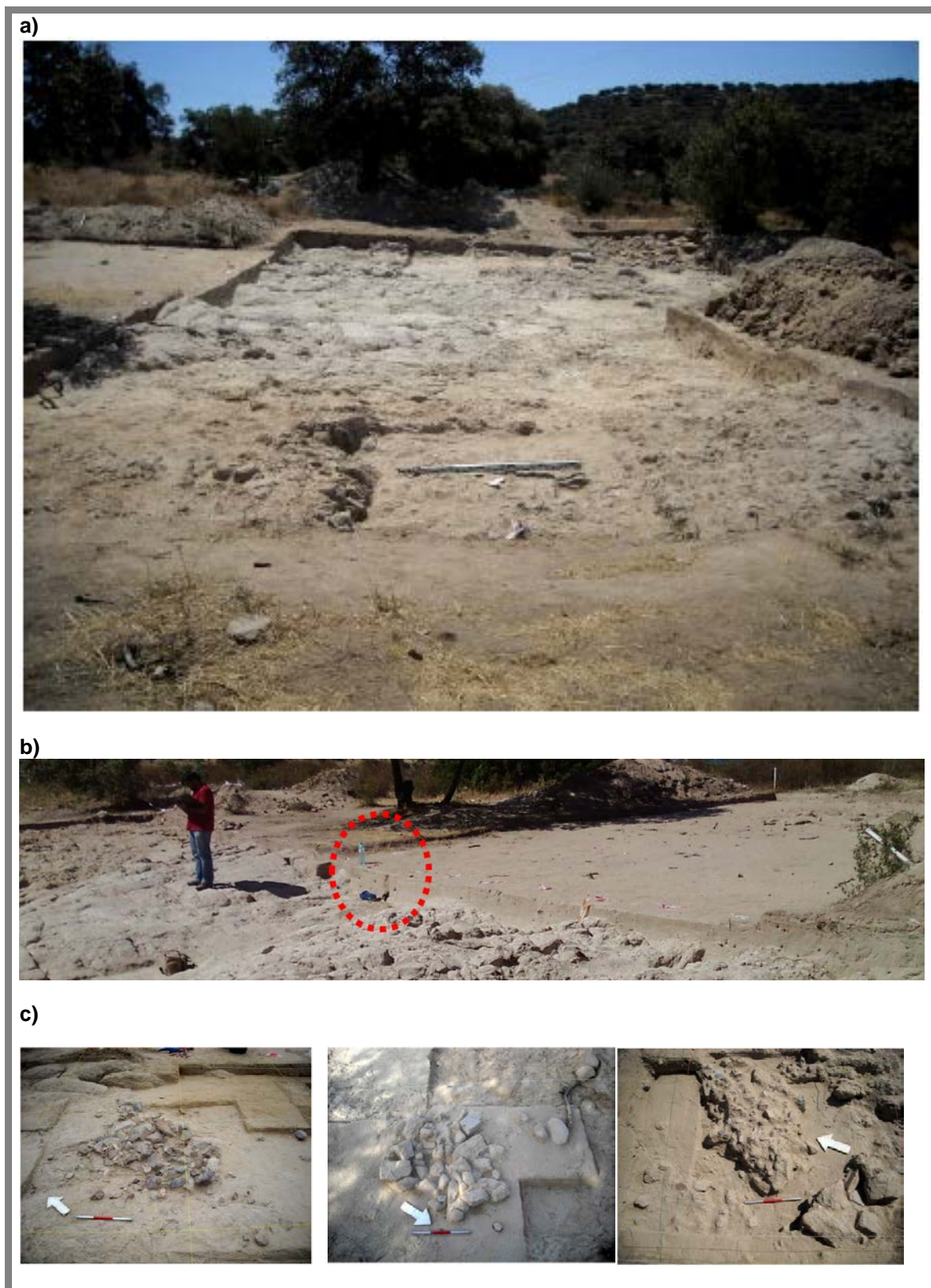


Figura 2.22 Sítio arqueológico Malhada da Orada: a) vista geral do sítio adaptado de Ferreira et al (2009b); b) pormenor dos materiais de preenchimento, depositados por coluvião, que cobriam as estruturas de combustão, com indicação do local de amostragem (circunferência a ponteadado vermelho); c) exemplos das estruturas escavadas no local – duas estruturas de combustão e o possível empedrado (da esquerda para a direita) (Ferreira et al, 2009b).

2.1.4 Recinto de fossos dos Perdigões

O complexo arqueológico do Recinto de fossos dos Perdigões localiza-se no concelho de Reguengos de Monsaraz, distrito de Évora, na extremidade oeste do vale da Ribeira do Álamo, tendo como horizonte a este a elevação de Monsaraz, na coordenada 38°26'26.82"N 7°32'51.60"W (Figura 2.23), a uma altitude de 258 m.

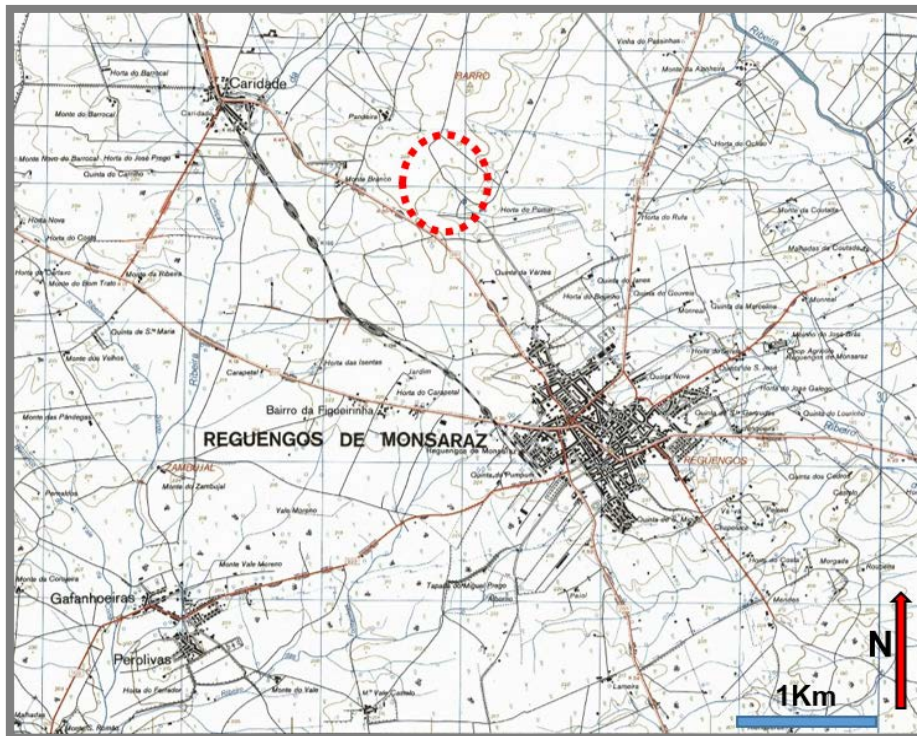


Figura 2.23 Localização do sítio arqueológico Recinto de fossos dos Perdigões em Reguengos de Monsaraz (circunferência a ponteados vermelho), na adaptação da Carta Militar Portuguesa 1:25 000, folha 473. Coordenada: 38°26'26.82"N 7°32'51.60"W

Do ponto de vista geológico, o sítio arqueológico encontra-se numa área de materiais de alteração de dioritos e gabros associados, de idade Hercínica. Esta formação encontra-se rodeada pelos granodioritos e tonalitos associados, com características básicas do maciço eruptivo de Reguengos (granitóide tardi a pós tectónico) (Figura 2.24 e Figura 2.25). Este maciço aflorou numa formação de xistos do Ordovícico Inferior ao Médio, da Formação de Barrancos. Esta formação de xistos está coberta a norte por depósitos do Paleogénico (Figura 2.25). No seio da mancha de dioritos e gabros associados, podem surgir zonas de limites difusos marcadas por variações de granularidade e da composição, tal como a presença de pequenos veios ou bolsas de aspeto pegmatóide e composição tonalítica (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991; Silva e Pinto, 2006; Antunes et al, 2009, 2010a-b).

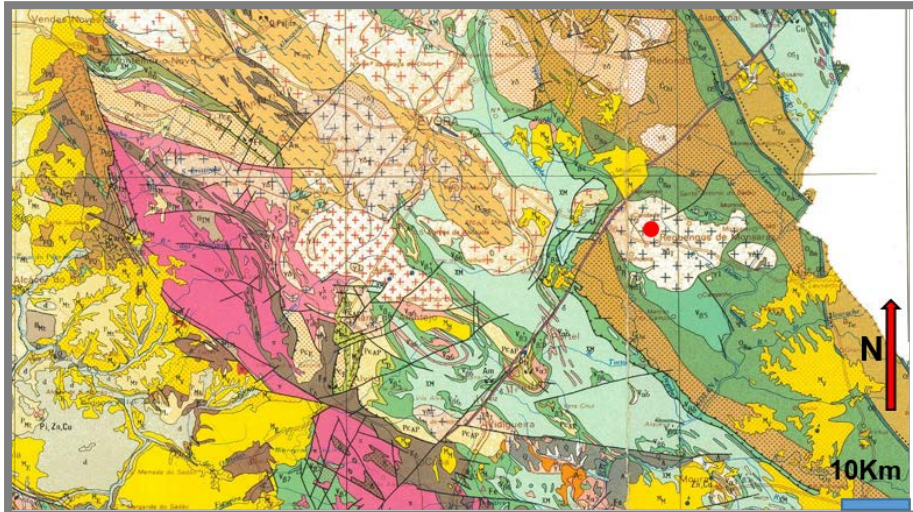


Figura 2.24 Localização do Recinto de fossos dos Perdigões (circulo a vermelho) na adaptação da carta geológica de Portugal, 1:500 000, folha sul

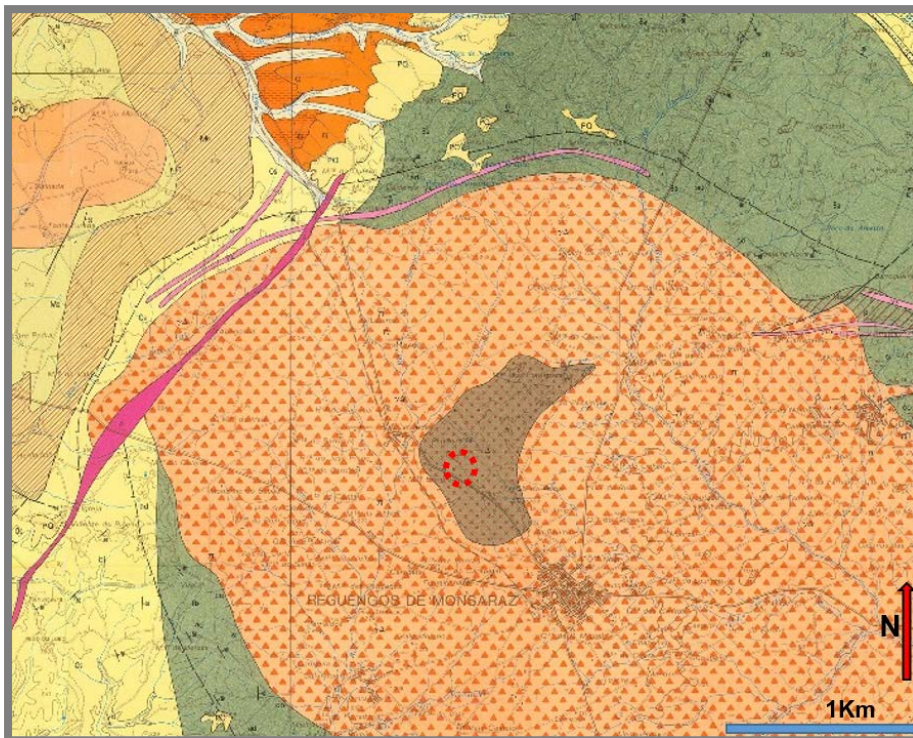


Figura 2.25 Localização do Recinto de fossos dos Perdigões (circunferência a ponteados vermelho) na adaptação da carta geológica de Portugal, 1:50 000, folha 40 B- Reguengos de Monsaraz (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991)

O complexo arqueológico do Recinto de fossos dos Perdigões foi identificado em 1983 (Gomes, 1994). Contudo, só em 1996 os trabalhos agrícolas na Herdade dos Perdigões revelaram a real dimensão do sítio arqueológico, tornando-se claros os limites e a extraordinária complexidade do povoado (Lago et al, 1998; Valera et al, 2000; Valera, 2013a). Este sítio trata-se de um complexo arqueológico que abrange uma área de cerca de 20 ha, incluindo a área do cromeleque, com uma planta subcircular, sendo o seu espaço delimitado por dois grandes fossos concêntricos (Lago et al, 1998). A sua organização interna é complexa e estruturada por diversas linhas de fossos (Figura 2.26).

Entre duas linhas de fossos insere-se uma necrópole, integrando vários sepulcros. No exterior e a este, junto ao espaço da necrópole, existe um agrupamento de menires (Valera, 2013a). O enquadramento espacial do sítio denota uma avaliação específica do território e das suas potencialidades por parte dos ocupantes dos Perdigões, destacando-se a abundância de água, a proximidade a terrenos de boa qualidade, um subsolo que favorece a escavação de estruturas diversas e a implementação estratégica no vale de uma ribeira (Lago et al, 1998; Valera, 2010b).

Atualmente estão referenciadas 12 estruturas de tipo fosso, com cronologias dos finais do terceiro quartel do 4º milénio ao terceiro quartel do 3º milénio a.C., centenas de estruturas tipo fossa e alguns monumentos funerários (Valera, 2013a). Genericamente, o espectro cronológico enquadra-se entre o Neolítico Final e transição para a Idade do Bronze (Valera, 2010b; Valera et al, 2014d) (Figura 2.27).



Figura 2.26 Magnetograma do recinto de fossos do Recinto de fossos dos Perdigões evidenciando as linhas de fossos (adaptado de Valera, 2013a).



Figura 2.27. Indicação da cronologia e espaços de algumas das estruturas intervencionadas nos Perdigões (adaptado de Valera, 2010b).

No presente trabalho estudaram-se do ponto de vista composicional e de luminescência materiais recolhidos em cortes na sequência de preenchimento de quatro estruturas negativas do tipo fosso (fossos 5, 6, 8 e 12) e uma estrutura circular (Figura 2.28). Na área de implantação dos fossos e estrutura circular foi possível identificar um conjunto de estruturas negativas e artefactos correspondentes ao Neolítico Final, sucedidas por outras estruturas e depósitos de ocupações Calcolíticas e da transição para a Idade do Bronze (Valera, 2011, 2012c, 2013d).

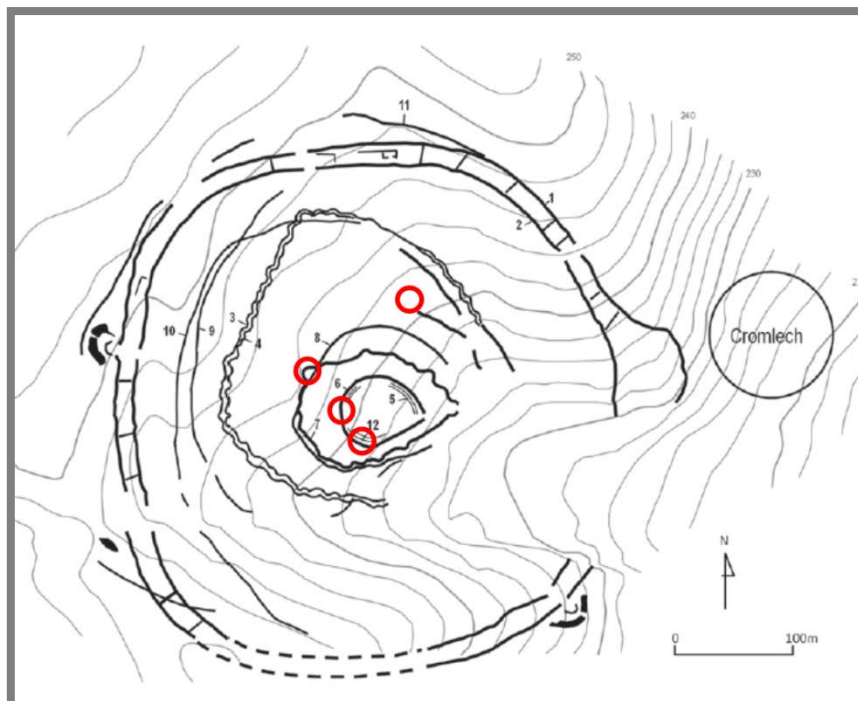


Figura 2.28. Localização dos fossos e das estruturas no Recinto de fossos dos Perdigões com indicação dos locais de amostragem (adaptado de Valera et al, 2014c)

O fosso 12 (na abordagem feita na sondagem 2 (Valera, 2013d)) apresenta 1,1 m de largura e 0,6 m de profundidade e um perfil genericamente trapezoidal (Figura 2.29). Este fosso estava preenchido por depósitos que forneceram artefactos cerâmicos, ossos, e na base do preenchimento, fragmentos de rocha que foram inicialmente interpretados como base de uma paliçada (Valera, 2013d). Os materiais recolhidos indicam uma cronologia do Neolítico existindo já uma datação por radiocarbono que indica que a deposição de material no fundo do fosso terá ocorrido na segunda metade do quarto milénio a.C. entre 3365-3097 anos a.C. (Valera, 2013d; Valera et al, 2014d).

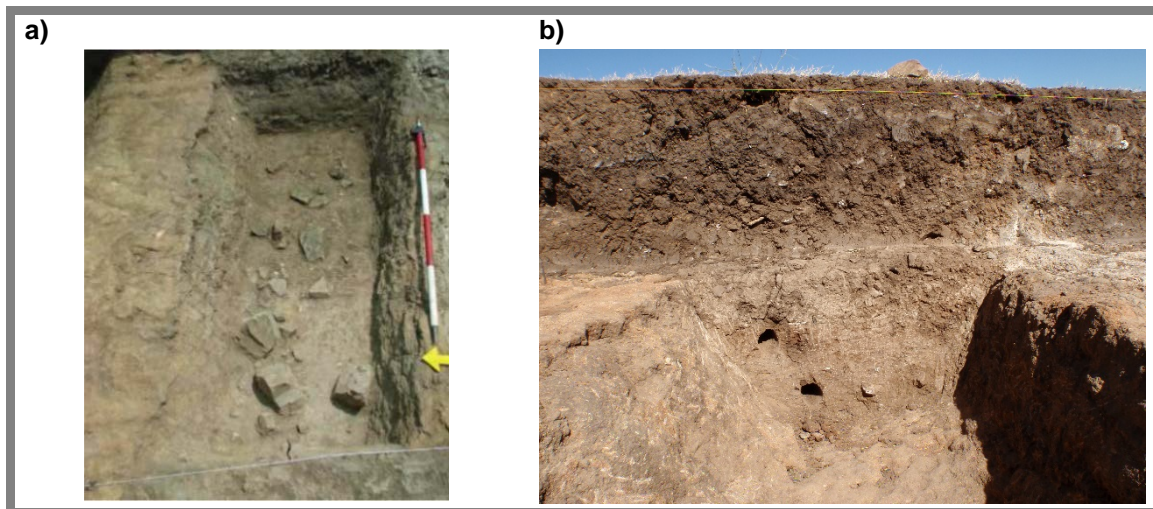


Figura 2.29 Fotografia do fosso 12 no Povoados dos Perdigões: a) vista da base do fosso (adaptado de Valera, 2013d); b) pormenor do corte amostrado.

O fosso 5 desenvolve-se a cerca de 50 cm do fosso 12 (Figura 2.30) e apresenta 1,6 m de largura, 0,54 m de profundidade e um perfil convexo. Na sua sequência de preenchimento é notada uma separação vertical, sugerida pela diferença entre os materiais de preenchimento e a predominância de artefactos e fauna num dos lados (Figura 2.31). A separação vertical da estratigrafia do fosso, associada à natureza dos depósitos e à concentração de materiais de um dos lados, são aspetos compatíveis com a existência de uma paliçada, hipótese colocada inicialmente para este fosso. Tal como no fosso 12, existem evidências de uma cronologia do Neolítico, mais propriamente na transição do quarto para o terceiro milénio antes de Cristo, entre 3093 – 2918 anos a.C. (Valera, 2013d; Valera et al; 2014d).

Atualmente a ideia de utilização dos fossos 5 e 12 como fundações de uma dupla paliçada são questionáveis tendo em consideração as indicações de um preenchimento mais complexo, nomeadamente no fosso 12, onde foram exumados “Idolos Almerienses” e pedaços de cerâmica, sugerindo uma utilização mais diversificada com diferentes propósitos (Valera et al, 2014d). As datações por radiocarbono permitiram indicar que, apesar de serem paralelos, os fossos podem não ter sido utilizados em simultâneo, tendo sido o fosso 5 aberto mais tardiamente (Valera et al, 2014d). Para estes fossos visa-se o estudo da dinâmica de preenchimento do ponto de vista composicional e de luminescência, bem como contribuir para melhor compreender as fases de ocupação e abandono dos fossos e observar a possível relação entre eles.

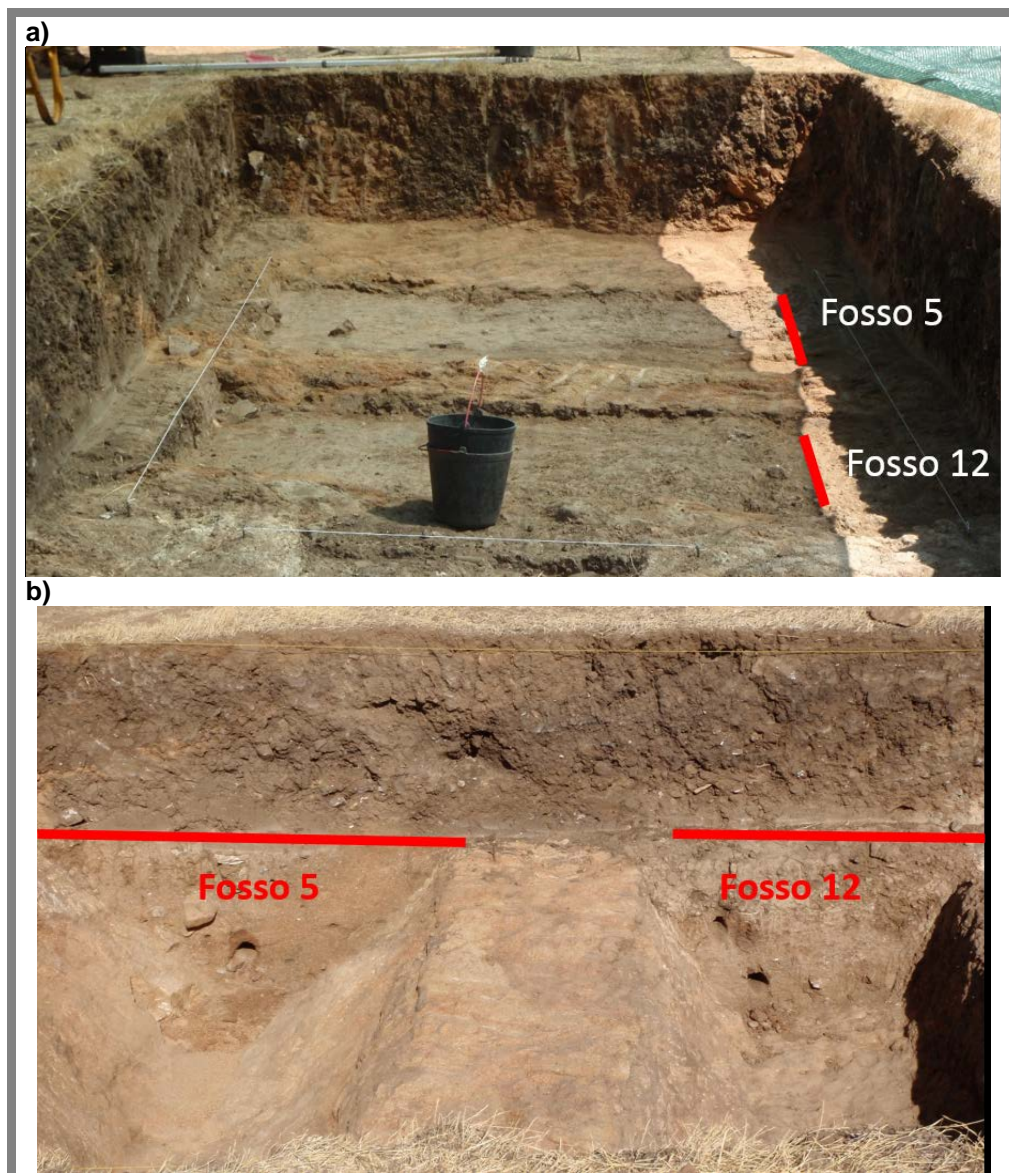


Figura 2.30 Vista dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões com a indicação do corte amostrado: a) no início da escavação; b) no final da escavação aquando da amostragem.



Figura 2.31 Vista do corte estudado no fosso 5 do Recinto de fossos dos Perdigões, onde se verifica a bilateralidade do preenchimento (Valera, 2013d).

O fosso 8 apresenta uma largura de 2,8 m, com paredes convergentes para o fundo e escavado até à profundidade de 0,9 m (Figura 2.32). Os depósitos do topo do enchimento apresentavam-se com uma disposição convexa, aflorando nas extremidades os depósitos mais profundos (Figura 2.32, b e e). Ao longo do preenchimento do fosso foram identificados diferentes depósitos de material proveniente da alteração do substrato geológico, diversas deposições horizontais de fauna (que revelam intensão), fragmentos de cerâmica, blocos de rochas e fragmentos da indústria lítica, bem como carvões e camadas finas de cinzas (Valera, 2013d). Os materiais exumados indicam uma cronologia genérica do Neolítico Final. Com este trabalho pretende-se contribuir para o estudo da dinâmica de preenchimento bem como contribuir para uma melhor interpretação arqueológica, relativamente à sequência dos eventos de deposição dos materiais de colmatação do fosso.

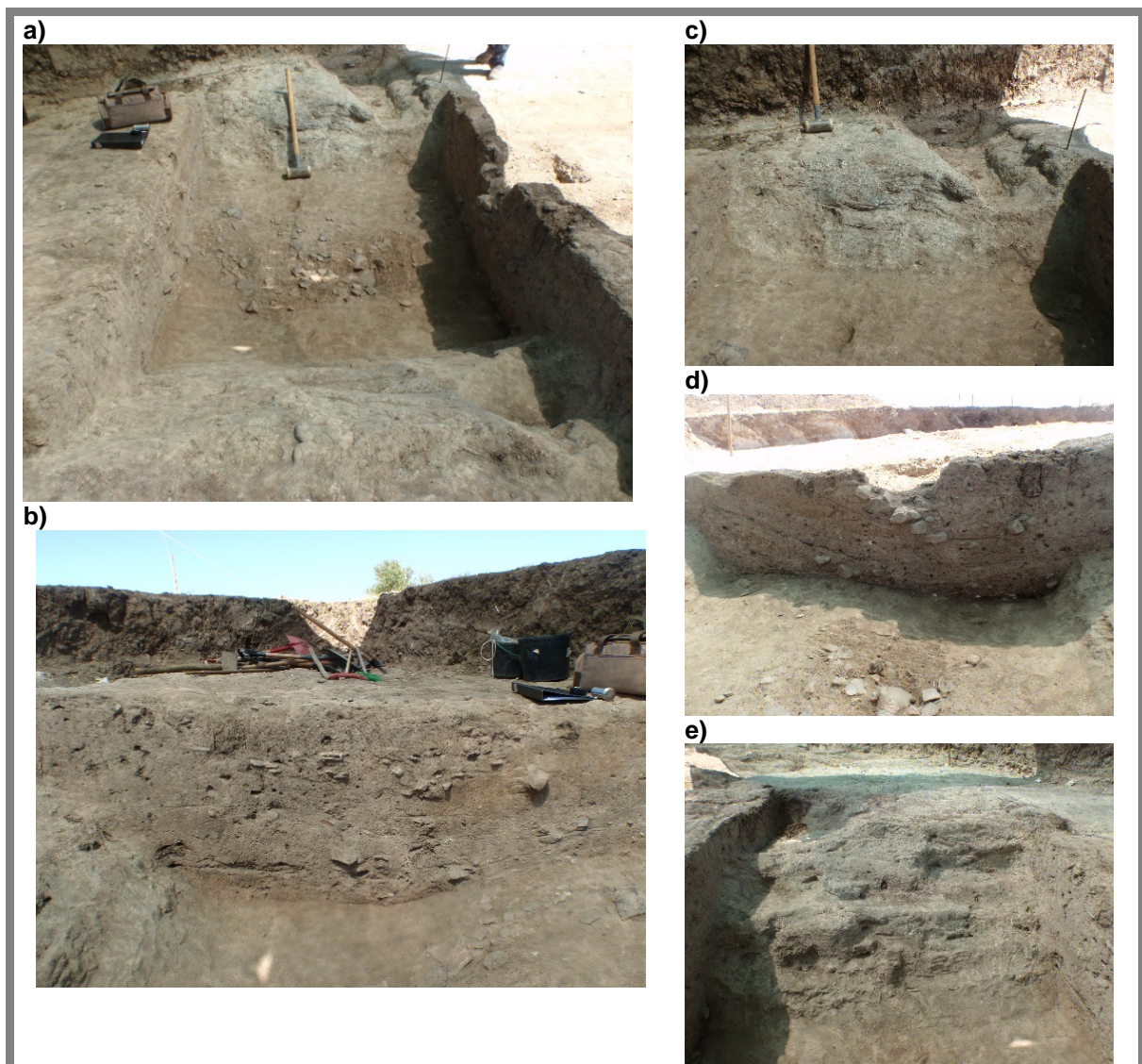


Figura 2.32 Fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdígões: a) Vista geral aquando da amostragem, durante os trabalhos de escavação; b) vista do corte norte onde foi efetuada a amostragem; c) vista este dos limites do fosso; d) vista oeste dos limites do fosso; e) vista do corte a sul.

O fosso 6 apresentava 2,93 m de largura na boca, 1,83 m de profundidade, e uma base (ligeiramente convexa) de 1,2m de largura. O seu perfil é em “U” sub trapezoidal (Valera, 2011). A estratigrafia de preenchimento do fosso evidencia duas fases de preenchimento, separadas por um episódio de erosão da parede exterior do fosso (Figura 2.33) que poderá estar associado a dois fenómenos distintos.



Figura 2.33. Vista da sequência de preenchimento do fosso 6 (corte norte) no Recinto de fossos dos Perdigões, com evidência do depósito de material de meteorização do substrato da parede do fosso (camadas esbranquiçadas mais ou menos a meio da sequência, mais evidente do lado esquerdo).

A primeira fase de preenchimento caracteriza-se por dez depósitos, uns de abrangência integral da área do fosso e outros de abrangência mais restrita, apresentando-se tendencialmente mais horizontais, por vezes com formação inter cruzada, que sugerem vias de sedimentação tanto a partir do lado este (interior) como oeste (exterior) do fosso (Valera, 2011).

Acima dos depósitos da fase inicial surge um conjunto de camadas de material de erosão do substrato geológico (esbranquiçado). Estas camadas são intercaladas com finas camadas de material mais argiloso (acastanhado), com maior evidência do lado oeste do corte norte, com carácter estéril. Apresentam uma inclinação que parecem relacioná-las com uma concavidade erosiva (ou realizada por ação humana) que se observa na parede Oeste do fosso nessa área e da qual estes depósitos parecem resultar (Valera, 2011). A deposição inclinada destes materiais condicionou a sequência de preenchimento da fase posterior, que decorreu sempre a partir do lado oeste para este, ou seja, da parede exterior do fosso para o interior. Após o episódio de erosão, foram escavados buracos de poste na superfície formada pelo material meteorizado proveniente da parede do fosso, e os depósitos seguintes passaram a ocorrer diagonalmente com proveniência do lado de fora do fosso (Valera, 2010c; Valera et al, 2014c). A existência de buracos de poste pode sugerir que existiu uma estruturação do espaço interno do fosso. A camada mais superficial de material de erosão do substrato

geológico poderá ainda estar relacionada com a abertura de uma das fossas que bordejam o lado oeste do fosso. Assim, a formação deste depósito deverá ter ocorrido por ação humana (Valera, 2011).

A fase final de preenchimento do fosso ocorreu obedecendo a deposição inclinada dos materiais, sendo estes níveis ricos em fragmentos rochosos, indícios da presença de estruturas de combustão, fauna e alguma indústria lítica talhada (Valera, 2010c).

Os materiais recolhidos no fosso 6 revelam uma cronologia atribuível ao Neolítico Final (Valera, 2011), havendo já datações por radiocarbono que indicam idades entre os 3336-2944 anos a.C para materiais depositados na base do fosso e entre 3093-2918 anos a.C. para um nível de deposição mais superficial (Valera et al, 2014d). Para este fosso o estudo apenas incide na caracterização química e mineralógica dos materiais depositados nas unidades estratigráficas com correspondência para os diferentes materiais geológicos identificados na rocha onde foi escavado o fosso (descrição mais detalhada na secção 3 do presente trabalho). A datação por luminescência dos materiais recolhidos neste fosso faz parte de um projeto FCT a decorrer, não sendo por isso abordados os comportamentos dos materiais em estudos de luminescência nem questões relacionadas com a datação para os materiais aqui recolhidos.

A estrutura circular estudada no presente trabalho trata-se do preenchimento de um corte circular feito em contextos anteriores, possivelmente do período entre o Calcolítico Final e o início da Idade do Bronze. A estrutura apresenta da base para o topo, um nível de material castanho claro silto-argiloso envolvendo calhaus de grandes dimensões. A este nível sobrepunha-se um depósito castanho muito escuro e fino com pedras de pequenas dimensões. Acima deste depósito, detetou-se um nível de preenchimento por coluvião com material silto-argiloso castanho-escuro, pequenos calhaus e cerâmicas, por sua vez coberto pelo solo moderno (Figura 2.34).

Tratando-se de uma estrutura não intervencionada pela equipa de arqueólogos o objetivo do estudo desta estrutura passa pelo estudo composicional e de luminescência dos materiais de preenchimento, com o intuito de contribuir para a investigação arqueológica no que concerne à delimitação da sua construção, ocupação e abandono, bem como da fase de preenchimento por coluvião e eventuais cortes feitos em estruturas mais antigas.



Figura 2.34 Estrutura circular escavada no Recinto de fossos dos Perdigões.

2.2 Classificação de materiais carbonatados

Verificou-se que cinco dos sete sítios arqueológicos estudados encontram-se localizados em materiais altamente carbonatados, mas de fácil desagregação, daí também a localização preferencial deste tipo de estruturas neste contexto geológico, onde a “construção” de fossos e fossas estaria mais facilitada. Embora predomine este contexto carbonatado nos sítios arqueológicos, ele assume características e aspetos diferentes, que convém salientar, e discutir à luz das várias designações e classificações existentes sobre este tipo de materiais. Surgem nas descrições geológicas regionais (Baixo Alentejo) referidos como “calcretos” (Santos, 2013; Pimentel e Azevedo, 1994; Pais et al, 2013), “caliços” (Abreu et al, 1989; Marques et al, 1990; Oliveira, 1992; Prudêncio et al, 1994), “calcretos pedogénicos” (Pimentel et al, 1996), “calcretos hidrotermais” (Pimentel et al, 1996), “calcários lacustres” (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970), “calcários pulverulentos” (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970; Oliveira, 1992), “calcretos pulverulentos” (Pais et al, 2012), “carbonatos pedogénicos” (Pimentel, 2002; Pais et al, 2012), “crostas carbonatadas” (Pimentel et al, 1996; Pais et al, 2012); “calcreto palustre” (Pimentel e Azevedo, 1994), “carbonatos lacustres e palustres” (Pimentel, 2002).

A designação destas estruturas carbonatadas assume ainda múltiplos termos a nível regional e internacional. Na literatura surgem designações distintas para o mesmo tipo de material. Entre elas salientam-se calcários de superfície, crostas calcárias, caliche (utilizado nos Estados Unidos), “kankar” (em África, Índia, e Austrália), “kurkar” ou “nari” (em Israel), “jiglin” (na Nigéria), “tosca” (na Argentina e Espanha), “encroûtements calcaires” (na Tunísia e Marrocos) (Milnes, 1992; Bachman e Machette, 1997; Chen et al, 2002). O termo caliço é muitas vezes usado como sinónimo de calcreto especialmente nos Estados Unidos da América, onde o termo calcreto é usado para designar não só acumulações muito duras e maciças, mas também acumulações não consolidadas (Nash e McLaren, 2007). Na América do Sul o termo caliche é utilizado para definir as acumulações de nitratos que ocorrem nos desertos da costa oeste (Krug, 1995). Em Portugal o termo caliço/caliche é utilizado para designar material mais desagregado, de baixa dureza, sendo o termo calcreto usado para referir material cimentado, de maior dureza e mais próximo da rocha (Santos, 2013).

Verifica-se que as estruturas arqueológicas negativas concentram-se no centro e sul de Portugal encontrando-se grandemente associadas a este tipo de contexto geológico carbonatado (Figura 2.35). Nos casos concretos das estruturas estudadas neste trabalho, verificou-se que existiam variações no comportamento e aspeto dos vários materiais carbonatados onde se inseriam. Considerou-se, deste modo, importante discutir os conceitos e classificações associadas a estes materiais altamente carbonatados, e em muitos casos pulverulentos e de fácil desagregação, para melhor entender os materiais em estudo, bem como interpretar as suas variações composicionais, e o seu papel como indicadores de condições paleoambientais.

Os depósitos de carbonatos podem formar-se em diferentes tipos de ambientes: marinhos, continentais de águas doces e na dependência de processos eólicos. No âmbito deste trabalho importa salientar as características dos depósitos de carbonato de cálcio formados em condições continentais. Em ambiente terrestre/continental os depósitos carbonatados formam-se sob diferentes condições, desde corpos de água

permanentes (lagos profundos) a condições sub-aéreas permanentes (calcretos pedogénicos e freáticos), passando por uma grande variedade de ambientes que incluem lagos pouco profundos (lacustres) e ambientes pantanosos (palustres). Os ambientes de formação destes depósitos não são independentes uns dos outros e portanto a separação entre cada uma destas formações e os seus processos de formação nem sempre é clara (Figura 2.36) (Alonso-Zarza, 2003).

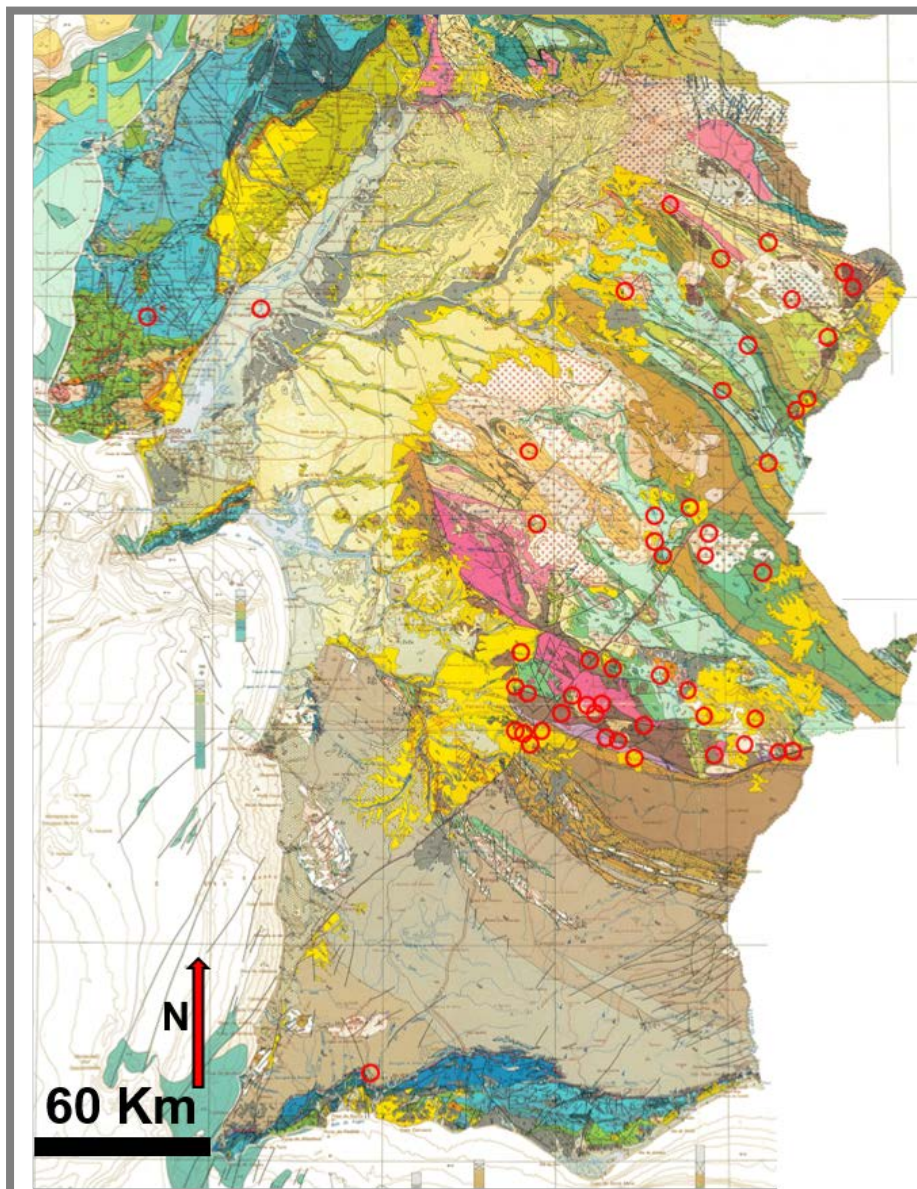


Figura 2.35 Localização dos recintos de fossos (circunferências a vermelhos) identificados na Carta Geológica de Portugal 1:500 000 folha sul (Serviços geológicos de Portugal, 1992) (Adaptado de Valera e Pereiro, 2013).

A deposição de carbonato (secundário) decorre por precipitação de carbonatos inorgânicos que pode, ou não, ser mediada biologicamente. Estes depósitos, pela sua sensibilidade às condições ambientais, são bons indicadores de condições paleoambientais, paleoecológicas e paleoclimáticas (Alonso-Zarza, 2003; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Achyuthan et al, 2012).

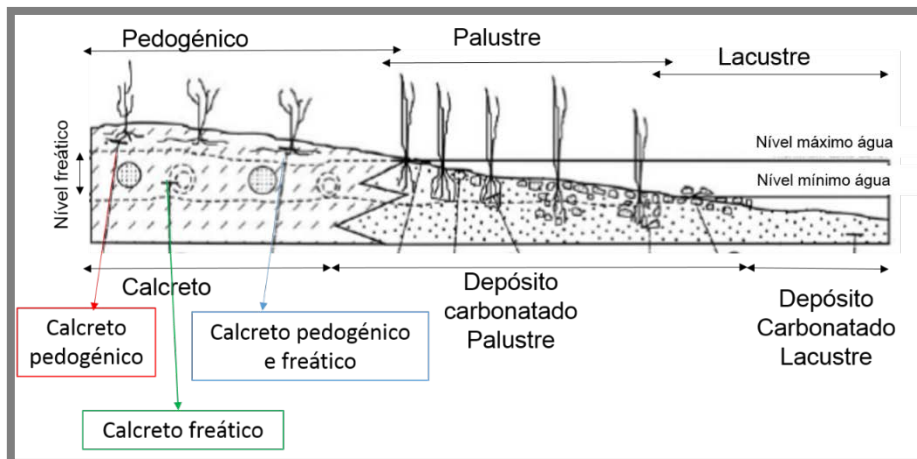
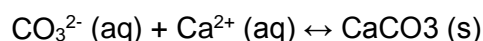
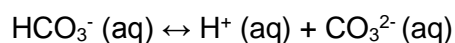
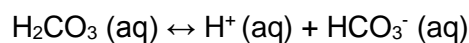
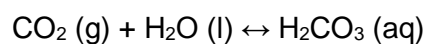
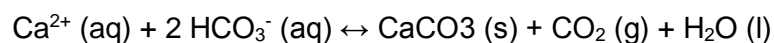


Figura 2.36 Relação entre os diferentes tipos de depósitos carbonatados (adaptado de Alonso-Zarza, 2003).

A precipitação de minerais de carbonato a partir de água continental é fundamentalmente controlada pela termodinâmica dos sistemas dos minerais de carbonato. É útil considerar que, para que ocorra a precipitação de carbonato de cálcio terão de estar em solução, em concentração e atividade suficientes, os iões $\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}$ e $\text{CO}_3^{2-}_{(\text{aq})}$, por forma a que o carbonato de cálcio sobressaturado precipite. São também necessárias condições ideais de pH, pressão e temperatura. A solubilidade do carbonato de cálcio depende principalmente do pH, que por sua vez é controlado pela pressão parcial do dióxido de carbono de acordo com as seguintes equações:



A reação final que representa a precipitação resume-se na equação seguinte:



Os carbonatos lacustres são predominantemente de origem biogénica e a variabilidade das fácies formadas aumenta do centro para a periferia da bacia do lago (Platt e Wright, 2009). A evaporação é mais intensa no centro da bacia, o que resulta na precipitação de sais mais solúveis no centro e de minerais mais ricos em Ca e Mg nas áreas mais afastadas do centro, a partir de soluções mais diluídas (Pimentel, 2002). Nestas bacias fechadas, a precipitação de carbonatos, maioritariamente dolomite, e a distribuição de minerais argilosos não só estão relacionados com os processos sedimentares, mas também com os processos pedogénicos e a diagénese que ocorrem

posteriormente. Quando a salinidade dos lagos é baixa precipita principalmente calcite com baixo teor em Mg (Alonso-Zarza e Tanner, 2010a).

Os depósitos carbonatados palustres formam-se por modificação de carbonatos lacustres devido à alternância entre o estado seco e o estado inundado (consoante a flutuação do nível da água). Esta alternância permite que se desenvolvam processos físicos, químicos e biológicos de alteração do carbonato depositado e a alteração produzida é função do tempo e da periodicidade de cada uma das fases (Alonso-Zarza, 2003; AlShuaibi e Khalaf, 2001; Armenteros et al, 1995). Os processos pedogénicos a que são sujeitos posteriormente dão origem a diferentes fácies de carbonatos palustres. Estas formações podem ocorrer numa variedade de configurações aquáticas continentais, como os sistemas aluviais e fluviais, bacias de lagos amplos e ambientes marinhos costeiros, sempre que as margens dos lagos se caracterizem por gradientes baixos. Estes carbonatos estão muitas vezes relacionados com o estágio final de enchimento de bacias sedimentares (Alonso-Zarza e Tanner, 2010a). A dolomite é o mineral dominante neste tipo de carbonatos associado aos minerais argilosos paligorskite, esmectite e illite (Bachman e Machette, 1977; Pozo e Casas, 1999; Pimentel, 2002; Alonso-Zarza, 2003)

Calcreto é a designação geral para material maioritariamente, mas não exclusivamente, composto por carbonato de cálcio (deposições secundárias) que surge na superfície terrestre, com morfologias que podem variar de macias e pulverulentas até altamente cimentadas e endurecidas, assim como, de camadas contínuas a nódulos discretos, agregados e coberturas laminares (Bachman e Machette, 1997; Chen et al, 2002; Alonso-Zarza, 2003).

De um modo geral estas formações resultam da cimentação de carbonato de cálcio no solo, sedimentos ou rocha de uma dada região, na zona vadosa. Esta definição foi inicialmente atribuída apenas a calcretos pedogénicos, sendo posteriormente alargada para formações com carbonato de cálcio autigénico formados através de águas subterrâneas saturadas em carbonato de cálcio em regiões áridas (Krug, 1995; Chen et al, 2002; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a). Estas formações com origem em águas subterrâneas (calcretos freáticos) apresentam características comuns com os calcretos pedogénicos e com os carbonatos palustres. Os calcretos podem surgir associados a hospedeiros completamente desprovidos de cálcio (carbonato autigénico) ou desenvolverem-se em rochas carbonatadas, incluindo aquelas formadas nas margens de lagos, zonas húmidas sazonais e em águas subterrâneas, criando assim um espectro de relações complexas (Milnes, 1992; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a). Geralmente, a camada de calcreto forma-se junto à superfície por evaporação, sob condições que podem ir de áridas (média de precipitação anual 50-100 mm) a sub-húmidas (média de precipitação anual 500-700 mm) (Khadkikar et al, 2000).

Este tipo de formações carbonatadas pode ser encontrado um pouco por todo o Mundo, já que cobrem cerca de 13% da superfície do planeta. São conhecidos calcretos nos Estados Unidos da América, Argentina, Venezuela, por todo o continente Africano, Líbano, Chipe, Espanha, França, Índia e Austrália, sempre associadas a desertos e climas áridos com precipitação entre 400 e 600 mm por ano (Milnes, 1992; Krug, 1995). O interesse despertado por estas formações no seio de diferentes comunidades

científicas advém da ocorrência generalizada destas formações em condições continentais, e pelo fato de os calcretos serem importantes repositórios de informação acerca da reconstrução de ecossistemas e ambientes, assim como da tectónica, do clima e do regime de sedimentação em que foram formados e do ambiente de diagénese (Krug, 1995; Chen et al, 2002; Alonzo-Zarza, 2002; Nash e McLaren, 2007; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a; Achyuthan et al, 2012). Outro dos interesses do estudo destas formações reside na associação entre os calcretos e os depósitos de urânio (Chen et al, 2002).

Existem vários critérios de classificação dos calcretos que se baseiam na morfologia, na génese, na presença/ausência de ação biológica na sua formação, na associação mineralógica da amostra total e da fração argilosa, e na composição química.

São diversos os trabalhos em que é feita uma classificação dos calcretos segundo a morfologia que apresentam. A base de classificação foi desenvolvida por Netterberg (1980) e modificada posteriormente por Goudie (1983). Uma vez que a morfologia dos calcretos se relaciona diretamente com o seu estado de desenvolvimento, a cada morfologia fez-se corresponder um dos seis estados identificados no desenvolvimento/maturação de um perfil de calcreto (Tabela 2.1.) (Manchette, 1985).

Quanto à génese é possível distinguir calcretos que são formados dentro de perfis de solo, na zona vadosa, por adição ou redistribuição do carbonato de cálcio associado a processos aluvionares, dos calcretos originados por capilaridade ou em águas subterrâneas por precipitação (calcreto freático), devido ao movimento lateral das mesmas (Pimentel et al, 1996; Nash e McLaren, 2007; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a). Estes dois tipos de calcretos apresentam características que permitem a sua distinção (Tabela 2.2.), no entanto esta diferenciação nem sempre é fácil de fazer. Exemplo disso são as formações paleogénicas carbonatadas da bacia do Sado estudadas por Pimentel et al (1996) que apesar de terem origem na precipitação de águas subterrâneas (freáticos), devido ao longo tempo de enterramento a que foram sujeitas apresentam características que poderiam levá-las a ser consideradas calcretos pedogénicos.

Atendendo ainda à génese do calcreto, há autores que consideram um terceiro tipo de calcreto, os calcretos conglomerados ou re-sedimentados gerados a partir dos calcretos pedogénicos e/ou lacustres (Khadkikar et al, 1998; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b).

Tabela 2.1 Classificação morfológica de calcretos com base na descrição dos estados de desenvolvimento (maturação) de um perfil de calcreto (Netterberg, 1980; Goudie, 1983; Manchette, 1985).

Tipo de calcreto	Estado de maturação	Descrição
Solo calcário		Solo fracamente ou não cimentado pelo baixo teor em carbonatos (1 – 10%), usualmente macio e solto onde o carbonato ocorre usualmente como revestimento dos grãos e/ou manchas de carbonato pulverulento. Por norma mantem as características do solo hospedeiro.
Solo calcificado		Solo cimentado pelos carbonatos de consistência firme ou rígida que pode apresentar algum desenvolvimento nodular. O carbonato pode distribuir-se uniformemente pelo horizonte (como ocorre em areia e cascalho calcificado) ou estar confinado a fissuras produzindo uma textura de transição para o calcreto “favo de mel”. O teor em carbonato pode variar entre 10 e 50%.
Calcreto pulverulento	I	Calcreto de textura fina e solta, podendo por vezes apresenta uma consistência dura, formada por carbonato de cálcio de granulometria entre o silte e a areia, onde são visíveis poucas partículas do material hospedeiro e reduzido desenvolvimento nodular. Estas estruturas raramente excedem os 5 metros de espessura.
Calcreto pedotubular		Incrustações de carbonato que se desenvolve em torno de raízes ou estruturas tubulares
Calcreto nodular	II	Concreções ou nódulos de carbonato que vão de macias a muito duras e cimentadas e cujo tamanho pode variar entre o semelhante a silte e os 60 mm. A forma dos nódulos pode variar entre o esférico e formas muito irregulares.
Calcreto “favo de mel”	III	Forma-se quando os nódulos de um calcreto nodular crescem em número e em tamanho, promovendo a aglutinação e cimentação de alguns deste nódulos. Os espaços intersticiais são preenchidos com material hospedeiro e raramente apresentam raio superior a 3 cm, podendo estar conectados entre si. Estas estruturas raramente excedem os 5 metros de espessura.
Calcreto em crosta (hardpan)	IV	Este tipo de calcreto forma-se quando os espaços intersticiais maiores do calcreto “favo de mel” são preenchidos por carbonato, tornando-se formações duras e impermeáveis e por vezes podem surgir como camadas cobrindo material mais macio e solto. Cada camada pode apresentar até 5 m de espessura, mas estas podem sobrepor-se atingindo vários metros. Este tipo de formação pode apresentar-se intacto ou possuir uma série de variações, químicas, mecânicas e texturais (lâminas, inclusões, canais, falhas, veios, recalcificações, entre outras)
Calcreto laminar	V	Camadas finas de carbonato, que tipicamente cobrem hardpans ou substratos de rochosos.
Blocos de calcreto	VI	Forma-se através da meteorização do calcreto <i>hardpan</i> , mas mantêm a dureza característica deste. Quando são cobertos por solo apresentam a superfície superior arredondada devido à infiltração de água que promove a sua dissolução. Geralmente surgem nestas formações crostas laminadas que permitem distinguir pequenos blocos de calcreto de nódulos de calcretos. Em áreas de elevada precipitação, este tipo de formação poderá ser a única no perfil do calcreto e os blocos apresentam superfície arredondada.

Tabela 2.2 Diferenciação entre calcretos pedogénicos e freáticos (Pimentel et al, 1996).

Calcretos pedogénicos	Calcretos freáticos
Geralmente com espessura fina (1-2 m). Quando mais espessos apresentam uma estrutura complexa brechada, pisolítica e peloidal.	Podem atingir uma espessura de 10 m ou mais, tipicamente maciça.
Normalmente exibem um perfil com um conjunto ordenado de horizontes.	Uniformemente maciços.
Macroestruturas nodular, maciça, laminar, pisolítica.	Raramente exhibe horizontes laminares e apenas podem surgir estruturas pisolíticas ou prismáticas no topo da unidade.
São comuns as rizocroncreções.	Pouco abundantes as rizocroncreções.
Podem apresentar microestruturas β (carbonatos biogénicos).	Tipicamente apresentam microestruturas α (densamente cristalino).
Estão presentes estruturas vadose.	Se existirem estruturas vadose surjem apenas junto ao topo da unidade.
Apresentam normalmente cristais pequenos.	Podem apresentar uma gama ampla de tamanhos de cristais.
Pouco porosos.	Porosidade elevada (poros tipicamente alongados na horizontal).
Raramente exibem alterações laterais.	Podem apresentar alterações mineralógicas regulares que refletem gradientes de salinidade.
Normalmente associado a superfícies mais estáveis (planícies aluviais).	Associado com canais de drenagem e depósitos lacustres.
A presença de manchas é mínima refletindo a pouca mobilidade do ferro oxidado.	Associados a manchas de grande extensão por mobilização do Fe pelas águas subterrâneas redutoras.
Mais comumente encontrados em unidades mais finas na sequência estratigráfica	Mais comum em unidades mais permeáveis e grosseiras na sequência estratigráfica.

Os calcretos freáticos formam-se associados a sistemas aquíferos superficiais, durante a passagem de águas subterrâneas através dos sedimentos durante as estações secas. Nestes períodos mais áridos, as águas subterrâneas ricas em carbonatos, ascendem através dos sedimentos do material hospedeiro, por capilaridade. À medida que se aproxima da superfície a água evapora conduzindo à precipitação do carbonato de cálcio (Alonso-Zarza, 2003). O clima controla a sua formação por três razões: as condições de humidade contínua favorecem a dissolução de carbonatos; os períodos intermitentes de chuva intensa promovem o desenvolvimento de melhores sistemas de águas subterrâneas (por infiltração mais eficaz); e as altas taxas de evaporação e de evapotranspiração são essenciais para a precipitação química do carbonato (Alonso-Zarza, 2003). A espessura deste tipo de formações pode variar entre os poucos centímetros e os vários metros, e a área ocupada entre o metro quadrado e vários quilómetros. A forma do calcreto freático depende da topografia de drenagem do aquífero. Neste tipo de ambientes podem também gerar-se dolocretos, nomeadamente em locais mais afastados da zona de carga do aquífero. Os mecanismos de precipitação do carbonato são maioritariamente a evaporação, a evapotranspiração, a perda de

dióxido de carbono e o efeito do ião comum (Wright, 1991). A morfologia e as características dos calcretos freáticos são variadas, sendo os mais comuns os nódulos de material macio, as camadas cimentadas com espessuras entre os 20 cm e os 3 m com nódulos alongados verticalmente, as fácies de leques aluviais próximos e médios, camadas compactas com 30-50 cm com nódulos localizados no topo e estruturas tubulares no nível freático e no nível onde ocorrem fenômenos de capilaridade, camadas maciças espessas (1,5 – 3 m) onde o carbonato se deposita devido ao fluxo lateral de água subterrânea, camadas finas (10 – 50 cm) na superfície de dunas acima do lençol freático (Alonso-Zarza, 2003). Os calcretos freáticos são na sua maioria corpos maciços sem horizontes definidos onde não se distinguem perfis. Por norma não apresentam vestígios de estruturas biogénicas (calcretos α) e não são cobertos por horizontes argilosos (Wright, 1991; Alonso-Zarza, 2003; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a). Não apresentam vestígios de fauna lacustre ou indícios de precipitação em meio aquático. Contudo, em zonas lacustres marginais, extremos de leques aluviais e ambientes pantanosos, a diferenciação entre os calcretos freáticos e os calcretos pedogénicos e carbonatos palustres nem sempre é clara, pois pequenas variações no nível do lençol freático conduzem a mudanças significativas no ambiente de gênese do calcreto. A subida do nível freático resulta na modificação pedogénica dos calcretos freáticos previamente formados que, quando o nível freático atinge a superfície formando o lago pouco profundo, conduz à deposição de carbonatos lacustres. A descida do lençol de água para zonas mais profundas vai deixar expostos os sedimentos lacustres a condições de formação de calcretos pedogénicos e freáticos (Alonso-Zarza, 2003).

Os calcretos pedogénicos desenvolvem-se em zonas mais áridas onde a água pluvial apenas cria zona de humidade do solo, durante as estações húmidas. Os carbonatos dissolvidos por estas águas percorrem o solo húmido e precipitam na superfície por evaporação da água nos períodos mais áridos (Alonso-Zarza, 2003; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b). Estes calcretos apresentam horizontes de acumulação de carbonatos bem diferenciados, formando perfis, que idealmente, da base para o topo são constituídos por: material hospedeiro, horizonte de transição, horizonte pulverulento, horizonte nodular, horizonte laminar, *hardpan* e clastos (Figura 2.37; Tabela 2.3) (Alonso-Zarza, 2003). A formação de perfis espessos de calcreto é o resultado da repartição das diferentes fases de desenvolvimento ao longo do tempo. Os calcretos pedogénicos podem ser, em determinadas condições, difíceis de distinguir dos calcretos freáticos. Contudo, apresentam características próprias que permitem essa distinção. Entre elas estão a ocorrência de um horizonte Bk (camada de subsolo onde ocorre a acumulação de óxidos de ferro e alumínio, filossilicatos, matéria orgânica e carbonato de cálcio por ação das águas pluviais, num perfil de solo), evidências micromorfológicas de processos pedogénicos, presença de carbonato micritico e a presença de matéria orgânica proveniente do solo (Alonso-Zarza e Tanner, 2010b).

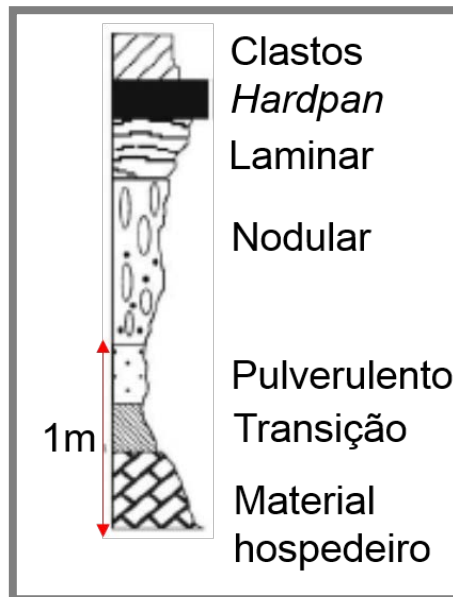


Figura 2.37 Esquema de um perfil de calcreto pedogénico, com indicação dos diferentes horizontes que o constituem (adaptado de Alonso-Zarza, 2003).

Tabela 2.3 Descrição dos horizontes presentes num perfil de calcreto pedogénico (adaptado de Alonso-Zarza, 2003)

Horizonte	Descrição
Clastos	Blocos com granulometria entre a areia e o cascalho revestido por lâminas de micrite, originados pela formação de brechas no calcreto. Este horizonte é mais comum em calcretos desenvolvidos em hospedeiros com granulometria mais grosseira.
Hardpan	Nos perfis de calcretos muito maduros este é o horizonte superior. É muito duro e pouco poroso. Quando estes horizontes são muito espessos podem apresentar brechas.
Laminar	Ocorre normalmente sobre o horizonte nodular e abaixo do <i>hardpan</i> . Contudo em situações em que o <i>hardpan</i> não se observa este é o horizonte mais superficial. Apresenta estruturas “favo de mel”, agulhas e tubos.
Nodular	Horizonte formado por material que se apresenta do pulverulento aos nódulos muito cimentados e duros de carbonatos, envolvidos por material menos rico em carbonato. A morfologia dos nódulos é variável (vertical, horizontal, irregular ramificados). Os limites deste horizonte são por vezes difusos.
Pulverulento	Horizonte com material solto e macio com micrite (estrutura microcristalina da calcite com dimensões inferiores a 4 µm) e/ou grãos detríticos com tendência a ter uma textura e estrutura homogéneas, embora possam surgir alguns nódulos. Pode surgir em qualquer outra posição dentro do perfil.
Transição	Zona de meteorização do material hospedeiro. O limite inferior deste horizonte é difícil de definir.
Material hospedeiro	Pode ter qualquer tipo composição, textura, e grau de compactação e não apresentam qualquer tipo de estrutura de calcreto. A permeabilidade e teor em carbonato de cálcio pode afetar o grau de desenvolvimento do calcreto.

Os calcretos podem ainda distinguir-se com base na presença/ausência de ação biológica na formação da microestrutura. Os calcretos onde é evidente a ação tomam a designação de calcretos biogénicos ou calcreto β por oposição ao calcreto α, onde não se encontram estruturas biogénicas. O calcreto β não surge na forma de camadas e pode

apresentar inúmeras estruturas biogénicas diferentes (Alonso-Zarza, 2003; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a). Quando associado ao crescimento de plantas em zonas muito húmidas, os calcretos biogénicos assumem a designação de calcretos rizogénicos (Khadkikar et al, 1998). Durante o crescimento as plantas absorvem água (muito carbonatada) deixando o solo sobressaturado em Ca que precipita em torno da sua raiz na forma de carbonato de cálcio (Alonso-Zarza, 2003). Os calcretos α apresentam geralmente nódulos cuja forma pode ser um indicador da sua gênese: nódulos com margens difusas podem indicar origem inorgânica através águas meteóricas, enquanto os nódulos definidos são comumente associados a origem biogénica (Khadkikar et al, 1998; Alonso-Zarza, 2003).

Os calcretos podem também ser distinguidos atendendo à associação mineralógica presente na amostra total. Estas formações são principalmente compostas por calcite, quartzo e feldspatos (Chen et al, 2002). O teor em silicatos afeta a dureza dos calcretos, ou seja, quanto maior o teor de sílica, mais duro é o calcreto. A aragonite e carbonato de cálcio hidratado são minerais que podem estar presentes na fase inicial de formação do calcreto. A dolomite também pode ocorrer juntamente com calcite quando o ambiente é rico em Mg, originando, com o aumento da proporção em que surge, diferentes designações para a formação carbonatada: calcreto, calcreto magnésiano, calcreto dolimitico ou dolocreto (Netterberg, 1980; Chen et al, 2002).

No que respeita aos minerais argilosos predominantes presentes nos calcretos, por ordem decrescente são: a esmectite, paligorskite, a sepiolite e a illite (Milnes, 1992; Chen, 2002). O tipo de associações mineralógicas encontradas dá-nos também indicações sobre o paleoambiente da sua gênese e o seu grau de maturação. A ausência de paligorskite-sepiolite e a presença de esmectite e hematite, associadas à calcite e magnésio em baixos teores indicam que os calcretos se terão desenvolvido sob um clima semiárido (média de precipitação anual entre 100 e 500 mm). A formação de hematite exigiria humidade suficiente para permitir uma atividade de meteorização química baixa de minerais primários e de água que iria impulsionar a desidratação. A sepiolite e paligorskite ocorrem normalmente em solos secos, em clima árido, com média de precipitação anual entre 50-100 mm (Alonso-Zarza, 2003).

A classificação de calcretos baseados na composição química, particularmente de elementos traço não está ainda muito explorada. A maioria dos trabalhos publicados foca-se na determinação dos elementos maiores. Alguns trabalhos, em que são caracterizados calcretos do ponto de vista químico, na maioria das vezes com o propósito de identificação de depósitos de U, são a exceção, como por exemplo: Singh et al (2013) determinou a composição química em elementos maiores e alguns elementos traço (Rb, Sr, Ba, Cr, Ni, Cu e Co) em calcretos da Índia; Chen et al (2002) determinou o teor em elementos maiores e alguns menores em calcretos australianos; Kaplan et al (2013) determinou o teor em elementos maiores e alguns menores em calcretos turcos; Prudêncio et al (2011) determinou o teor em elementos maiores e traço, nomeadamente elementos terras raras, num perfil de calcreto na Tunísia; McQueen (2006) e Achyuthan et al (2012) determinaram o teor em elementos maiores, menores e traço, incluindo elementos terras raras num conjunto de calcretos australianos e indianos, respetivamente. Laveuf e Cornu (2009) propõem a utilização dos elementos terras raras como indicadores de processos pedogénicos em calcretos.

No que respeita à composição química em elementos maiores, a razão Ca/Mg que tende a decrescer com a profundidade, no mesmo sentido em que o teor em dolomite aumenta em relação ao teor em calcite, é utilizada como forma de distinguir calcretos (Milnes, 1992). Khalaf e Gaber (2008) usam os teores em óxidos de Si e Ca para distinguir calcretos de carbonatos palustres. Segundo os autores, os carbonatos palustres apresentam teores de CaO acima dos 90% enquanto, os calcretos apresentam teores inferiores a 45%. No que respeita ao teor em óxido de Si, o teor é mais elevado nos calcretos do que nos carbonatos palustres (cerca de 10%). O teor em óxido de alumínio é normalmente superior em calcretos em relação aos carbonatos palustres.

O teor em CaO aumenta nos calcretos com o aumento da maturidade, ou seja, quando passa de um calcreto incipiente (20% de CaO) para um calcreto maciço (40% de CaO). O teor em SiO₂ reflete a natureza quartzítica do material hospedeiro do calcreto (Khalaf e Gaber; 2008)

2.2.1 Os materiais carbonatados do Baixo Alentejo

No Alentejo, as formações carbonatadas genericamente atribuídas ao Terciário e Quaternário (Era Cenozóica), tiveram origem em diferentes domínios tecnosedimentares, cuja evolução foi condicionada por fatores de natureza paleogeográfica e estrutural. O grau de pormenor dos trabalhos sobre o Terciário (Paleogénico e Neogénico) no Alentejo é diferenciado conforme as áreas e não foi feita até ao momento uma correlação geral entre todas as designações litoestratigráficas.

A área estudada não se encontra totalmente coberta pela cartografia geológica na escala 1: 50 000. Assim, utilizando a cartografia disponível, considerou-se que os sítios arqueológicos estudados encontram-se localizados em formações Terciárias, mais concretamente formações Miocénicas. Segundo a notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal 1:500 000 (Oliveira, 1992) o Miocénico é representado nesta região do país desde a Bacia do Sado, atravessando a planície de Beja, até à Bacia de Moura.

No bordo oriental da Bacia do Sado, área já atribuída à bacia de Alvalade, no concelho de Ferreira do Alentejo, o Miocénico continental apresenta intercalações marinhas e ocupa as zonas de topografia mais alta. Segundo Oliveira (1992) o Miocénico nesta área é caracterizado pela formação do Esbarrondadoiro que é constituída por areolas, arenitos e calcários esbranquiçados. Lateralmente esta formação torna-se exclusivamente continental sendo constituída por areias, cascalheiras, grés, argilas, margas com concreções calcárias e calcários brancos pulverulentos com laivos acastanhados e rosados (Oliveira, 1992). Segundo Pimentel et al (1996) a maioria das formações carbonatadas da bacia do Sado são calcretos freáticos.

Os depósitos da planície de Beja são estritamente continentais e são representados pelo afloramento de Beringel, constituídos por calcário compacto coberto por uma formação carbonatada pulverulenta contendo níveis arenosos com seixos, relacionados com episódios detríticos. Estas formações carbonatadas pulverulentas contêm material alóctone bem visível e a composição mineralógica é dominada pela calcite à qual se associam quartzo, feldspatos, ilmenite e paligorskite (Abreu et al, 1989).

Em muitos pontos da planície de Beja existem impregnações calcárias superficiais e crostas (caliços) constituídas por calcário branco e pulverulento ou concrecionado, em posição horizontal. Estas impregnações desenvolveram-se em clima subárido com fortes variações sazonais, em zonas baixas com escoamento difícil (Oliveira, 1992).

Na região de Moura, o Miocénico continental está mais desenvolvido e concentra-se sobretudo na Bacia entre Brinches e Moura, assentando sobre o Paleogénico ou o substrato Antigo. Nesta região o Miocénico é constituído por três unidades, sendo a do topo a unidade onde se registam formações carbonatadas – Calcários de Moura e Arrancadas (Unidade intermédia de Moura-Marmelar). Tratam-se de calcários esbranquiçados mais ou menos compactos, pouco gresosos e por vezes pulverulentos e com aspeto margoso (Oliveira, 1992). A fração carbonatada destes materiais (designados como calcários lacustres de Moura na notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, Folha 43-B Moura) é de cerca de 94%, o teor em feldspatos muito baixo e o quartzo de origem detrítica e com grãos sub-rolados (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970). Segundo Oliveira (1992), surgem no interior do preenchimento da bacia de Moura diferentes manifestações de diagénese superficial, das quais se destacam dois horizontes constituídos por caliços e crostas calcárias que materializam dois importantes episódios de pedogénese carbonatada (calcretos carbonatados).

Não existindo cartografia de pormenor suficiente para os sítios do Monte Carrascal, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões, e atendendo à variabilidade de descrições e nomenclaturas utilizadas pelos diferentes autores, bem como aos diferentes calcretos identificados na área em estudo, entre os quais é por vezes difícil fazer uma distinção apenas com base na mineralogia e nas características macroscópicas, a caracterização do ponto de vista composicional em especial no que respeita à composição química em elementos traço para os calcretos, feita no presente trabalho, contribuirá para uma melhor caracterização e distinção do tipo de calcreto em cada um dos sítios arqueológicos.

3 Os materiais estudados

3.1 Metodologia da amostragem

Para cada um dos sítios arqueológicos foi efetuada uma campanha de amostragem específica, tendo sido recolhidas amostras dos materiais de preenchimento (**MPr**) das estruturas negativas (fossos e fossas), assim como amostras representativas das variações na geologia local (**MGeo**). A recolha foi efetuada tendo em consideração a abordagem metodológica a que as amostras iriam ser sujeitas. De um modo geral, foram amostrados em perfil os materiais de preenchimento das estruturas, para estudos composicionais e de comportamento em luminescência e, consoante a estratigrafia e a problemática arqueológica encontrada, foram amostrados materiais de preenchimento para datação por luminescência. Por cada amostra de materiais de preenchimento para datação foi também recolhida uma amostra adjunta para ser sujeita a análise granulométrica e composicional.

As amostras de materiais de preenchimento em perfil (**pMPr**) foram recolhidas na vertical, no fundo e no topo de cada camada de preenchimento identificada ao longo das estruturas, com base nas diferenças macroscópicas ao nível da cor e da textura, identificadas durante a amostragem, e nas indicações dos arqueólogos (Rodrigues et al, 2013; Burbidge et al, 2007; Sanderson et al, 2001, 2003). Para esta amostragem utilizaram-se tubos de inox com 2 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento, sendo recolhidos cerca de 10 g de amostra (Figura 3.1).



Figura 3.1 Fotografia de pormenor da amostragem de materiais de preenchimento em tubos de pequenas dimensões (amostra de perfil, pMPr, para estudos composicionais e dosimétricos).

No caso da amostragem para a determinação da cronologia dos materiais de preenchimento (amostra para datação - **dMPr**), cerca de 300 g de amostra foram recolhidos no centro da camada selecionada, em tubos de inox com 3,8 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento (Figura 3.2 e Figura 3.3). Sendo estes dois tipos de amostras para determinações por luminescência opticamente estimulada, os tubos de amostragem foram imediatamente selados de forma a impedir o contato com a luz dos materiais do centro do tubo, perdas de água e desagregação da amostra. Os tubos foram lacrados com fita isoladora preta ou tampas próprias para o efeito e guardados em sacos de plástico junto com a amostra adjunta e devidamente identificados.

Durante a amostragem dos materiais de preenchimento das estruturas negativas, utilizando os pontos de amostragem feitos para a recolha das amostras, procedeu-se à medida *in situ*, por espectrometria gama, da radioatividade ambiente que permite determinar os teores em K, Th e U (Figura 3.2).

No caso da amostra adjunta (**aMPr**), recolheram-se cerca de 1000 g de materiais de preenchimento em torno do local de recolha da amostra para datação (material envolvente), que foram armazenados em sacos de plástico.

Na área envolvente de cada sítio arqueológico, efetuou-se uma amostragem representativa das variações da geologia local, de forma a complementar a informação acerca dos materiais de preenchimento, nomeadamente quanto à proveniência, processos de meteorização e alterações durante o enterramento. Foram recolhidos entre 1000 e 2000 g de amostra em saco de plástico (**MGeo**)

No campo, todos os tubos e sacos com amostra foram devidamente identificados com siglas identificativas do local de amostragem e com um número, para as amostras de materiais de preenchimento das estruturas, ou letra, para as amostras de materiais representativos da geologia. A designação dada às amostras seguiu uma ordem em cada sítio arqueológico, numérica ou alfabética consoante se tratem de amostras de materiais de preenchimento ou amostras representativas da geologia. Quer-se com esta informação esclarecer que, em sítios arqueológicos onde se amostraram mais do que uma estrutura negativa, a designação atribuída não contempla necessariamente uma relação estratigráfica entre os materiais de cada uma das estruturas. Em cada estrutura a designação segue uma ordem que se relaciona diretamente com a estratigrafia, da base para o topo.

A localização das amostras na sequência de preenchimento e a sua relação espacial com as restantes amostras recolhidas é feita por medição das distâncias a pontos de referência, ao substrato e à superfície atual (Figura 3.4).



Figura 3.2 Amostragem dos materiais de preenchimento das estruturas negativas, com tubos de grandes dimensões (dMP_r e aMP_r, para estudos dosimétricos, datação por luminescência) e pormenor da recolha de dados dosimétricos *in situ* por espectrometria gama.



Figura 3.3 Material para a colheita de amostras para determinações por luminescência: tubos de inox vedados à luz, de diferentes dimensões.



Figura 3.4 (a) Identificação das amostras durante o trabalho de campo; (b) Recolha de informação para a localização da amostra na sequência de preenchimento das estruturas negativas.

Foi feito o registo fotográfico do local amostrado, antes e depois da colheita das amostras, assim como das amostras recolhidas e da envolvente. Em formulário de amostragem específico (Anexo I) para a recolha de amostra para estudos de luminescência foi feito o registo de todos os aspetos relevantes (distância ao substrato, distância ao nível de água mais próximo, cor e aspeto dos materiais, relação entre os materiais recolhidos e os contextos arqueológicos que representam, distância dos pontos de recolha a pontos de referência, profundidade dos pontos de recolha das amostras, profundidade das amostras na sequência de preenchimento e em relação à superfície atual), assim como um esquema explicativo do contexto amostrado.

No total recolheram-se 188 amostras (Tabela 3.1): 33 amostras representativas das variações geológicas nos sítios arqueológicos e 155 amostras de materiais de preenchimento das estruturas negativas. Destas, 25 amostras para datar por luminescência e as respetivas 25 amostras adjuntas para caracterização composicional. As restantes 105 amostras de preenchimento das estruturas negativas correspondem aos materiais para estudos de comportamento composicional e dosimétrico em perfil.

A descrição detalhada da amostragem em cada uma dos sítios arqueológicos é feita de seguida.

Região	Substrato	Número de amostras representativas da geologia local	Sítio arqueológico	Referência	Estrutura arqueológica negativa	Cronologia relativa atribuída	Número de amostras de materiais de preenchimento	
Ferreira do Alentejo - Beja	Sobre os gabros de Beja	1 bloco de calcareto	Monte Carrascal	MC	Fosso 1	Calcolítico	4 Amostras datação + 15 Amostras perfil	
		3 amostras de um perfil de calcareto 3 amostras de um perfil de calcareto + 4 amostras de um perfil de calcareto + 1 amostra de um calcareto pulverulento	Monte de Cortes	COR	Fossa Fosso	Neolítico-calcolítico	1 Amostra datação + 1 Amostra datação + 7 Amostras perfil	
Brinches - Serpa	Bacia de Moura	3 amostras de um perfil de calcareto	Covas	CV	Fossa 7	Neolítico-Idade do Ferro	3 Amostras datação + 15 Amostras Perfil	
		Calcareto, depósitos do miocénico ricos em calcite	Horta dos Quarteirões	H	Intersecção entre os fossos 1 e 2	Neolítico Antigo	2 Amostras datação + 6 Amostras perfil	
Reguengos de Monsaraz - Évora	Maciço do Pedregão Carbonífero	1 bloco de calcareto	Outeiro Alto	OA	Hipogeu 4/5	Neolítico Antigo	4 Amostras perfil 1 Amostra Datação 1 Amostra datação + 4 Amostras de perfil	
		3 amostras de um perfil de calcareto			Fossa 30		5 Amostras perfil	
		4 amostras de um perfil de alteração do granito	Malhada da Ourada	MO	Fossa		1 Amostra datação	
		2 amostras do solo e amostra do substrato + 3 amostras de perfil do substrato	Povoado dos Perdígões	PDG		Estrutura circular	Calcolítico - Idade do Bronze	3 Amostras datação + 6 Amostras perfil
		2 perfis do substrato do fosso (4 + 3 amostras)				Fosso 5		1 Amostra datação
		3 amostras do substrato e solo			Fosso 6		7 Amostras dos níveis de preenchimento identificados pelos arqueólogos	
		2 amostras do solo e amostra do substrato			Fosso 8		3 Amostra datação	
					Fosso 12		2 Amostra datação	

Tabela 3.1 Resumo da amostragem efetuada.

3.2 Amostragem

3.2.1 Monte do Carrascal

Na estrutura negativa (fosso 1 - átrio de acesso aos hipogeus) do Monte do Carrascal foram amostrados os materiais de preenchimento no corte oeste, secção norte-sul (Figura 3.5, a). O corte amostrado apresentava uma conformação trapezoidal com cerca de 400 cm de largura no topo, estreitando-se para a base e cerca de 230 cm de profundidade, desde a base até à superfície.

A amostragem dos materiais de preenchimento em perfil foi feita entre os 0 cm e os 223 cm de profundidade (amostras pMC13-pMC1). Recolheu-se uma amostra de solo superficial moderno, silto-argiloso de cor castanho-escuro com nódulos amarelos e brancos. Entre os 28 - 130 cm de profundidade, no contexto designado pelos arqueólogos como correspondente ao preenchimento por coluvião após abandono da estrutura, recolheram-se 7 amostras de material de preenchimento silto-argiloso compacto, de cor castanha muito clara com nódulos brancos e amarelos. No contexto inferior, referente ao preenchimento inicial da estrutura durante a fase de ocupação, recolheram-se 3 amostras, entre os 155 - 190 cm de profundidade, de material silto-argiloso muito fino e pouco compacto, castanho claro com nódulos esbranquiçados, e entre os 207 - 223 cm de profundidade recolheram-se 2 amostras de material silto-argiloso castanho-escuro com muitos nódulos brancos e avermelhados com textura de silto- argiloso. Entre os 155 - 190 cm de profundidade foram encontradas cerâmicas, nódulos de calcreto, pedaços de carvão e material lítico, alinhados horizontalmente. Entre os 207 - 233 cm de profundidade o material de preenchimento apresentava finas camadas ,bem definidas e compactas, evidenciando um conjunto de pisos de circulação (Santos, 2010; Valera et al, 2010). Lateralmente em relação ao perfil central, foram recolhidas duas amostras de material mais grosseiro com nódulos de calcreto de vários tamanhos (pMC14 e pMC15) junto ao substrato geológico: a amostra pMC15 composta por material castanho-escuro que foi recolhida num contexto que aparentava ser de suporte de uma parede com materiais depositados por coluvião, ou intencionalmente colocados, e a amostra pMC14 composta por material castanho claro que corresponde ao preenchimento da reescavação efetuada no preenchimento inicial da estrutura em período de ocupação humana, mais tardiamente mas, ainda em período Calcolítico (Santos, 2010; Valera et al, 2010). Estas amostras foram recolhidas com o objetivo de verificar as variações laterais na sequência de preenchimento que possam auxiliar na compreensão dos processos de preenchimento dos contextos a e c, atribuídos respetivamente ao contexto de pisos de circulação em período de ocupação humana e ao contexto de encerramento do fosso por coluvião na fase após abandono na estrutura.

No que respeita às amostras para datar e aos respetivos materiais adjuntos, foi recolhido material de preenchimento a 50, 130, 170 e 207 cm de profundidade, duas amostras no contexto de ocupação (MC1 e MC2) e outras duas no contexto de preenchimento após abandono da estrutura (MC3 e MC4) (Figura 3.5, b). Assim, foram recolhidas 15 amostras de materiais de preenchimento em perfil, 4 amostras de materiais de preenchimento para datar e as quatro amostras adjuntas correspondentes, perfazendo um total de 23 amostras (Tabela 3.2).

Segundo a cartografia geológica disponível para a área de implantação do Monte Carrascal (Carta Geológica de Portugal, escala 1:200 000, Folha 8), a geologia local é composta por gabros. Este sítio arqueológico encontra-se escavado numa pequena

mancha de calcreto, rodeada por material de alteração dos gabros. Recolheram-se pequenos blocos de calcreto de cor esbranquiçada com aspeto cimentado e compacto mas de fácil desagregação que, dada a dimensão da formação e a homogeneidade do substrato geológico onde o fosso fora escavado, foi considerada uma amostra representativa da geologia local (amostra MCa) (Tabela 3.2).

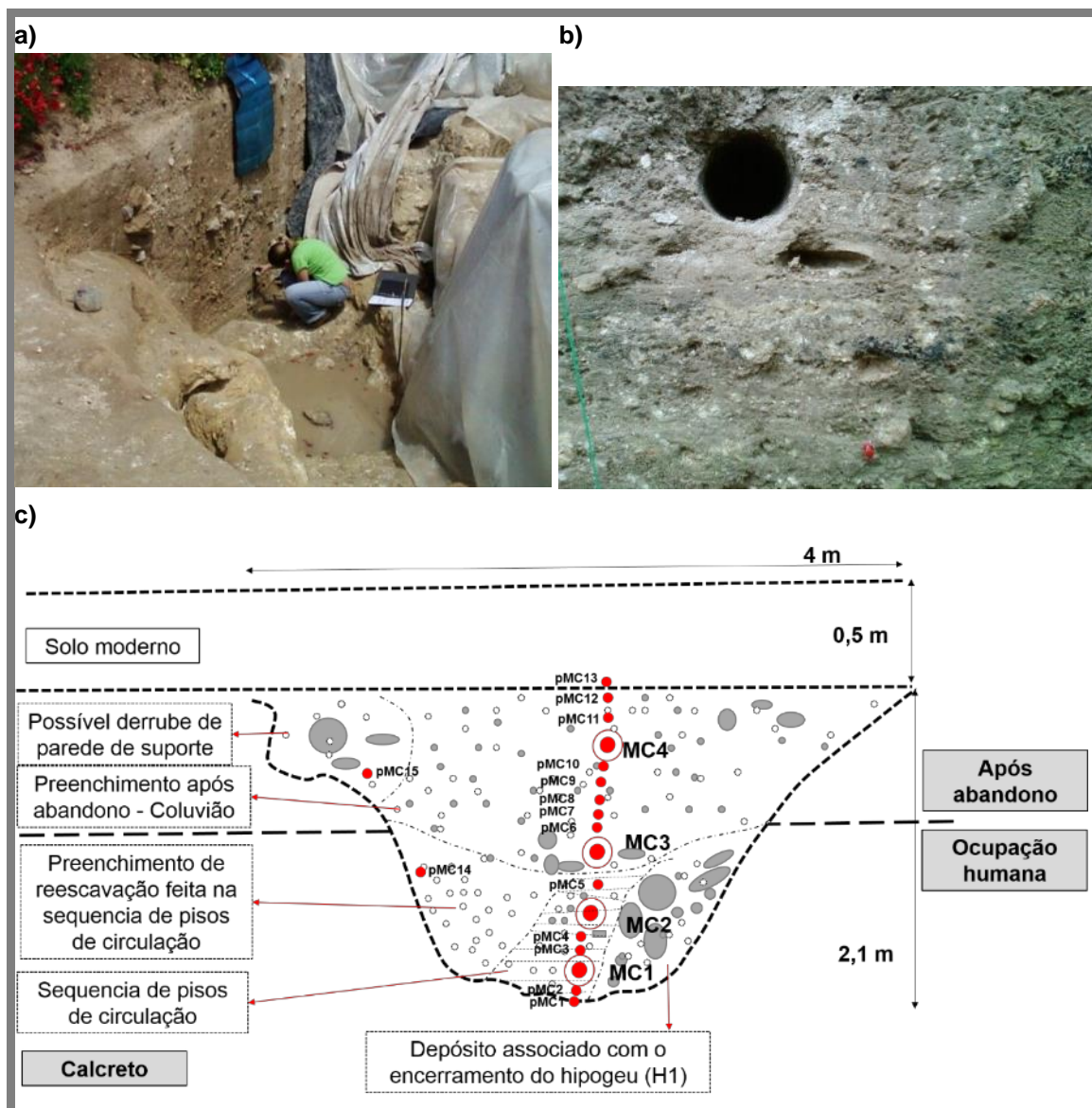
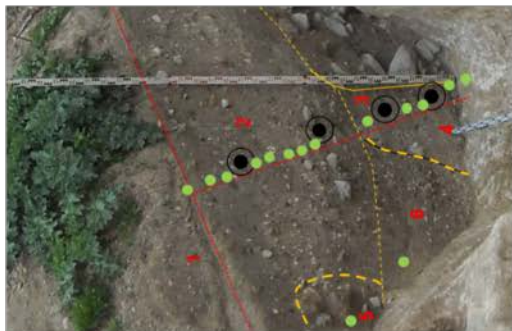


Figura 3.5 Amostragem dos materiais de preenchimento no fosso do Monte Carrascal: a) pormenor da amostragem dentro do fosso, no corte oeste; b) Vista em pormenor do local de colheita da amostra MC3; c) esquema representativo do enchimento da estrutura negativa e da amostra recolhida (os círculos brancos representam os nódulos de calcreto e os cinzentos calhaus de diferentes litologias e tamanhos).

Tabela 3.2 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos no fosso 1 do Monte Carrascal e dos materiais representativos da geologia local.

Contextos	Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPr	dMPr	aMPr	MGeo	
<p>1. Solo superficial moderno, remexido pelos trabalhos agrícolas; com materiais orgânicos</p> <p>2. Preenchimento da estrutura após o abandono – Colúvio</p> <p>3. Preenchimento durante a fase de ocupação humana</p> <p>4. Preenchimento inicial onde se identificaram pisos de circulação</p> <p>5. Material acumulado por colúvio ou por ação humana junto ao substrato geológico e a um conjunto calhaus que parecem ser suporte de parede</p> <p>6. Materiais de preenchimento da reescavação efetuada no preenchimento inicial da estrutura em período de ocupação humana</p> <p>7. Substrato Geológico - Calcreto</p>	0	Castanho-escuro com nódulos amarelos e brancos	Material silto-argiloso	pMC13				
	28			pMC12				
	37			pMC11				
	50				MC4			
	70	Castanho muito claro com nódulos brancos e amarelos	Material silto-argiloso compacto	pMC10				
	84			pMC9				
	92			pMC8				
	100			pMC7				
	115			pMC6				
	130				MC3			
	155			Material silto-argiloso muito fino e pouco compacto, com cerâmicas, material lítico, nódulos de calcreto e pedaços de carvão alinhados horizontalmente	pMC5		MC2	
	170				pMC4			
	176	Castanho claro com nódulos esbranquiçados			pMC3			
190								
	207	Castanho-escuro com muitos nódulos brancos e avermelhados	Material silto-argiloso em camadas compactadas e muito finas	pMC2	MC1	MC1		
	213							
	223			pMC1				
	76 (a 160 cm do perfil central)	Castanho escuro	Material mais grosseiro com calhaus de diferentes litologias e nódulos de calcreto	pMC15				
	134 (a 120 cm do perfil central)	Castanho claro	Material mais grosseiro com nódulos de calcreto de vários tamanhos	pMC14				
		Esbranquiçado	Calcreto (blocos e nódulos de várias dimensões e fácil desagregação)				MCa	

pMPr - círculos a verde
dMPr - círculos a preto
aMPr - circunferência a preto
MGeo - círculos azuis



3.2.2 Monte de Cortes

No sítio arqueológico do Monte de Cortes foram amostrados os materiais de preenchimento de duas estruturas negativas, uma fossa e um fosso.

A sequência de preenchimento da fossa, na secção amostrada, é composta por 2 depósitos cobertos por solo moderno. Na leitura da observação de campo, o depósito inicial, onde foi recolhida a amostra COR1 a 44 cm de profundidade, é constituído por material silto-arenoso compacto de cor castanha com fragmentos de calcreto, que diminuem de tamanho da base para o topo do depósito (Figura 3.6). Sobre este depósito inicial, encontra-se um depósito formado por material silto-arenoso de textura granulosa e cor castanha mais clara, com abundantes nódulos de calcreto que diminuem da base para o topo do depósito, depositado por coluvião. O solo moderno que cobre estes depósitos é composto por material silto-arenoso de cor castanha mais escura e textura granulosa. Apesar das grandes dimensões da fossa no final da escavação, aquando da amostragem esta apenas apresentava uma potência estratigráfica de 0,5 m e a sua estrutura não estava completamente visível (Figura 3.6, c).

A sequência de preenchimento do fosso, no corte amostrado (corte oeste na secção sul) é composta por uma única camada de material homogéneo de textura silto-arenosa e cor castanha clara, com inclusão de alguns fragmentos rochosos, nódulos de calcreto e indicação de precipitação de calcite. Da base para o topo deste depósito o número de nódulos de calcreto diminui. A deposição destes materiais de preenchimento deverá ter ocorrido por coluvião. A separação entre este depósito e o substrato geológico (calcreto) é muito ténue, dada a facilidade com que o calcreto se desagrega. Considerou-se então uma fina camada de material de alteração do calcreto, localizada entre o calcreto e os materiais depositados por coluvião. O solo moderno que cobre o preenchimento da estrutura é silto-arenoso, com textura granulosa e cor castanho-escura (Figura 3.7). Nesta estrutura, recolheram-se 8 amostras ao longo da sequência de preenchimento (pCOR2_1 – pCOR2_7 e COR2) (Figura 3.7, c): uma amostra da camada fina de material de alteração do calcreto, pCOR2_1 a 90 cm de profundidade; cinco amostras do preenchimento por coluvião, entre os 80 e os 41 cm de profundidade, pCOR2_2 – pCOR2_4, COR2 (amostra para datar) e pCOR2_5; duas amostras de solo entre os 30 e os 5 cm de profundidade, pCOR2_6 e pCOR2_7.

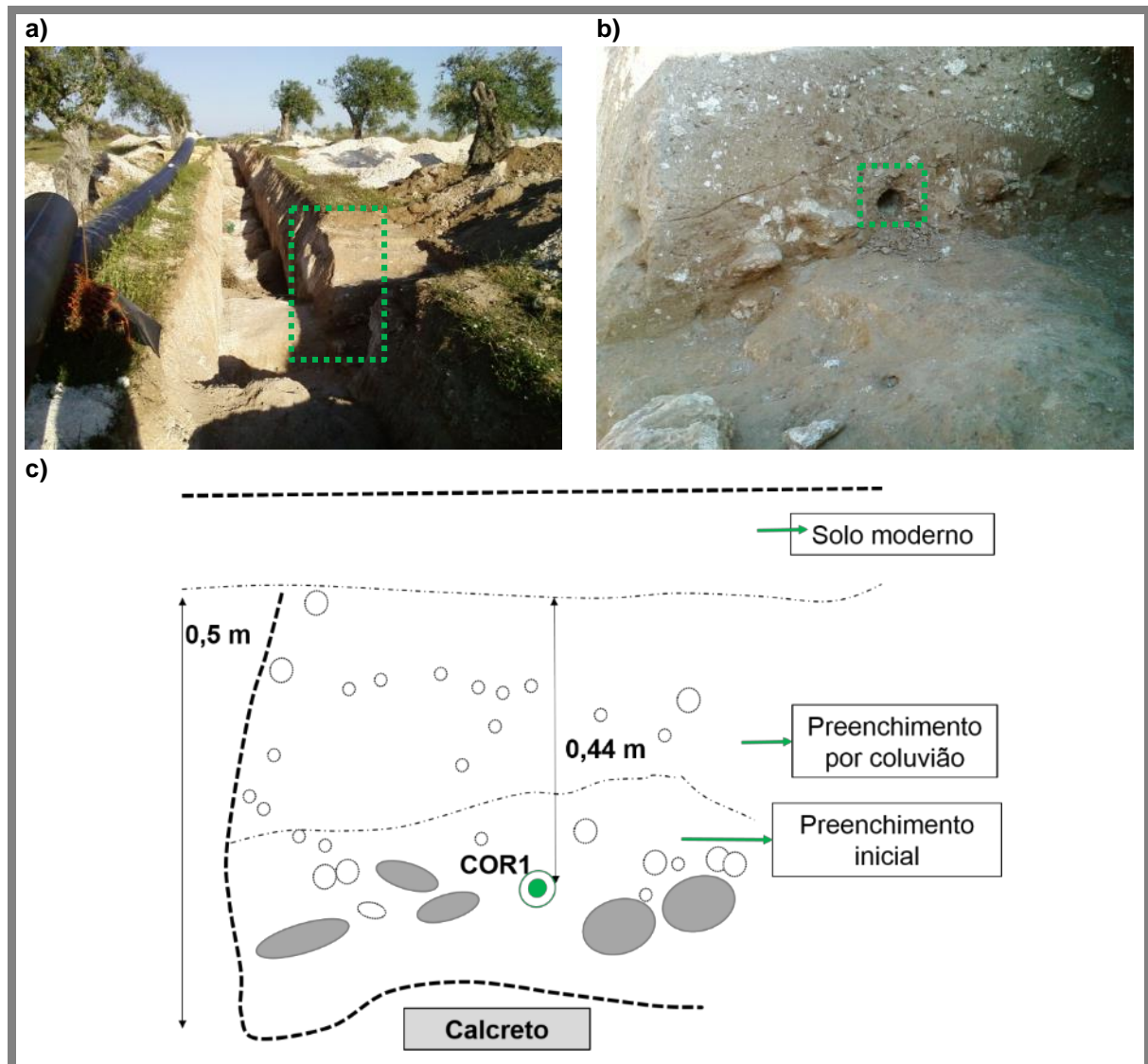


Figura 3.6 Amostragem na fossa do Monte de Cortes: a) vista do local com evidência do corte amostrado (a pontado verde); pormenor do corte amostrado com evidência do local de amostragem (a pontado verde); c) esquema representativo do enchimento da estrutura negativa e da amostra recolhida (os círculos brancos representam os nódulos de calcreto e os cinzentos os blocos de calcreto).

Durante o trabalho de campo verificou-se que os materiais de preenchimento amostrados nas duas estruturas apresentavam diferenças no estado de alteração. Deste modo, considerou-se pertinente amostrar na região circundante perfil/conjunto de amostras que fosse representativo de toda a sequência de alteração do calcreto, no sentido de melhor poder interpretar a origem dos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica.

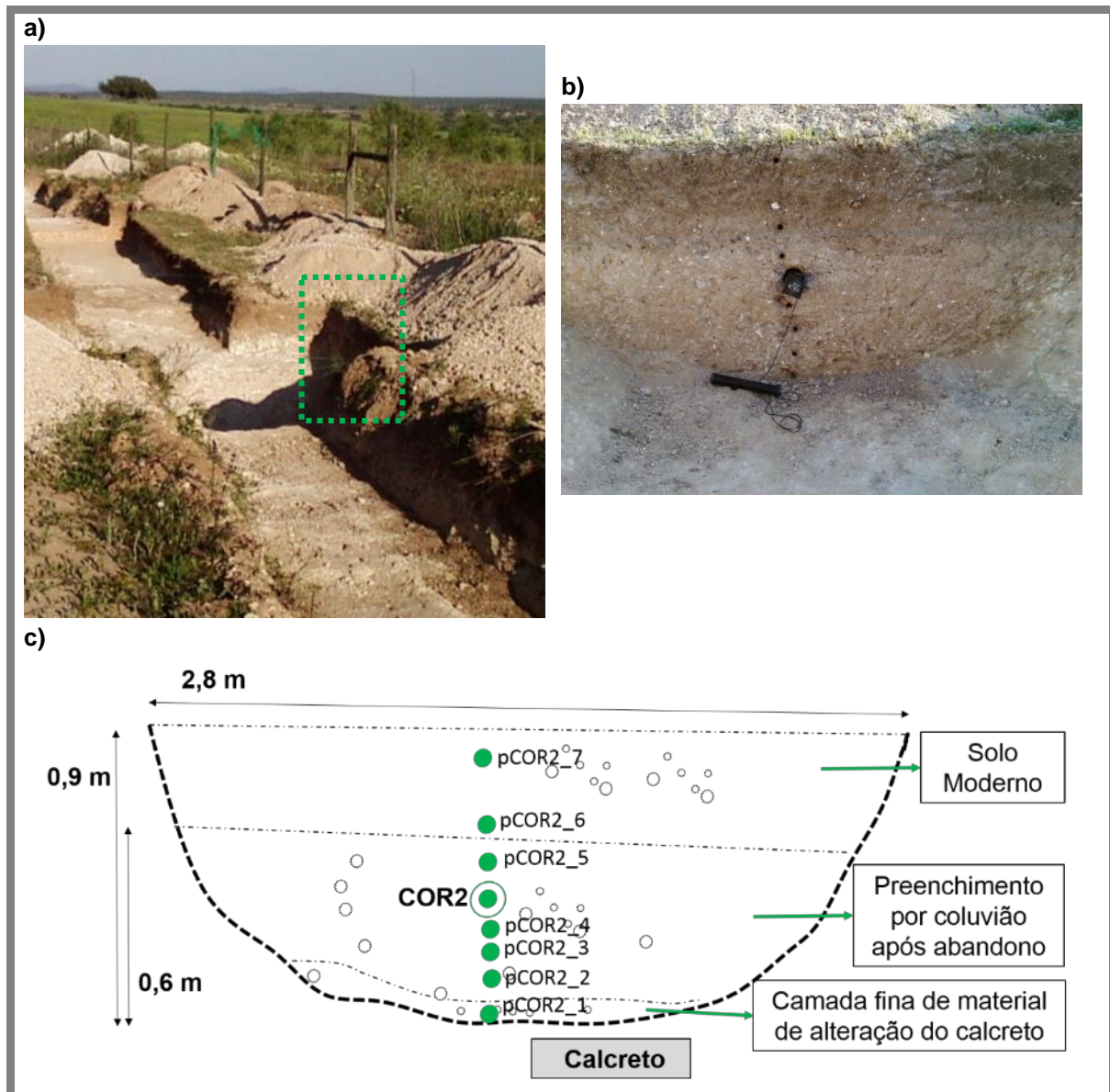


Figura 3.7 Amostragem no fosso do Monte de Cortes: a) localização do corte amostrado; b) pormenor da amostragem na sequência de preenchimento; c) Esquema da sequência de preenchimento da estrutura negativa e indicação das amostras recolhidas (os círculos brancos representam os nódulos de calcareto mais evidentes).

Dada a topografia regional, apenas se identificou na proximidade do sítio arqueológico, a cerca de 1,5 km a sudoeste (coordenada 38°3'53.30"N 7°37'8.36"W, Figura 3.8), um perfil de calcareto pulverulento. O perfil apresentava uma potência estratigráfica de 1,9 m e nele foram identificadas três unidades com características macroscópicas distintas que foram amostradas (CORa, CORb e CORc) (Figura 3.9). Todo o perfil de calcareto apresentava um aspeto pulverulento e coloração esbranquiçada. A amostra CORa que foi recolhida na base do perfil, a 1,8 m de profundidade, contém material fino e compacto, facilmente desagregável (pulverulento) e cor esbranquiçada. A 0,7 m de profundidade recolheu-se uma amostra (CORb) de material semelhante ao anterior (fino e pulverulento), embora mais solto e com fragmentos dispersos de xisto alterado (dimensões inferiores a 5 cm) e grãos de quartzo. O solo moderno, do qual se

recolheu uma amostra (CORc) a 15 cm de profundidade, com uma textura semelhante à amostra CORb, apresenta uma coloração mais escura (acastanhada) e um maior número de fragmentos de xisto alterado e raízes.

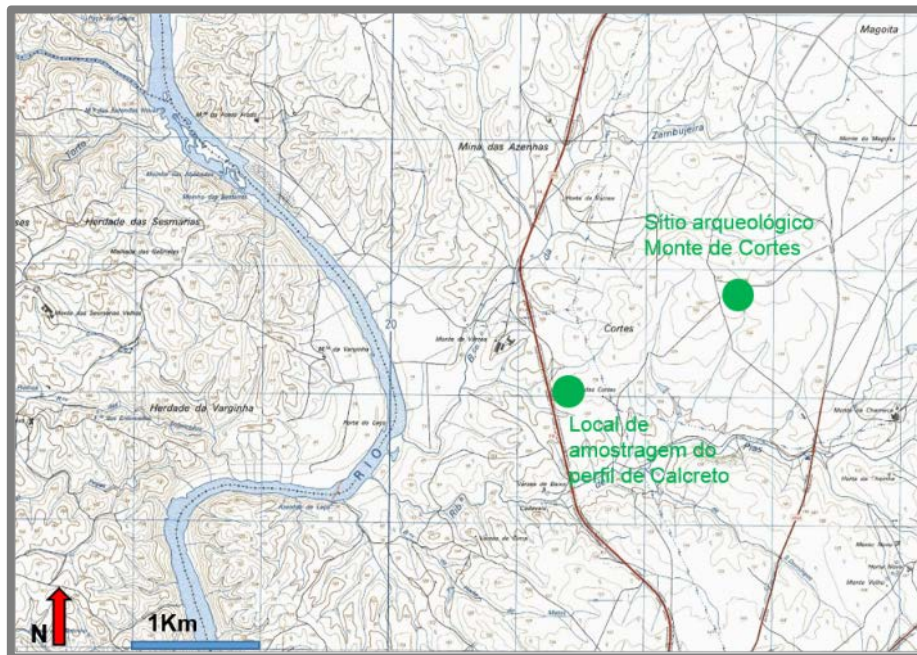


Figura 3.8 Localização do sítio arqueológico do Monte de Cortes e do local de amostragem do perfil de calcreto, adaptado da Cartas Militar Portuguesa 1:25 000, folha 511.

Na totalidade recolheram-se 14 amostras associadas ao sítio de Monte de Cortes, correspondentes à amostragem no fosso: 7 amostras em perfil de materiais de preenchimento; uma amostra para datar e respetiva amostra adjunta; uma amostra para datar e a respetiva amostra adjunta no preenchimento da fossa; e ainda 3 amostras recolhidas no perfil de calcreto (Tabela 3.3).

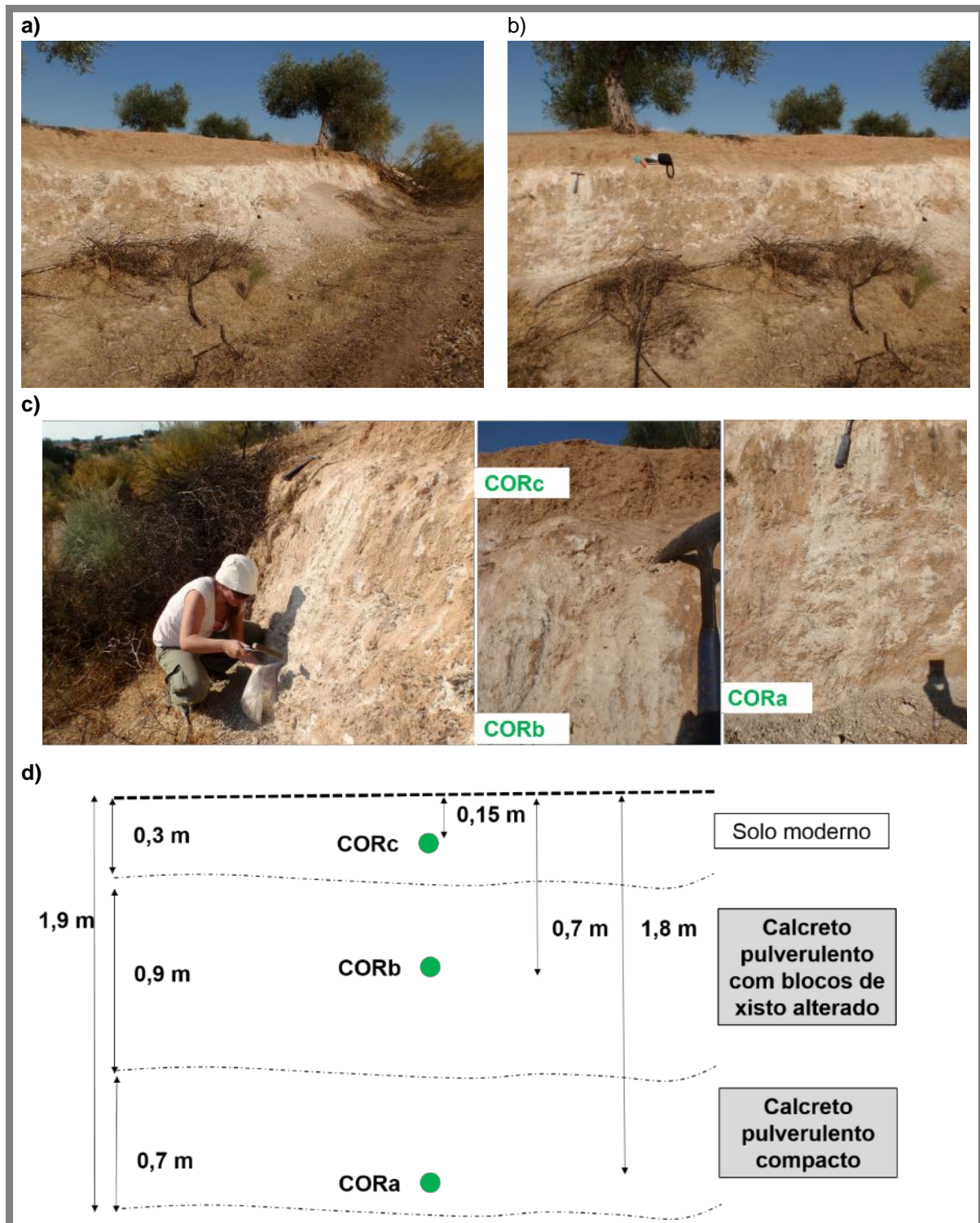



Figura 3.9 Amostragem do perfil de calcreto representativo da geologia local do Monte de Cortes: a) vista geral do perfil; b) pormenor do local de amostragem; c) aspeto dos materiais recolhidos; d) esquema representativo do perfil de calcreto amostrado

Tabela 3.3 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos no fosso e na fossa do Monte de Cortes e dos materiais representativos da geologia local.

Monte de Cortes	EAN	Contextos	Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPR	dMPR	aMPR	MGeo		
	Fossa	1. Solo moderno		Castanho com nódulos brancos	Material silto-arenoso com poucos nódulos de calcareto						
		2. Preenchimento da estrutura por colúvio		Castanho claro com pequenos nódulos brancos	Material silto-arenoso com nódulos de calcareto <10 cm						
		3. Preenchimento inicial da fossa	44	Castanho com nódulos brancos	Material silto-arenoso com nódulos de calcareto <10 cm, acumulado em torno de blocos de calcareto		COR1	COR1			
		4. Substrato geológico - calcareto		Creme	Compacto e cimentado						
	Fosso		1. Solo moderno	5	Castanho com nódulos brancos	Material silto-arenoso com poucos nódulos de calcareto	pCOR2_7				
				30			pCOR2_6				
				41			pCOR2_5				
				48				COR2	COR2		
			2. Preenchimento por colúvio	60	Castanho claro com nódulos brancos	Material silto-arenoso com nódulos de calcareto <5 cm e indicações de precipitação de calcite	pCOR2_4				
				71			pCOR2_3				
				80			pCOR2_2				
				90			pCOR2_1				
3. Preenchimento inicial, camada fina		4. Substrato geológico - calcareto		Creme	Compacto e cimentado						
			15	Castanho claro	Solo moderno, fino e com muitos blocos de pequena dimensão, <5 cm, de xisto alterado				CORc		
			70	Creme	Material fino e pulverulento com blocos de pequena dimensão, <5 cm, de xisto alterado e grãos de quartzo dispersos					CORb	
			180	Creme	Material fino e compacto de fácil desagregação					CORa	
	Perfil de calcareto	Substrato Geológico - Calcareto									

pMPR - círculos a verde
dMPR - círculos a preto
aMPR - circunferência a preto
MGeo - círculos azuis

3.2.3 Covas

Em Covas, foram amostrados os materiais de preenchimento da fossa 7 (Figura 3.10). A amostragem visou a recolha de materiais de preenchimento representativos das três fases de preenchimento identificadas pelos arqueólogos (preenchimento, reescavação, e reenchimento e posterior abandono da fossa) (Figura 3.10). Amostraram-se duas sequências de preenchimento, uma no centro do corte que compreende materiais depositados ao longo das 3 fases consideradas pelos arqueólogos (amostras pCV1 – pCV11 e CV1-CV2) e uma sequência lateral de materiais de preenchimento da estrutura inicial (fase 1) com materiais muito semelhantes ao substrato geológico (amostras pCV13 – pCV15 e CV3). Recolheu-se também uma amostra de solo moderno, que se sobrepunha a ambas as sequências (pCV12) e que se caracteriza por um material argiloso com nódulos de calcreto menores que 2 cm e cor castanha avermelhada (Figura 3.11).

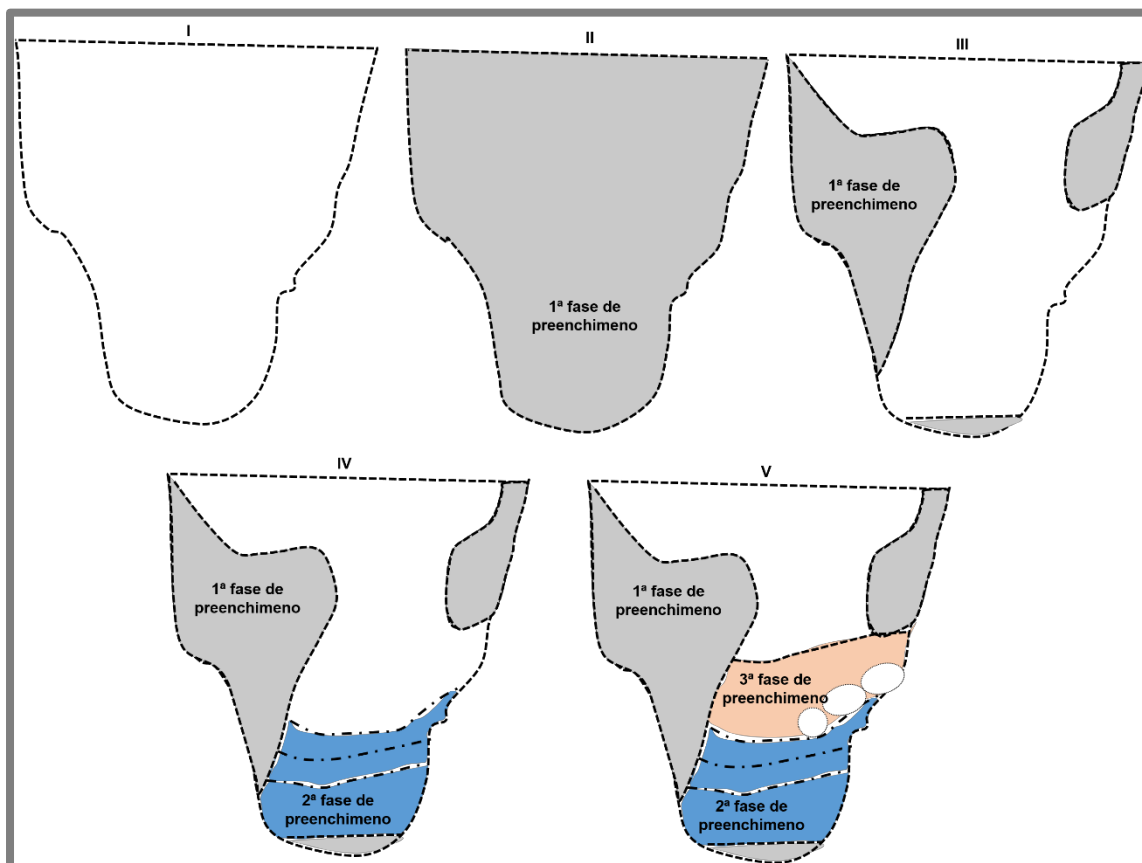


Figura 3.10 Esquema representativo das fases de preenchimento da fossa 7 em Covas.

A sequência central compreende, na base da fossa atual a 150 cm de profundidade, um material esbranquiçado resultado da alteração do calcreto com aspeto fino e compacto (pCV1). A 144 cm de profundidade recolheu-se um material argiloso com nódulos de calcreto inferiores a 2 cm de cor castanha avermelhada clara que foi identificado como o preenchimento inicial da estrutura inicialmente escavada na fase 1 (amostra pCV2). Cobrindo estes materiais encontra-se um material silto-argiloso com pequenos nódulos de calcreto (<2 cm) e cor castanha escura avermelhada, do qual se recolheram 3 amostras: a 140 cm (pCV3), a 135 cm (amostra CV1 para datar e respetiva amostra adjunta) e a 130 cm de profundidade (pCV4). Este nível corresponde à fase inicial de preenchimento da estrutura escavada na fase 2. Ainda na fase 2, o nível de materiais de preenchimento superior corresponde a um preenchimento por coluvião com material idêntico ao nível inferior, mas de coloração mais clara. Foram recolhidas as amostras pCV5 e pCV6 a 126 cm e 116 cm de profundidade, respetivamente. Entre os 112 cm e os 106 cm de profundidade recolheram-se 3 amostras (pCV7, CV2 e pCV8), uma delas para datação (e a respetiva amostra adjunta) de material semelhante aos dos níveis anteriores mas de cor mais escura. Este nível foi considerado um possível paleossolo desenvolvido no topo do preenchimento da fase 2. No topo desta sequência central, entre os 102 cm e os 77 cm de profundidade, recolheram-se 3 amostras (pCV9 – pCV11) de material silto-argiloso mais grosseiro, de cor castanha clara avermelhada com nódulos de calcretos de tamanho inferior a 10 cm. Na base deste nível encontram-se mais concentrados os nódulos maiores de calcreto evidenciando uma possível situação de derrube da parede da fossa, anterior ao preenchimento por coluvião.

A sequência lateral representa o preenchimento por coluvião da fossa escavada na fase 1 e compreende material esbranquiçado muito semelhante ao substrato geológico alterado embora, mais fino e menos compacto. Nesta sequência recolheram-se 4 amostras (pCV13, CV3, pCV14 e pCV15), uma delas para datar (e a respetiva amostra adjunta). As amostras foram recolhidas a 93 cm, 72 cm, 60 cm e 37 cm de profundidade.

Nas imediações da fossa, amostrou-se um perfil de calcreto representativo do contexto geológico local, com diferentes níveis de alteração, cuja dureza diminuía da base para o topo. Este perfil apresenta, da base ao topo, uma potência estratigráfica de 5 m muito homogénea, na qual se recolheram três amostras (CVa, CVb e CVc) (Figura 3.12 e Figura 3.13).

Em Covas foram recolhidas 15 amostras de materiais de preenchimento em perfil e 3 amostras para datação com as 3 respetivas amostras adjuntas na fossa 7, e três amostras no perfil de calcreto, perfazendo um total de 24 amostras (Tabela 3.4).

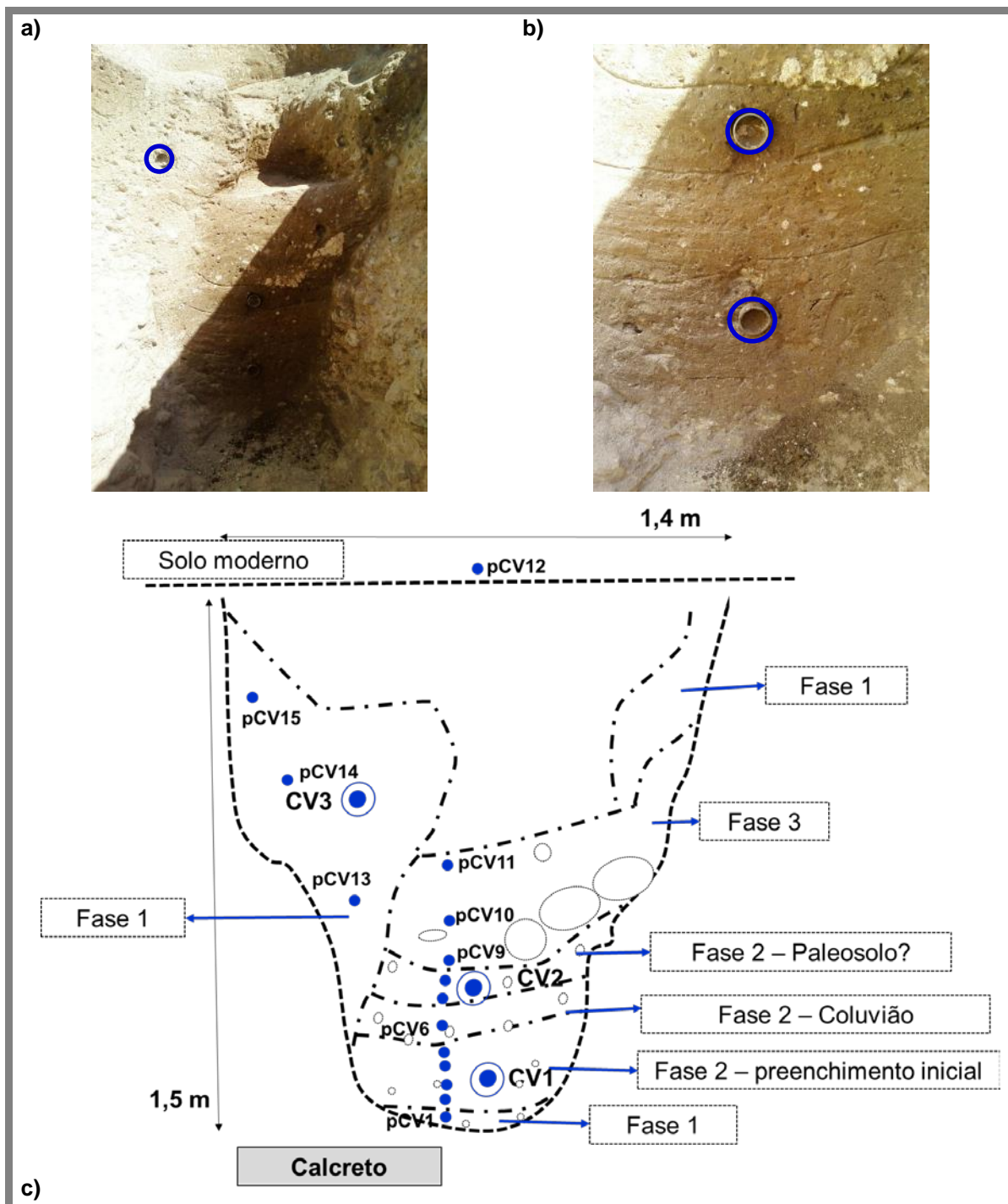


Figura 3.11 Amostragem na fossa 7 no sítio arqueológico de Covas: a) Corte amostrado com indicação da amostra CV3; b) pormenor da fase 2 de preenchimento onde foram recolhidas as amostras CV1 e CV2; c) esquema representativo da amostragem efetuada (círculos a branco representam nódulos e blocos de calcreto)



Figura 3.12 Perfil de calcreto pulverulento amostrado em Covas.

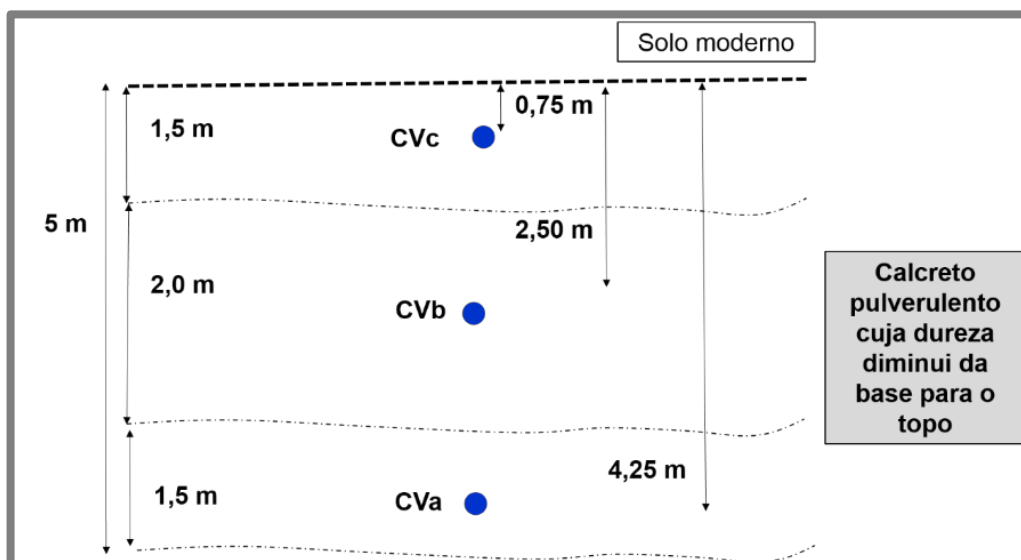

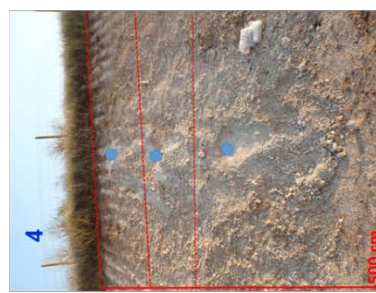


Figura 3.13 Esquema representativo do perfil de calcreto amostrado em Covas.

Tabela 3.4 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos na fossa de Covas e no perfil de calcreto representativo da geologia local.

	Contextos	Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPr	dMPr	aMPr	MGeo	
<p>pMPr - círculos a verde dMPr - círculos a cinzento aMPr - circunferência a cinzento MGeo - círculos azuis</p> 	<p>1. Solo moderno</p> <p>Fase 3 - preenchimento da reescavação Colapso da estrutura?</p> <p>Fase 2 - preenchimento da reescavação Paleosolo?</p> <p>Fase 2 - preenchimento da reescavação por colúvião</p>	5	Castanho avermelhado	Material argiloso com nódulos de calcreto <2 cm	pCV12				
		77				pCV11			
		91				pCV10			
		102		Castanho claro avermelhado	Material silto-argiloso mais grosseiro com nódulos de calcreto <10 cm que delimitam a base da fase 3	pCV9			
		106				pCV8			
		109		Castanho-escuro avermelhado	Material silto-argiloso com nódulos de calcreto <2 cm	pCV7	CV2	CV2	
		112							
		116							
		126			Castanho avermelhado	Material silto-argiloso com poucos nódulos de calcreto <2 cm	pCV6		
		130							
		135		Castanho-escuro avermelhado			pCV4	CV1	CV1
		140							
	144			Castanho avermelhado	Material argiloso com nódulos de calcreto <2 cm	pCV3			
	<p>2. Sequencia central</p> <p>Fase 2 - Preenchimento inicial da reescavação;</p>	144							
		150		Esbranquiçado	Calcreto alterado, fino e compacto	pCV1			
37			Esbranquiçado	Material menos compacto que o substrato geológico alterado e mais fino	pCV15				
60					pCV14	CV3	CV3		
<p>3. Sequência lateral</p> <p>Fase 1 - preenchimento por colúvião</p>	72								
	93								
	75			Material argiloso, fino e compacto mas de fácil desagregação, cuja dureza vai diminuindo da base para o topo.	pCV13			CVc	
<p>4. Substrato Geológico – Calcreto</p>	250		Esbranquiçado					CVb	
	425							CVa	



3.2.4 Outeiro Alto

No Outeiro Alto foram amostrados materiais de preenchimento em quatro estruturas negativas, um hipogeu (4/5) e três fossas (22, 28 e 30).

A fossa 22 encontrava-se preenchida por dois níveis de material argilo-arenoso, castanho avermelhado, homogêneo e algo compacto com nódulos de calcreto de dimensão inferior a 5 cm. Na base da sequência de preenchimento, encontrava-se uma camada pouco espessa que apresentava menor número de nódulos de calcreto e uma coloração mais clara, onde se recolheu uma amostra (e respetiva adjunta) para datação (OA1) a 71 cm de profundidade. No nível superior, que compreendia quase a totalidade do preenchimento, recolheram-se 4 amostras, sendo uma delas para datação (pOA1, OA2, pOA2 e pOA3) a 69 cm, 47 cm, 38 cm e 12 cm de profundidade (Figura 3.14 e Figura 3.18).

A fossa 28 encontrava-se preenchida por um único depósito composto por material areno-argiloso castanho-avermelhado, medianamente compacto e homogêneo, com nódulos de calcreto de dimensões inferiores a 5 cm, cuja abundância se acentua para o topo da sequência. Nesta estrutura recolheram-se 4 amostras (pOA7 – pOA10) a 93 cm, 78 cm, 52 cm e 18 cm de profundidade (Figura 3.15 e Figura 3.18).

Assim como na fossa 28, a fossa 30 apresentava-se colmatada com um único nível com características macroscópicas muito semelhantes sendo a presença de raros fragmentos de quartzo de pequena dimensão a única diferença registada. Do preenchimento desta estrutura negativa recolheram-se 4 amostras (pOA4, OA4, pOA5 e pOA6) aos 96 cm, 70 cm, 55 cm e 17 cm de profundidade (Figura 3.16 e Figura 3.18).

A amostragem no túnel entre a fossa 4 e a fossa 5 do hipogeu foi feita no material aí depositado, areno-argiloso de cor castanho avermelhado escuro, medianamente compacto e homogêneo, com presença de alguns ossos humanos dispersos e muito fragmentados, bem como de poucos nódulos de calcreto de pequena dimensão (< 2 cm). A amostra OA3 foi recolhida a 114 cm de profundidade, no centro do que restava da camada de preenchimento do túnel com cerca de 54 cm de diâmetro (Figura 3.17 e Figura 3.18).

Foi também recolhida uma amostra do solo superficial que cobria todas as estruturas negativas (pOA11). O solo era composto por material areno-argiloso com poucos nódulos de calcreto, de dimensão <3 cm e cor castanha avermelhada (Figura 3.19).

O substrato geológico local é bastante homogêneo, tendo-se recolhido uma amostra de calcreto (OAa), bloco esbranquiçado com veios avermelhados, muito compacto e de difícil desagregação, correspondente a um calcreto lacustre da Bacia de Moura (Figura 3.20).

No Outeiro Alto foram recolhidas 20 amostras, sendo que 19 delas são de materiais de preenchimento das estruturas negativas, das quais quatro são para datação por luminescência com as respetivas amostras adjuntas para caracterização composicional, e uma amostra de material geológico (calcreto) (Tabela 3.5).



Figura 3.14 Vista do interior da fossa 22 no Outeiro Alto aquando da amostragem (fossa com cerca de 0,8 m de profundidade).



Figura 3.15 Vista do interior da fossa 28 no Outeiro Alto aquando da amostragem amostragem (fossa com cerca de 1,0 m de profundidade).



Figura 3.16 Vista do interior da fossa 30 no Outeiro Alto aquando da amostragem amostragem (fossa com cerca de 0,95 m de profundidade).



Figura 3.17 Localização do local de recolha da amostra OA3 no interior do hipogeu 4/5 no Outeiro Alto (adaptado de Filipe, 2009).

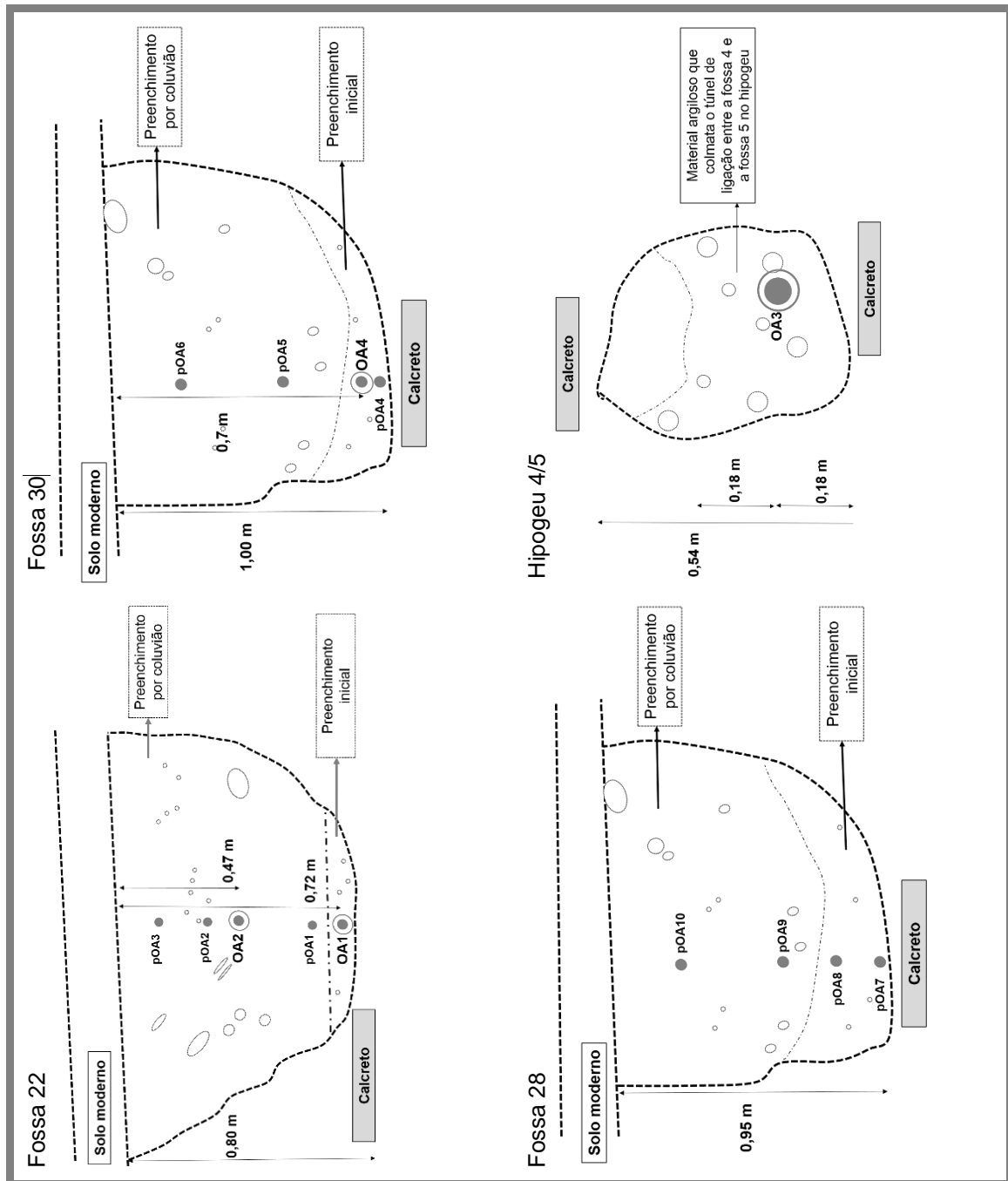


Figura 3.18 Esquemas representativos da amostragem feita nas fossas e hipogeu do Outeiro Alto (círculos brancos representam os nódulos de calcreto).



Figura 3.19 Vista do material amostrado no solo superficial (pOA11) que cobria as estruturas negativas do Outeiro Alto.

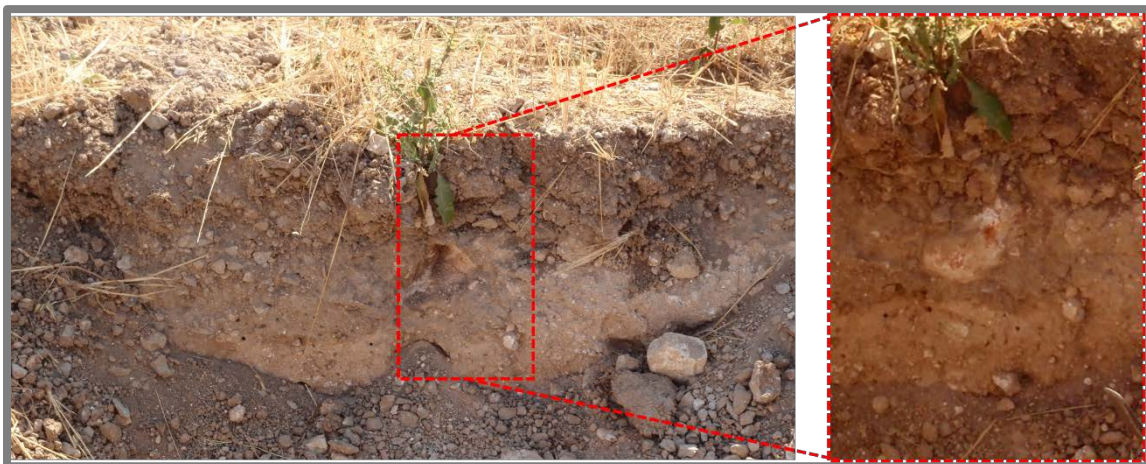
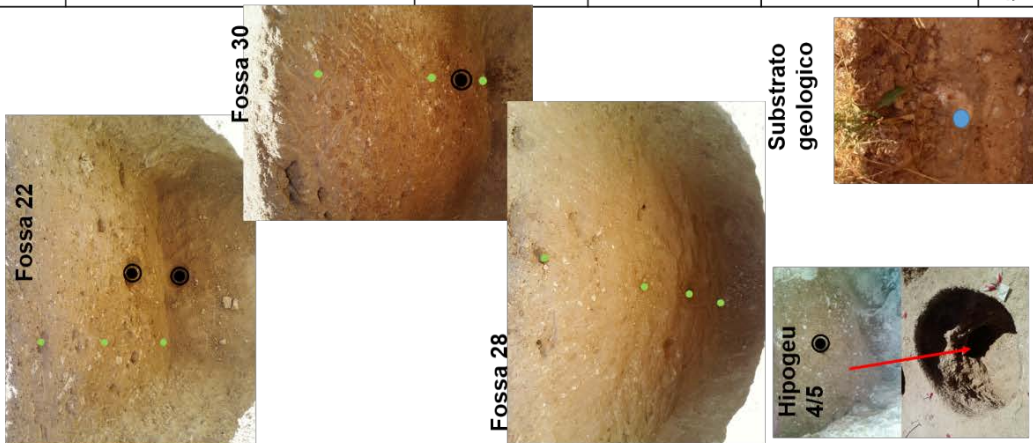


Figura 3.20 Local de amostragem do bloco de calcetreo representativo da geologia local (OAa) no Outeiro Alto.

Tabela 3.5 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos nas fossas do Outeiro Alto e do calcreto representativo da geologia local.

EAN	Contextos	Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPr	dMPr	aMPr	MGeo
Solo moderno que cobria todas as fossas	Preenchimento da fossa por colúvium	12	Castanho avermelhado	Material arenoso argiloso homogêneo e medianamente compacto com muitos nódulos de calcreto <5 cm	pOA3			
		38			pOA2			
	Fossa 22	47	Castanho avermelhado	Material arenoso argiloso homogêneo e medianamente compacto com muitos nódulos de calcreto <5 cm		OA2	OA2	
		69			pOA1			
hipogeu 4 e 5	Preenchimento inicial da fossa	72	Castanho avermelhado claro	Material arenoso argiloso homogêneo e medianamente compacto com poucos nódulos de calcreto <5 cm		OA1	OA1	
		114	Castanho avermelhado escuro	Material arenoso argiloso com poucos nódulos de calcreto <2 cm		OA3	OA3	
					17	Material argiloso com muitos nódulos de calcreto <5 cm	pOA6	
Fossa 30	Preenchimento da fossa por colúvium	55	Castanho avermelhado	Material argiloso com poucos nódulos de calcreto <5 cm	pOA5			
		70			Material argiloso com poucos nódulos de calcreto <5 cm		OA4	OA4
	Fossa 28	Preenchimento inicial da fossa	96	Castanho avermelhado	Material arenoso argiloso com poucos nódulos de calcreto <5 cm	pOA4		
18			Material arenoso argiloso com muitos nódulos de calcreto <5 cm			pOA10		
Substrato geológico		Preenchimento inicial da estrutura	52	Castanho avermelhado	Material arenoso argiloso com poucos nódulos de calcreto <5 cm	pOA9		
	78		Material arenoso argiloso com poucos nódulos de calcreto <5 cm			pOA8		
Substrato geológico	Preenchimento inicial da estrutura	93	Esbranquiçado com veios vermelhos	Bloco de calcreto compacto	pOA7			OAA

pMPr - círculos a verde
dMPr - círculos a preto
aMPr - circunferência a preto
MGeo - círculos azuis



3.2.5 Horta dos Quarteirões

No sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões foram recolhidos os materiais de preenchimento na zona de intersecção entre dois fossos circulares na face oeste da secção norte-sul, Figura 3.21, a). Na base da sequência de preenchimento (preenchimento inicial do fosso) foram amostrados materiais castanho-avermelhados, silto-argilosos com um reduzido número de pequenos nódulos de calcreto (< 1 cm) (amostra H1 e a respetiva amostra adjunta) (Figura 3.21, b). Esta amostra foi recolhida a 148 cm de profundidade, numa camada de materiais mais escuros com menor número de nódulos de calcreto, que se encontrava entre camadas creme-acinzentadas muito ricas em materiais alterados de calcreto. Acima da camada inicial, ainda no que foi considerado pelos arqueólogos como preenchimento do fosso 1 por colapso de material geológico ou relacionado com a construção do fosso 2, recolheu-se a amostra pH1, a 138 cm de profundidade que compreende materiais silto-argilosos, de cor creme acinzentada com muitos nódulos de calcreto de dimensão inferior a 2 cm. A 114 cm de profundidade recolheu-se mais uma amostra para datação (e a respetiva amostra adjunta), amostra H2, que compreende material silto-argiloso castanho avermelhado, designado como material de preenchimento comum aos dois fossos que poderá ter sido depositado por colapso do solo superficial (Figura 3.21, b). Entre os 108 cm e os 105 cm de profundidade recolheram-se duas amostras (pH2 e pH3) de material castanho-escuro, silto-argiloso com nódulos de calcreto (< 2 cm) mais abundantes na amostra pH2. O preenchimento deste nível deverá ter ocorrido por colapso do substrato geológico que faria parte da estrutura do fosso 1. A 53 cm de profundidade, no centro do depósito acumulado por colúvio acima da deposição/colapso de blocos de xisto (> 30 cm), recolheu-se a amostra pH4 composta por material castanho-amarelado, silto-argiloso com nódulos de calcreto (< 2 cm). Lateralmente ao depósito anterior observou-se a existência de um conjunto de materiais castanhos-avermelhados, silto-argilosos com poucos nódulos de calcreto de pequena dimensão (<1 cm), que deverá ter acumulado por colapso dos materiais de preenchimento do fosso 2. Recolheu-se uma amostra a 72 cm de profundidade (pH5). Cobrindo toda a estrutura, o solo moderno apresentava material com uma coloração castanha silto-argiloso e com poucos nódulos de calcreto de pequenas dimensões (< 1 cm). A 5 cm de profundidade recolheu-se a amostra pH6 representativa desses materiais (Figura 3.21,c).

Por forma a ter uma amostragem representativa das variações macroscópicas do teor em nódulos de calcreto, coloração e grau de alteração, amostraram-se dois perfis e uma amostra de uma fácies mais carbonatada, o mais próximo possível do sítio. A amostragem foi feita nos taludes da Estrada Nacional 392, no sentido Brinches – Pias, aos quilómetros 86 (amostras Ha - Hg) e 86,3 (amostra Hh) (Figura 3.22). No total recolheram-se 8 amostras representativas das diferentes fácies aqui observadas para o substrato geológico (calcreto pedogénicos com impregnações de material detrítico contendo fragmentos de xisto em diferentes estados de alteração).

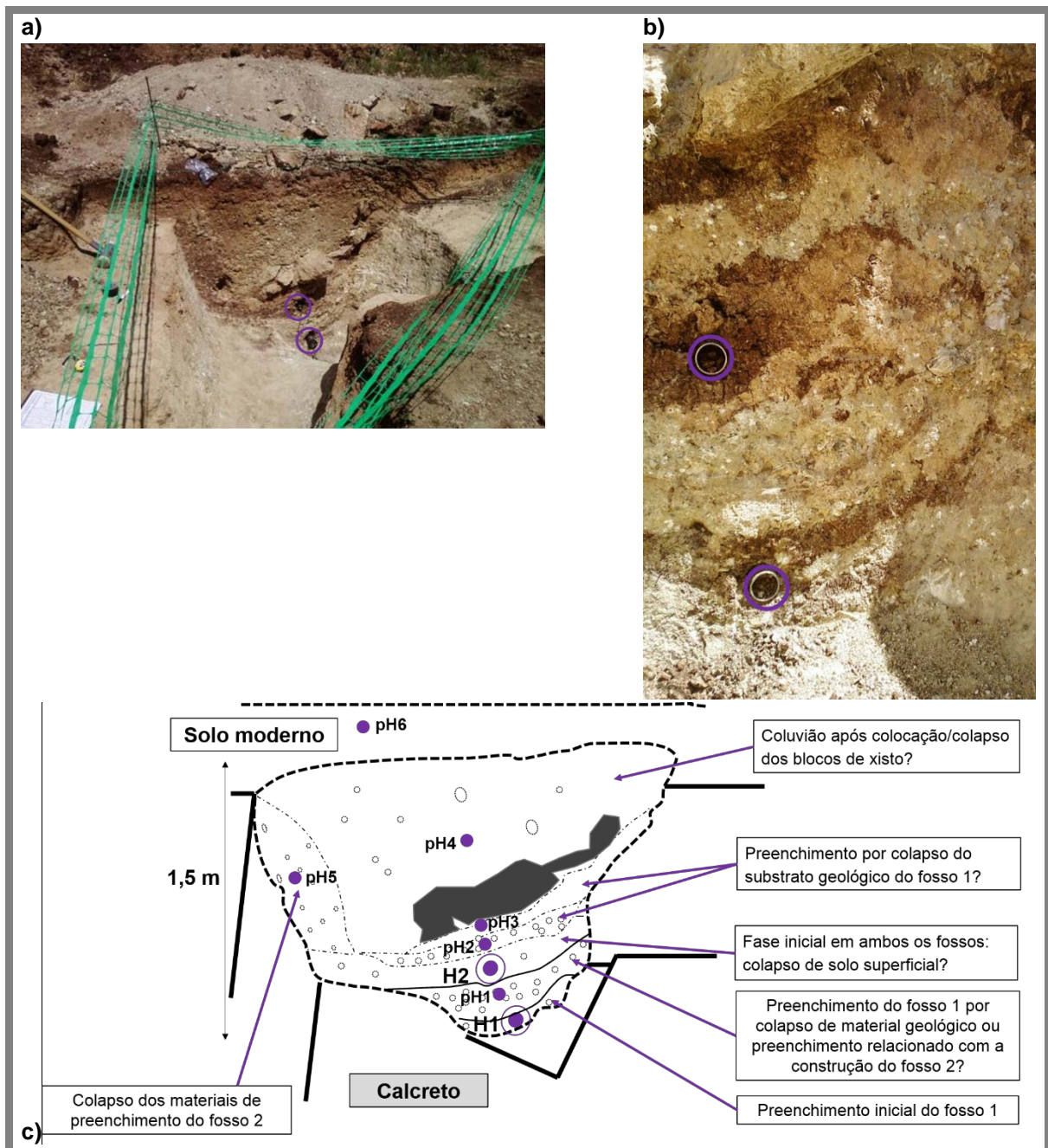


Figura 3.21. Amostragem no sítio arqueológico de Horta dos Quarteirões; a) vista da área de intersecção dos fossos, aquando da amostragem com indicação das amostras recolhidas para datação (circunferências a roxo); b) pormenor dos materiais de preenchimento amostrados abaixo dos blocos de xisto, com especial relevo para a heterogeneidade dos materiais e a para as amostras recolhidas para datação (circunferências a roxo); c) esquema da amostragem.

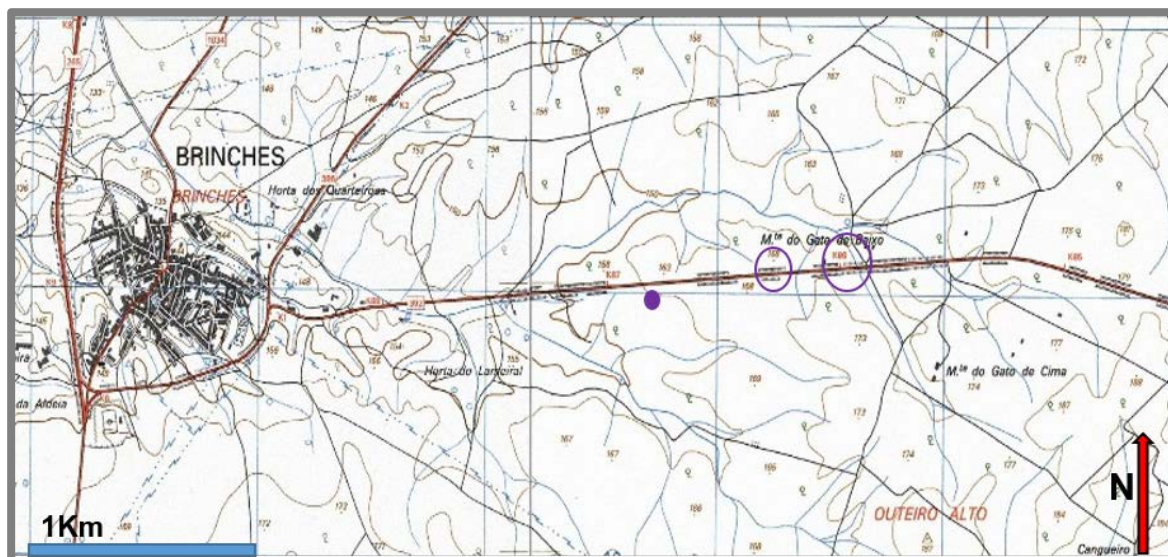


Figura 3.22 Localização da amostragem dos materiais representativos da geologia local do sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões. Imagem adaptada da Carta Militar Portuguesa 1:25 000 folhas 522 e 523 (o círculo roxo indica a localização do sítio arqueológico e as circunferências indicam a localização da amostragem dos materiais representativos da geologia local).

A amostra Hh, recolhida à superfície, de cor creme acinzentada, corresponde a um material fino e pulverulento que envolve fragmentos de calcreto (<5 cm) e alguns fragmentos de xisto muito alterado (Figura 3.23).



Figura 3.23 Recolha da amostra Hh junto ao sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões.

Nos taludes da estrada, ao quilómetro 86, recolheram-se 3 amostras no lado norte (Ha - Hc) e 4 amostras no lado sul (Hd - Hg) (Figura 3.24 e Figura 3.25). No perfil norte recolheu-se na base, a 2 m de profundidade, uma amostra de material de cor creme acinzentado, pulverulento e carbonatado com muitos fragmentos de xisto alterado (Ha). Acima deste material, a 90 cm de profundidade, amostrou-se um material semelhante, embora fosse um pouco mais carbonatado e com menor quantidade de fragmentos de xisto alterado e mais dispersos (Hb). No topo da sequência (a 25 cm de profundidade), a amostra de solo (Hc) compreende material castanho alaranjado claro, com fragmentos de xisto alterado (Figura 3.24, b e d; Figura 3.25, a).

No perfil sul, recolheu-se na base (2,40 m de profundidade) a amostra Hd que compreende um material creme acinzentado, pulverulento com muitos fragmentos de xisto alterado. Acima deste material (1,25 m de profundidade) recolheu-se a amostra He, semelhante à anterior, mas muito mais carbonatada. A 1,0 m de profundidade recolheu-se a amostra Hf, que compreende material castanho alaranjado e fino que envolvia muitos fragmentos de xisto alterados. A amostra Hg, recolhida a 40 cm de profundidade apresentava material semelhante à amostra Hf, diferindo apenas no tamanho dos fragmentos de xisto presentes que apresentavam menor dimensão (Figura 3.24, c e e; Figura 3.25, b).

No sítio arqueológico de Horta de Quarteirões recolheu-se um total de 16 amostras para determinação da composição mineralógica e química, bem como para análise granulométrica (Tabela 3.6). De entre estas, 10 amostras pertencem a materiais de preenchimento da estrutura negativa (intersecção entre os fossos 1 e 2), sendo duas delas destinada à datação por luminescência.

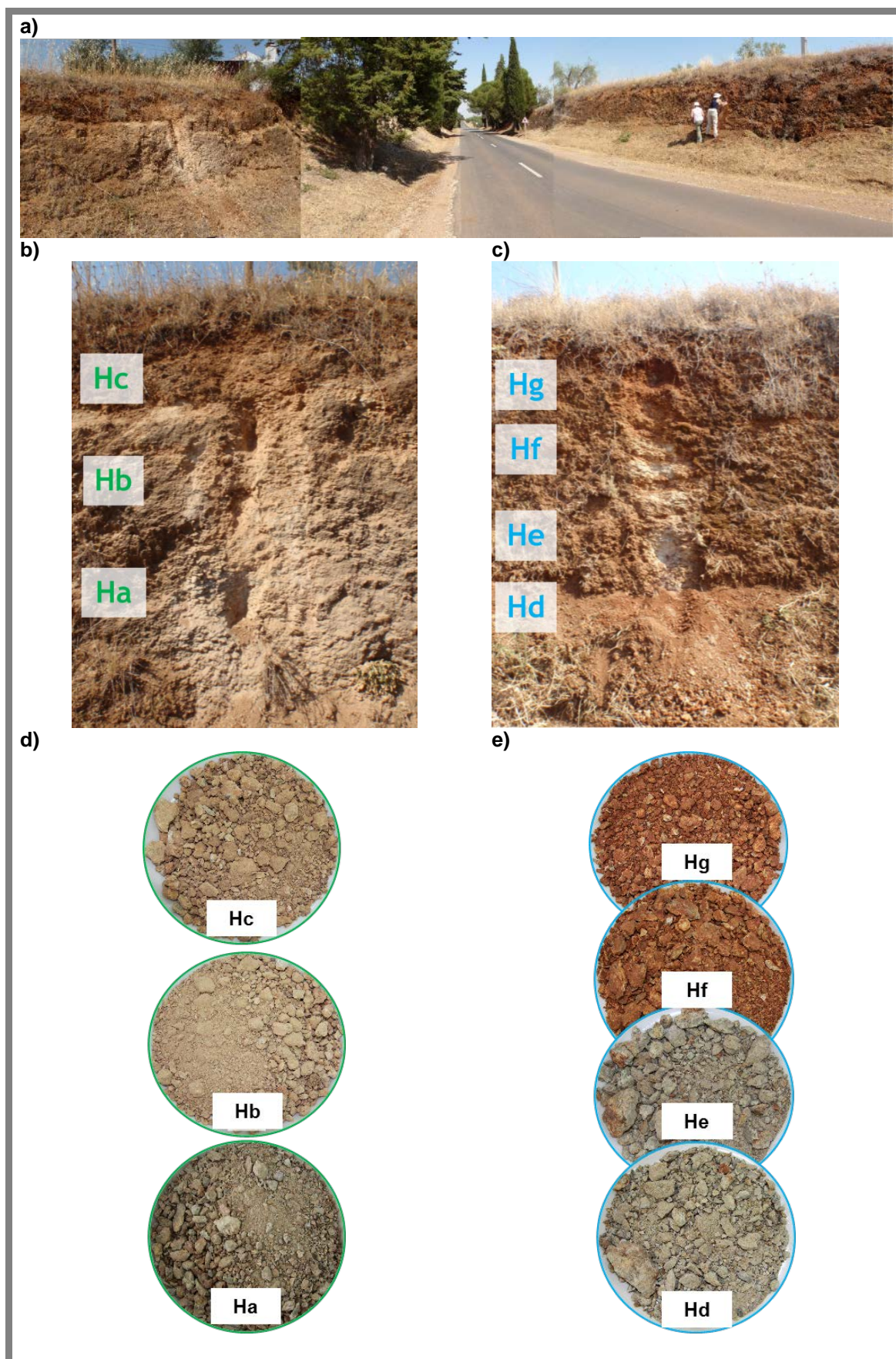


Figura 3.24 Amostragem junto ao sítio arqueológico Horta dos Quarteirões: a) vista geral da área de amostragem; b) perfil à esquerda; c) perfil à direita; d) e e) pormenor dos materiais recolhidos.

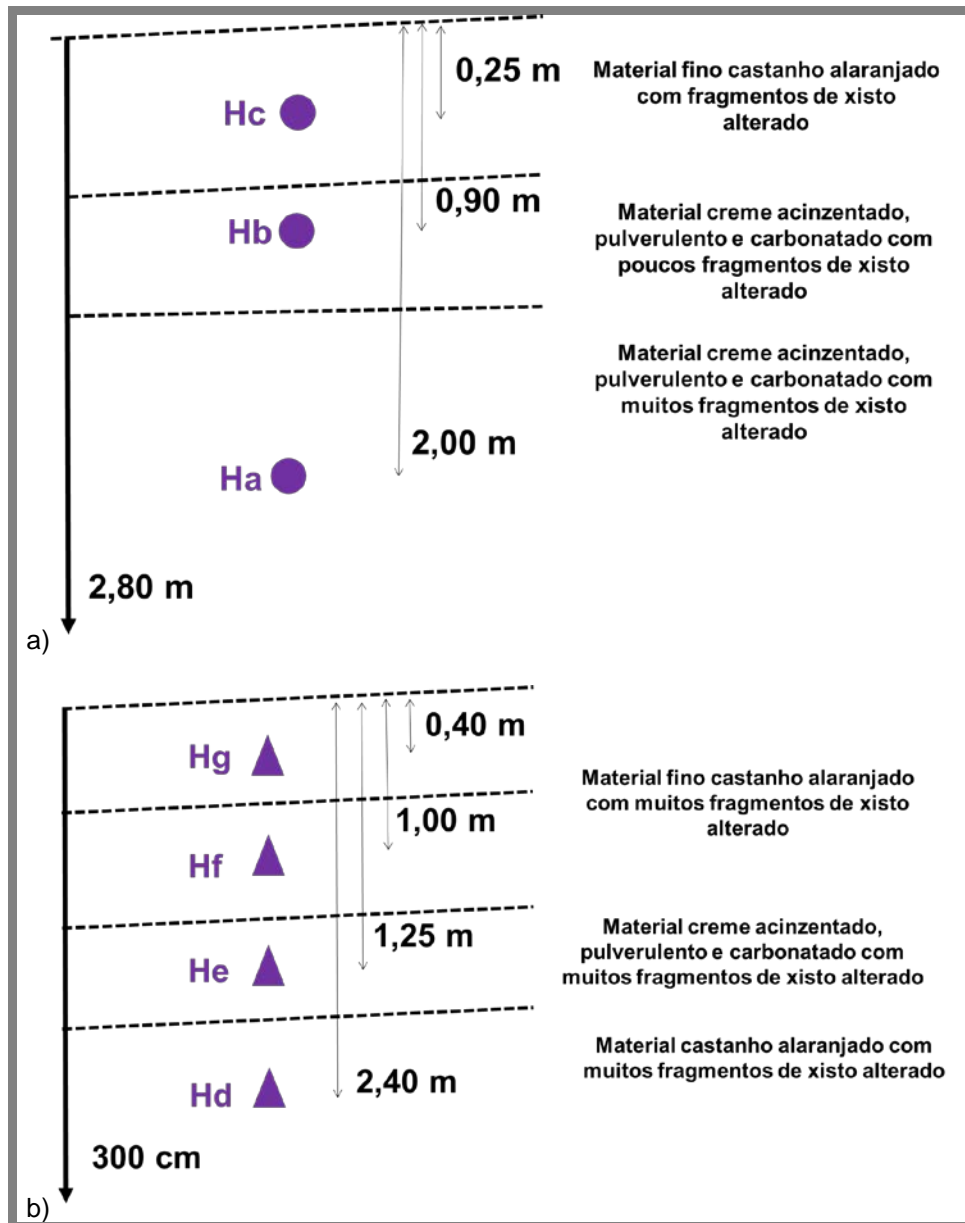
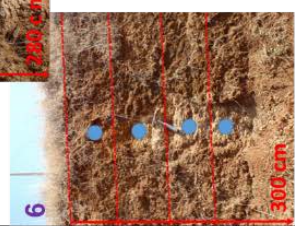
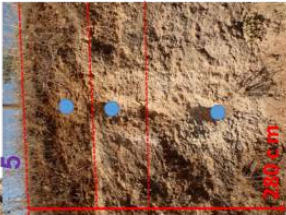


Figura 3.25 Esquemas representativos dos perfis amostrados junto ao sítio arqueológico Horta dos Quarteirões: a) perfil norte; b) perfil sul.

Tabela 3.6 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos na estrutura negativa da Horta dos Quarteirões e nos perfis de xistos alterados e carbonatados representativos da geologia local.

Contextos	Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPr	dMPr	aMPr	MGeo
<p>1. Solo moderno</p> <p>Coluição após colocação/colapso dos blocos de xisto?</p> <p>Preenchimento por colapso do substrato geológico do fosso 1?</p> <p>2. Preenchimento de ambos os fossos: imento da colapso de solo sequencia superficial?</p> <p>3. Preenchimento lateral</p> <p>4. Substrato geológico - calcareo</p> <p>5. Substrato geológico - sequencia de xistos alterados e carbonatados</p> <p>6. Substrato geológico - sequencia de xistos alterados e carbonatados</p>	5	Castanho	Material silto-argiloso com nódulos de calcareo <1cm	pH6			
	53	Castanho amarelado	Material silte-argiloso com nódulos de calcareo <2 cm; base do nível revestido por blocos de xisto > 30 cm	pH4			
	105	Castanho-escuro	Material silto-argiloso com nódulos de calcareo <2 cm (mais abundantes na base do nível de preenchimento)	pH3			
	108			pH2			
	114	Castanho avermelhado	Material silto-argiloso		H2	H2	
	138	Creme acinzentado	Material silto-argiloso com muitos nódulos de calcareo <2cm	pH1			
	148	Castanho avermelhado intercalado com creme acinzentado	Material silto-argiloso intercalado com camadas de calcareo		H1	H1	
	72	Castanho avermelhado	Material silto-argiloso com poucos nódulos de calcareo <1cm	pH5			
	Ao nível da superfície	Creme acinzentado	Material fin e pulverulento que envolve blocos calcareo <5cm e alguns fragmentos de xisto				Hh
	25	Castanho alaranjado claro	Material fino com fragmentos de xisto				Hc
	90	Creme acinzentado	Pulverulento e carbonatado com poucos fragmentos de xistos alterados				Hb
	200	Creme acinzentado	Pulverulento e carbonatado com muitos fragmentos de xistos alterados				Ha
40	Castanho alaranjado	Material fino que envolve muitos fragmentos de xistos alterados				Hg	
100	Castanho alaranjado					Hf	
125	Creme acinzentado	Pulverulento e carbonatado com muitos fragmentos de xistos alterados				He	
240	Creme acinzentado	Pulverulento com muitos fragmentos de xistos alterados				Hd	

pMPr - círculos a verde
dMPr - círculos a preto
aMPr - circunferência a preto
MGeo - círculos azuis



3.2.6 Malhada da Orada

No sítio arqueológico Malhada da Orada foi recolhida uma amostra (MO1 e a respetiva amostra adjunta) de material de preenchimento que cobria as várias estruturas negativas encontradas no local. Esta amostra contém material arenoso castanho amarelado claro, proveniente da meteorização do granito local (Figura 3.26).

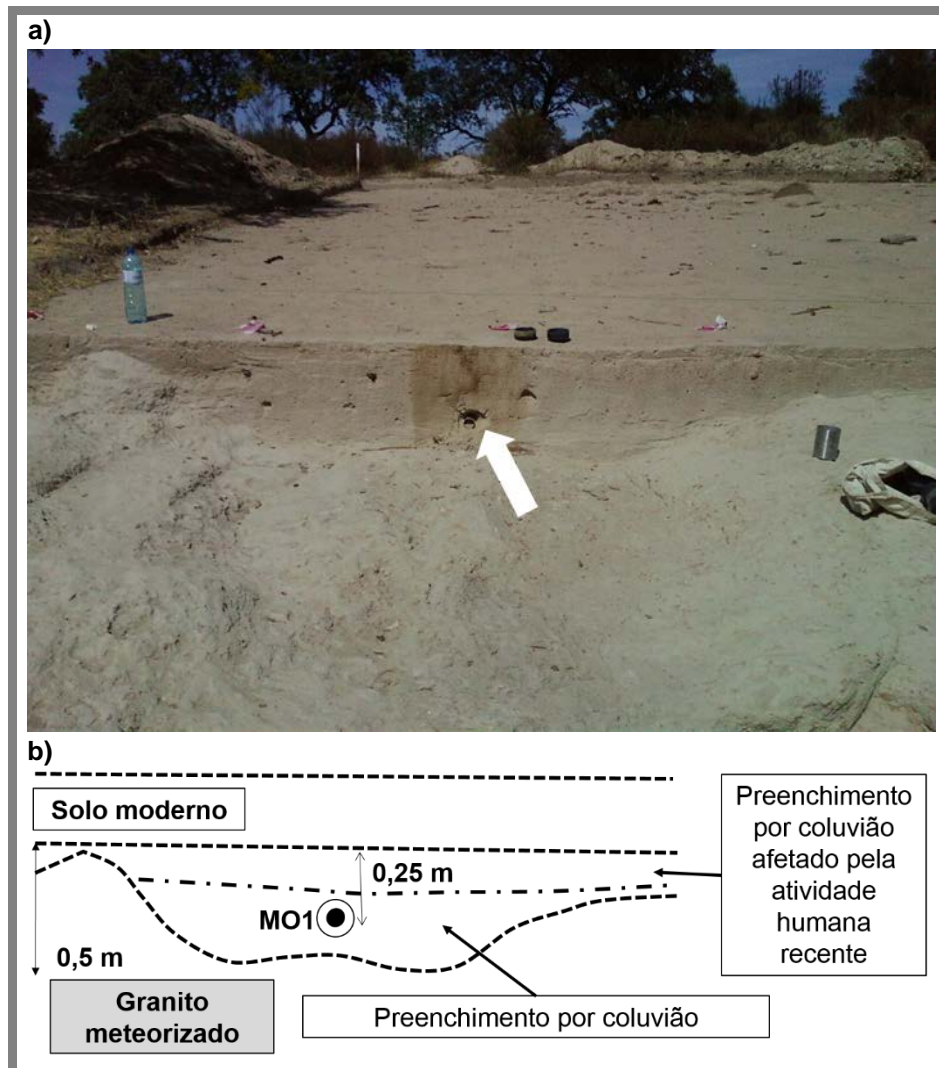


Figura 3.26 Amostragem no sítio arqueológico Malhada da Orada: a) fotografia com localização da amostra no sítio arqueológico; b) esquema representativo da amostragem.

Por forma a amostrar um conjunto de materiais em diferentes níveis de alteração representativos da geologia granítica do local, identificou-se na área do sítio arqueológico (base da colina) um perfil de alteração do granito. Nesse perfil foram recolhidas 4 amostras (MOa - MOd) que apresentavam da base ao topo do perfil, um aumento no estado de alteração, estando mais arenizado no topo, como seria expectável. A amostra da base (MOa) consiste num fragmento de granito rosado de grão médio pouco alterado (Figura 3.27, a e c). As amostras MOb, MOc e MOd foram recolhidas, a 2 m, 1 m e 0,3 m de profundidade, num talude com uma potência estratigráfica de 3 m (Figura 3.27, b e d).

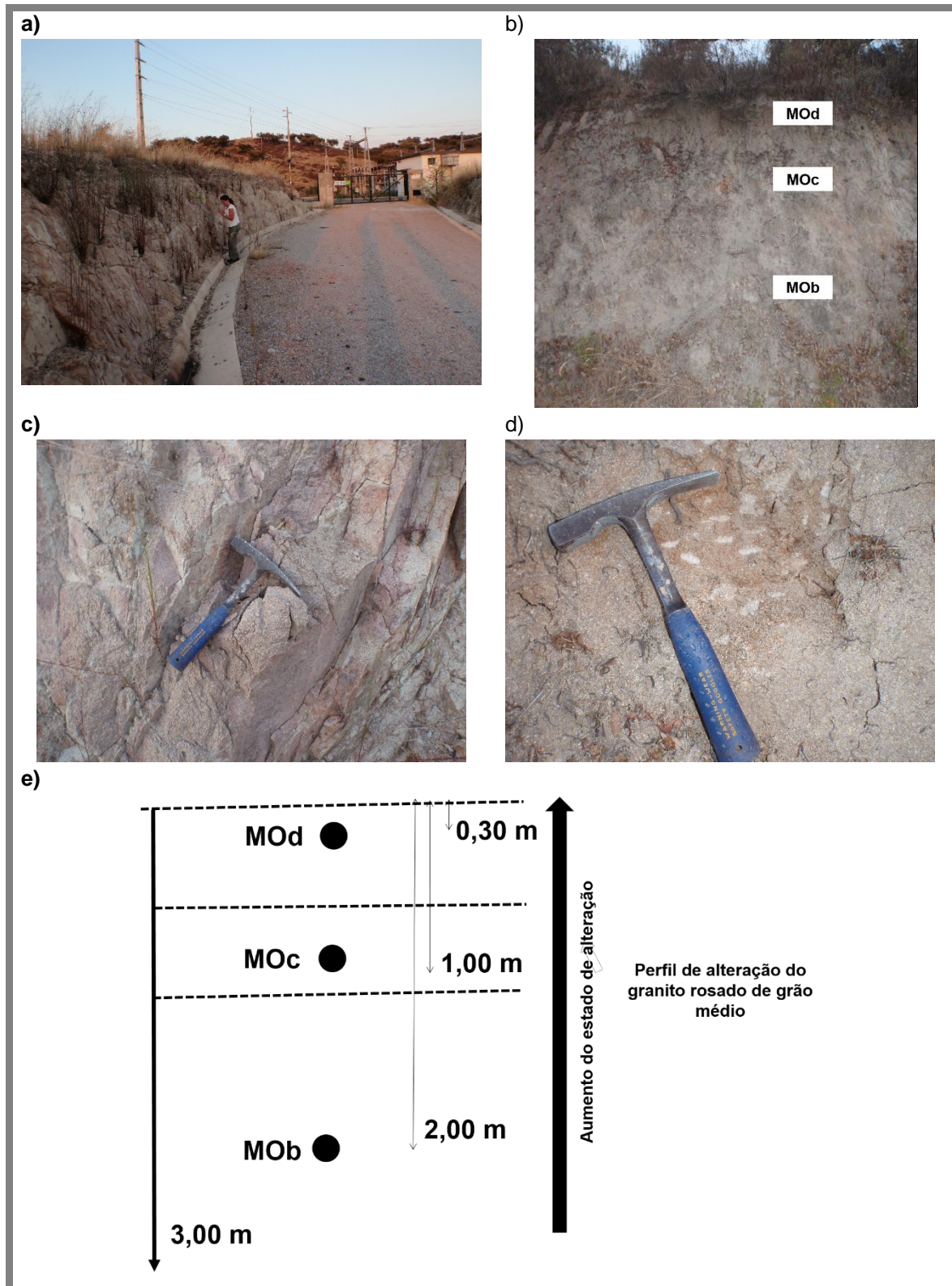



Figura 3.27 Amostragem dos materiais representativos da geologia da Malhada da Orada: a) vista geral do granito rosado pouco alterado onde foi recolhida a amostra MOa; b) vista do perfil de alteração do granito com indicação da localização das amostras MOb, MOc e MOd; c) pormenor da amostra MOa; d) pormenor da amostra MOc; e) esquema representativo do perfil de alteração.

Neste sítio arqueológico recolheram-se um total de 6 amostras, uma delas (e a respetiva adjunta) de matérias de preenchimento e quatro amostras representativas dos diferentes estados de meteorização do granito (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos na Malhada da Orada e no perfil de granito representativo da geologia local.

		Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPr	dMPr	aMPr	MGeo	
<p>pMPr - círculos a verde dMPr - círculos a preto aMPr - circunferência a preto MGeo - círculos azuis</p> 	Preenchimento afetado por atividade humana recente		Castanho amarelado claro	Material arenoso, proveniente da meteorização da rocha mãe					
	Preenchimento por colúvio que cobria as várias estruturas negativas	25	Castanho amarelado claro	Material arenoso, proveniente da meteorização da rocha mãe		MO1	MO1		
	Substrato geológico		Acastanhado claro	Granito muito meteorizado					
	Perfil de alteração do granito		30	Rosado	Material arenoso de alteração do granito com aumento do estado de alteração da base para o topo				MOd
			100						
		200							MOB
	Granito pouco alterado			Granito de grão médio pouco alterado				MOa	

3.2.7 Recinto de fossos dos Perdigões

No Povoado dos Perdigões foram amostrados materiais de preenchimento de 5 estruturas arqueológicas (fossos 5, 12, 6 e 8 e estrutura circular) e, para quatro delas amostraram-se também as variações da base ao topo do substrato geológico em que foram escavadas (dioritos e gabros associados).

A amostragem nos fossos 5 e 12, localizados paralelamente, decorreu em dois momentos relacionados com o avanço das escavações arqueológicas. No primeiro momento, foi amostrado o que à data estava visível do substrato geológico (PDGa) e o solo moderno (PDGb). Com o avançar da escavação arqueológica, ficaram visíveis os materiais de preenchimento dos fossos e o substrato no qual os fossos foram escavados. A amostra PDGa, recolhida a 70 cm de profundidade, no topo da sequência de preenchimento dos fossos 5 e 12, compreende um material arenoso, castanho alaranjado com muitas micas, proveniente da alteração do diorito. O solo moderno (PDGb) corresponde a uma material argiloso, castanho-escuro e com uma grande componente de diorito alterado (Figura 3.28).

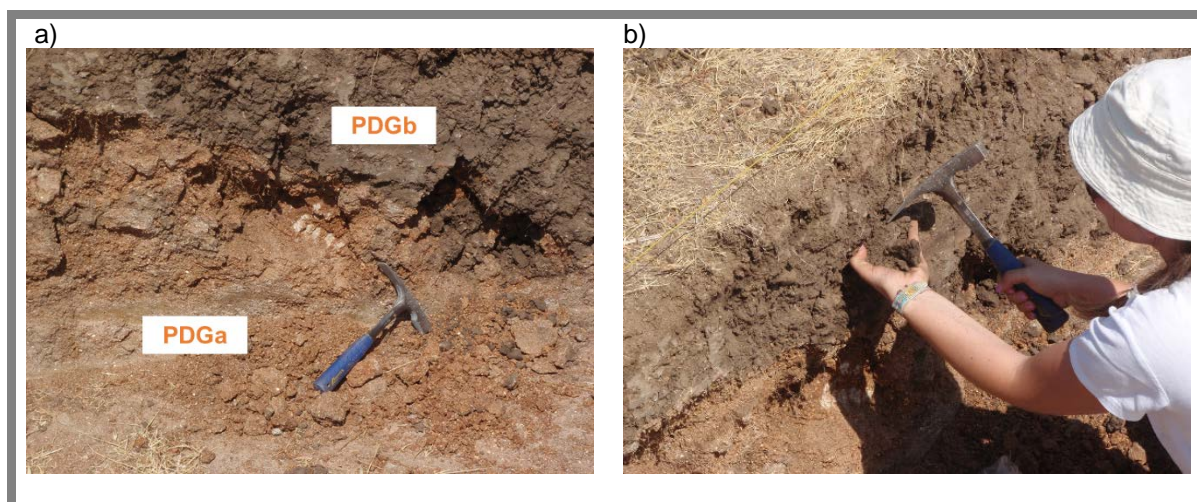


Figura 3.28 Amostragem dos materiais representativos da geologia na área de escavação dos fossos 5 e 11 no Povoado dos Perdigões: a) pormenor das amostras recolhidas; b) amostragem do solo moderno (PDGb).

O fosso 5 apresenta, ao longo do seu preenchimento, uma separação vertical que apenas se anula na camada do topo (Valera, 2013d). Os materiais de preenchimento provêm da alteração do substrato geológico (diorito) e são arenosos e alaranjados com micas bem visíveis. O lado sul do corte amostrado (corte este) apresenta uma coloração mais clara enquanto, no lado norte do corte amostrado há uma maior quantidade de fragmentos de rocha, cerâmicas e fauna (Figura 3.29, a). A amostra PDG1 foi recolhida a 1,20 m de profundidade do lado sul do preenchimento. No topo encontrava-se uma fina camada de material castanho, muito argiloso e compacto que incorporava alguns fragmentos rochosos.

Aquando da amostragem dos materiais de preenchimento no fosso 5 era visível, no lado norte do fosso, uma diminuição do tamanho dos grãos e o escurecimento dos materiais geológicos, da base para o topo. Assim, amostraram-se a 1,3 m, 0,95 m e 0,81 m, as amostras PDGc, PDGd e PDGe, respetivamente (Figura 3.29,c, d e e).

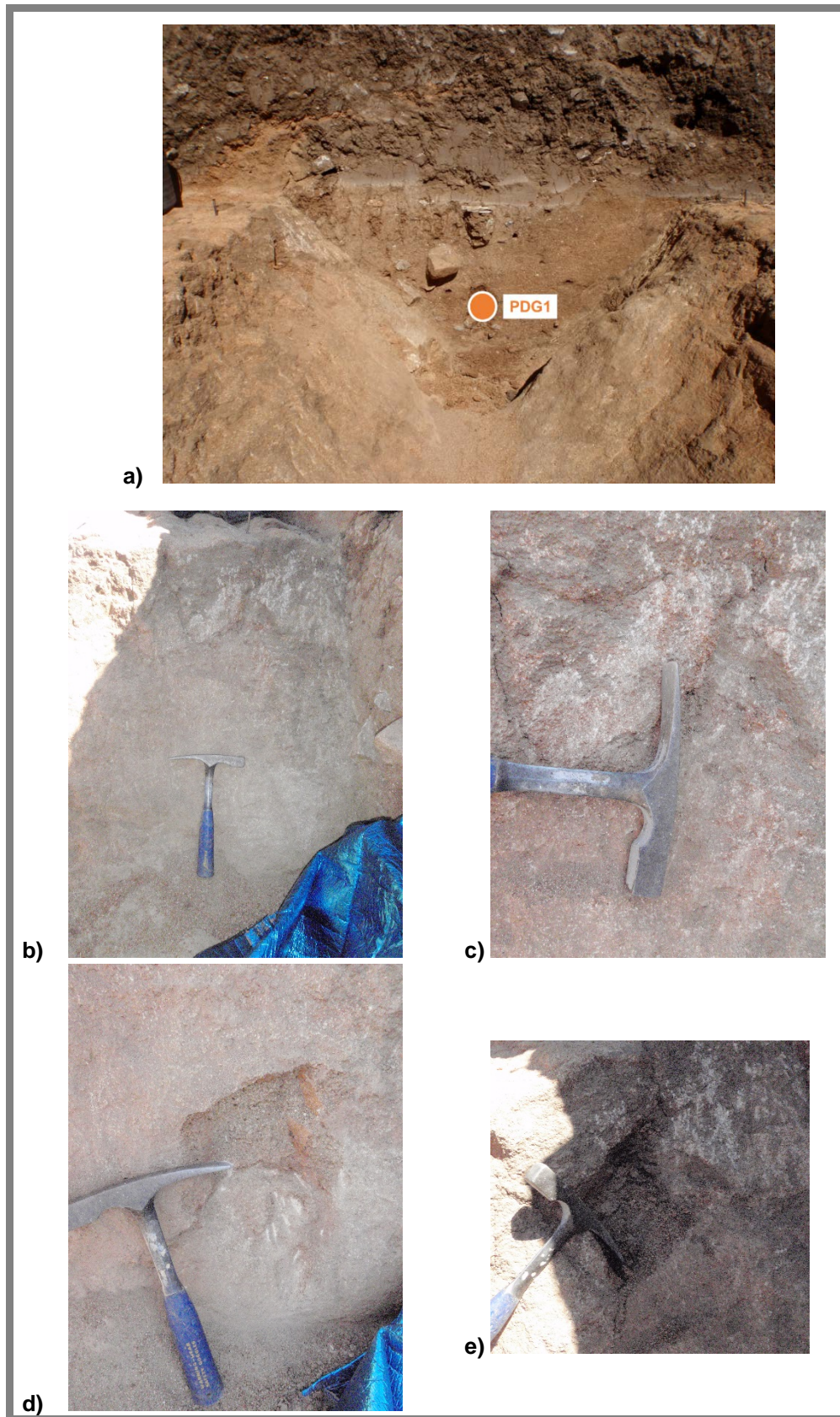


Figura 3.29 Amostragem no fosso 5 do Povoado dos Perdigões: a) localização da amostra PDG1; b) vista da parede Norte do fosso onde foram recolhidas as amostras representativas da geologia do substrato; c) pormenor da amostra PDGc; d) pormenor da amostra PDGd; e) pormenor da amostra PDGe.

O fosso 12, localizado paralelamente ao fosso 5 e a cerca de 50 cm de distância deste, apresenta uma sequência de preenchimento que na base é composta por material arenoso de alteração do substrato geológico, de cor castanha alaranjada, com minerais bem visíveis, nomeadamente micas, idêntico ao substrato geológico local, o que pode indicar que esta fase de preenchimento foi feita com o material resultante da escavação do fosso aquando da sua abertura (Valera, 2013d). Neste nível, foi recolhida a amostra PDG2, a 120 cm de profundidade. Acima deste material encontrava-se uma camada de material heterogéneo, mais argiloso e com pequenas manchas de material mais solto que, em alguns pontos, apresentava uma coloração mais clara. A amostra PDG3 foi recolhida neste nível, a 100 cm de profundidade (Figura 3.30). No topo da sequência surgem materiais muito argilosos e compactos, formando por vezes nódulos.

A relação entre as amostras recolhidas e as estruturas negativas é descrita no esquema da Figura 3.31.

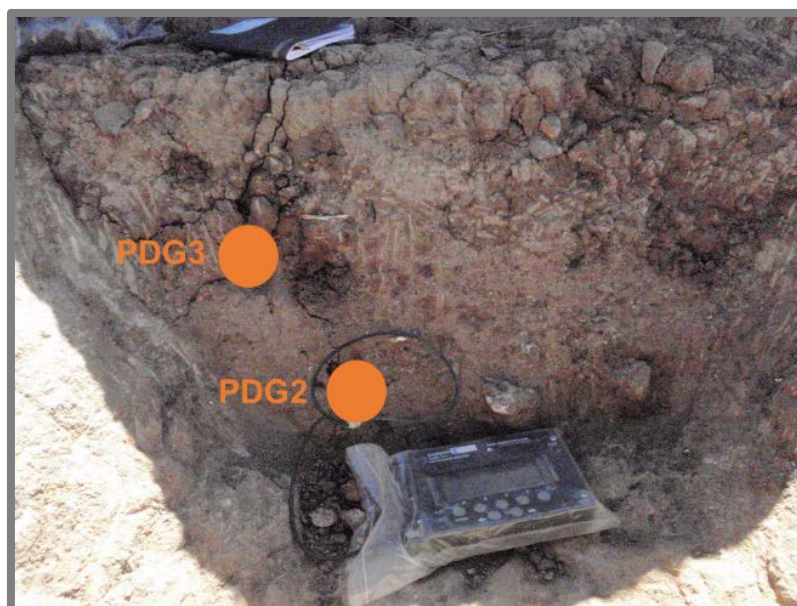


Figura 3.30 Amostragem no fosso 12 do Povoado dos Perdigões.

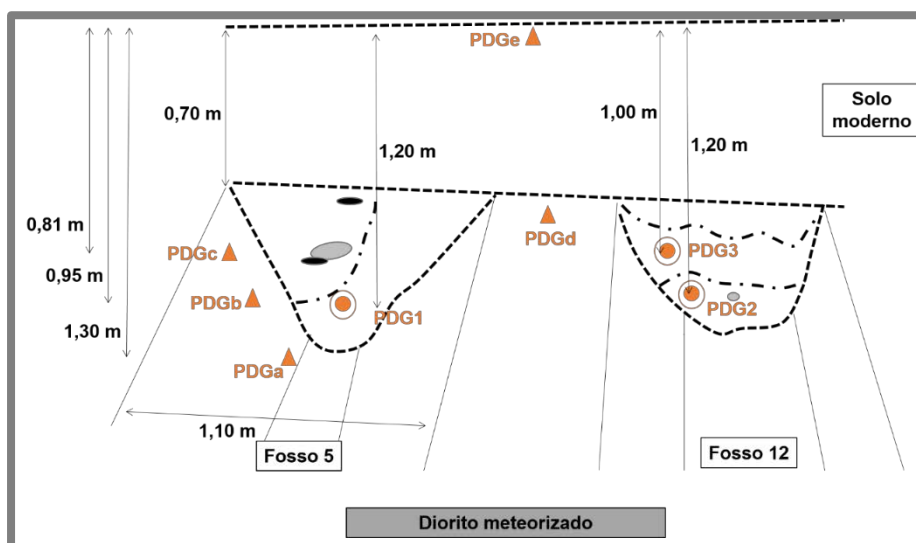


Figura 3.31 Esquema de amostragem nos fossos 5 e 12 do Povoado dos Perdigões.

No fosso 8 foram recolhidas 3 amostras de materiais de preenchimento (e respetivas adjuntas) no lado este do corte norte da sequência de preenchimento (Figura 2.32 Fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdigões: a) Vista geral aquando da amostragem, durante os trabalhos de escavação; b) vista do corte norte onde foi efetuada a amostragem; c) vista este dos limites do fosso; d) vista oeste dos limites do fosso; e) vista do corte a sul. (Figura 2.32). A amostra PDG4 foi recolhida a 116 cm de profundidade num camada de material arenoso, castanho-escuro com muitas micas, com alguns fragmentos de cerâmica e de rochas dispostos horizontalmente. Acima desta camada, observou-se uma fina camada de material cinzento muito escuro e compacto, contendo cinza e carvão. Sobrepondo-se a esta camada observou-se uma camada de material areno-argiloso, homogénea e de cor castanha, com micas, contendo fauna e fragmentos de cerâmica. Nesta camada recolheu-se a amostra PDG5, a 96 cm de profundidade. No nível superior, mais no centro do fosso, recolheu-se a amostra PDG6, a 98 cm de profundidade. Este material apresenta cor castanha clara alaranjada e é arenoso e com micas bem visíveis (Figura 3.32). No centro do fosso, cobrindo o nível anterior e encerrando a sequência de preenchimento o material depositado apresenta a cor castanha clara, é areno-argiloso e moderadamente compacto, com inúmeros fragmentos de rocha, cerâmica e fauna.

Na área de escavação do fosso 8 recolheram-se 3 amostras representativas da geologia local. A amostra PDGg, correspondente aos materiais de alteração dos dioritos e gabros associados, apresenta-se como um material arenoso de coloração castanha acinzentada, facilmente desagregável que foi recolhido junto ao topo da sequência de preenchimento do fosso a 80 cm de profundidade. A esta profundidade, identificou-se um filão de material arenoso com uma coloração mais rosada, onde se recolheu a amostra PGDf (Figura 3.33). O solo moderno, que cobria todo o fosso e a área de escavação do mesmo, apresenta material castanho-escuro, areno-argiloso e com micas provenientes da alteração do substrato geológico, onde se recolheu a amostra PDGh.

No fosso 6 foram amostrados os materiais de preenchimento da estrutura que se relacionavam diretamente com a deposição de material alterado do substrato geológico onde o fosso fora escavado. Recolheram-se 7 amostras em pequenos tubos (usados para a recolha de amostras em perfil para estudos dosimétricos): PDG6_1 a PDG6_7. De forma a poder comparar as amostras no interior da sequência com os possíveis substratos que lhe deram origem, recolheram-se 8 amostras de substrato geológico nas paredes do fosso, compondo estas amostras 2 perfis de alteração dos dioritos e gabros associados meteorizado: PDGi à PDGj na parede exterior do fosso (lado oeste) e PDGm à PDGp na parede interior do fosso (lado este) (Tabela 3.8, Figura 3.34).

As amostras representativas da alteração dos dioritos e gabros associados apresentavam material grosseiro (arenoso) em que se identificavam facilmente os grãos, nomeadamente as micas. A coloração castanha é na superfície exposta mais alaranjada, e no interior (ao escavar o substrato) mais acinzentada. Da base para o topo as amostras escurecem e tornam-se menos compactas e com maior componente de material argiloso. Junto à amostra PDGj identificou-se uma fácies mais esbranquiçada e carbonatada que também foi recolhida (amostra PDGk) (Figura 3.34 e Figura 3.35).

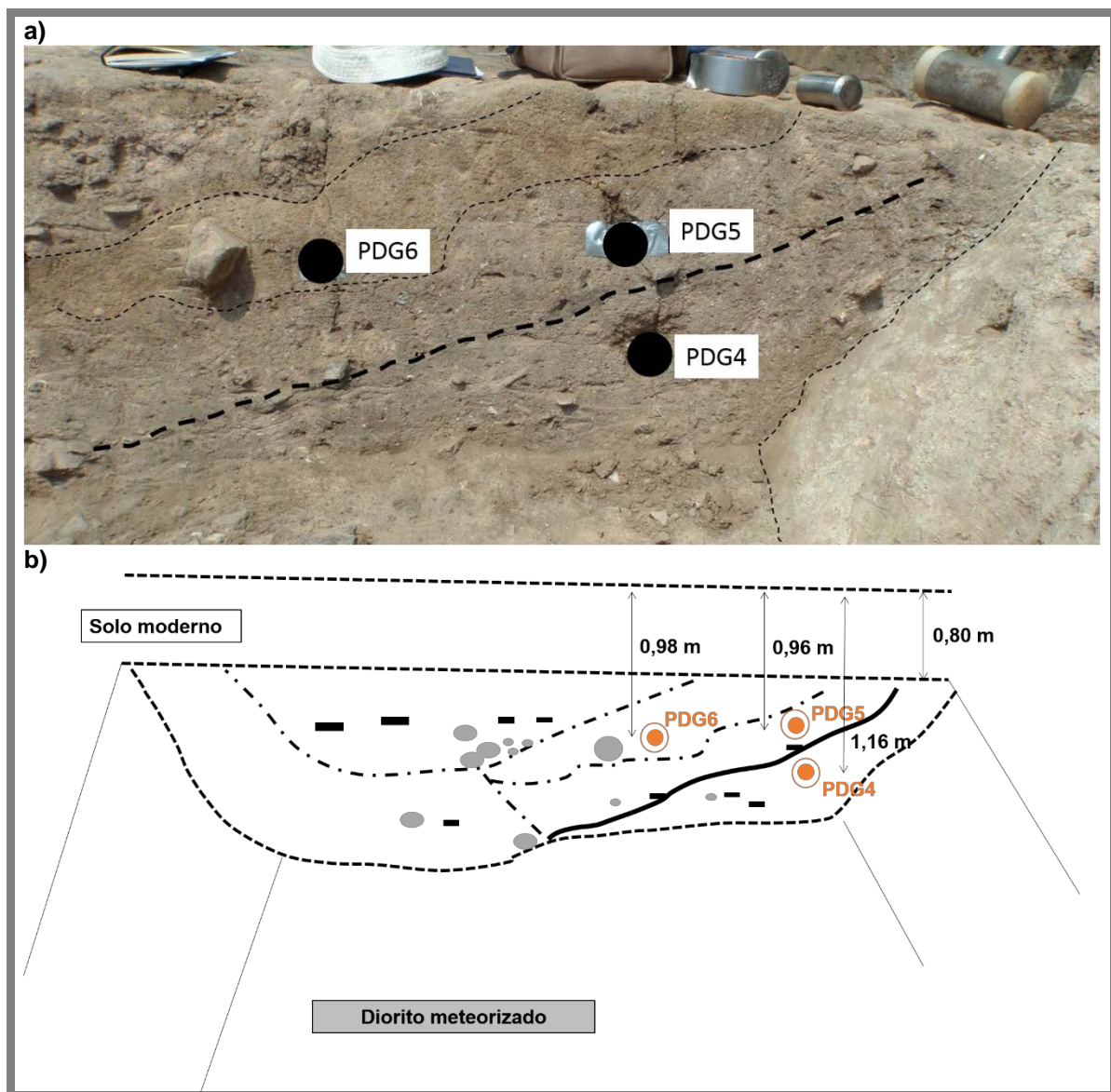


Figura 3.32 Amostragem no fosso 8 do Povoado dos Perdigões: a) pormenor do corte norte onde foi feita a amostragem; b) esquema representativo da amostragem realizada.

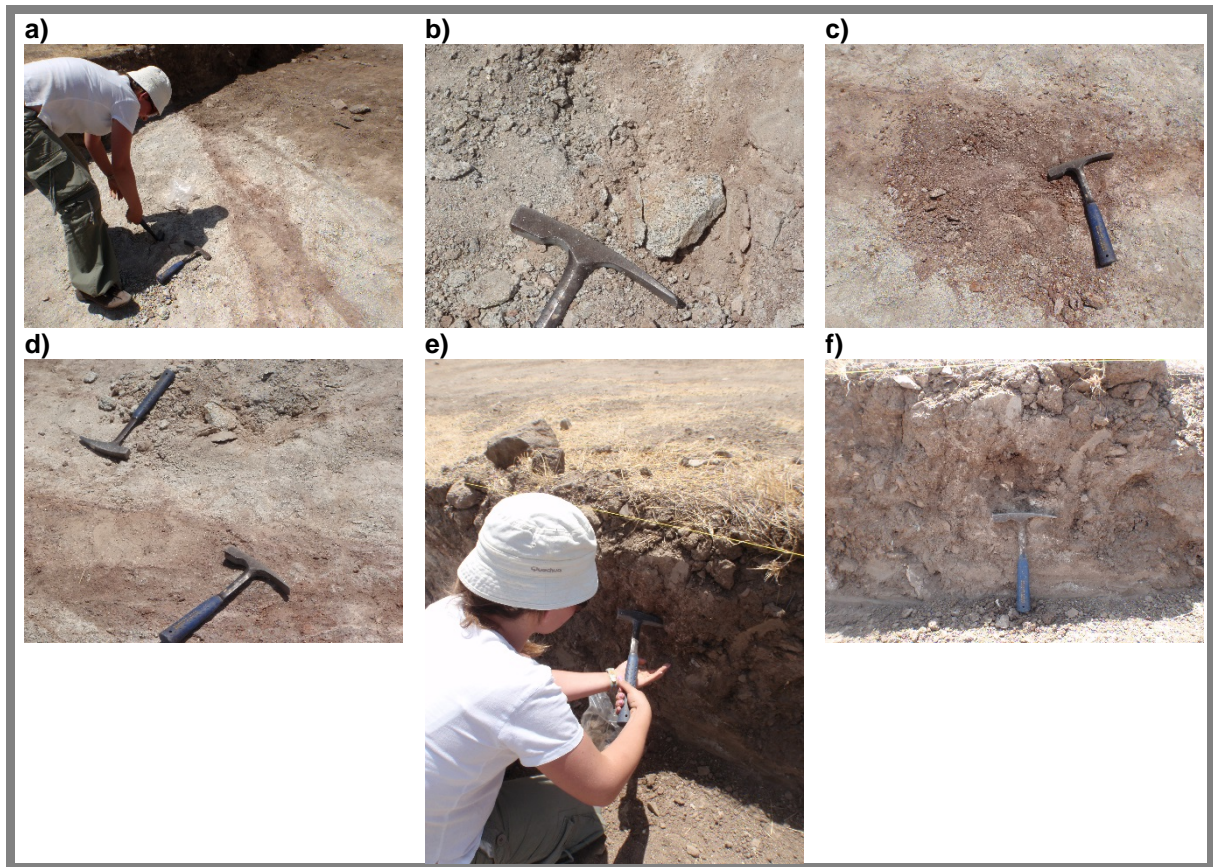


Figura 3.33 Fotografias da amostragem dos materiais representativos da geologia local na área do fosso 8 no Povoado dos Perdígões: a) substrato geológico, dioritos e gabros; b) pormenor da amostra PGDg de cor cinzenta acastanhada; c) pormenor da amostra PDGf de cor castanha rosada; d) pormenor das amostras PDGf e PDGg com evidência da diferença de cor; e) amostragem do solo moderno; f) pormenor da amostra de solo moderno, PDGh.

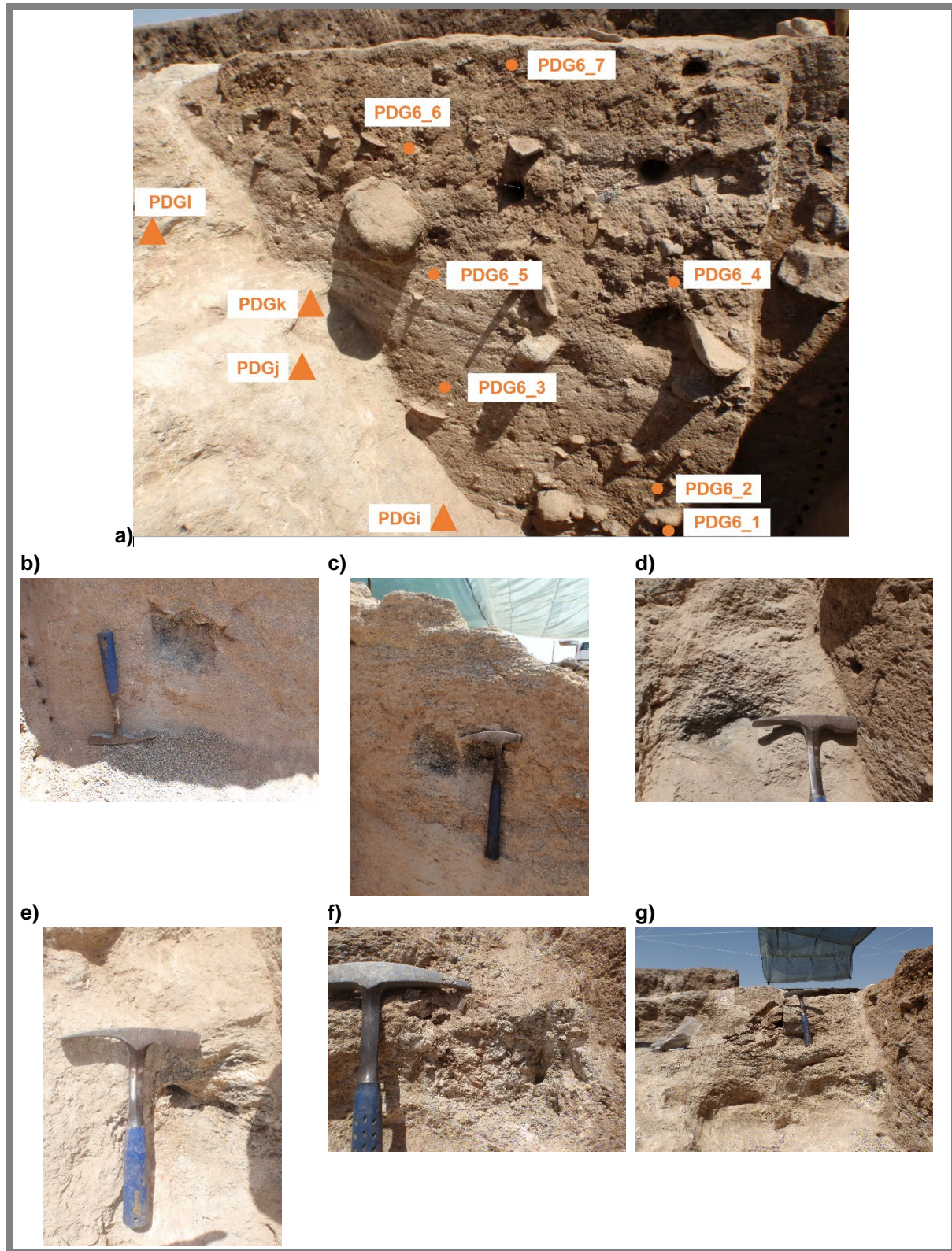


Figura 3.34 Amostragem no fosso 6 do Povoado dos Perdigões: a) vista geral do corte do fosso amostrado com indicação das amostras recolhidas no preenchimento do fosso e na parede oeste (representativas da geologia da parede exterior do fosso); b) pormenor da amostra PDGn (base do lado este do fosso); c) pormenor da amostra PDGp, no lado este do fosso, coberta pela amostra equivalente à PDGi; d) pormenor da amostra PDGi, na base do lado oeste do fosso; e) pormenor da amostra PDGj; f) Pormenor da amostra PDGk, fácies mais carbonatada em relação à amostra PDGj; g) pormenor da amostra PDGI.

Tabela 3.8 Correspondência entre as amostras do preenchimento do fosso e as amostras recolhidas nos perfis das paredes do fosso (representativas da geologia).

Preenchimento do fosso	Profundidade (cm)	Substrato geológico	Parede do fosso
PDG6_7	5	PDGp	este
PDG6_6	23	PDGo	oste
PDG6_5	72	PDGI	oeste
PDG6_4	74	PDGn	este
		PDGk	oeste
PDG6_3	118	PDGj	oeste
PDG6_2	153	PDGm	este
PDG6_1	175	PDGi	oeste

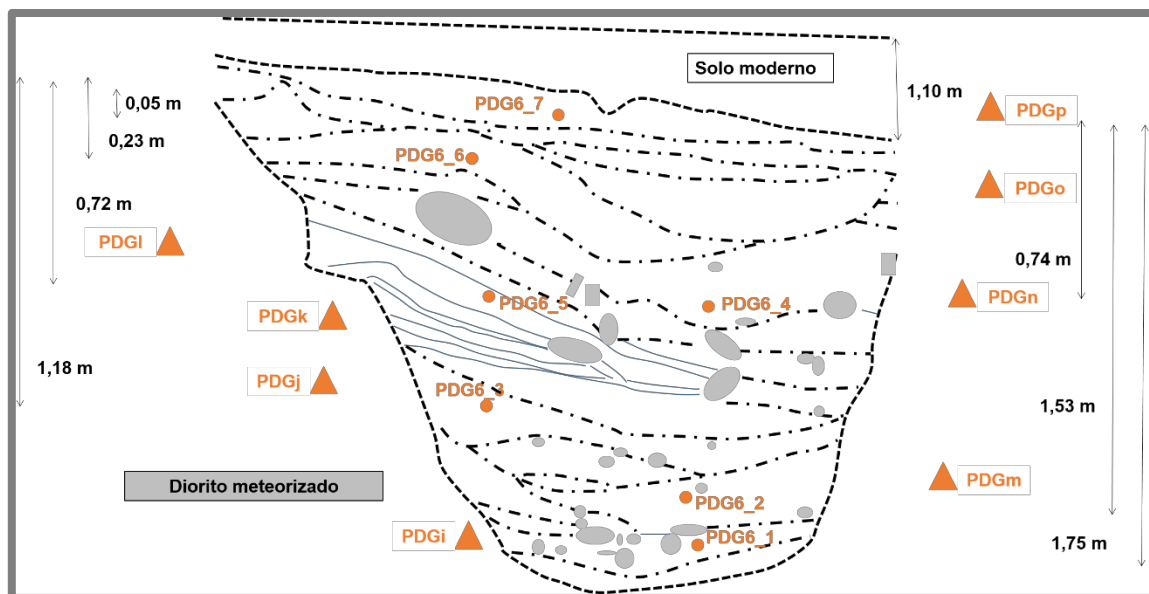


Figura 3.35 Esquema representativo da amostragem efetuada no fosso 6 do Povoado dos Perdigões (os triângulos indicam as amostras recolhidas nos perfis das paredes do fosso, os círculos indicam as amostras recolhidas no interior da sequência de preenchimento, os círculos cinzentos localizam os fragmentos de rochas encontrados no preenchimento da estrutura e as linhas azuis indicam as várias camadas de material de erosão do substrato geológico intercaladas com finas camadas de material mais argiloso, depositadas no fosso por ação humana).

No que respeita aos materiais de preenchimento do fosso, da base para o topo, recolheram-se 7 amostras, representativas das duas fases de preenchimento do fosso e da deposição de material de erosão do substrato geológico por ação humana, que são descritas de seguida. As amostras PDG6_1, PDG6_2 e PDG6_3 foram recolhidas nas camadas de preenchimento inferiores do fosso e são compostas por materiais acastanhados, areno-argilosos, contendo materiais cerâmicos, fauna e alguns elementos líticos (Valera, 2011). A amostra PDG6_5 corresponde aos materiais de uma fina camada de material de erosão do substrato geológico, que surge na sequência de preenchimento com uma inclinação oeste – este, restringindo-se ao quadrante noroeste da área sondada do fosso e desprovida de artefactos arqueológicos. Esta camada encontrava-se intercalada com finos níveis de sedimentos argilosos castanho avermelhados, praticamente estéreis do ponto de vista arqueológico (Valera, 2011). As amostras PDG6_4, PDG6_6 e PDG6_7 foram recolhidas nas camadas de preenchimento superiores do fosso. O material que compõe a amostra PDG6_5 trata-se de uma material areno-argiloso castanho com fragmentos rochosos de pequenas dimensões (< 5 cm), cerâmica e fauna (Valera, 2010c). O material correspondente à amostra PDG6_6 trata-se de material muito semelhante ao da amostra PDG6_4 mas, com uma coloração mais avermelhada. A amostra PDG6_7 compreende material castanho claro mais fino, silto-argiloso, com influência da atividade agrícola.

Na estrutura circular estudada recolheram-se 9 amostras de materiais de preenchimento, 3 das quais para datar (PDG7 – PDG9 e as respetivas amostras adjuntas) (Figura 3.36), em dois pontos distintos da estrutura, de forma a ser possível recolher material que se encontrava a baixo e acima do aglomerado de fragmentos rochosos que a compunham. Na base da estrutura, recolheu-se a amostra PDG7, a 30 cm da superfície atual (Figura 3.36, lado direito) composta por material castanho claro silto-argiloso envolvendo fragmentos rochosos de grandes dimensões. Acima do nível composto por calhaus subangulosos, encontrava-se um depósito de material castanho muito escuro e silto-argiloso com fragmentos de menores dimensões (< 10 cm) onde se recolheram as amostras pPDG1, PDG8 e pPDG2, a 73 cm, 68 cm e 64 cm de profundidade respetivamente. Ao contrário do procedimento normal de amostragem que ocorre com a colocação dos tubos de recolha paralelamente em relação ao solo, as amostras PDG7 e pPDG1 foram recolhidas na vertical. Acima deste depósito, no nível de preenchimento por coluvião, com material silto-argiloso castanho-escuro, e pequenos fragmentos rochosos (< 10 cm) e cerâmicas, por sua vez coberto pelo solo moderno recolheram-se as amostras pPDG3, pPDG4, PDG9, pPDG5 e pPDG6, entre os 53 cm e os 7 cm de profundidade (Figura 3.37).

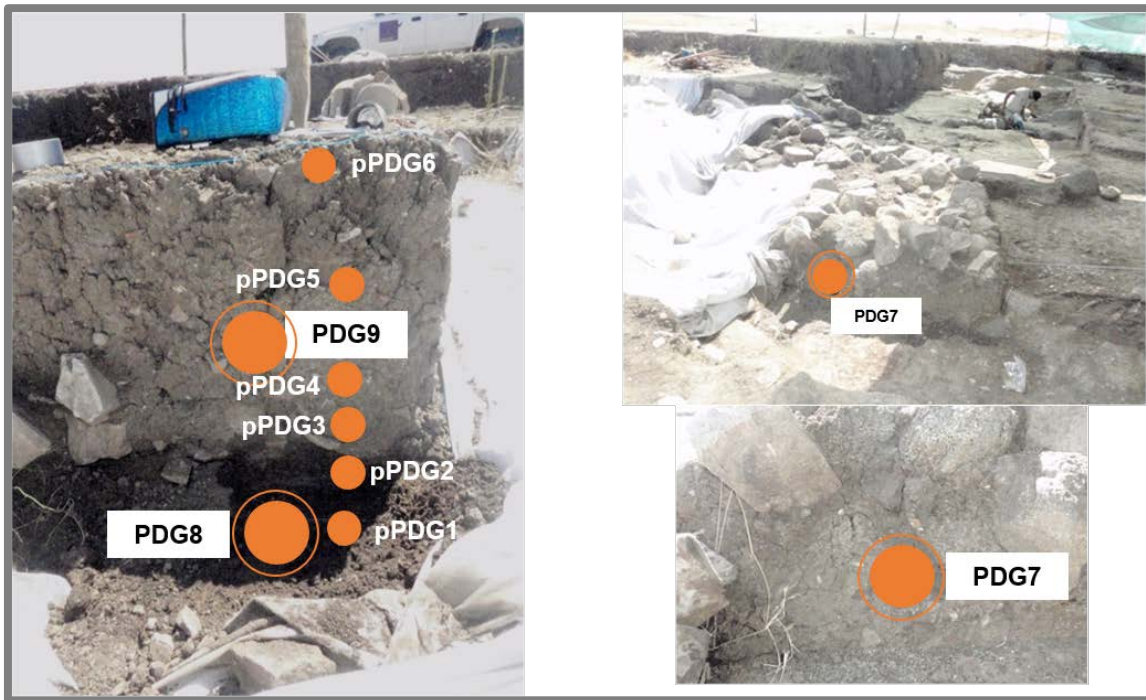


Figura 3.36 Amostragem na estrutura circular no Povoado dos Perdigões (Amostras PDG15 e pPDG1 recolhidas na vertical).

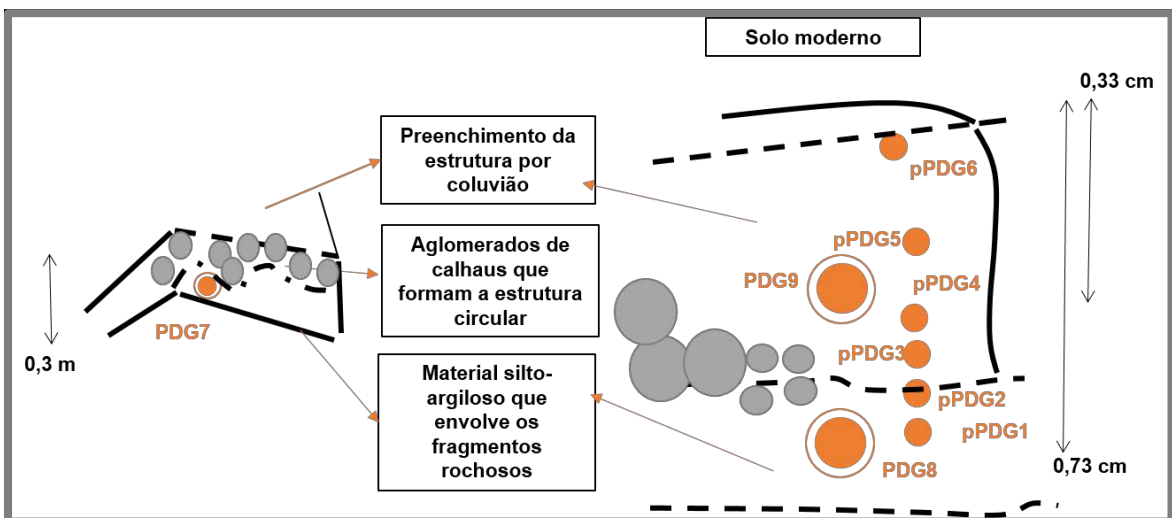


Figura 3.37 Esquema da amostragem efetuada na estrutura circular no Povoado dos Perdigões.

No total, recolheram-se no Povoado dos Perdigões, 47 amostras das quais 30 são materiais de preenchimento das estruturas negativas (Tabela 3.9). De entre as 30 amostras de preenchimento, oito são amostras para datação por luminescência.

As amostras recolhidas no campo foram depois preparadas para as análises composicionais, químicas e mineralógicas, e de dosimetria por luminescência, no laboratório e segundo os procedimentos descritos no capítulo 4.

Tabela 3.9 Descrição dos materiais de preenchimento recolhidos no Povoado dos Perdigões e dos materiais representativos da geologia local.

Estruturas negativas	Contextos	Profundidade (cm)	Cor	Descrição de campo	pMPr	dMPr	aMPr	MGeo	
Fossos 5	Preenchimento do fosso	120	Castanho alaranjado claro	Material de alteração do diorito, arenoso com micas bem visíveis		PDG1	PDG1		
		81	Castanho alaranjado que vai escurecendo da base ao topo	Diorito alterado com material arenoso e com micas visíveis cujos grãos diminuem da base ao topo				PDGe	
		95					PDGd		
Fosso 12	Preenchimento do fosso	130	Castanho alaranjado claro	Material arenoso com micas bem visíveis				PDGc	
		100			Material arenoso-argiloso heterogêneo, idêntico ao substrato	PDG3	PDG3		
		120			Material arenoso de alteração do substrato geológico com minerais bem visíveis, nomeadamente micas, idêntico ao substrato geológico local		PDG2	PDG2	
Solo moderno que cobre os dos fossos 5 e 12	Substrato geológico	0	Castanho escuro	Solo moderno com material fino, argiloso, componente de diorito alterado				PDGb	
		70	Castanho alaranjado	Diorito alterado, arenoso				PDGa	
		98	Castanho alaranjado	Material silto-arenoso compacto, com muitas micas visíveis	PDG6	PDG6	PDG6		
Fosso 8	Preenchimento do fosso	96	Castanho claro	Material silto-arenoso compacto, com muitas micas visíveis		PDG3	PDG3		
		116				PDG4	PDG4		
		0			Castanho escuro	Solo moderno com material arenoso-argiloso e com micas provenientes da alteração do substrato geológico			
	Substrato geológico e solo moderno	Substrato geológico e solo moderno	80	Castanho acinzentado	Diorito alterado com material arenoso facilmente desagregável				PDGg
			80	Castanho rosado				PDG6_7	PDGf
			5	Castanho claro	Material silto arenoso				PDG6_7
Fosso 6	Preenchimento do fosso	23	Castanho avermelhado	Material silto-arenoso com poucos fragmentos rochosos < 5 cm e cerâmica				PDG6_6	
		74	Castanho					PDG6_6	
		72	Esbranquiçado	Material de erosão do substrato geológico, arenoso				PDG6_5	
	Preenchimento do fosso	Preenchimento do fosso	118	Castanho-claro	Material silto-arenoso com muitos fragmentos rochosos de diferentes tamanhos, cerâmica e micas bem visíveis				PDG6_3
			153						PDG6_2
			175						PDG6_1
Estrutura circular	Perfil de alteração do substrato geológico nas paredes do fosso	Parede exterior	Castanho/laranja acinzentado (PDGk é mais esbranquiçada)	Diorito alterado com material grosseiro (arenoso) em que se identificavam facilmente os grãos, nomeadamente as micas, mais compacto na base dos perfis e mais solto no topo onde é maior a quantidade de material argiloso				PDGI	
					Parede interior				PDGk
	Preenchimento por colúvio	Preenchimento por colúvio	7	Castanho escuro	Material silto-arenoso com muitos fragmentos rochosos de diferentes tamanhos e micas bem visíveis	PPDG6			PDGI
			23					PDGj	
			33					PDGj	
	Materiais que envolviam os calhaus de formação da estrutura	Materiais que envolviam os calhaus de formação da estrutura	36	Castanho muito escuro	Material silto-arenoso, compacto com fragmentos de rochas <10 cm e pedaços de cerâmica	PPDG3	PDG9	PDG9	PDG9
			53					PPDG3	
			64					PPDG2	
			68					PPDG1	
	Materiais que envolviam os calhaus de formação da estrutura	Materiais que envolviam os calhaus de formação da estrutura	73	Castanho claro	Material silto-argiloso, com muitos fragmentos de rochas <10 cm		PDG8	PDG8	PDG8
30						PDG7	PDG7		

4 Métodos

A abordagem metodológica utilizada incluiu uma combinação integrada de métodos, que foi traçada com o intento de permitir a caracterização granulométrica, química e mineralógica, bem como a análise dosimétrica e dos comportamentos luminescentes dos materiais de preenchimento das estruturas arqueológicas negativas, fundamentais ao cumprimento dos objetivos estabelecidos. De forma a complementar o conhecimento acerca dos materiais de preenchimento e dos processos de acumulação destes materiais nas estruturas negativas foi simultaneamente efetuada a caracterização granulométrica e composicional dos materiais representativos do substrato geológico, com o intuito de estabelecer a base geológica associada a cada sítio arqueológico.

Consideram-se, ao longo deste trabalho as seguintes tipologias de amostras:

- Materiais de preenchimento recolhidos em perfil (pMPr) para a determinação do comportamento dosimétrico por luminescência, análise química por ativação neutrónica e análise mineralógica por difração de raios-X da amostra total;
- Materiais de preenchimento selecionados para datação por luminescência (dMPr);
- Materiais de preenchimento adjuntos das amostras selecionadas para datação (aMPr), utilizadas para a análise química por ativação neutrónica e análise mineralógica por difração de raios-X da amostra total e da fração argilosa;
- Materiais representativos da geologia local (MGeo) utilizadas para a análise química por ativação neutrónica e análise mineralógica por difração de raios-X da amostra total e da fração argilosa.

Foi feita uma abordagem metodológica diversificada, onde o tronco comum, aplicado à generalidade das amostras, baseou-se na análise química, mineralógica, granulométrica e o estudo do comportamento dosimétrico e luminescente. Atendendo aos objetivos deste trabalho, a cada conjunto de amostras foi aplicado um conjunto de ensaios específicos. Para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil (pMPr) foi determinada a composição química e mineralógica da amostra total usando a análise química por ativação neutrónica (AAN) e a difração de raios-X (DRX), respetivamente. No que respeita aos ensaios de luminescência estimulada térmica e ópticamente (TSL – *thermally stimulated luminescence* e OSL – *optically stimulated luminescence*, respetivamente) foram efetuados teste iniciais (TI) em três frações mineralógicas diferentes: grãos grosseiros (90-250 μm) de poliminerais (PMG), grãos finos (inferior a 90 μm) de poliminerais (PMF) e uma fração enriquecida em quartzo grosseiro (90-250 μm) (EQZG) (Figura 4.1). Antes de serem preparados para os ensaios de luminescência estimulada os materiais de preenchimento selecionados para datação por luminescência (dMPr) foram sujeitos a testes de retenção de água para determinação do teor em humidade. Os ensaios de luminescência efetuaram-se segundo o protocolo de testes iniciais (TI) e o protocolo regenerativo de alíquotas simples com estimulação ótica por luz azul (SAR-OSL, *single aliquot regenerative – optically stimulated luminescence*), nas frações grosseira e fina enriquecida em quartzo (160 – 250 μm e 4 – 11 μm , respetivamente). Foram selecionadas amostras da fração grosseira enriquecida em quartzo para serem sujeitas a ensaios de radioluminescência (RL) (Figura 4.2).

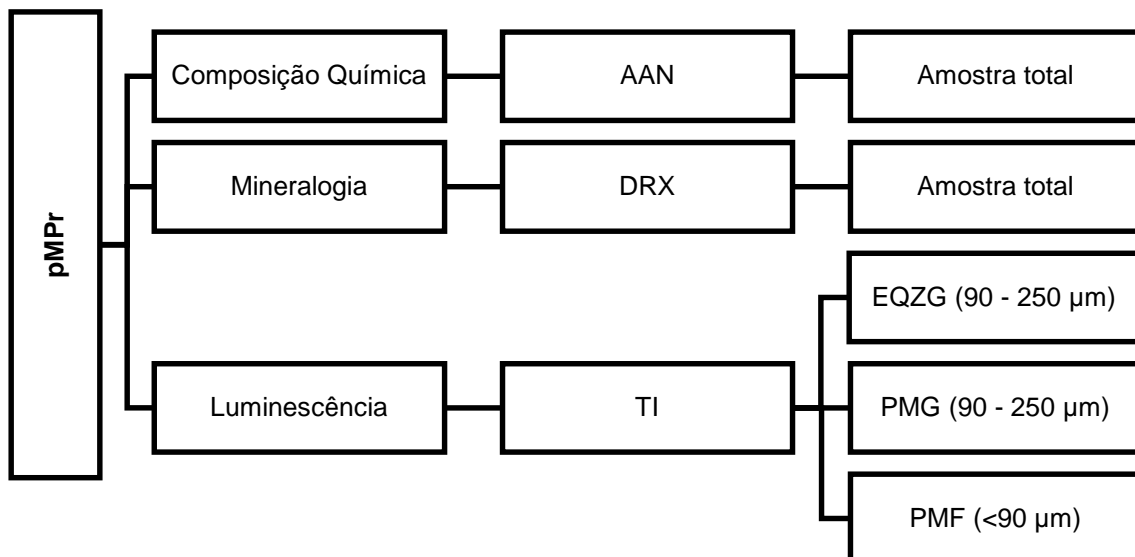


Figura 4.1 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais de preenchimento recolhidos em perfil (pMPr).

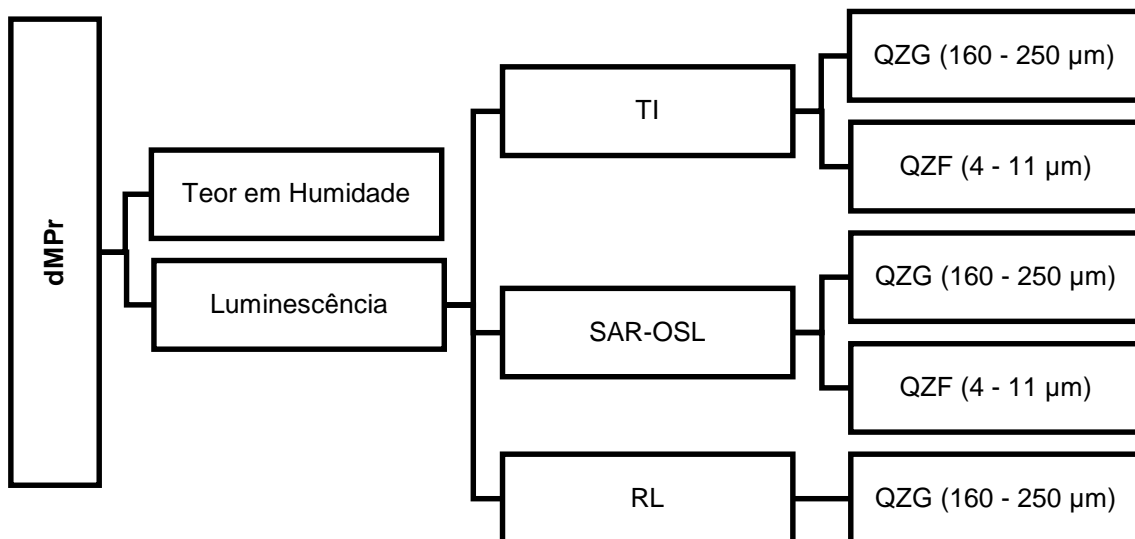


Figura 4.2 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais de preenchimento selecionados para datação por luminescência (dMPr).

Nos materiais de preenchimento correspondentes às amostras adjuntas (aMPr) efetuou-se a determinação da composição química por AAN da amostra total e da fração argilosa e por fluorescência de raios-X (FRX) e espectrometria gama de elevada resolução na amostra não ativada (EGER) da amostra total. A mineralogia destes materiais foi determinada por DRX tanto para a amostra total como para a fração argilosa. Considera-se a amostra total a fração inferior a 2 mm. No que respeita aos estudos de granulometria, procedeu-se à separação da fracção grosseira (> 63 µm) da fracção fina (< 63 µm) em peneiro por via húmida. Uma porção da fracção fina (< 63 µm) foi utilizada para granulometria de finos, recorrendo à análise contínua por sedimentação (ensaio realizado na Universidade de Aveiro com recurso ao SediGraph 5100 Micromeritics), e outra porção para a separação da fracção <2 µm por sedimentação segundo a lei de Stokes (Figura 4.3.). Os materiais representativos da geologia local

(MGeo) foram sujeitos ao mesmo tipo de análises que os materiais de preenchimento adjuntos, com exceção da análise química por EGER que não foi aplicada (Figura 4.4).

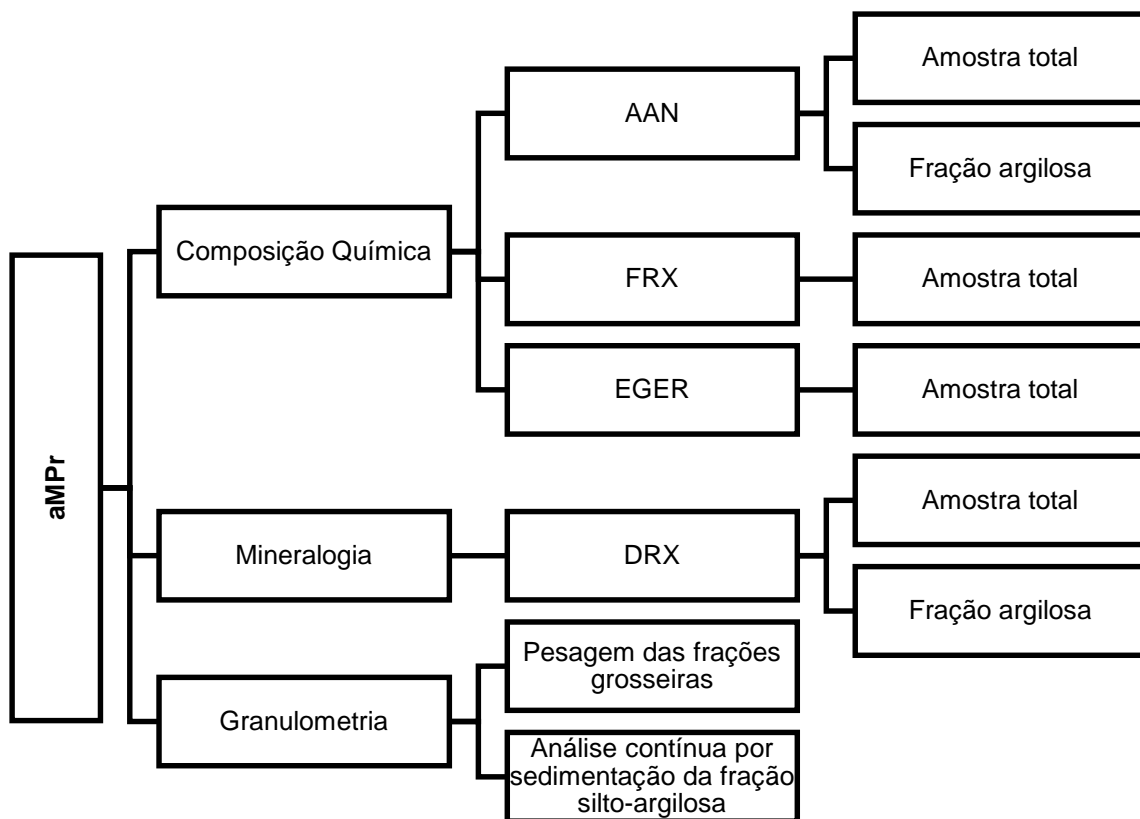


Figura 4.3 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais de preenchimento adjuntos dos selecionados para datação por luminescência (aMPr).

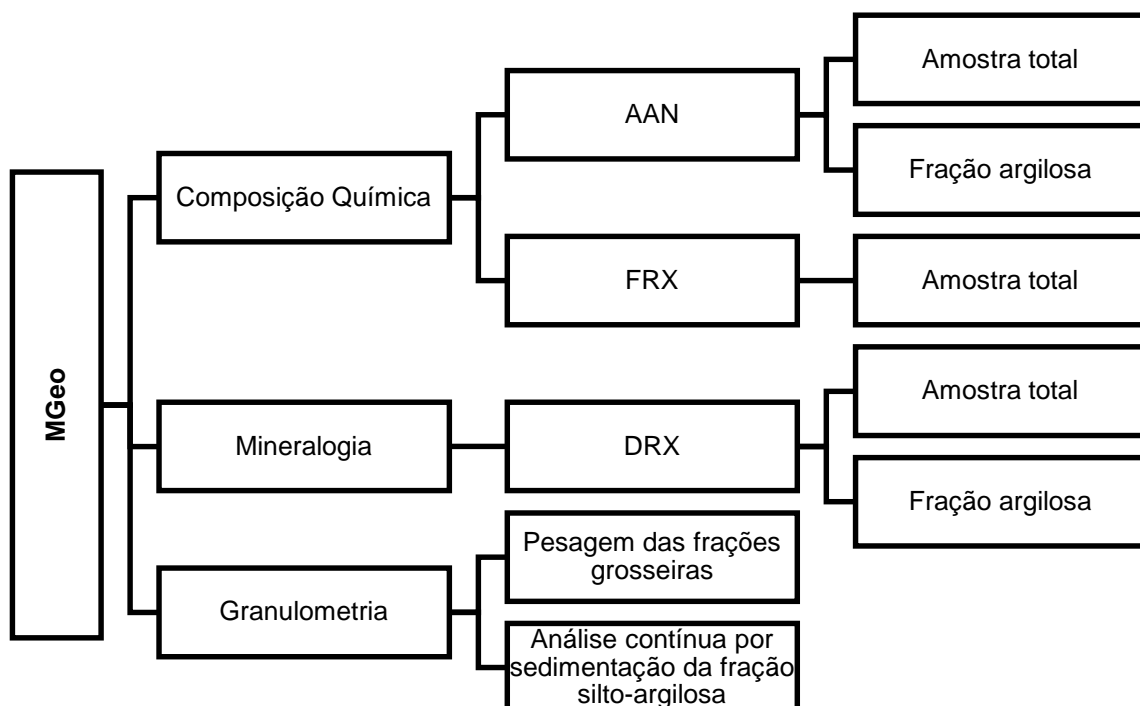


Figura 4.4 Esquema representativo das análises efetuadas aos materiais representativos da geologia local (MGeo).

4.1 Protocolos para preparação das amostras

4.1.1 Para a determinação da composição e da granulometria

A preparação das amostras de materiais de preenchimento adjuntas (aMP_r) e das amostras de materiais representativos da geologia local (MGeo) utilizadas para determinação da granulometria e composição efetuou-se segundo o mesmo procedimento (Figura 4.5). Após secagem ao ar (a cerca de 30°C), as amostras foram pesadas, homogeneizadas e quarteadas, sendo retiradas duas tomas representativas da amostra total (cerca de 200 g cada), sendo posteriormente separada a fração superior a 2 mm, por crivagem a seco. O material restante foi armazenado como testemunho. A fração inferior a 2 mm foi pesada, homogeneizada e quarteada, sendo posteriormente feitas duas tomas de cerca de 100 g. Uma das tomas foi moída, sendo o pó resultante utilizado para a análise química por ativação neutrónica (cerca de 300 mg) realizada no CTN, por fluorescência de raios-X (cerca de 13 g) realizada na Universidade de Aveiro, e mineralógica por difração de raios-X (cerca de 2 g) realizada no CTN, na amostra total. A moagem foi efetuada em moinhos de bolas ou anéis de ágata, dependendo da quantidade de material disponível, no intuito de não contaminar a amostra com material constituinte do moinho. No caso das amostras de materiais de preenchimento, foi recolhida uma toma com cerca de 100 g da fração < 2 mm, para ser sujeita a análise química por espectrometria gama de elevada resolução, na amostra não ativada. Outra toma da fração < 2 mm (100-200 g, dependendo da granulometria da amostra) procedeu-se à separação da fração < 63 µm por via húmida, utilizando água destilada. Para o efeito utilizou-se um peneiro ASTM (American Standards for Testing Materials) com malha de 63 µm. A fração grosseira assim obtida foi seca na estufa a 80°C e, após arrefecimento, foi pesada, o que permitiu a quantificação da fração superior a 63 µm. Após recolhida e seca em estufa a 30°C, a fração < 63 µm foi pesada e fez-se uma toma de cerca de 3 g para determinação da granulometria de finos por sedimentação contínua a partir da atenuação de um feixe de raios-X, utilizando o equipamento SediGraph 5100 Micromeritics da Universidade de Aveiro.

Para os materiais representativos da geologia local do Outeiro Alto (OAa), composta por um bloco de calcreto, foi necessária uma moagem da amostra no moinho de maxilas, de forma a possibilitar o fracionamento do bloco de calcreto para posterior quarteamento da amostra total, o que condicionou a interpretação dos resultados granulométricos.

De modo a verificar o papel dos carbonatos nas amostras dos materiais de preenchimento do Monte Carrascal, que se apresentavam mais compactas e cimentadas que as restantes, para além das análises efetuadas à amostra tal qual, procedeu-se à determinação da presença de calcite na fração < 63 µm por DRX, antes e após descarbonatação de uma toma dessa fração. Para o conjunto de quatro amostras adjuntas (provenientes do sítio arqueológico do Monte Carrascal) procedeu-se à recolha da fração argilosa a partir da fração < 63 µm carbonatada e descarbonatada. O processo de descarbonatação foi feito em meio ácido (HCl a 37%) com pH controlado (pH>1,5), segundo o método descrito por Echallier (1981), com o intuito de minorar o efeito do processo de descarbonatação nos minerais argilosos existentes nas amostras.

Partindo de uma toma de fração < 63 μm procedeu-se à separação da fração argilosa (< 2 μm) utilizando o método usual de sedimentação fracionada baseada na Lei de Stokes. Esta fração foi recolhida (Figura 4.5), seca a 30°C e pesada, sendo posteriormente sujeita a AAN e a DRX.

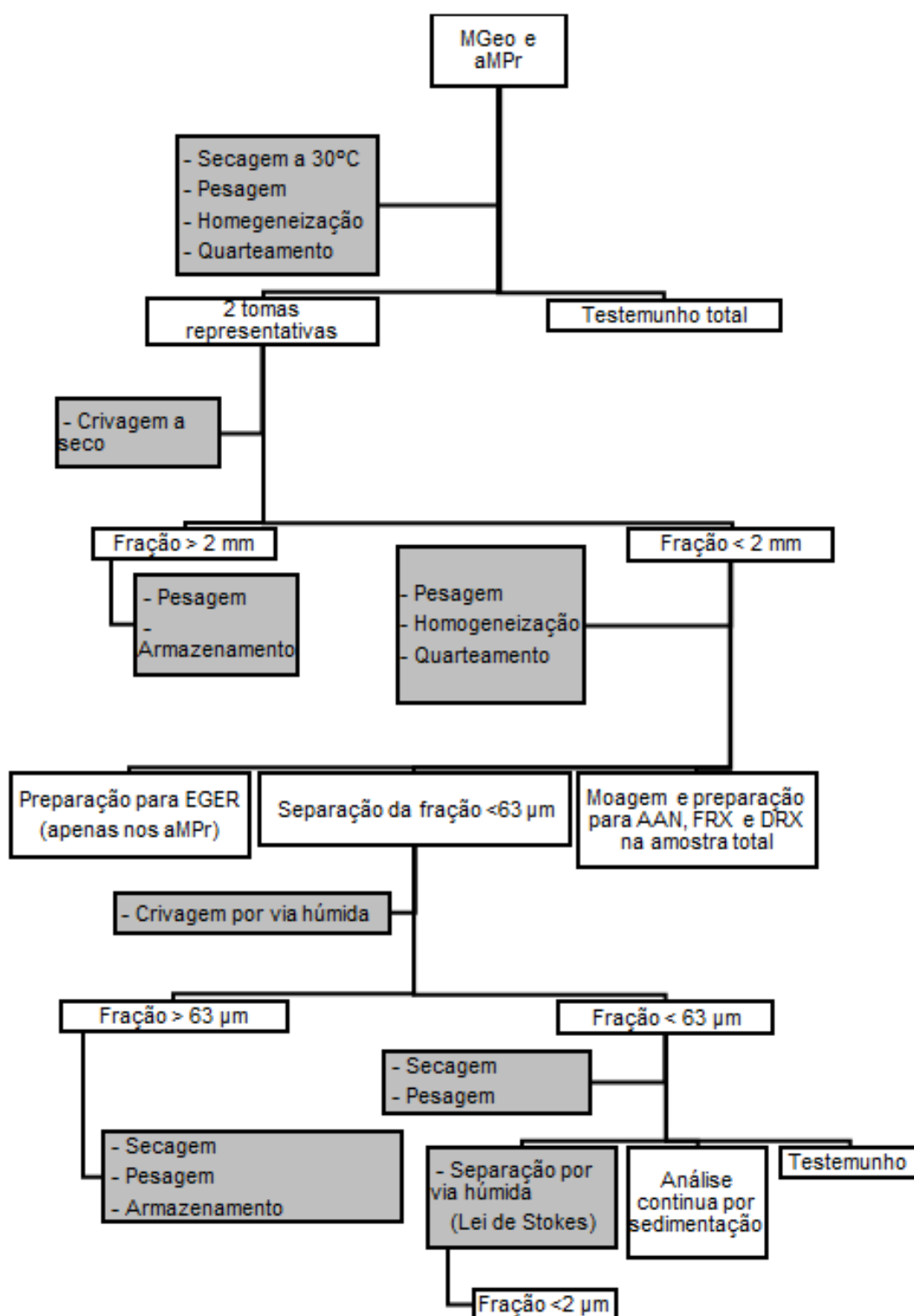


Figura 4.5 Esquema representativo do procedimento efetuado para preparação das amostras adjuntas de materiais de preenchimento (aMPr) e representativas da geologia local (MGeo) para determinação da granulometria e da composição.

4.1.2 Para estudos de luminescência

Os estudos de luminescência decorreram em laboratório próprio para o efeito (sob responsabilidade do ETN/C²TN), com equipamento e condições ambientais necessárias para a preparação, tratamento e medição das amostras: luz vermelha e temperatura de cerca de 21°C.

Os materiais de preenchimento amostrados em perfil (pMPr) foram preparados para a determinação da composição química e mineralógica, assim como para o estudo do comportamento luminescente em protocolos de TSL e OSL. Assim, após abertura dos tubos sob luz vermelha, uma pequena porção do material (recolhido das extremidades dos tubos) foi moída em almofariz de ágata até obtenção de pó, tendo sido determinada a sua composição química por AAN (Figura 4.1). O conteúdo do centro dos tubos foi então preparado, por métodos físicos e químicos para a obtenção das três frações de interesse para os estudos de luminescência: frações de poliminerais grosseiros e finos e fração enriquecida em quartzo grosseiro (PMG, PMF e QZG, respetivamente) (Figura 4.6) (Burbidge et al, 2007; Rodrigues et al, 2013; Sanderson et al, 2001, 2003).

Para os materiais de preenchimento selecionados para datação (dMPr) procedeu-se à determinação do teor em água, antes da abertura dos tubos sob luz vermelha. De seguida o material do centro do tubo foi sujeito a processos físicos e químicos para isolar as frações grosseira e fina enriquecida em quartzo (QZG e QZF, respetivamente) (Figura 4.7).

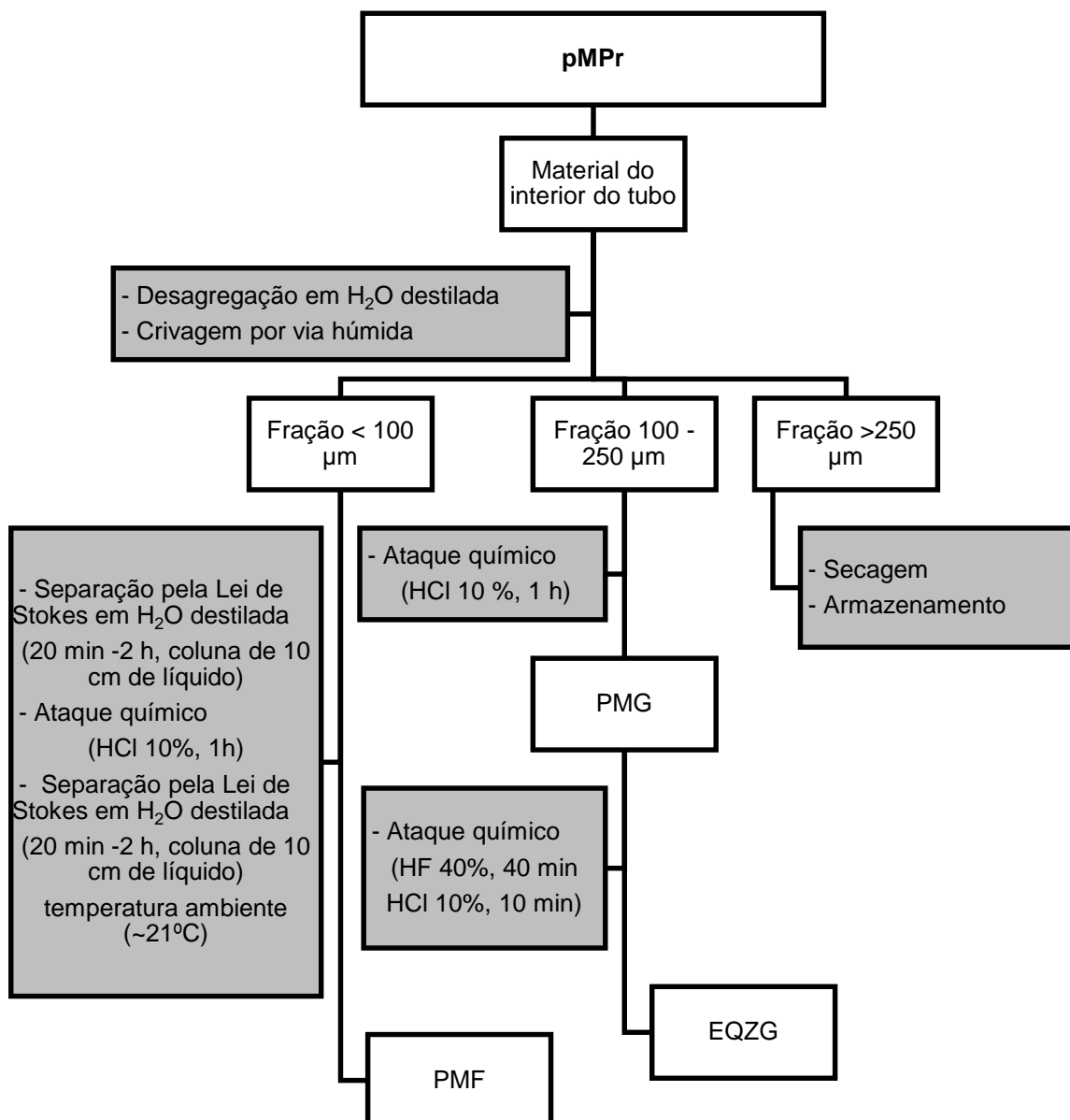


Figura 4.6 Esquema representativo do procedimento efetuado para preparação dos materiais preenchimento recolhidos em perfil (pMPr) para os estudos de luminescência.

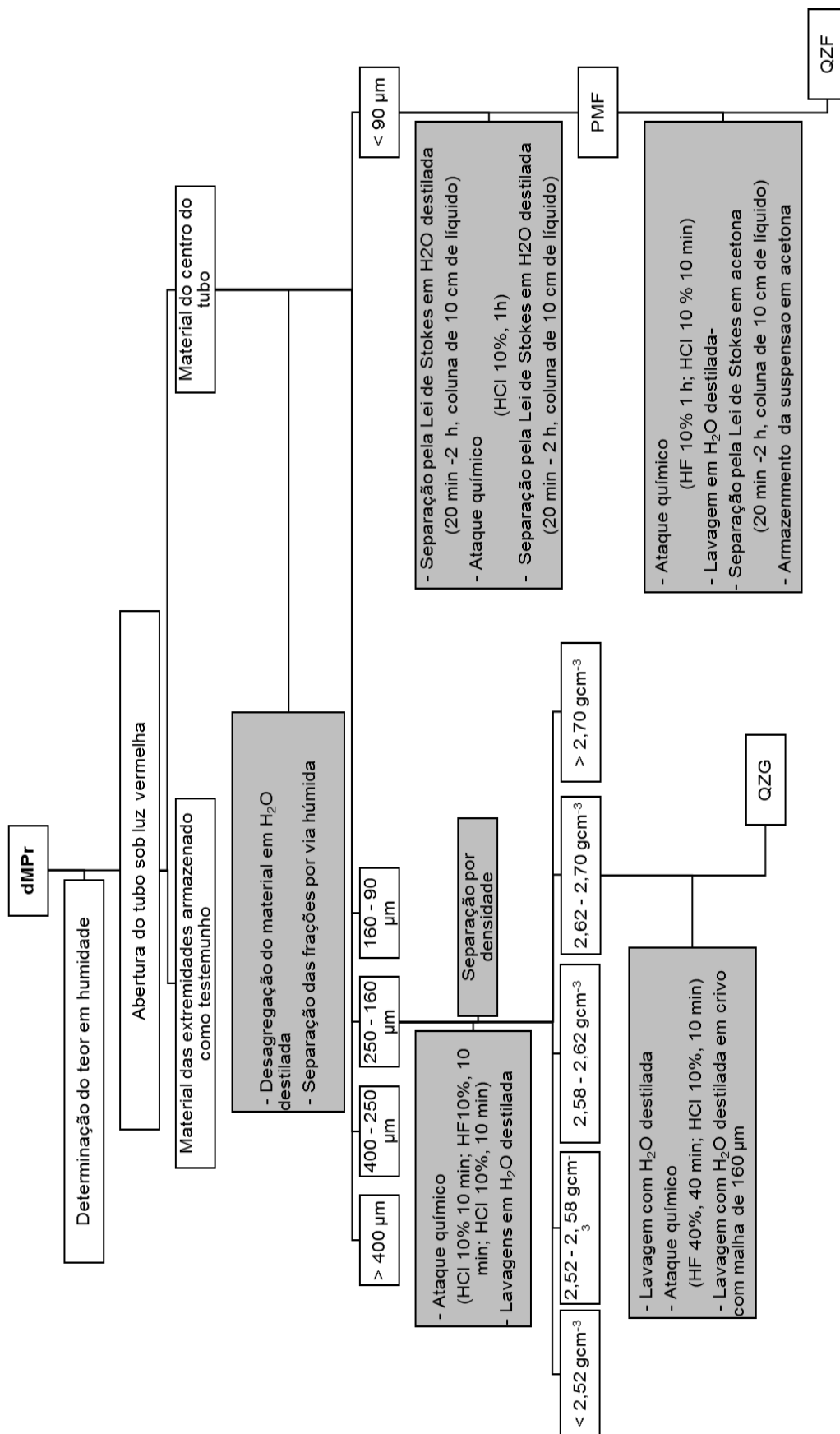


Figura 4.7 Esquema representativo do procedimento efetuado para preparação dos materiais preenchimento selecionados para datar por luminescência (dMPr).

4.2 Determinação da granulometria

A análise dimensional da fração $<63 \mu\text{m}$ foi efetuada com um analisador do tamanho das partículas, em termos do diâmetro esférico equivalente (d.e.e.), com base no método de análise contínua por sedimentação a partir da atenuação de um feixe de raios-X, utilizando o equipamento SediGraph 5100 Micromeritics (Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro). Foram utilizados cerca de 3 g de fração $<63 \mu\text{m}$ de cada amostra, que foram dispersas no meio de sedimentação (hexametáfosfato de sódio a 1 %). Este procedimento permitiu a obtenção da percentagem de partículas silto-argilosas distribuídas por 23 classes de diâmetro esférico aparente, até ao valor mínimo de $0,1 \mu\text{m}$.

A granulometria das amostras, determinada com recurso à análise contínua por sedimentação a partir da atenuação de um feixe de raios X (para a fração $<63 \mu\text{m}$), e a quantificação por pesagem da fração $>63 \mu\text{m}$ permitiu calcular o teor em material em cada uma das classes granulométricas: $>2 \text{ mm}$, $2 \text{ mm}-63 \mu\text{m}$, $63 \mu\text{m}-20 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}-2 \mu\text{m}$ e $<2 \mu\text{m}$. Com base nestes resultados foram traçados diagramas ternários de classificação dos materiais quanto à sua granulometria – Diagramas de Shepard (1954). Estes diagramas fornecem uma classificação descritiva baseada nas razões entre classes texturais e nas nomenclaturas associadas, permitindo a distinção entre os diferentes tipos de sedimento (Figura 4.8), o que nos pareceu útil para uma descrição comparativa entre os vários contextos estudados.

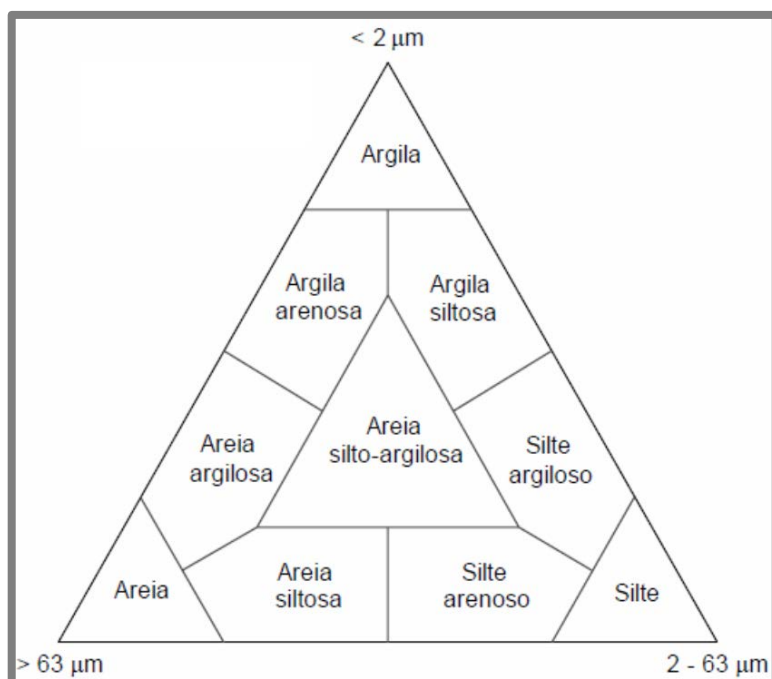


Figura 4.8 Diagrama de Shepard (1954).

Neste trabalho consideraram-se grosseiros (cascalho + areia) os materiais com dimensão $> 63 \mu\text{m}$ e finos os materiais $< 63 \mu\text{m}$. As partículas finas incluem o silte e a argila, correspondendo as partículas com dimensão entre $63 \mu\text{m}$ e $2 \mu\text{m}$ a siltes grosseiro e médio e fino respetivamente, e as partículas com dimensão $< 2 \mu\text{m}$ a argilas (ISO 14688-1:2002 e escala de Wentworth).

A distribuição da amostra total e da fração <63 µm de todas as amostras foi representada por curvas cumulativas, ou seja, curvas de frequências acumuladas em que cada ponto mediano de cada classe representa a soma das percentagens de todas as classes precedentes. Nestas representações obtém-se normalmente uma curva em S que pode ser mais vertical ou mais suavizada, consoante o sedimento é bem ou mal graduado (Leeder, 1999; Selley, 2000; Dias, 2004, Norma ASTM International – D2487-06 e Powrie, 2014). Foi calculado para cada amostra o coeficiente de curvatura (C_c), considerando a Equação 1, onde D representa o diâmetro efetivo e os valores 10,30 e 60 a percentagem em peso de partículas com dimensões inferiores a 10, 30 e 60 µm (Powrie, 2014).

$$C_c = \frac{D^2_{30}}{D_{10}} * D_{60} \quad \text{Equação 1}$$

4.3 Determinação da mineralogia por difração de raios-X

Nesta técnica, a partir da difração dum feixe monocromático de raios-X que incide sobre os cristais e sempre que se verifique a Lei de Bragg são fornecidos dados, sob a forma de difratogramas que permitem a identificação e semiquantificação das fases minerais (Figura 4.9) presentes nas amostras. Para tal, os planos basais de cada mineral são decisivos na sua identificação, visto ser conhecido o espaçamento para cada um deles (Brindley e Brown, 1980; Schultz, 1964; Biscaye, 1965; Moore e Reynolds, 1997; Thorez, 1976).

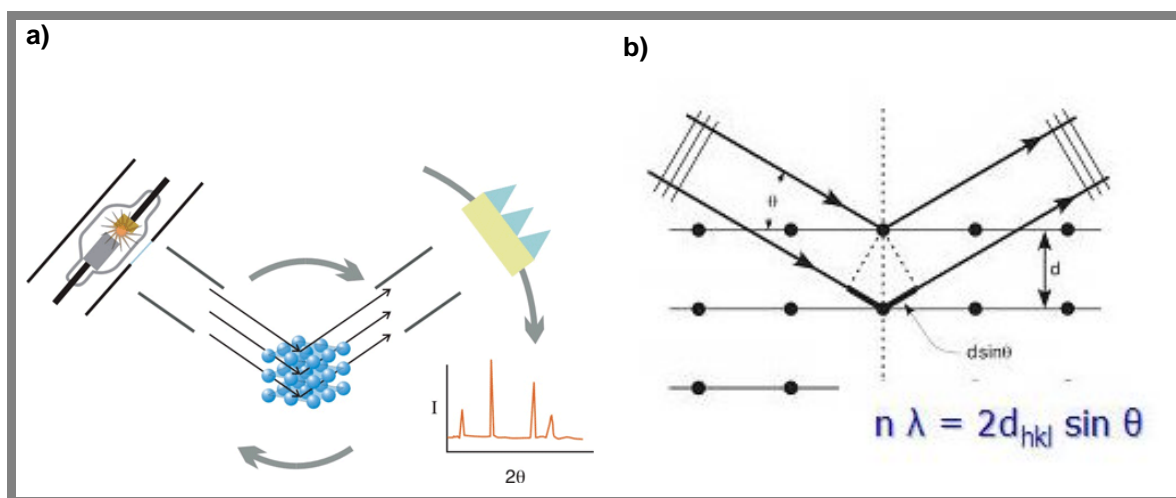


Figura 4.9. Esquema representativo da difração de raios-X (a) e da Lei de Bragg (b).

A composição mineralógica da amostra total foi obtida por DRX após preparação de agregados não orientados de pós. Foi utilizado um difratômetro Philips X'Pert Pro (Figura 4.10, a), com um goniómetro PW 3050/6x e um microprocessador PW 3040/60, tendo as medidas sido feitas nas seguintes condições operacionais nas instalações do CTN: radiação $K_{\alpha}Cu$ a 45 kV de tensão, 40 mA de corrente, um *scan step time* de 1,25 s e velocidade de goniómetro de 1° por minuto, bem como a utilização da fenda 1 ° para os difratogramas da amostra total e 0.5 ° para os difratogramas da fração <2 µm. Explorou-se a área entre 2° a 70° de 2θ para os agregados de pós não orientados da amostra total (Figura 4.10, b) e no caso da fração <63 µm das amostras adjuntas dos materiais de preenchimento recolhidas no Monte Carrascal, o varrimento foi feito apenas entre 27° e

31° de 2 θ (por forma a semiquantificar a presença de carbonatos). Para a fração < 2 μm o varrimento foi feito entre 3° e 30° de 2 θ .

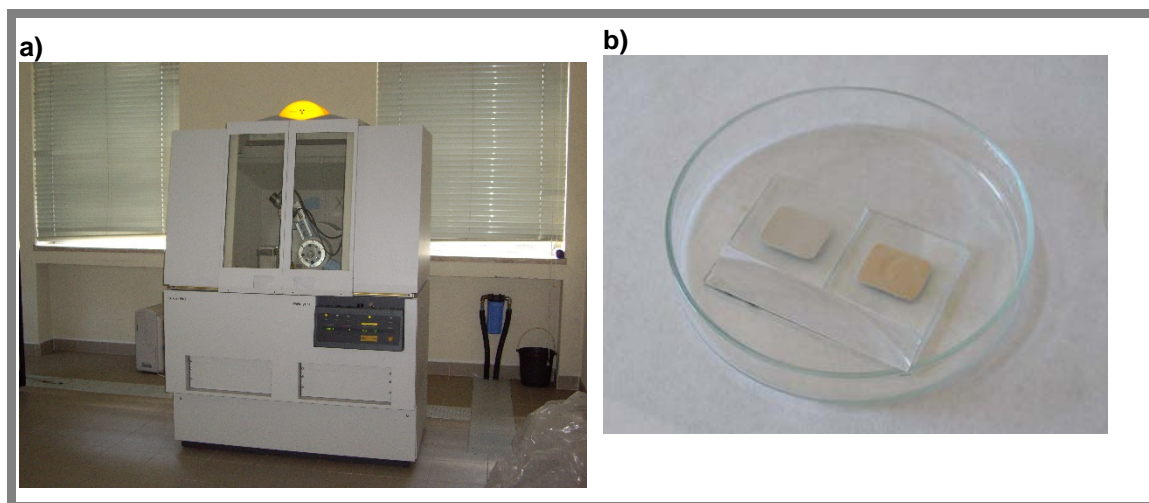


Figura 4.10 a) Difratómetro utilizado no ETN/C²TN para difração de raios X. b) Preparações de agregados de pós não orientados da amostra total.

Atendendo à pequena quantidade da fração argilosa em algumas amostras e de forma a ser possível utilizar o mesmo métodos e condições de medida para todas as amostras, para a preparação dos agregados orientados ao natural (ON) usaram-se lâminas de vidro com uma superfície média de 9,6 cm², na qual se depositou uma suspensão feita com 0,1 g de resíduo sólido da fração <2 μm seco a 30 °C em 10 ml de água destilada. A suspensão foi feita sob agitação contínua, durante um período de cerca de 1 h, até total homogeneização do material. A produção de lâminas orientadas foi feita com recurso à pipetagem da suspensão sobre a lâmina de vidro assente numa superfície plana, de modo a evitar a deposição do material de forma não homogénea (Figura 4.10, b). A secagem foi efetuada à temperatura ambiente. Para além dos agregados orientados ao natural, foram utilizados preparados solvatados com etileno-glicol, para identificação de minerais argilosos expansivos (esmectite e minerais argilosos interestratificados), e aquecidos a 550°C durante 2 h na mufla, para confirmar a presença/ausência de determinados minerais argilosos (como os minerais de caulino, clorite, vermiculite) através do desaparecimento de picos de referência por comparação com os difratogramas dos agregados orientados ao natural e glicolados.

Aos resultados obtidos por DRX foram feitos dois tipos de abordagem, uma visando a interpretação qualitativa e a outra semiquantitativa. A primeira prende-se com a identificação dos minerais correspondentes aos picos de difração, quer na amostra total, quer na fração argilosa. Para o estudo da mineralogia da amostra total procedeu-se à identificação dos picos de difração obtidos para os agregados de pós não orientados recorrendo a Brindley e Brown (1980). Os minerais argilosos foram identificados através dos difratogramas de agregados orientados (ao natural, glicolados e aquecidos) que evidenciam as reflexões basais, e para a sua identificação, recorreu-se a bibliografia específica (Brindley e Brown, 1980; Thorez, 1976; Moore e Reynolds, 1997).

Após a interpretação qualitativa de todos os constituintes minerais efetuou-se uma estimativa da sua abundância através de uma análise semiquantitativa. Contudo, teve-se sempre em atenção que as percentagens obtidas devem apenas ser indicadores relativos

da concentração dos minerais e não valores absolutos, porque a percentagem de erro associada é elevada. Assim, embora se apresentem os resultados com a percentagem obtida e sem arredondamento, entende-se que estes devem ser considerados como valores estimados. A semiquantificação das espécies minerais presentes nas amostras é feita com base na relação entre a intensidade do pico principal de cada mineral e os seus teores. Utilizou-se para tal, as áreas dos picos (considerando a largura a meia altura, FWHM) correspondentes aos espaçamentos dos máximos de difração típicos de cada mineral, divididos pelos respetivos poderes refletivos (Tabela 4.1) (Schultz, 1964; Biscaye, 1965; Martín Pozas, 1968; Rocha, 1993) A partir dos difratogramas da amostra total foi possível obter a semiquantificação do cortejo mineralógico da amostra, bem como dos filossilicatos, através do pico soma identificado a 4,48 Å. No caso das amostras que apresentavam picos a 10 Å, característicos da presença de micas, este mineral foi quantificado no total de filossilicatos, sendo apenas feita referência à sua presença em termos qualitativos. A semiquantificação dos minerais argilosos foi feita a partir dos difratogramas dos agregados orientados glicolados.

Tabela 4.1. Espaçamentos dos máximos de difração e poderes refletivos típicos de cada mineral (Schultz, 1964; Biscaye, 1965; Martín Pozas, 1968; Rocha, 1993).

Mineral	Poder refletor	d (Å)
Filossilicatos (pico soma)	0,1	4,48
Anatase	1	3,52
Quartzo	2	3,35
Feldspatos potássicos	1	3,25
Rutilo	1	3,25
Plagioclase	1	3,19
Anfibola	1	3,13
Calcite	1	3,04
Dolomite	1	2,89
Hematite	1,3	2,69
d (Å)		
Minerais argilosos	Poder refletor	(difratograma do agregado orientado glicolado)
Esmectite	4	17
Vermiculite	3	14
Clorite	1,25	14
Illite	0,5	10
Minerais de caulino	1	7
Paligorsquite	1,75	10,5

4.3.1 Índices mineralógicos

Com vista a uma melhor compreensão dos processos de alteração dos materiais depositados considerou-se o índice de alteração mineralógica (MIA – Mineralogical Index of Alteration), que atende aos teores em quartzo e feldspatos, sendo por isso utilizado para avaliar os efeitos da meteorização nos silicatos (Bahlburg e Dobrzinski, 2011). Este índice é calculado pela razão entre o teor em quartzo (mineral mais resistente à

meteorização) e a soma do teor em quartzo e feldspatos (minerais mais facilmente meteorizados) (Equação 2) (Johnson, 1993; Haskins, 2006).

$$\text{MIA} = 100 \times [(\% \text{Quartzo}) / (\% \text{Quartzo} + \% \text{Feldspatos})] \quad \text{Equação 2}$$

Uma vez que grande parte dos materiais apresentam uma composição rica em calcite, atendendo à sua origem em calcretos, utilizou-se ainda a razão silicatos/carbonatos, calculada pela razão entre o somatório das proporções de silicatos (quartzo, feldspatos, filossilicatos) sobre o somatório das proporções de carbonatos (calcite e dolomite) presentes na amostra (Rocha e Ramalho, 2003).

4.4 Determinação da composição química

A composição química dos materiais estudados foi determinada por diferentes métodos de análise. A escolha do método e dos elementos a determinar foi feita de acordo com a quantidade de material disponível de cada uma das amostras e frações, e tendo em consideração a necessidade de efetuar o estudo de dosimetria necessário à determinação da taxa de dose para posterior datação. Assim, o método base para a determinação da composição química foi a análise química por ativação neutrónica (AAN) à qual foram sujeitas a amostra total dos materiais de preenchimento e representativos da geologia local, assim como a fração argilosa dos materiais de preenchimento selecionadas para datação e dos materiais representativos da geologia local, essencialmente para a determinação dos elementos traço. A fluorescência de Raios-X (FRX) foi utilizada para determinar elementos maiores e menores na amostra total dos materiais de preenchimento selecionados para datação, e dos materiais representativos da geologia local. Para a situação em que o mesmo elemento foi determinado por ambas as técnicas os valores utilizados para análise e discussão são os determinados por AAN, dada a grande precisão e exatidão desta técnica. Por forma a complementar o estudo dos radionúclidos, K, Rb, Th e U feito por AAN e espectrometria gama *in situ* (EGIS), foi aplicada a espectrometria gama de elevada resolução na amostra total não ativada (EGER).

4.4.1 Fluorescência de raios-X

A fluorescência de raios X (FRX) permite a análise qualitativa e quantitativa multielementar, estabelecendo a proporção em que cada elemento se encontra presente (Beckhoff et al, 2006). Nesta técnica é utilizada uma fonte de elevada energia para provocar a ionização dos átomos da substância que se pretende analisar. Os fótons de radiação X emitidos pela fonte são absorvidos pelos átomos, principalmente através de efeito fotoelétrico, deixando esses átomos em estados excitados. Quando o átomo volta ao estado fundamental, emite um espectro correspondente às transições eletrónicas que ocorrem e que é característico de cada elemento, permitindo fazer a sua identificação. Os elementos numa amostra são identificados pelo comprimento de onda da fluorescência emitida e as concentrações pela intensidade desta radiação. O número de elementos determinados é vasto e com limites de deteção diferentes, na ordem dos mg/kg, que dependem do elemento em análise e da composição da amostra (Beckhoff et al, 2006). A

FRX não é um método analítico absoluto sendo a concentração de um determinado elemento determinada comparando a intensidade da radiação emitida por um elemento na amostra, com a intensidade da radiação emitida pelo mesmo elemento existente em quantidade conhecida num padrão. A concentração do elemento é posteriormente determinada pelo método do padrão interno, através da análise de curvas de calibração. Para esta análise são requeridas amostras bem homogeneizadas de pós finos que são compactadas em pastilhas. O equipamento utilizado na execução dos discos fundidos foi um Philips Automatic Bead Machine “Perl’X3” e para a análise destes o equipamento corresponde a um espectrómetro de fluorescência de raios X Philips PW 1410/00, constituído por um gerador de alta tensão PW 1732/10, cuja potência máxima de uso é de 3 KW para uma tensão máxima de 100 KV, com um discriminador PW 1390 e um registador PM 8203. A radiação usada foi CrK_{α} e as condições operacionais as seguintes: 25 mA, 45 KV, contador de fluxo, colimador fino e cristais TIAP e LiF220 (Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro). O equipamento utilizado não permite quantificar elementos com número atómico muito baixo, não possibilitando a determinação de elementos como o Na e o K. De entre os elementos determinados por esta técnica, foram utilizados os valores obtidos para os elementos maiores na forma de óxido e os elementos menores e traço seguintes: F, MgO, Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , Cl, SO_3 , CaO, TiO_2 , V, Ni, Cu, Se, Sr, Y, Nb, Mo, Cd, Sn, I, Tl e Pb.

4.4.2 Determinação das perdas por ignição

A perda por Ignição corresponde à perda de água da amostra por desidratação ou desidroxilação, à combustão de matéria orgânica ou à evolução de outros voláteis (Gomes, 1988). Para a determinação deste parâmetro, o procedimento experimental decorreu no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Este consiste na calcinação progressiva da amostra moída até 1000 °C, temperatura em que permanece por 3 horas, e na determinação da perda de peso por diferença entre os pesos antes e depois da calcinação.

4.4.3 Análise química por ativação neutrónica

O método instrumental de análise química por ativação neutrónica (AAN) foi o método escolhido para o estudo da maioria dos elementos traço e menores (em conjunto com alguns elementos maiores) pois, para além de elevada exatidão e precisão dos resultados, dispensa a dissolução da amostra para separação dos elementos a analisar impedindo a sua contaminação ou eventuais interferências significativas. Para além disso, é um método que permite utilizar pequenas quantidades de material a analisar e é um método de elevada sensibilidade e versatilidade, possibilitando a determinação simultânea de grande número de elementos sem necessidade de destruir a amostra. Outra das vantagens deste método prende-se com os bons resultados em estudos de comparação inter-laboratórios.

Neste trabalho foi utilizado o Reator Português de Investigação (RPI, sediado no Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico) como fonte de neutrões (Figura 4.11) e seguiu-se os procedimentos de rotina em uso no grupo Engenharia e Técnicas Nucleares (ETN). Os detalhes relativos aos fundamentos teóricos e técnicos do método no que respeita à sua aplicação e uso do RPI, encontram-se publicados em

diversos trabalhos (Cabral et al., 1979; Gouveia et al., 1987; Gouveia e Prudêncio, 2000; Dias e Prudêncio, 2007).

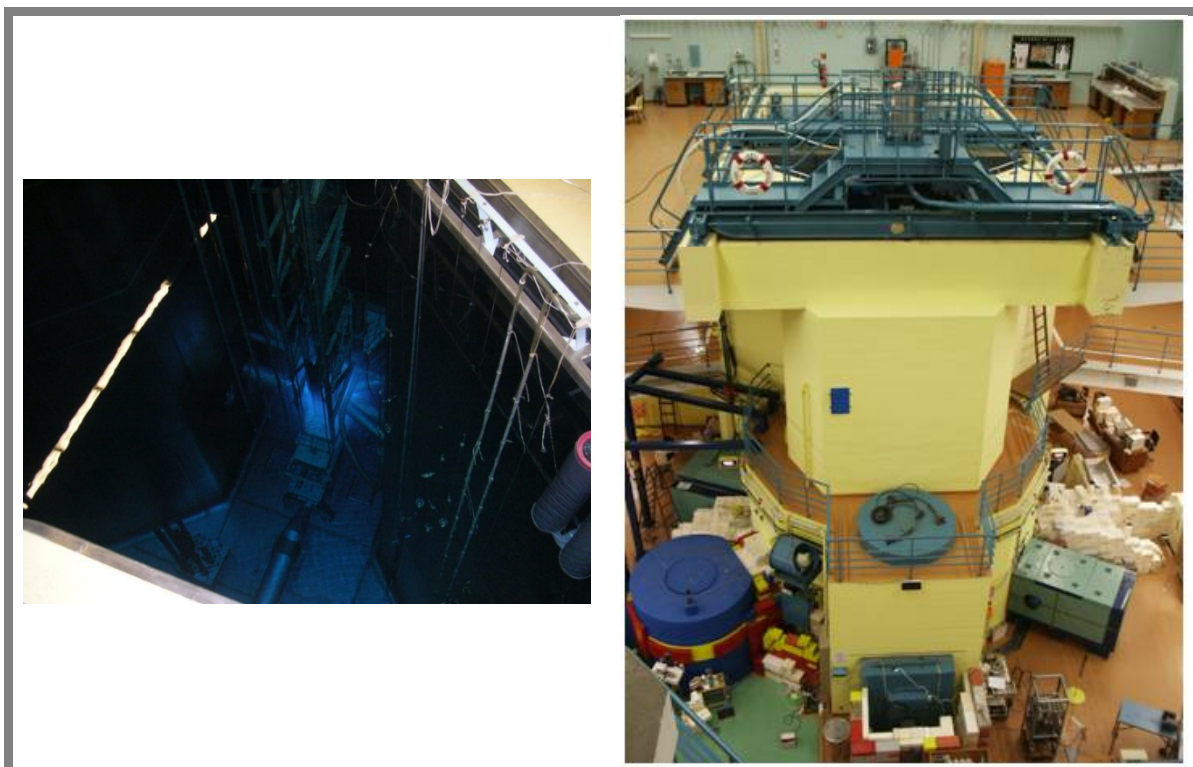


Figura 4.11. Reator Português de Investigação, sediado no Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico.

Para a aplicação do método as amostras e os padrões foram preparados de forma idêntica. Ambos foram secos numa estufa a 110°C durante 24 horas e em seguida guardados num exsiccador com sílica gel até arrefecerem (durante cerca de 2 horas). Posteriormente, pesou-se uma porção entre 0.2 g e 0.3 g de amostra, usando uma balança analítica de precisão, que foi introduzida em pequenos contentores de polietileno de alta pureza que foram em seguida hermeticamente fechados e colocados novamente no exsiccador para evitar que fossem afetados pela humidade. O controlo de fluxo a que cada amostra esteve sujeita foi efetuado através da utilização de monitores de fluxo de uma liga de Au-Al para as irradiações curtas e de monitores de Fe para as irradiações longas. Usaram-se como padrões materiais referenciados pelo Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting (IGGE), da República Popular da China (Govindaraju, 1994) (o solo GSS 4 e o sedimento GSD 9). Estes contentores com as amostras e os padrões, juntamente com os monitores de fluxo, foram em seguida introduzidos num porta contentores de plástico apropriado para irradiação (Figura 4.12). As amostras e os padrões foram irradiados na piscina do RPI (Figura 4.11), utilizando um fluxo médio de neutrões térmicos de $3.96 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $\phi_{\text{epi}}/\phi_{\text{ter}} = 0.01$, $\phi_{\text{ter}}/\phi_{\text{rap}} = 29.8$, e estando o reator a operar a 1 MW de potência, durante 6 horas (irradiação longa) ou 1,5 minutos (irradiação curta). As irradiações longas decorreram uma semana após as irradiações curtas, tempo necessário para o decaimento completo dos elementos ativados. Nas irradiações longas foram determinados os elementos maiores Na, K, Fe na forma de óxidos e os elementos menores e traço Sc, Cr, Co, Zn, Ga, As, Br, Rb, Zr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th e U enquanto nas irradiações curtas são determinados os elementos Mn e Dy. As amostras e os padrões foram irradiados em

simultâneo e em posições muito próximas, de modo a receberem o mesmo fluxo neutrónico, e tendo sido a medição da radiação γ nas mesmas condições, em cada conjunto de amostras irradiadas.

Para a medição das taxas de contagem foi utilizado um espectrómetro de raios γ que consistia num detetor coaxial de Ge de 150 cm³ e um detetor de fótons de baixa energia (LEPD), ambos conetados através de amplificadores Canberra 2020 a um analisador multicanal Accuspec B (Canberra). O primeiro sistema apresenta uma FWHM de 1.9 keV a 1.33 MeV e o segundo uma FWHM de 300 eV a 5.9 keV, e de 550 eV a 122 keV. (Figura 4.13). Foi ainda utilizado um espectrómetro de raios gama, Gamma Analyst, Canberra (Figura 4.13), equipado com um detetor de germânio híper puro de espectro longo (engloba baixas e altas energias), e com sistema de troca amostras automático. O detetor ligado a um amplificador multicanal DSA2000, apresenta uma FWHM de 450 eV a 5.9 keV, 750 eV a 60 keV e de 2100 eV a 122 keV.

Os espectros de raios gama foram processados num computador usando os programas GELI e DAISY (adaptados dos programas GELIAN e OLIVE, Op De Beek, 1972 e 1974). As correções para a interferência espectral dos produtos de fissão do U na determinação das concentrações de bário, de terras raras e de zircão foram efetuadas de acordo com os procedimentos de Gouveia et al (1987) e Martinho et al (1991). De um modo geral os resultados apresentam uma precisão e exatidão de 5%.

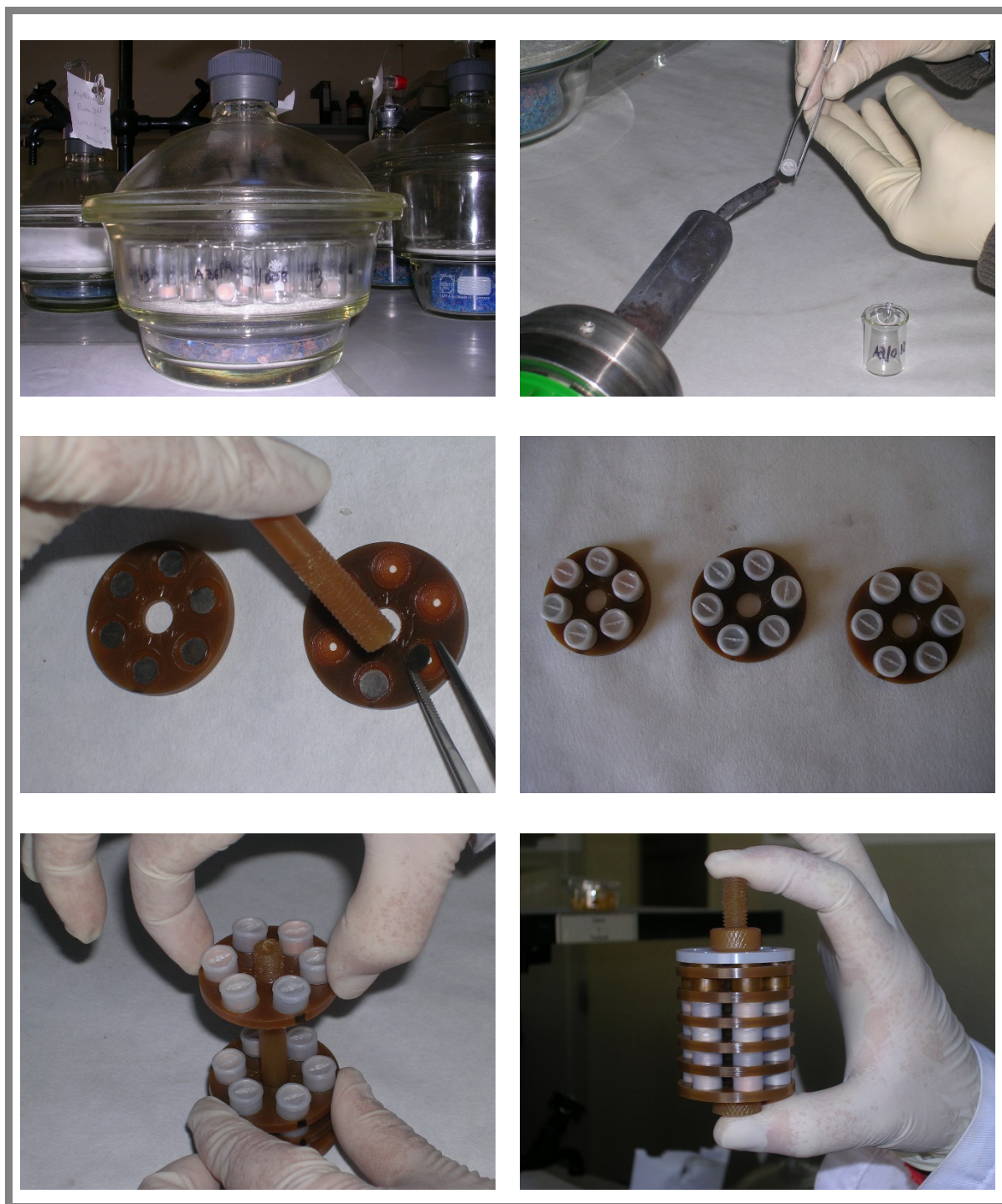


Figura 4.12 Sequência de montagem das amostras, padrões e monitores para irradiação no RPI.

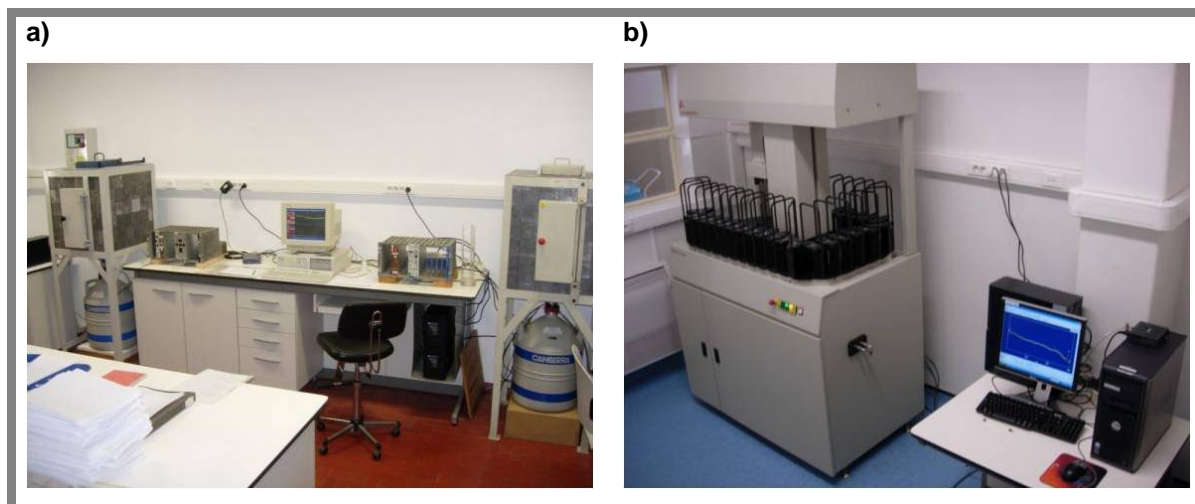


Figura 4.13 Equipamentos utilizados para a determinação das taxas de contagem dos radionuclídeos após irradiação das amostras estudadas (Laboratório de radiação gama – ETN/C2TN).

4.4.4 Normalização aos valores médios da crosta continental

Para além da apresentação da composição química obtida para a amostra total dos materiais estudados, procedeu-se a normalização dos valores obtidos para os valores médios da crosta continental superior (UCC – upper continental crust) (Rudnick e Gao, 2005). A normalização dos dados geoquímicos constitui um procedimento necessário para compensar a influência de certos processos geológicos naturais na variabilidade da concentração dos elementos. Este procedimento permite obter uma nova base de comparação através da qual é possível estabelecer, de uma forma mais correta, a magnitude de possíveis anomalias naturais, fornecendo informação mais fidedigna da variabilidade geoquímica natural. A normalização aos valores médios da crosta continental superior permite a comparação entre as amostras recolhidas em diferentes substratos geológicos, tendo como base os valores de referência possibilitando a identificação de situações de enriquecimento e empobrecimento das amostras em estudo relativamente a essa referência, o que pode ser útil na definição de padrões.

4.4.5 Normalização dos elementos terras raras aos condritos

Os teores em terras raras (REE – rare earth elements) são normalmente apresentados em diagramas de concentração *versus* número atómico. No entanto, e tal como acontece para quaisquer outros elementos, a curva seria em zig-zag causada pelo facto dos elementos de número atómico par terem uma maior estabilidade nuclear, sendo assim mais abundantes do que os de número atómico ímpar (efeito de Oddo-Harkins) (Rollinson, 1993). A fim de eliminar este efeito, procede-se, de uma forma geral, à normalização da concentração das REE nas amostra em estudo, usando-se uma amostra de referência, que no presente trabalho foram os valores referência para os meteoritos condríticos, que se pensa representarem a composição da massa inicial que deu origem ao sistema solar (Korotev, 1996a-b). A normalização dos teores em REE tem três funções principais: (i) eliminar as variações de abundância entre os elementos de número atómico par e ímpar; (ii) identificar qualquer variação de concentração de Ce e Eu relativamente a amostra de referência, e (iii) dar indicação do fracionamento entre terras raras leves e pesadas $(La/Yb)_N$, e entre terras raras leves e intermédias $(La/Sm)_N$.

4.4.6 Índices químicos

A partir da composição das amostras em elementos químicos maiores foi possível determinar um conjunto de índices de alteração química. O índice de alteração química (CIA – chemical index of alteration) é calculado com base na percentagem molar em Al_2O_3 , Na_2O , K_2O e CaO , sendo o teor em CaO determinado em função das perdas por ignição (LOI – loss on ignition) por forma a eliminar a proporção de CaO contida nos carbonatos (Kramer, 1968; Bahlburg e Dobrzinski, 2011) segundo a Equação 3. Este índice é um bom indicador de alteração dos silicatos. Foi também utilizado o Índice de Ruxton (R, Equação 4) que considera o Al imóvel durante os processos de alteração e indica que quanto maior a razão menor a alteração dos silicatos (Ruxton, 1968). Outro índice utilizado foi o índice de alteração da plagioclase (PIA - plagioclase index of alteration, Equação 5, Fedo et al, 1995). Estes índices são considerados adequados para a inferência sobre o estado de alteração de materiais ricos em silicatos (Price e Velbel, 2003; Haskins, 2006; Bahlburg e Dobrzinski, 2011; Buggle et al, 2011; Che et al, 2012; Meunier et al, 2013).

Uma vez que a maioria dos materiais estudados apresentam uma proporção elevada de carbonatos e baixa de silicatos, de entre os índices anteriores apenas se calculou o CIA para todas as amostras estudadas, não sendo este valor discutido para a maioria delas. Contudo, e por forma a avaliar os processos de alteração química ocorridos nos calcretos determinaram-se os índices de calcificação e dolomitização (Equação 6 e Equação 7, Singh et al, 2013), bem como o índice de maturação do calcreto ($SiO_2/CaCO_3$, Achyuthan et al, 2012). Estes índices relacionam-se com a substituição dos silicatos por carbonatos na matriz dos calcretos, fruto dos processos de meteorização intensa, precipitação e cimentação que decorrem no calcreto. A razão SiO_2/Al_2O_3 e a razão CaO/Mg foram também utilizados como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação nos calcretos (Achyuthan et al, 2012).

$$CIA(molar) = Al_2O_3 * \frac{100}{Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO} \quad \text{Equação 3}$$

(Kramer, 1968; Bahlburg e Dobrzinski, 2011)

$$R = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad \text{Equação 4}$$

(Ruxton, 1968)

$$PIA = 100 * \frac{Al_2O_3 - K_2O}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O} \quad \text{Equação 5}$$

(Fedo et al, 1995)

$$RC = (CaO + MgO)/Al_2O_3 \quad \text{Equação 6}$$

(Singh et al, 2013)

$$RD = MgO/CaO \quad \text{Equação 7}$$

(Singh et al, 2013)

4.4.7 Análise estatística

Os resultados obtidos a partir das análises químicas foram também sujeitos a análise estatística multivariada com recurso ao software Statistica (StatSoft. Inc, 2011). Efetuaram-se análises de agrupamento hierárquico e não hierárquico para identificar possíveis grupos e valores discrepantes, usando como casos as amostras, e como variáveis os elementos químicos. O agrupamento hierárquico caracteriza-se pelo estabelecimento de uma hierarquia ou estrutura em forma de árvore. O agrupamento hierárquico liga os objetos pelas suas associações, produzindo uma representação gráfica denominada dendrograma, onde os objetos semelhantes, segundo as variáveis estudadas, são agrupados entre si. No agrupamento não hierárquico (método divisivo), assume-se um centro de agrupamento e, em seguida, agrupam-se os objetos que estão a menos de um valor pré-estabelecido do centro.

Para os procedimentos de agrupamento hierárquico usou-se o método UPGMA (unweighted pair-group method average - agrupamento hierárquico implementando a ligação média). Com este método a proximidade entre dois aglomerados é calculada pela proximidade média entre os padrões de um grupo com os padrões de um outro grupo. Este método é mais eficiente quando os objetos formam aglomerados naturais distintos. Como coeficiente de similaridade usou-se a média euclidiana, medida da distância geométrica real entre objectos no espaço, por forma a identificar valores extremos, e como coeficiente de correlação, o de Pearson.

Para o agrupamento não hierárquico usou-se o método K-médias. O método K-médias é um método de partição que fornece indicações mais precisas sobre o número de grupos a ser formado. Este método é muito útil quando se têm muitos objetos para agrupar, com pequenas variações. O critério mais utilizado de homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos foi o da soma dos quadrados residuais, baseado na análise de variância. Assim, quanto menor for este valor, mais homogêneos são os elementos dentro de cada grupo e melhor será a partição entre eles.

4.4.8 Espectrometria gama *in situ*

Durante a campanha de amostragem foram determinadas as concentrações de radionuclídeos K, Th e U no ambiente envolvente às amostras a partir de Espectrometria Gama *In Situ* (EGIS). Estas medições são representativas de um volume de cerca 10^5 cm³ do exterior da amostra adjunta: os raios gama dos radionuclídeos encontrados na natureza penetram até cerca de 50 cm nos sedimentos, contudo mais de 90% da energia absorvida por uma amostra provém de um raio de 25 cm (Aitken, 1985). Sendo, pela quantidade em si, impraticável o estudo da amostra total em laboratório, as determinações de EGIS são importantes na avaliação do ambiente de radioatividade gama nos estudos de luminescência. Foram utilizados os sistemas HPI Rainbow MCA e Target Nanospec com sondas com cristais de NaI de 2" x 2" (Figura 4.14), com calibração ligado a medições nos blocos de Oxford e Gif-surYvette (Richter et al., 2003). Este procedimento exige a escavação de um buraco no sítio de amostragem ou a avaliação cuidadosa da representatividade de uma medição em geometria mais aberta. Para tal foram utilizados os buracos com cerca de 30 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro, escavados para a recolha dos materiais de preenchimento selecionados para datação e respetiva amostra adjunta (material envolvente). Antes e após o trabalho de campo, foram feitas medidas no Laboratório de Datação por Luminescência (ETN/C²TN), utilizando os equipamentos descritos, dentro da mufla com paredes de tijolo refratário. O objetivo destas medições é confirmar a consistência do comportamento dos

equipamentos e relacionar a sua resposta com a calibração original (conversão das contagens em concentrações).



Figura 4.14. Equipamentos de medida HPI Rainbow MCA e Target Nanospec com sondas com cristais de NaI de 2" x 2".

Para o cálculo dos teores em K, Th e U foi utilizado um ficheiro de cálculo padrão, onde os espectros obtidos no campo foram sujeitos à calibração dosimétrica desenvolvida por Antoine Zink em 2001, com base em Erramali (1986) e Aitken (1985). Antes de calcular doses, a calibração energética foi feita para cada espectro com base numa pesquisa automática para as emissões a 1460,8 keV do ^{40}K e 2614,5 keV do ^{208}Tl , nos próprios espectros e com a emissão a 356 keV de uma fonte de ^{133}Ba , medida antes e depois do trabalho de campo. Assim, os integrais das contagens entre 1380 e 1530 keV, 2550 e 2760 keV e entre 1690 e 1840 keV (^{214}Bi), foram utilizados para avaliar as concentrações de K, Th e U, respetivamente. Para esta determinação foi considerado que o equilíbrio nas series do Th e do U estava estabelecido e que as medições no campo foram efetuadas com um ângulo sólido de 4π , podendo os valores estar sujeitos a eventuais fugas de radão e às geometrias de medição.

4.4.9 Espectrometria gama de elevada resolução no laboratório

Uma amostra com uma matriz porosa pode favorecer a perda de radionuclídeos voláteis e solúveis da série de desintegração do Th e do U, como o caso do radionuclídeo gasoso do Rn e dos radionuclídeos solúveis do U e do Ra. Esta perda conduz a um desequilíbrio na cadeia de decaimento da radioatividade dessa amostra (Murray e Aitken, 1988; Reis, 2007; Guibert et al., 2009). A espectrometria gama *in situ* (EGIS), permite a avaliação da distribuição espacial e das condições de equilíbrio dos radionuclídeos filhos,

enquanto a análise química por ativação neutrónica (AAN) possibilita o acesso à concentração dos elementos pai. Por comparação entre os resultados pode identificar-se possíveis desequilíbrios nas séries do Th e do U. É então necessário o uso de métodos que permitam comparar concentrações de radionuclídeos pai e filho. Uma avaliação do teor em K, Th e U por espectrometria gama de elevada resolução em laboratório (EGER), possibilita uma comparação entre estes e os teores obtidos por AAN de forma mais detalhada.

Foi utilizado o espectrómetro de raios gama, Gamma Analyst, Canberra, equipado com um detetor de germânio hiper puro de espectro longo (engloba baixas e altas energias), e com sistema de troca amostras automático. O detetor ligado a um amplificador multicanal DSA2000, apresenta uma FWHM de 450 eV a 5.9 keV, 750 eV a 60 keV e de 2100 eV a 122 keV. A acumulação de dados foi efetuada durante 12h para cada amostra. Procedeu-se à determinação do teor em K, Th e U nas fração inferior a 2 mm dos materiais de preenchimento selecionados para datação. Para tal foram colocados em caixas de Petri (Perspex®) cerca de 100 g de amostra não ativada. Foram medidos também os geopadrões GSS1 e GRS6 (com teores conhecidos dos elementos K, Th e U, Govindaraju, 1994) em caixas de Petri seladas e equilibradas, e posições vazias, para permitir a subtração do ruído e cálculo das concentrações aparentes dos elementos pai, pelo método comparativo, para 19 picos de emissão, correspondentes aos radionuclídeos ^{40}K , ^{234}Th , ^{226}Ra (^{235}U), ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb , ^{228}Ac , ^{224}Ra , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl . Foi calculada a média ponderada da concentração aparente do elemento pai obtida de cada radionuclídeo pré e pós radão na série do ^{238}U , e para o U natural e ^{232}Th assumindo condições de equilíbrio.

4.5 Datação por luminescência

A datação por luminescência é um método de geocronologia que tem sido aplicado tanto em estudos de geologia quaternária como em estudos geoarqueológicos. Por se basear na luminescência de minerais como quartzo ou os feldspatos, que por serem mais resistentes são comuns em sedimentos detríticos, este método pode ser aplicado na maioria dos depósitos sedimentares, com a vantagem de também ser aplicável na ausência de matéria orgânica (o que o torna vantajoso em relação a outros métodos). Apesar de largamente utilizada nas últimas décadas, a datação por luminescência continua em franco desenvolvimento.

Os sinais de luminescência estimulada térmica e ópticamente utilizados para datação, são consequência da energia depositada nos cristais dos minerais pela radiação ionizante que ocorre naturalmente num material e/ou no seu ambiente (Aitken, 1985). Assim, com o aumento da dose de radiação ao longo do tempo, o sinal de luminescência aumenta, ou seja a intensidade de luz emitida é em geral proporcional à quantidade ou dose de radiação ionizante absorvida a que o material foi previamente exposto. De forma a medir a dose absorvida no cristal, o cristal é aquecido, exposto à luz ou a radiação ionizante, estimulando os sinais acumulados. A luminescência produzida é então designada por termoluminescência ou luminescência termicamente estimulada (TSL – *termally stimulated luminescence*), luminescência ópticamente estimulada (OSL – *optically stimulated luminescence* ou IRSL – *infrared stimulated luminescence*) consoante a fronte

de estímulo (Burbidge, 2012). Um sinal relacionado é radioluminescência (RL, ver secção 4.6). De um modo simples, a TSL permite a determinação do tempo desde que os cristais foram sujeitos a uma temperatura elevada, enquanto a OSL permite medir o tempo desde que os cristais exposto pela última vez à luz solar.

O estudo dos sinais de luminescência emitidos por estimulação ótica e térmica são amplamente aplicados em estudos de datação (Lang e Wagner, 1996; Rees-Jones e Tite, 1997; Roberts, 1997; Lang et al, 1999; Preusser et al, 2009). Estes estudos possibilitam datar a acumulação de sedimentos, bem como a construção, uso e abandono de um local (nomeadamente arqueológico). Os sinais estimulados opticamente podem ainda ser utilizados para datar um evento de aquecimento (por exemplo a cozedura de uma peça de cerâmica), desde que tenha sido atingida a temperatura necessária durante esse evento.

Para avaliar a dose de radiação ionizante absorvida desde o evento de interesse, os sinais de luminescência acumulados nos cristais são medidos e calibrados relativamente aos sinais medidos na resposta a doses conhecidas, os dados de laboratório (Wintle, 1997; Murray e Wintle, 2000). Assim, é avaliada a dose absorvida no laboratório, que produz um sinal equivalente ao sinal acumulado pela amostra desde o aquecimento ou exposição à luz, e que neste trabalho é designada por Dose Absorvida (D).

O cálculo da idade (em quiloano) é feito a partir Dose Absorvida (em Grays = joules por Quilograma), e das determinações da Taxa de Dose da amostra no seu ambiente (em Grays por quiloano) (Equação 8). De uma forma mais específica, as unidades são definidas em termos da radiação de uma fonte primária de fotões de energia relativamente elevada, neste caso Gy ^{60}Co (Richter et al, 2003).

$$\text{Idade (ka)} = \frac{\text{Dose Absorvida (Gy)}}{\text{Taxa Dose } \left(\frac{\text{Gy}}{\text{ka}}\right)} \quad \text{Equação 8}$$

A taxa de dose média da amostra desde o evento de interesse é avaliada através de medições dosimétricas, ou como no actual estudo, por espectrometria gama e análise por ativação neutrónica, que fornecem as concentrações de radionuclídeos (K, Th e U) na amostra e no seu ambiente, a partir do qual é calculada a radioatividade Alfa, Beta, e Gama. A taxa de dose da radiação Cósmica é calculada a partir da localização e profundidade do enterramento da amostra. Também se considera o teor em água da amostra: eventuais mudanças temporais da radioatividade e do teor em água são modeladas e incorporadas nos valores e nas incertezas da datação (Aitken, 1985).

No decurso do presente trabalho foram efetuadas análises por termoluminescência (TSL) e luminescência opticamente estimulada por luz azul e vermelha (OSL e IRSL, respetivamente). Estas análises foram realizadas com o intuito de avaliar a variação das características de luminescência de cada perfil com a profundidade, assim como para aferir a sensibilidade do quartzo de cada amostra à estimulação. A análise por IRSL permite o acesso aos sinais dos feldspatos (e outros minerais, excluindo, de um modo geral, os sinais do quartzo), enquanto, por OSL obtêm-se sinais opticamente sensíveis do

quartzo e dos feldspatos (Wintle, 1997). A análise por TSL permite obter sinais que são menos sensíveis à exposição ótica, mas que podem ter sido removidos por aquecimento (Aitken, 1985). Para a determinação das doses absorvidas, necessárias para a datação usaram-se os protocolos estabelecidos de OSL aplicados aos grãos de quartzo (Murray e Wintle, 1997).

Os níveis relativos dos sinais naturais de IRSL, de OSL e de TSL dependem da radiogeoquímica da amostra, do ambiente que a envolve e do tempo desde que os sinais desta foram repostos a zero por exposição solar ou aquecimento perante processos geomorfológicos ou antropogénicos (Aitken, 1985; Wintle, 1997). No entanto, os comportamentos dos sinais em resposta a doses de radiação ionizante relacionam-se com a mineralogia da amostra e pode variar como função dos mecanismos de formação geológica e da “vida” dos minerais (Krbetscheck et al, 1997; Hashimoto et al, 2007).

As medições foram efetuadas utilizando leitores automáticos Risø equipados com fontes β de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ em placa para irradiação (Figura 4.15). A estimulação ótica foi feita a partir de LEDs azuis emitindo cerca de 470 nm e um díodo laser infra-vermelho emitindo a 830 nm, ou LEDs infra-vermelhos emitindo cerca de 880 nm. Os sinais foram detetados na região 270-380 nm ao eliminar luz de estimulação, por meio de fotomultiplicadores Electron Tubes 9235QB, utilizando os filtros de deteção U340 (Bøtter-Jensen et al, 2000).

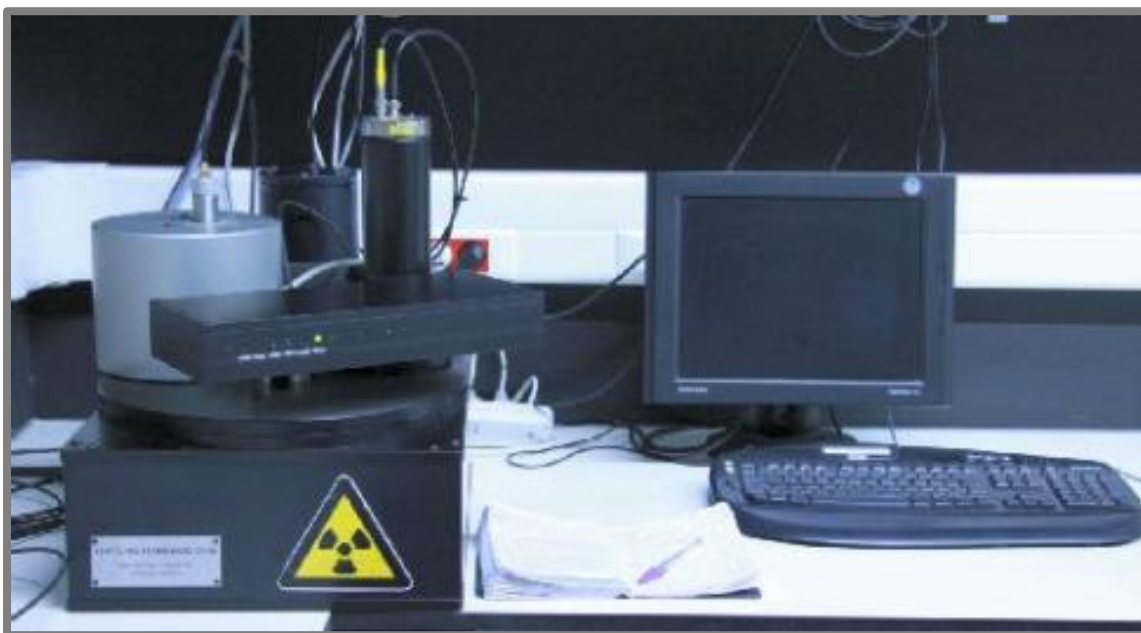


Figura 4.15. Leitor automático Risø, equipado com fontes β de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ em placa para irradiação.

4.5.1 Estudos de comportamento: testes iniciais e perfis

O estudo do comportamento luminescente em perfis (luminescence profiling) é o método semiquantitativo mais favorável para determinar rapidamente a dose absorvida e avaliar as variações no comportamento dos sinais de luminescência, utilizando uma série de amostras que representam o mais detalhadamente possível a estratigrafia ao longo de

uma sequência de preenchimento de carácter arqueológico ou geológico (Burbidge et al 2007; Rodrigues et al, 2013; Sanderson et al, 2001, 2003). Esta abordagem, desenvolvida por Sanderson et al (2001) tem sido aplicada em frações de quartzo e poliminerais com diferentes granulometrias (Sanderson et al, 2001, 2003; Burbidge et al, 2007; Kinnaird et al, 2013). Os diferentes sinais de luminescência (TSL, OSL e IRSL) fornecidos pelas diferentes frações mineralógicas estudadas podem relacionar-se com as diferentes “histórias” de exposição à luz e com os diversos mecanismos de acumulação e meteorização, assim como com a proveniência dos materiais (uma única fonte ou mistura de diferentes fontes) e a sua composição química e mineralógica. Esta abordagem pode ser considerada como um processo eficiente para a aferição dos locais e/ou camadas de material acumulado mais adequadas para os protocolos de datação por luminescência. A partir do estudo do comportamento de amostras de tamanho reduzido, pode avançar-se para a escolha de métodos e materiais que permitam e justifiquem, respetivamente um estudo mais intensivo (neste caso a datação propriamente dita). O estudo em perfil promove a compreensão do processo sedimentar no local em estudo, permitindo identificação de mudanças das condições ambientais dada a sua resolução espacial.

Este tipo de análise visou a produção de um levantamento estratigráfico detalhado das estruturas negativas, no conjunto de sítios arqueológicos estudados, através de protocolos simples e consolidados (Sanderson et al, 2001, 2003; Burbidge et al, 2007; Rodrigues et al, 2013).

Assim, o material preparado segundo o descrito na secção 4.1.2, foi observado à lupa binocular, com o intuito de verificar o tipo e a forma dos grãos obtidos, bem como a eficiência dos processos físico e químicos de separação e tratamento. Para cada fração em estudo (QZG, PMG e PMF) prepararam-se duas alíquotas de máscara média (5 mm de diâmetro) em “cups” de aço inoxidável, previamente cobertos com óleo de silicone, para que o material se distribuisse homoganeamente numa única camada e sem perdas durante os procedimentos de medida. As alíquotas foram sujeitas a medições usando uma sequência regenerativa com dois ciclos: um natural e outro após a irradiação com 5 Gy, desenvolvida a partir da base descrita por Burbidge et al (2007). Estas medidas foram desenhadas por forma a identificar os níveis de sinal natural dos materiais em estudo, assim como a sua sensibilidade à dose de irradiação, a capacidade de sensibilização e uma estimativa da dose absorvida. A sequência de medida incluiu a estimulação ótica por infravermelhos e por luz azul (470 nm) e estimulação térmica por aquecimento até 500°C (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 Sequência de medidas aplicadas às frações estudadas dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil.

Sequência de medida	2 ciclos	
	Natural	5 Gy
Pre-aquecimento (TSL)	240°C @ 5°C/s	
IRSL	125s @ 50°C	
OSL	125s @ 125°C	
Dose de teste	1Gy	
Pre-aquecimento (TSL)	160°C @ 5°C/s	
IRSL	125s @ 50°C	
OSL	125s @ 125°C	
TSL	500°C @ 5°C/s	

A partir das medições efetuadas foi calculada a sensibilidade dos diferentes sinais de luminescência, relativamente à dose regenerativa (contagem/Gy) e uma estimativa da dose aparentemente absorvida (Gy), esta última com carácter semiquantitativo. A estimativa da dose foi calculada usando a Equação 9.

$$\text{Estimativa da Dose (Gy)} = \frac{\text{Dose Regenerativa(Gy)} \times \text{Sinal Natural Normalizado}}{\text{Sinal Regenerado Normalizado}} \quad \text{Equação 9}$$

4.5.2 Determinação da dose absorvida

A dose absorvida por um mineral pode ser determinada tanto recorrendo a protocolos TSL como OSL. Contudo, para os materiais em estudo (quartzo proveniente de materiais depositados em estruturas arqueológicas negativas) é mais frequente o uso de protocolos OSL. Existem diversas razões para a escolha: o mais importante é a rapidez com que a luz remove os sinais OSL, e entre elas surge o fato de processos envolvidos no OSL assumirem uma maior semelhança com o que ocorre naturalmente aos sedimentos expostos à luz solar. Tanto o quartzo como os feldspatos são minerais comumente utilizados na determinação da dose absorvida. Contudo perdas espontâneas de luminescência natural dos feldspatos confere menor estabilidade aos sinais passíveis de medição, por isso o quartzo é inequivocamente o mineral mais usado.

A diferença de sensibilidade entre grãos é fruto dos diferentes tipos e da quantidade de defeitos na rede cristalina, os quais se relacionam com a origem e com os processos

de meteorização, transporte e deposição a que os minerais são sujeitos (Fitzsimmons, 2011; Lü e Sun, 2011; Pietsch et al, 2008; Sawakuchi et al, 2011; Preusser et al, 2009; Zheng et al, 2009).

Deste modo, não existe uma curva de calibração fixa e genérica entre intensidade de luminescência e dose de radiação recebida, havendo necessidade de construir uma curva dose-resposta para cada amostra estudada. O protocolo SAR (*Single-Aliquot Regenerative*) desenvolvido por Murray e Wintle (2000) e revisto por Wintle e Murray (2006), veio dar resposta a esta necessidade. Neste protocolo, a curva de calibração, bem como a medida da luminescência natural, são realizadas em cada uma das alíquotas, suprimindo-se assim, os efeitos da variação de sensibilidade OSL entre alíquotas. Para além disso, a variação da sensibilidade durante os procedimentos de medida é monitorizada pela irradiação com dose de radiação baixa (dose teste) após cada ciclo de irradiação-estimulação, servindo esta resposta para normalizar os resultados obtidos. De modo a avaliar a qualidade da alíquota como dosímetro da radiação natural e a reprodutibilidade do protocolo, são realizados testes em cada alíquota. Para tal, no início e no fim da sequência de medida são repetidos ciclos com uma dose estabelecida por forma a verificar eventuais mudanças na relação entre dose e dose teste (razão de reciclagem) e a contribuição de outros minerais para o sinal OSL (presença de feldspatos aferida pela presença de sinal IRSL). São feitos ciclos sem irradiação para verificar a presença de sinais de recuperação. Por forma a verificar a existência de alterações no sinal OSL devido à severidade do aquecimento, é aplicada uma gama de pré-aquecimentos a diferentes grupos de alíquotas. A dose absorvida pela amostra é calculada usando um método de análise estatística que é escolhido consoante a distribuição dos valores obtidos em cada alíquota e os valores da incerteza associada a cada um deles. Desta forma minimiza-se as variações intrínsecas às características luminescentes da amostra e torna-se o método mais robusto do ponto de vista estatístico.

No presente trabalho, após isolamento da fração de QZG e de QZF, preparam-se de “cups” de aço inoxidável de QZG (preparação descrita na secção 4.5.1) e 2 discos de aço inoxidável, onde foram depositados por sedimentação os grãos de QZF presentes numa suspensão de acetona e isolados como descrito na secção 4.1.2 (Figura 4.7), de cada amostra, para serem sujeitas a testes iniciais (TI) seguindo a sequência de medida descrita na secção 4.5.1. Posteriormente observaram-se as preparações à lupa binocular para verificar o tipo e forma dos grãos presentes e procedeu-se à análise dos resultados. Sempre que necessários o repetiu-se o processo de separação e limpeza dos grãos, até que a razão entre os sinais IRSL e OSL fosse muito baixa (fração maioritariamente composta por quartzo). A aplicação prévia de testes iniciais foi anteriormente utilizado, com medições similares, por diversos autores como forma de verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida (Hamel e Huntley, 2003; Spencer et al, 2003; Burbidge et al, 2010; Roberts et al, 2009). Os testes iniciais são uma ferramenta crucial no estabelecimento das gama de doses de calibração a utilizar no protocolo SAR para irradiação das amostras. A sequência de medição TI foi também utilizada para a determinação da sensibilidade OSL por grama dos grãos de QZG em amostras selecionadas (2 “cups” por amostra com QZG, preparados como descrito na secção 4.5.1).

Para a avaliação da dose absorvida prepararam-se 12 ou 24 “cups” com QZG (como descrito na secção 4.4.1, consoante a quantidade de material disponível) para cada uma das amostras. Cada conjunto de alíquotas, correspondente a cada uma das amostras, foi sujeito à sequência de medições e irradiações com doses de calibração entre 15 e 240 s β , com um valor de dose teste de 10 s β (Tabela 4.3, Sequência I). Para cada amostra, grupos de 2 ou 4 alíquotas foram sujeitas a pré-aquecimentos de 180, 200, 220, 240, 260 e 280 °C, durante 30 segundos.

Para a avaliação da dose absorvida nos grãos de QZF preparam-se 12 ou 24 discos de aço inoxidável, onde foram depositados por sedimentação os grãos de QZF presentes numa suspensão de acetona e isolados como descrito na secção 4.1.2 (Figura 4.7). Cada conjunto de alíquotas de cada amostra foi sujeita ao protocolo SAR-OSL com a mesma sequência que os grãos de QZG (Sequência I) e posteriormente com uma sequência idêntica (Sequência II, Tabela 4.3) em as irradiações de calibração decorreram com doses mais elevadas, entre 240 e 1920 s β .

Tabela 4.3 Sequências de medição SAR-OSL aplicadas às frações enriquecidas em quartzo das amostras seleccionadas para datação.

SAR-OSL (125s @125°C)			
QZG Sequence I	Dose (s β)	QZFG (after sequence I) Sequence II	Dose (s β)
Natural	-	-	-
β	60	β	60
Zero	0	Zero	0
$\beta/4$	15	4 β	240
$\beta/2$	30	8 β	480
2 β	120	16 β	960
4 β	240	32 β	1920
Zero (reciclagem)	0	Zero (reciclagem)	0
β (reciclagem)	60	β (reciclagem)	60
β (reciclagem - IRSL)	60	β (reciclagem - IRSL)	60
β (dose teste)	10	β (dose teste)	10

Os resultados obtidos foram tratados pelo *software Luminescence Analyst* versão 3.42 (desenvolvido por Geoff Duller em 2007). Foi considerado o integral das contagens entre 11 e 30 s para a determinação da intensidade do sinal de resposta (período correspondente ao decaimento rápido da intensidade do sinal OSL) e o integral das contagens entre 391 e 490 s para determinar o ruído. O ajuste exponencial foi o seleccionado para a maioria das curvas de calibração. Tentou-se assim minimizar o número de alíquotas rejeitadas. Os valores de dose absorvida, bem como os respetivos erros associados foram posteriormente tratados num ficheiro padrão (desenvolvido em Excel). Foram calculadas a mediana, a média aritmética, e duas médias ponderadas: uma ao inverso da variância e outra ao quadrado do valor sobre a variância, a “média robusta”, que é calculada a partir da funcionalidade *AMC Robust Statistics V1.0* (RobStat.xla, 1.0). A escolha da medida central a usar, foi apenas feito após a

determinação em todas as amostras, para que a escolha recaísse sobre a medida central que melhor representa-se todos as determinações. Foi apenas utilizada outra medida central em casos particulares onde a primeira escolha não parecia representativa. Uma vez que a média ponderada ao inverso da variância mostrou ser a que melhor representava visualmente o bloco de dados obtidos em cada amostra, procedeu-se à sua escolha.

4.5.3 Dosimetria - determinação da taxa de dose

A taxa de dose de radiação natural é resultado da radiação ionizante, originada principalmente pelo decaimento radioativo dos elementos ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K , e da radiação cósmica no meio que envolve a amostra. Como o tempo de meia-vida destes radionuclídeos é muito longo (na ordem de grandeza dos milhares de anos), a sua contribuição para a taxa de dose é considerada relativamente constante se forem mantidas as características químicas e físicas do material a datar por luminescência. Enquanto a radiação cósmica é sujeita a variações de curto prazo, o mesmo pressuposto é assumido para a sua taxa média ao longo do período de interesse. A taxa de dose pode ser estimada medindo-se a concentração dos radionuclídeos no material em estudo e pelo cálculo da radiação cósmica. As principais variações da dose anual de dose relacionam-se com mudanças no teor em humidade, alteração da composição química e mineralógica devido a processos de meteorização, transporte e deposição, assim como a profundidade a que o material em estudo se encontra.

No presente trabalho, a taxa de dose foi estimada considerando a radiação alfa, beta e gama para uma matriz infinita de amostra. Para tal foram combinadas as concentrações de K, Rb, Th e U determinadas por AAN e EGER para cada amostra, através do cálculo da média ponderada ao inverso da variância. Os valores resultantes desta combinação, bem como as concentrações determinadas por EGIS, para a envolvente da amostra foram convertidos em taxas de dose (Gy/ka) de radiação alfa, beta e gama por aplicação de fatores de conversão (Adamiec e Aitken, 1998). As taxas de dose assim determinadas foram corrigidas para os efeitos do teor em humidade em cada amostra (secção 4.5.3.1) (Zimmerman, 1971). Para o prosseguimento dos cálculos considerou-se que a dose interna dos grãos de quartzo não é significativa (Burbidge et al, 2009) e que estes se apresentam como esferas com diâmetro médio de 205 μm aos quais o ataque ácido feito com HF retirou 6 ± 3 μm de espessura do seu exterior. Considerou-se que os valores determinados por AAN e EGER para os materiais adjuntos das amostras de datação correspondem a uma esfera com o mesmo volume do buraco escavado para a amostragem. A densidade das amostras foi calculada com base na massa e no volume ocupado no tubo de amostragem e para os grãos de QZG foi assumida uma densidade de $2,65\text{ gcm}^{-3}$. Para as determinações feitas com grãos de QZF foi calculada a eficácia da radiação alfa (secção 4.5.3.2). A combinação dos valores de dose alfa, beta e gama determinados pelos diferentes métodos foi então efetuada tendo em atenção as geometrias e as condições assumidas (tabela 4.4), considerando ainda os fatores de atenuação propostos por Adamiec e Aitken (1998), Aitken (1985), Bell (1979), Bell e Zimmerman (1978), Fleming (1970), Mejdahl (1979).

Tabela 4.4 Modo de combinação das taxas de dose alfa, beta e gama para o cálculo da taxa de dose em determinações feitas em frações enriquecidas em quartzo fino e grosseiro.

Dose	alfa	beta	gama
QZG	Não considerada	83,1% do valor combinado AAN/EGER	21% do valor combinado AAN/EGER
QZF	Eficácia da radiação alfa × Valor AAN/EGER	Valor AAN/EGER	+ 79% do valor EGIS

A taxa de dose cósmica foi calculada atendendo aos registos feitos aquando da amostragem sobre o posicionamento da amostra (altitude, latitude e profundidade). A profundidade registada para cada amostra foi convertida em unidades de densidade atendendo à densidade calculada. A taxa de dose cósmica foi calculada através da Equação 10, onde p representa a profundidade, com uma incerteza de 5% (Prescott e Stephan, 1982; Prescott e Hutton, 1988).

$$\text{Taxa dose cósmica} \left(\frac{\text{Gy}}{\text{ka}} \right) = 0,21 e^{-0,70p+0,005p^2} \quad \text{Equação 10}$$

4.5.3.1 Determinação do teor em humidade

O teor em humidade nas amostras foi estimado a partir das pesagens feitas às amostras aquando da chegada ao laboratório (teor em água *in situ*), após secagem a 50°C (amostra completamente seca), e após submersão em água destilada (saturado). As amostras foram pesadas após saturação diariamente até se completarem 8 dias de drenagem e ao fim de 16 dias. Este estudo permitiu verificar a capacidade de retenção de água nas amostras e estimar o teor médio em humidade durante o enterramento (Burbidge et al, 2014).

Para o cálculo do teor em água teve-se em consideração as alterações climáticas ocorridas durante o período Holocénico. Este período iniciou-se no Quaternário, mais propriamente após o final da última Era Glaciar e dura até ao presente. Este período caracteriza-se por flutuações climáticas drásticas que permitem a sua divisão em cinco cronozonas: Pré-boreal (10,3 ka – 9 ka); Boreal (9 ka – 7,5 ka); Atlântico (7,5 ka – 5 ka); Sub-Boreal (5 ka – 2,5 ka) e Sub-Atlântico (2,5 ka - presente). As indicações existentes para as idades das estruturas enquadram-se no período entre o Boreal e o Sub-Boreal (7,5 ka e 2,5 ka), período em que se regista um clima quente e húmido até cerca dos 6,5 ka, passando depois a seco, até cerca dos 5,3 ka, quando se torna novamente quente e húmido, até cerca dos 3,5 ka (Burbidge et al, 2014 e as referência aí citadas). Desde

então o clima tem sido temperado, oscilando entre verões secos e quentes e períodos de inverno húmidos. Assim, a maior flutuação climática esperada deverá ser anual. Uma vez que as amostras foram recolhidas durante o verão, foi considerada como representativa do teor em água durante o enterramento, a média entre a percentagem de água *in situ* (mínimo) e a percentagem de água retida na amostra após 8 dias de drenagem (máximo).

4.5.3.2 Proposta de protocolo de avaliação dos efeitos de calcite e matéria orgânica na taxa de dose

A obtenção de datações por luminescência em quartzo proveniente de materiais carbonatados é citada em vários estudos como sendo uma situação problemática e um desafio (Aitken, 1985; Prescott e Robertson, 1997; Roberts, 1997; Wintle, 2008; Nathan e Mauz, 2008).

Neste trabalho propõe-se pela primeira vez uma forma de melhor delimitar os efeitos máximos na taxa de dose, decorrentes da precipitação recente de calcite e/ou da variabilidade espacial na distribuição de calcite e matéria orgânica nas amostras. Para tal, procedeu-se à estimativa do teor em K, Rb, Th e U nas amostras, usando como base de cálculo as perdas por ignição (LOI) determinadas aquando da determinação dos elementos maiores por FRX. Partindo do valor de LOI aferiu-se o teor em cada um destes elementos para a massa de amostra, que corresponde à fração não carbonatada e desprovida de matéria orgânica (Equação 11).

$$Xf = \left(\left(\frac{LOI(\%)}{100} \right) + 1 \right) * Xi$$

Equação 11

Onde Xi representa o teor no elemento X na amostra; e Xf o teor no elemento X na amostra na ausência de calcite e matéria orgânica

Para além de ter sido contemplado nesta proposta de re-cálculo da taxa de dose o efeito de diluição da calcite nos elementos radioactivos naturais, também se contemplou outro factor importante na sua determinação, concretamente o efeito da capacidade de retenção de água deste tipo de materiais. Deste modo, atendendo à elevada capacidade de retenção de água dos materiais em estudo, considerou-se que na ausência de calcite a capacidade diminuía para cerca de 5%, com base nas determinações feitas em amostras não carbonatadas regionais (amostras recolhidas nos contextos de granito e diorito e gabros associados).

4.5.3.3 Determinação da eficácia da radiação alfa

Para a determinação da eficácia da dose alfa dos sinais OSL dos grãos finos (potencial da radiação alfa para produzir sinal OSL, relativamente às radiações beta e gama), escolheram-se 5 discos de cada uma das quatro amostras recolhidas no Outeiro Alto. Este material fora anteriormente sujeito ao protocolo SAR-OSL com temperaturas de pré-aquecimento entre os 180 e os 240°C. Estes discos foram irradiados durante 67 min com uma dose alfa de 125,56±0,02 Gy no equipamento Littlemore, com uma fonte alfa de

^{241}Am (Littlemore, 2001). Após a irradiação, a resposta OSL do material foi verificada e utilizada como valor “natural” no tratamento dos dados como descrito no ponto 4.5.2 com o *software Luminescence Analyst*. A dose absorvida assim obtida foi dividida pela dose administrada por forma a inferir a eficácia desta.

4.6 Radioluminescência

A radioluminescência (RL), luminescência estimulada por raios-X ou outra radiação ionizante e medida durante a irradiação, amplamente utilizada para o estudo de defeitos na estrutura cristalina em particular para o estudo da emissão de luminescência entre 365 e 380 nm à temperatura ambiente (Krbetschek et al., 1997; Martini et al 2012; Burbidge, 2012). No quartzo, uma emissão a cerca de 380 nm tem sido associada à recombinação de um eletrão com um buraco (“hole”: ausência de eletrão que se comporta como uma carga positiva) que se compensava um potencial relativamente negativo de um defeito gerado pela substituição de um átomo de Si por um átomo de Al de alumínio ($[\text{AlO}_4]^{h+} + e^- \rightarrow [\text{AlO}_4]^0$) na estrutura cristalina do quartzo (Krbetschek et al, 1997; Preusser et al, 2009; Martini et al, 2009). Portanto, a radioluminescência mede diretamente a sensibilidade da luminescência de uma amostra à radiação, evitando os efeitos de aprisionamento de cargas que são utilizados na datação por OSL e TSL.

As medições de radioluminescência foram realizadas à temperatura ambiente utilizando um aparelho desenvolvido pelo *Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università degli Studi di Milano Bicocca* (Itália), que é constituído por um sistema de deteção, um dispositivo de carga (Jobin-Yvon Spectrum One 3000) acoplado a um espectrógrafo que opera na gama entre 200 e 1100 nm (Jobin-Yvon Triax 180). Os dados obtidos foram corrigidos em função da resposta espectral do sistema de deteção. A estimulação foi conseguida por irradiação com raios-X usando o equipamento Philips 2274 a 20 kV. A cada amostra foi administrada uma dose de 10 ± 2 Gy com uma incerteza de cerca de 1%. Os espectros resultantes foram visualizados através do *software Origin* e a partir de um ficheiro padrão em Excel foi verificado o comportamento de cada amostra antes e depois da ativação.

5 Materiais geológicos e arqueológicos – resultados e discussão

5.1 Monte Carrascal

No Monte Carrascal amostraram-se os materiais de preenchimento de um fosso (átrio de acesso a hipogeus), num total de 19 amostras (pMC1 – pMC15 e MC1 – MC4 selecionadas para datar) e uma amostra do calcreto representativo da geologia local (MCa). As amostras de materiais de preenchimento são representativas das diferentes fases identificadas no fosso: fase de preenchimento durante a ocupação humana, fase de preenchimento por coluvião após abandono e solo moderno. Na amostra de calcreto, visto tratar-se de um conjunto de blocos de diferentes dimensões compactos e cimentados, no protocolo de preparação da amostra para a análise composicional e granulométrica, procedeu-se à sua desagregação com pilão de borracha, facto que terá de ser tido em consideração na interpretação dos resultados, particularmente na quantificação das várias frações granulométricas. No que concerne às restantes amostras de materiais de preenchimento do fosso, as análises composicionais foram efetuadas na fração <2 mm (amostra total).

5.1.1 Granulometria

Analisando os teores em cada fração granulométrica dos materiais de preenchimento e no calcreto (Anexo II) observa-se que os materiais recolhidos no preenchimento correspondente ao período de ocupação humana (MC1 e MC2) apresentam um teor ligeiramente mais elevado de fração >2 mm (cascalho), nomeadamente a amostra MC2 (56%). No extremo oposto encontra-se a amostra MC3, correspondente ao início do preenchimento por coluvião, após abandono da estrutura arqueológica, que apresenta o maior teor em material <2 mm. A amostra MC3 é a mais enriquecida na fração arenosa (2 mm - 63 μ m), seguida das amostras MC1 e MC4, respetivamente. Através da projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard (Figura 5.1, a), é possível classificar os materiais de preenchimento MC1 e MC4 como areia siltosa, enquanto os materiais representativos da geologia envolvente (MCa) e os materiais de preenchimento MC2 e MC3 são considerados areia. As curvas granulométricas da amostra total evidenciam que a amostra recolhida mais profundamente MC1, na fase de ocupação humana apresenta uma melhor graduação, sendo este facto confirmado pelo valor do coeficiente de curvatura (C_c) da curva granulométrica que nesta amostra se encontra entre 1 e 3 (Norma ASTM International – D2487-06 e Powrie, 2014) (Figura 5.1, b). No que respeita à fração inferior a 63 μ m é possível verificar que a fração granulométrica entre 2 e 20 μ m é a mais expressiva em todas as amostras e que a amostra MC4, correspondente ao material de preenchimento mais superficial apresenta uma composição mais argilosa (Figura 5.1, c). As curvas granulométricas da fração <63 μ m nas amostras (Figura 5.1, d) permitem distinguir três perfis de distribuição das partículas finas: um primeiro perfil correspondente ao material geológico representativo (amostra MCa) que apresenta uma curva em S mais vertical indicando que o material desta amostra se encontra pior calibrado (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993); um segundo perfil que corresponde às amostras de materiais de preenchimento MC1, MC2 e MC3 que apresentam curvas em S menos vertical que as anteriores; e por ultimo, o perfil da amostra MC4, com a

curva em S mais suavizada de entre o conjunto, revelando uma melhor calibração dos materiais finos.

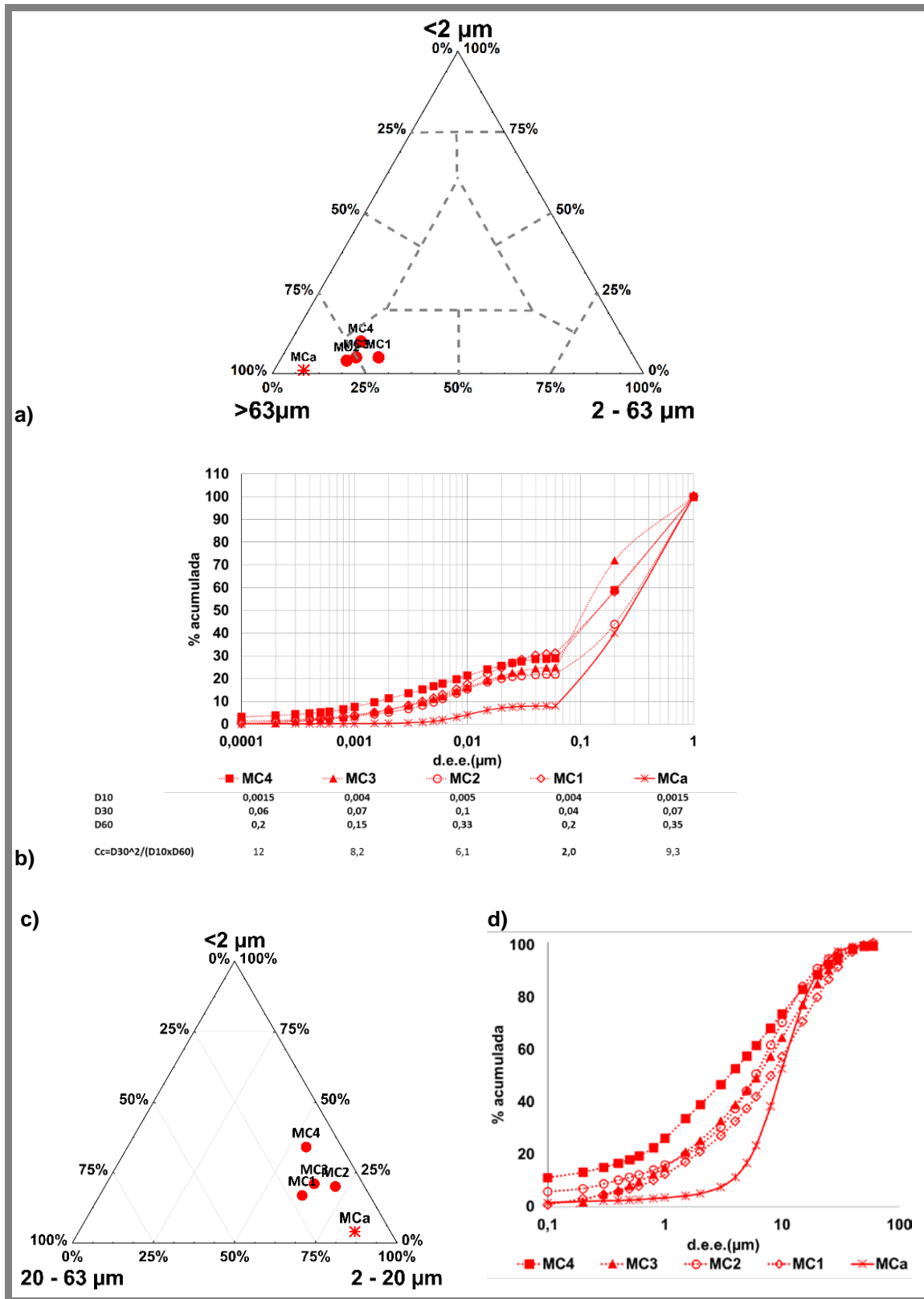


Figura 5.1 a) Projecção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projecção dos teores em material fino (<63 μ m) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <63 μ m para os materiais amostrados no Monte Carrascal.

5.1.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para a amostra total (fração <2 mm) e para a fração argilosa das amostras estudadas, assim como a semiquantificação dos teores dos minerais presentes nas amostras do Monte Carrascal encontram-se no Anexo III.

5.1.2.1 Amostra total

A amostra de calcreto M_{Ca} apresenta uma composição mineralógica dominada pela calcite (98%), à qual se associam traços de filossilicatos e quartzo. A associação mineralógica presente no calcreto está de acordo com o descrito por Abreu et al (1989), Marques et al (1990) e Santos (2013) para as formações carbonatadas da bacia do Sado, com aspeto pulverulento, existentes sobre a mancha gabro-diorítica do Alentejo, na área geográfica de Beringel: calcite à qual se encontram associados quartzo e feldspatos, assim como ilmenite e filossilicatos (paligorskite e esmectite). O mesmo tipo de associação mineralógica foi encontrada em calcretos de diversos pontos do planeta (Krug, 1995; Chen et al, 2002; Eren et al, 2008; Dixon, 2010; Kaplan et al, 2013).

A associação mineralógica da amostra total dos materiais recolhidos ao longo do perfil de preenchimento da estrutura negativa é dominada pela calcite à qual se associam filossilicatos, quartzo e feldspatos, na sua maioria plagioclase (maioritariamente anortite). De um modo geral, o teor de calcite presente nos materiais de preenchimento diminui da base para o topo da estrutura (Figura 5.2), tendo sido este comportamento também observado num perfil de calcreto na Tunísia (Prudêncio et al, 2011). Contudo, é possível identificar diferentes padrões de composição mineralógica entre a base e o topo do preenchimento, quer na fase correspondente ao período de ocupação humana, quer na fase posterior ao abandono da estrutura.

Na base do preenchimento do fosso (fase de ocupação humana), foi identificada pelos arqueólogos uma sucessão de pisos de circulação em argila compactada e com vários nódulos de calcretos (Valera et al, 2014a). Aquando da amostragem, comprovou-se a existência dessa sequência e verificou-se que a cerca de 213 cm de profundidade existia um material mais avermelhado e com menos nódulos esbranquiçados. Para este material de preenchimento recolhido a 213 cm de profundidade registou-se a ocorrência de traços de hematite e dolomite. Os materiais recolhidos entre 223 e 207 cm de profundidade apresentam teores em calcite de cerca de 70% e o teor em feldspatos aumenta com a profundidade, de 4 para 10%, assim como diminui o teor em quartzo (de 10% para não detetado). O teor em filossilicatos nestes materiais varia entre 16 e 25%. Observou-se durante o trabalho de amostragem que entre 190 e 155 cm de profundidade (ainda na fase correspondente à ocupação humana) existia uma maior quantidade de nódulos esbranquiçados, que diminuía com a profundidade. Este aspeto está de acordo com os teores elevados em calcite entre os 155 e 190 cm de profundidade, que aumentam de 70% para 96%. Neste intervalo, há ainda a registar as variações do teor em quartzo entre 3 e 11%, filossilicatos entre não detetados e 21% e feldspatos entre 1 e 11 %.

Na fase de preenchimento pós abandono, entre 130 cm de profundidade e o solo moderno, identificaram-se dois padrões de composição, que poderão representar duas fases no processo de encerramento do fosso. Entre 130 e 84 cm de profundidade o teor em calcite aumenta de 55 para 76%, acompanhado da diminuição do teor em

filossilicatos e plagioclase. Entre 70 cm de profundidade e o solo moderno, os materiais são menos ricos neste mineral (cerca de 50%) e verifica-se o aumento do teor em quartzo, filossilicatos e feldspatos.

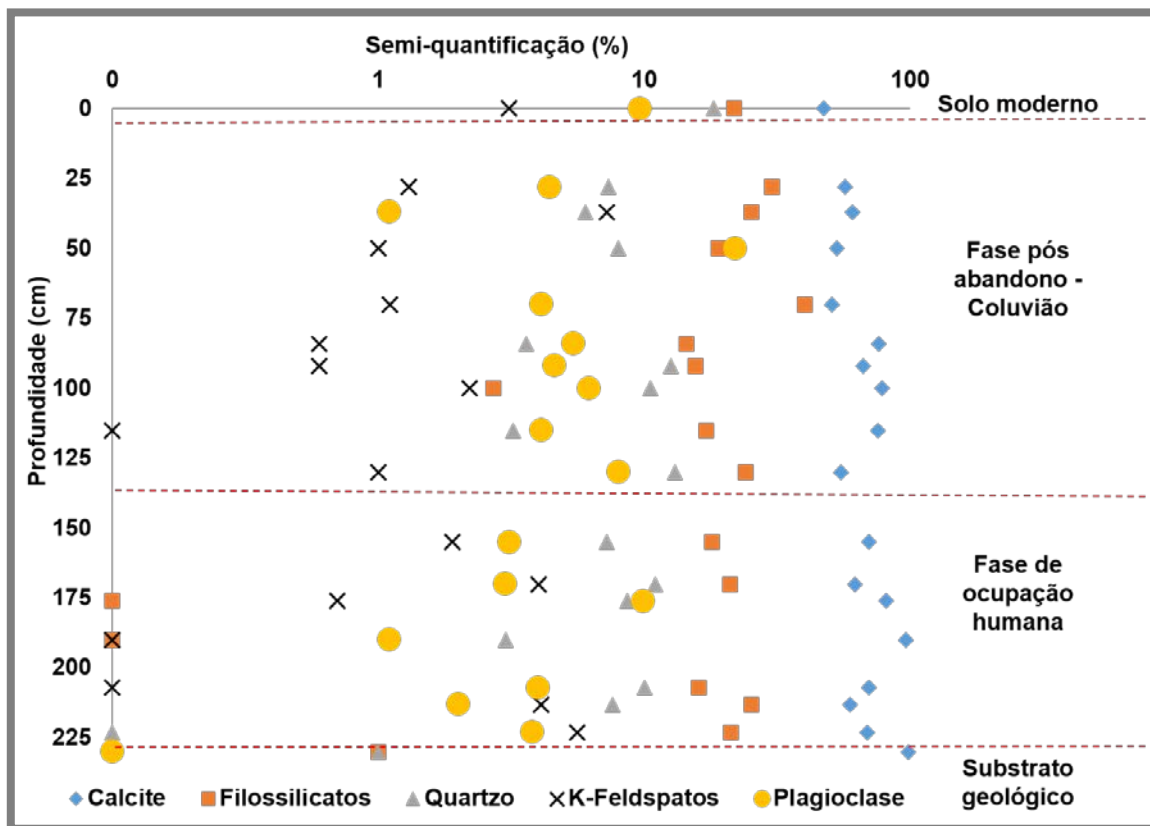


Figura 5.2 Variação da composição mineralógica da amostra total (fração < 2mm) com a profundidade. Foi considerada como base do fosso a amostra MCa, representativa dos materiais geológicos, calceteo. As linhas vermelhas separam os contextos geológico, de ocupação humana, pós abandono e solo moderno.

Recolheram-se ainda mais duas amostras - pMC14 e pMC15 - lateralmente em relação ao perfil central com o intuito de melhor caracterizar as variações laterais dos materiais de preenchimento desta estrutura. Estes materiais apresentam a mesma associação mineralógica que as amostras recolhidas à mesma profundidade, mas com um teor em calcite superior, comprovando-se assim a expectável variação lateral nas proporções dos minerais, particularmente na proporção de calcite.

A presença de uma maior proporção de filossilicatos nos materiais de preenchimento relativamente ao calceteo, poderá indicar que a composição destes materiais de preenchimento dever-se-á não só à acumulação de materiais provenientes da desagregação do calceteo, mas também aos produtos da meteorização dos gabros que circundam e estão cobertos por esta mancha de calceteo.

5.1.2.1.1 Índices mineralógicos

Com vista a uma melhor compreensão dos processos de alteração dos materiais depositados considerou-se o índice de alteração mineralógica (MIA – Mineralogical Index of Alteration) que permite avaliar os efeitos da meteorização nos silicatos (Bahlburg e

Dobrzinski, 2011). Verifica-se que na fase inicial de preenchimento, durante a ocupação humana, há uma diminuição do índice mineralógico de alteração da base ao topo da sequência de preenchimento, de 83 para 60% (Figura 5.3, a). Esta tendência mantém-se para os materiais acumulados na fase pós-abandono, até cerca dos 50 cm de profundidade (diminui para 26%). Dos 50 cm de profundidade até ao solo moderno, na superfície, o índice mineralógico de alteração dos materiais acumulados aumenta de 26% para 60%.

Sendo estas amostras muito ricas em carbonatos, dado se tratarem de materiais com origem maioritariamente no calcreto, o teor em silicatos é muito baixo e face a isso o índice mineralógico de alteração não reflete de forma linear o estado de alteração destes materiais. Verificou-se que no estudo de materiais muito carbonatados, será mais adequado usar como índice mineralógico a razão silicatos/carbonatos (Rocha e Ramalho, 2003). Utilizando este índice, verificou-se que nos materiais de preenchimento assumem razões silicatos/carbonatos inferiores a 1, e apenas no solo surge um valor superior à unidade. Verifica-se uma tendência para razões maiores nos materiais acumulados após o abandono da estrutura, nomeadamente acima dos 70 cm de profundidade, indicando a presença de uma maior proporção de silicatos nos materiais depositados por coluvião. Esta razão silicatos/carbonatos surge também com valores inferiores à unidade nos calcretos e com valores superiores à unidade em paleosolos do Cabo Mondego (Rocha e Ramalho, 2003).

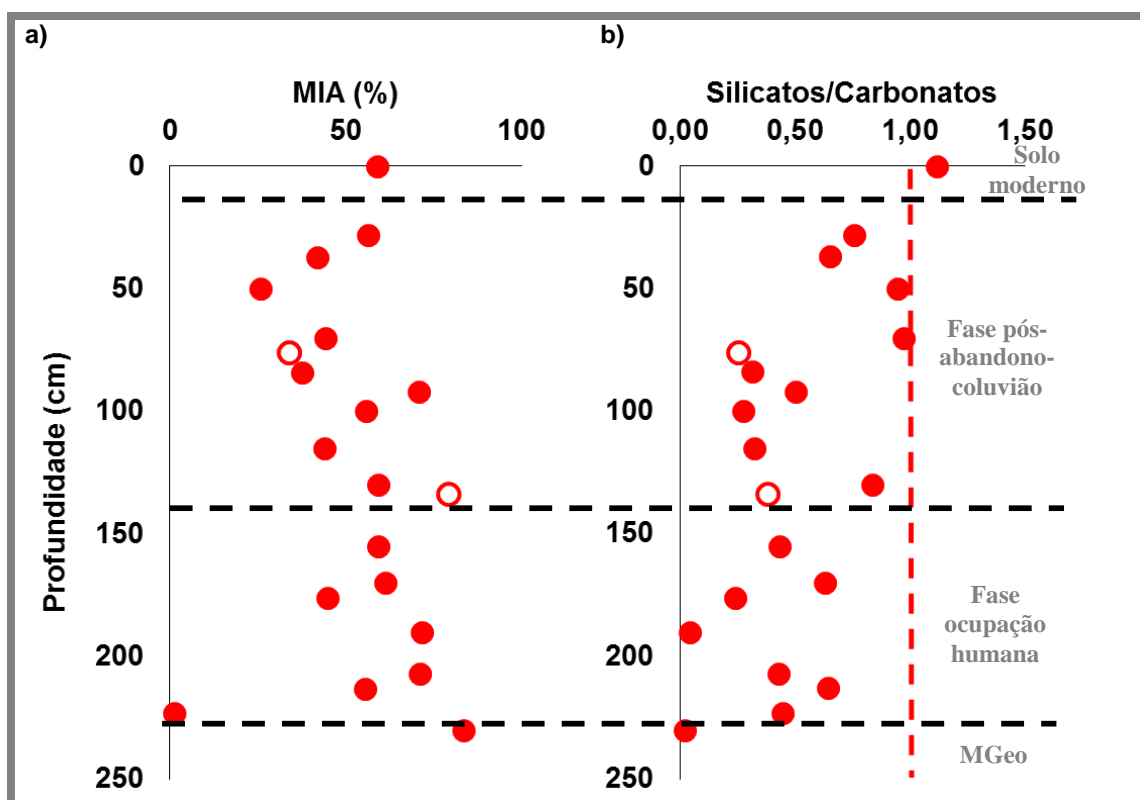


Figura 5.3 Variação do índice mineralógico de alteração (a) e da razão silicatos/carbonatos (b) com a profundidade para a amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos na estrutura negativa no Monte Carrascal. As circunferências vazias a vermelho representam os materiais recolhidos lateralmente em relação ao perfil central.

5.1.2.2 Fração argilosa

Atendendo ao elevado teor em calcite na amostra total dos materiais de preenchimento MC1 – MC4, após a recolha da fração <63 µm, o material recolhido foi sujeito a análise por DRX para avaliar a proporção de calcite nesta fração. Tendo-se verificado a presença, com algum significado, deste mineral na fração <63 µm foi feita a separação da fração argilosa em duas tomas diferentes: uma tal qual e outra após descarbonatação para cada uma das amostras de materiais de preenchimento. Para a amostra representativa dos materiais geológicos, dado ser quase exclusivamente composta por calcite, foi apenas estudada a fração argilosa recolhida da fração <63 µm sem descarbonatação prévia.

Verificou-se a presença de calcite na fração argilosa das amostras de materiais de preenchimento MC1 – MC4, e da amostra de calcreto para as quais não foi feita a descarbonatação prévia da fração inferior a 63 µm. Na fração argilosa carbonatada dos materiais de preenchimento detetou-se a presença de esmectite em todas as amostras, sendo este o único mineral argiloso detetado nas amostras recolhidas na fase de preenchimento após abandono da estrutura, MC3 e MC4 e na amostra de calcreto MCa. Nas amostras recolhidas na fase de preenchimento durante a ocupação humana, MC1 e MC2, detetou-se a presença de uma pequena proporção de minerais de caulino (Figura 5.4, a). Na fração <2 µm descarbonatada dos materiais de preenchimento MC1 – MC4 verificou-se que, como seria de esperar os minerais argilosos foram melhor detetados, sendo o mineral argiloso predominante a esmectite, à qual se associam a minerais de caulino que apresentam proporções ligeiramente maiores nas amostras MC2 e MC4, que representam os materiais recolhidos mais superficialmente em cada uma das fases de preenchimento do fosso (Figura 5.4, b).

A presença de esmectite pode ser justificada pelas condições de drenagem deficiente e pouca escorrência, sob clima quente e seco, com períodos de chuva curtos, o que favorece a presença de um meio alcalino onde estão disponíveis cátions básicos, favorável à formação de esmectite (Gomes, 1988; Sheldon e Tabor, 2009; Churchman e Lowe, 2012). As características topográficas e climatéricas da área geográfica em estudo foram então favoráveis à presença de um calcreto rico em esmectite.

A esmectite é um mineral comum em calcretos sendo observada em vários pontos do planeta, na maioria das vezes associada à presença de paligorskite, sob condições favoráveis em climas áridos e semiáridos (Sancho et al, 1992; Rodas et al, 1994; Armenteros et al, 1995; Krug, 1995; Atabey et al, 1998; Khadkikar et al, 1998, 2000; Chen et al, 2002; Dhir et al, 2004; Durand et al, 2006; Eren et al, 2008; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Prudêncio et al, 2011; Kaplan et al, 2013; Küçükuysal e Kapur, 2014). Em Portugal e em especial no Alentejo, a esmectite faz parte da associação mineralógica detetada em calcretos (Abreu et al, 1989; Marques et al, 1990; Pimentel, 2002; Pais et al, 2012; Santos, 2013; Shahbaz, 2013).

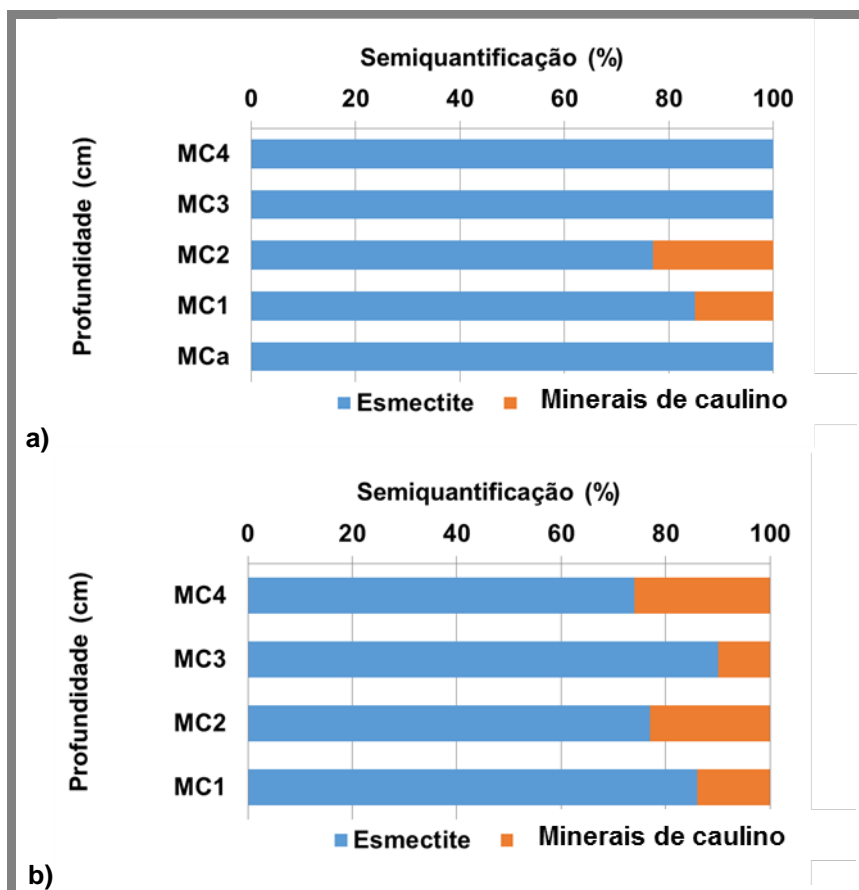


Figura 5.4 Mineralogia da fração argilosa carbonatada (a) e descarbonatada (b) dos materiais de preenchimento (MC1 – MC4) recolhidos na estrutura arqueológica negativa e do calcreto (amostra MCa) do Monte Carrascal, determinada por DRX.

A paligorskite surge nos calcretos associada a ambientes áridos e ricos em Mg, e em calcretos mais antigos/maduros (Krug, 1995; Bachman e Machelte, 1997; Alonso-Zarza, 2003), associada à passagem de calcretos ricos em Mg para calcretos pobres em Mg (Churchman e Lowe, 2012). A formação deste mineral em calcretos encontra-se bastante associada a ambientes lacustres, de águas paradas. A ausência de paligorskite poderá ser justificada pela ausência de calcite rica em Mg em que o calcreto se formou no Monte Carrascal.

A presença de minerais de caulino, em maior proporção na fração argilosa dos materiais recolhidos no topo de cada fase de preenchimento (amostras MC2 e MC4), pode ser justificada (i) pela ocorrência de ambientes mais húmidos, com elevada precipitação e com drenagem eficiente que permitiram um meio ácido com mobilização e perda da maioria dos catiões móveis, favorável à formação deste mineral, ou (ii) por génese hidrotermal (Gomes, 1988). A ausência de paligorskite e a presença de minerais de caulino, que poderá ter origem hidrotermal ou num meio húmido com elevada drenagem, pode descartar a origem lacustre do calcreto amostrado no Monte Carrascal, podendo ser um primeiro indício para a possibilidade de uma origem freática.

5.1.3 Composição química

5.1.3.1 Materiais representativos da geologia local

No Monte Carrascal, o material geológico amostrado (amostra MCa) corresponde a um conjunto de pequenos blocos compactos de calcareto esbranquiçado e pulverulento, que pela análise mineralógica por DRX, se verificou serem quase exclusivamente calcite. Neste sentido, era expectável que a composição química (Anexo III e Figura 5.5) desta amostra, no que respeita aos elementos maiores fosse dominada pelo CaO. Este óxido representa cerca de 60% da amostra. O baixo teor em óxidos de K e Al é um reflexo de estarmos na presença de uma amostra que apenas contém traços de filossilicatos. Os baixos teores em Fe e Ti, aliados à fraca correlação que, por norma apresentam com a calcite (McQueen, 2006) indicam que a sua presença estará associada a vestígios de óxidos e hidróxidos na amostra. A composição obtida em elementos maiores encontra-se de acordo com as indicações de vários autores para este tipo de formações na Turquia e Austrália (Kaplan et al, 2013; Chen et al, 2002).

No que respeita aos elementos da primeira série de transição, há a salientar na amostra MCa o teor ligeiramente mais elevado em Mn, que pode ser explicado pela facilidade deste elemento se alojar nos carbonatos, nomeadamente na forma de nódulos. Destaca-se também o teor em Sr, que pode substituir o Ca na calcite, e o teor em Ba que, para além de substituir o Ca, pode indicar a presença de barite e/ou viterite no calcareto (Salminen et al, 2005; Tonusoglu et al, 2007; Dill, 2010; Achyuthan et al, 2012; Singh et al, 2013).

Comparando a amostra total MCa com os valores médios de referência para crosta continental superior, verifica-se que esta é empobrecida, na maioria dos elementos determinados, com exceção para do óxido de CaO e dos elementos Br e I (Figura 5.5). O enriquecimento em Br pode ser explicado por um lado pela presença de matéria orgânica detrítica na amostra (Salminen et al, 2005) ou por processos de evaporação durante a precipitação da calcite (Grevnitz e Chivas, 2005). O enriquecimento em iodo poderá dever-se à facilidade com que este elemento permuta com o Ca da calcite e também pode estar relacionado com uma maior proporção de matéria orgânica onde o iodo se fixa na forma de ião solúvel após captura da atmosfera pelas plantas (Salminen et al, 2005; Dill, 2010).

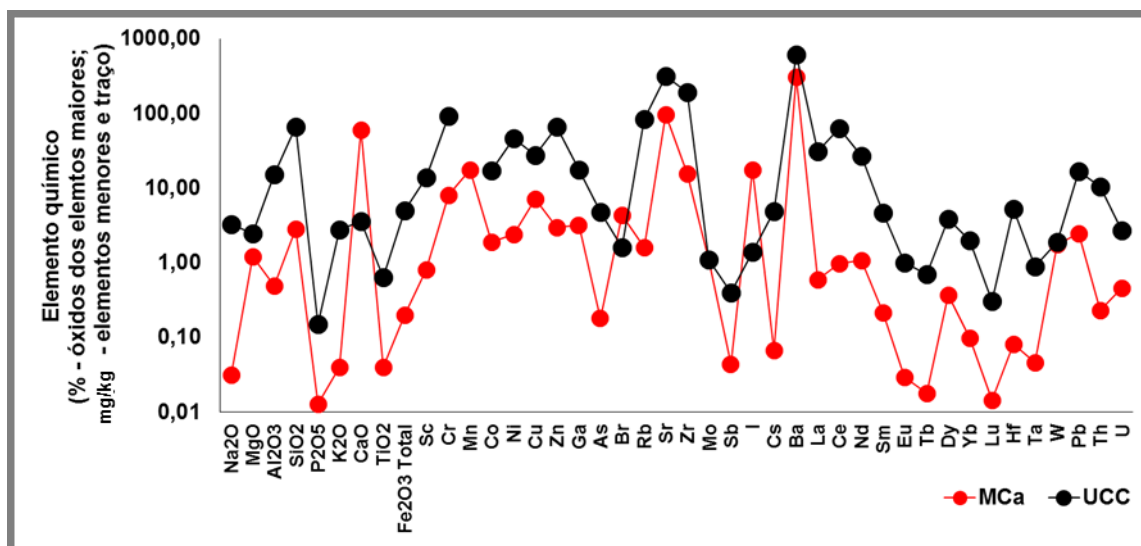


Figura 5.5 Composição química da amostra total do calcreto, recolhido no Monte Carrascal, MCA, determinada por AAN e FRX e dos valores médios da crosta continental superior, UCC.

A fração argilosa da amostra de calcreto, cuja mineralogia é essencialmente esmectite (e uma pequena proporção de calcite) encontra-se enriquecida face à amostra total na maioria dos elementos determinados, com exceção do Ba, W e U, que parecem concentrar-se na fração grosseira da amostra (Figura 5.6). O enriquecimento é mais evidente nos elementos Zn, Cs e Hf. O enriquecimento em Zn pode ser parcialmente explicado pela retenção deste elemento na esmectite (Krug, 1995; Chen et al, 2002; Marques, 2007; Prudêncio et al, 2011). O Cs não tendo especial afinidade com a esmectite pode concentrar-se nos materiais por ação hidrotermal sendo a sua concentração preservada em condições de aridez (Dill, 2010)

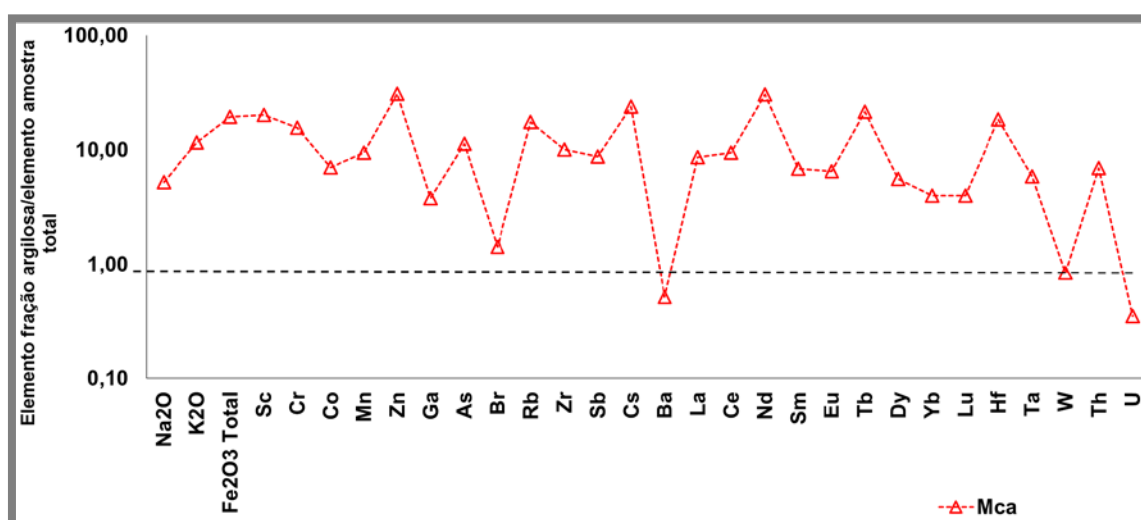


Figura 5.6 Composição química da fração argilosa relativamente à amostra total MCA, do calcreto amostrado no Monte Carrascal.

5.1.3.1.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição nos materiais do calcreto é de LOI= 35% comprovando a presença de uma elevada proporção de calcite e de matéria orgânica na amostra. Era esperado um valor elevado deste índice para o calcreto (tal como encontrado por Kaplan et al (2013) para outros calcretos).

No que respeita à razão de calcificação ($RC = \text{MgO} + \text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$) observa-se um valor de $RC=126$. A razão de dolomitização ($RD = \text{MgO} / \text{CaO}$) apresenta um valor de $RD = 0,02$, o que se pode considerar baixo e está de acordo com a mineralogia da amostra onde não foi detetada a presença de dolomite, com o baixo teor em MgO.

No que diz respeito ao índice de alteração química (CIA) observou-se um valor de $CIA=2\%$ que não reflete um estado de alteração baixo, mas sim a ausência de silicatos nesta amostra de calcretos.

A razão $\text{SiO}_2 / \text{CaCO}_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos surge com um valor de 0,04 e relaciona-se com o estado maduro deste calcreto, onde a substituição dos silicatos por carbonatos já decorreu.

A razão $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ que apresenta um valor de 5,8 e a razão Ca / Mg que apresenta um valor de 49,1 são indicadoras de meteorização intensa, precipitação e cimentação do calcreto.

5.1.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

Em relação ao somatório das REE verifica-se que a fração argilosa ($\sum \text{REE}=31$ mg/kg) apresenta um teor em REE superior à amostra total ($\sum \text{REE}= 3$ mg/kg), indicando que estes elementos deverão fixar-se nos minerais argilosos como a esmectite e em óxidos e hidróxidos da fração $<2 \mu\text{m}$, na fração não carbonatada. Comparativamente com os valores médios da crosta continental o teor em REE é muito baixo na amostra de calcreto MCa.

Considerou-se ainda relevante efetuar o estudo comparativo do comportamento das REE da amostra MCa, com um estudo efetuado numa formação de calcreto na proximidade do Monte Carrascal, em Beringel. O caliche de Beringel, que cobre a mancha gabro-diorítica do complexo do Alentejo (Bacia do Sado), é um calcreto nodular pulverulento, gerado a baixa temperatura, num ambiente semiárido e de drenagem deficiente, cuja mineralogia é essencialmente calcite, paligorskite e traços de feldspatos e quartzo de origem detrítica (Abreu et al, 1990; Marques et al, 1990; Prudêncio et al, 1994).

Comparando o teor em REE no caliche de Beringel, estudado por Prudêncio et al (1994), com o do calcreto do Monte Carrascal verifica-se que o teor é semelhante e muito baixo, o que se deverá ao teor elevado de calcite nestes materiais (Figura 5.7, a e b). Quando normalizados aos condritos os perfis de distribuição de REE na amostra total e na fração argilosa do calcreto MCa evidenciam anomalias negativas de Ce e Eu, mais acentuadas na fração argilosa. Relativamente aos valores médios da crosta continental superior a amostra de calcreto MCa apresenta anomalias mais acentuadas (Figura 5.7,

c). O caliche de Beringel, apresenta uma anomalia negativa de Ce, menos acentuada que o calcetreto do Monte Carrascal. No que respeita à anomalia de Eu esta é positiva para o caliche de Beringel e negativa no calcetreto do Monte Carrascal. No que respeita ao fracionamento entre REE leves e pesadas e entre REE leves e intermédias verificam-se maiores fracionamentos na fração argilosa ($(La/Sm)_N=2,2$ e $(La/Yb)_N=9,2$) do que na amostra total do calcetreto ($(La/Sm)_N=1,7$ e $(La/Yb)_N=4,2$). Relativamente aos valores médios da crosta continental o fracionamento de REE é menor na amostra total do calcetreto. Comparando com o caliche de Beringel verifica-se um fracionamento entre REE leves e pesadas da mesma magnitude e um fracionamento entre REE leves e intermédias menor na amostra total do calcetreto do Monte Carrascal. A anomalia positiva de Eu nesta formação é explicada pela presença de Eu^{2+} , oriundo da meteorização dos feldspatos que, em quantidades significativas, ficou complexado nos carbonatos, em meio neutro, sendo posteriormente fixado pela calcite onde substitui o Ca^{2+} , em maior proporção que as restantes REE (Prudêncio et al, 1994).

Atendendo a que a origem do calcetreto do Monte Carrascal, deverá ter ocorrido em ambiente húmido e meio alcalino com drenagem eficiente, a fixação do Eu na calcite não ocorreu, originando uma anomalia negativa neste elemento, que mais uma vez permite distinguir a génese destes dois calcetretos, embora próximos, e corroborar as indicações de que o calcetreto do Monte Carrascal poderá ter uma origem freática, tendo sido originado por capilaridade numa área onde a taxa de evaporação e evapotranspiração foi elevada e permitiu a precipitação do carbonato de cálcio presente nas águas subterrâneas.

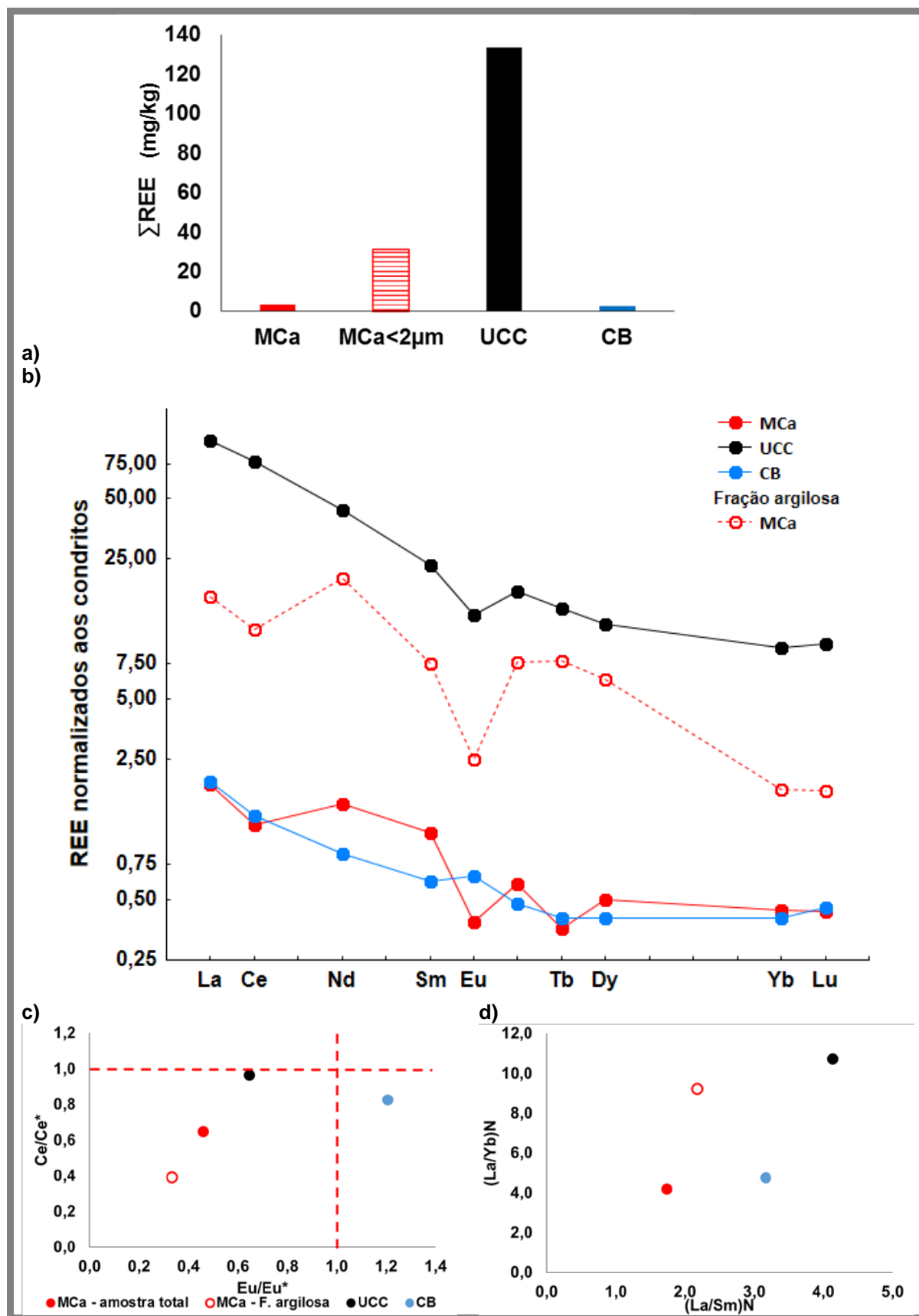


Figura 5.7 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total e da fração argilosa do calcetreto do Monte Carrascal (MCa), valores médios da crosta continental superior (UCC) e no calcetreto de Beringel (CB).

5.1.3.2 Materiais de preenchimento – amostra total

A composição química dos materiais de preenchimento amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal (pMC1 – pMC15 e MC1 – MC4) encontra-se descrita no Anexo III. Os materiais de preenchimento amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal caracterizam-se, genericamente, por apresentarem nódulos esbranquiçados, formados essencialmente por calcite, envolvidos por material siltoargiloso de coloração castanha clara. Estes materiais foram amostrados em dois contextos distintos: um contexto inferior, relacionado com a fase de ocupação humana e um contexto superior de coluvião, depositado após o abandono da estrutura com abundantes nódulos de calcreto (< 2 mm).

A amostra total (fração <2 mm) dos materiais de preenchimento apresenta, para a maioria dos elementos determinados, teores mais elevados do que os observados na amostra de calcreto MCa (Figura 5.8 e Figura 5.9). Como exceção a este comportamento observam-se os teores em CaO, Ba e W fortemente relacionados com a maior proporção de calcite na amostra de calcreto MCa. Os materiais recolhidos na fase correspondente ao período de acumulação durante a ocupação humana, apresentam uma maior variação do teor da maioria dos elementos determinados do que os materiais depositados após o abandono da estrutura por coluvião. Relativamente ao solo moderno observa-se, em geral, um enriquecimento na maioria dos elementos determinados.

De um modo geral, os materiais de preenchimento correspondentes à fase de ocupação humana, caracterizada por um conjunto de pisos de circulação formados por material argiloso compactado, sobre o qual se depositam materiais mais carbonatados com nódulos de calcreto menos compactado, apresentam teores mais elevados nos óxidos de Na, Mg, Ca, Ti e nos elementos V, Co, Cu, Nb, Mo, Sn e Pb (Figura 5.8 e Figura 5.10, a). A amostra total dos materiais depositados por coluvião, após abandono da estrutura, apresenta teores mais elevados nos óxidos de Al, Si, P, S e nos elementos Mn, Ni, Zn, Br, Rb, Zr, I, Cs, REE, Th e U.

Os materiais recolhidos lateralmente em relação ao perfil central, pMC14 e pMC15, apresentam uma composição química ligeiramente mais empobrecida na maioria dos elementos, provavelmente devido ao efeito de diluição promovido pela proporção mais elevada em calcite.

Relativamente aos valores médios da crosta continental, os materiais de preenchimento encontram-se empobrecidos na maioria dos elementos determinados com exceção do Zn, Br e I, e do óxido de Ca.

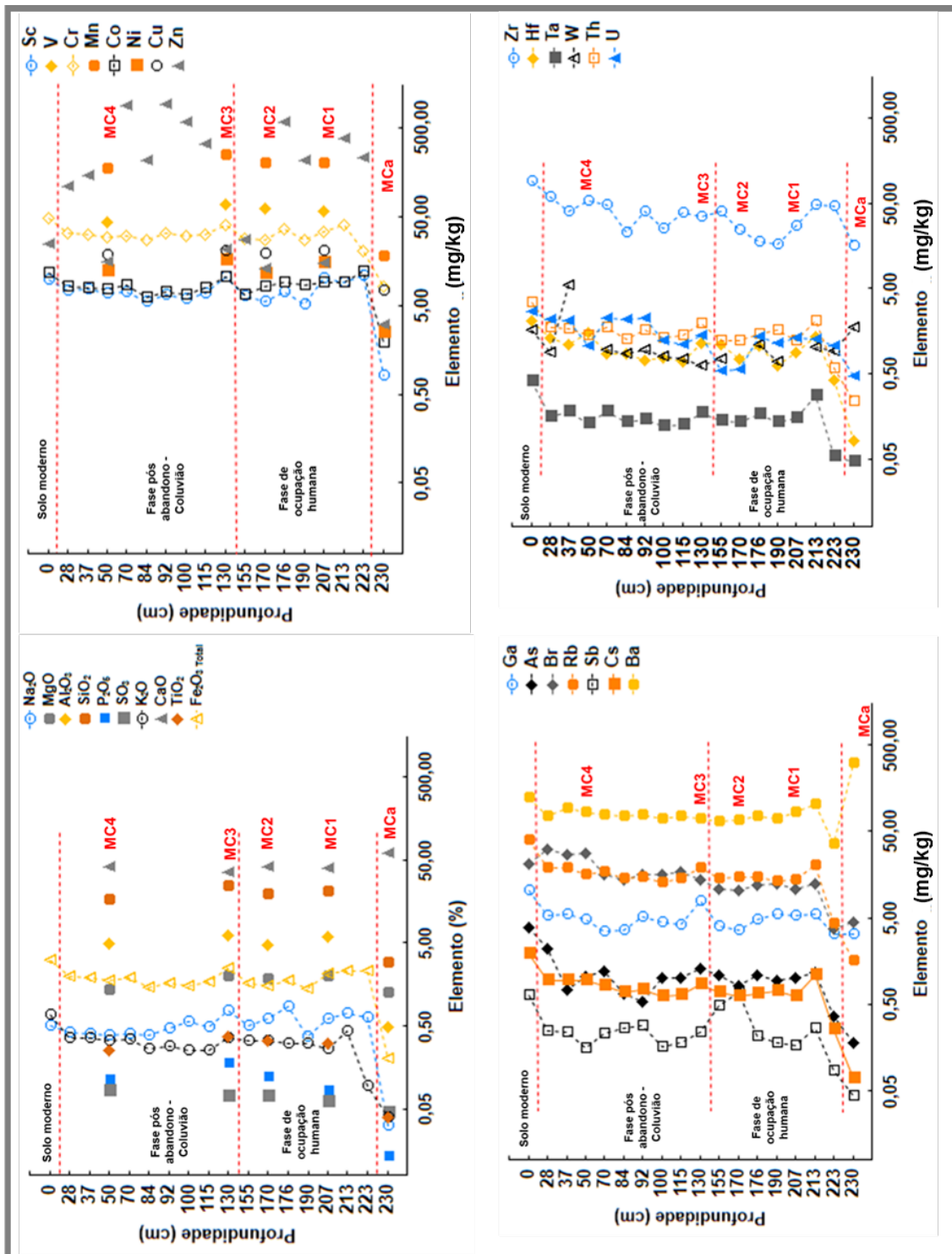


Figura 5.8 Variação do teor de elementos químicos com a profundidade, determinados por AAN e FRX, para os materiais de preenchimento da estrutura negativa e do calcreto (MCa, representada na base do perfil), amostrados no Monte Carrascal.

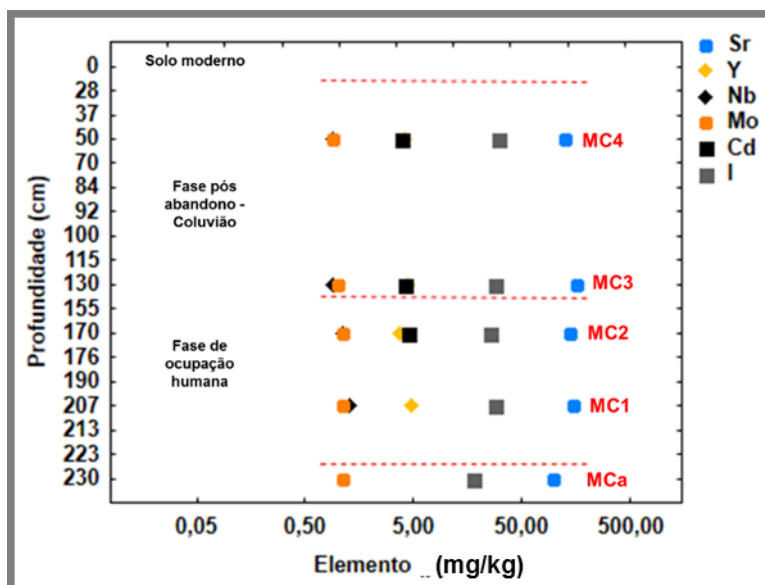


Figura 5.9 Composição química da amostra total (fração <2 mm) em elementos traço Sr, Y, Nb, Mo, Cd e I determinados por FRX nas amostras de preenchimento MC1 – MC4 e na amostra de calcreto MCa, recolhidas no Monte Carrascal.

Os materiais de preenchimento amostrados na fase correspondente ao período de ocupação humana, a 176 cm e 233 cm de profundidade, apresentam uma razão entre os óxidos de K e Na inferior a 0,4 (Figura 5.10), o que pode ser um indicador de empobrecimento em quartzo nestes materiais (Asiedu et al, 2000). Como verificado anteriormente, não se detetou a presença de quartzo na amostra recolhida a 233 cm de profundidade. Por outro lado, a amostra representativa do solo moderno, apresenta a maior proporção de quartzo e uma razão entre os óxidos de K e Na superior à unidade.

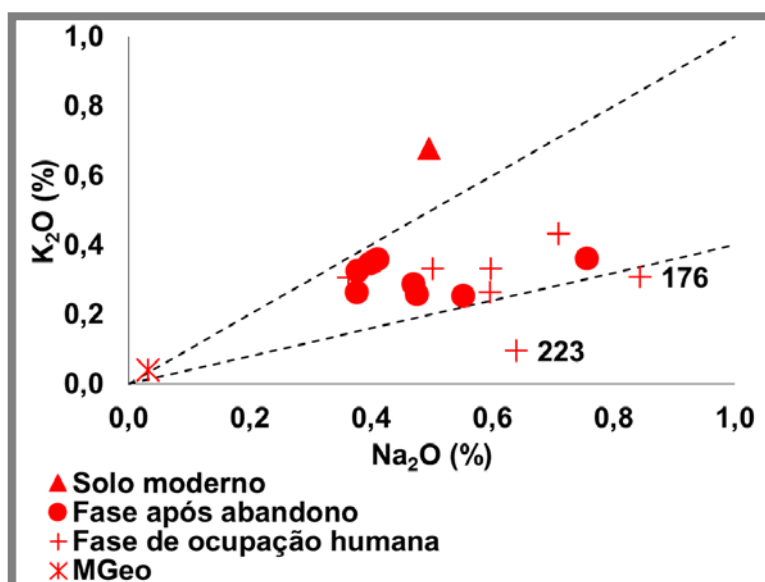


Figura 5.10 Variação dos teores em óxidos de Na e K determinados por AAN nos materiais de preenchimento da estrutura negativa e no calcreto, recolhidos no Monte Carrascal.

Os elementos Sc, Co e Cr apresentam um padrão de distribuição semelhante, com maiores oscilações nos materiais de preenchimento que correspondem à fase de ocupação humana e com fortes correlações positivas com o teor em óxido de Fe ($R^2 > 0,7$) (Figura 5.11, a). Contrariamente ao que se esperaria, dada a semelhança química entre os elementos da primeira série de transição, o Zn não apresenta o mesmo padrão de distribuição. A concentração deste elemento, apesar de tender a aumentar da base para o topo da sequência, apresenta maior variação. Não se observa uma correlação entre o teor em Zn e o teor nos restantes elementos da primeira série de transição, bem como com o teor em óxido de Fe (Figura 5.11, b). Observa-se uma correlação positiva com o teor em óxido de Fe, com um coeficiente R^2 de 0,9, considerando apenas as amostras com teores mais baixos em Zn (entre 13 mg/kg e 24 mg/kg) (Figura 5.11, c). Para o caso das amostras selecionadas para datação (MC1-MC4) há a realçar a boa correlação positiva do teor em Zn com o teor em Mn e em esmectite na fração argilosa das amostras, com R^2 de 0,7 e 0,5, respetivamente (Figura 5.11, d). Estas correlações são indicadores de que o Zn pode estar incorporado na esmectite e/ ou em nódulos óxidos de Mn resultantes dos processos de pedogénese nos calcretos (Krug, 1995; Chen et al, 2002 Marques, 2007; Prudêncio et al, 2011; Achyuthan et al, 2012). Estas amostras foram recolhidas em camadas com menos nódulos esbranquiçados, tendo em vista os estudos de luminescência, e portanto com menor teor em calcite, em geral, que as amostras de perfil recolhidas acima e/ou abaixo destas. Os elevados teores em Zn nas restantes amostras de preenchimento podem então ser explicados pela inclusão deste elemento nos nódulos de calcite aí encontrados, fato que apenas seria possível comprovar por determinação do Mn por FRX ou do MnO por AAN, análises que para os materiais recolhidos como amostra de perfil não foram efetuadas.

Os elementos Ni, Cu, V e Mn, determinados por FRX nos materiais de preenchimento selecionados para datação, apresentam um comportamento semelhante, com um ligeiro aumento entre as amostras MC1 e MC3 e uma diminuição dos teores na amostra MC4. Os elementos Ni, Cu e Mn apresentam, boas correlações positivas com o óxido de Fe ($R^2 > 0,6$). O V surge comumente em teores mais baixos nos materiais carbonatados (teores inferiores a 15 mg/kg em Salminen et al, 2005) e com correlações fortemente negativas com o teor em carbonatos (McQuen, 2006). Como foi verificado não se detetou a sua presença na amostra de calcreto MCa e a correlação deste elemento com o teor em carbonatos apresenta-se negativa ($R^2 = 0,72$). A presença de teores elevados de V em materiais de origem sedimentar está muito associada a presença de matéria orgânica, minerais argiloso, óxidos de Fe e/ou Mn e produtos de alteração de gabros (Salminen et al, 2005; Dill, 2010). Este elemento é também incompatível na maioria dos silicatos e pode surgir nos calcretos (Krug, 1995; Dill, 2010), muitas vezes associado ao U (Dill, 2010). Neste sentido aponta-se para que a presença de V na fração não carbonatada da amostra, tenha origem nos materiais provenientes da alteração dos gabros.

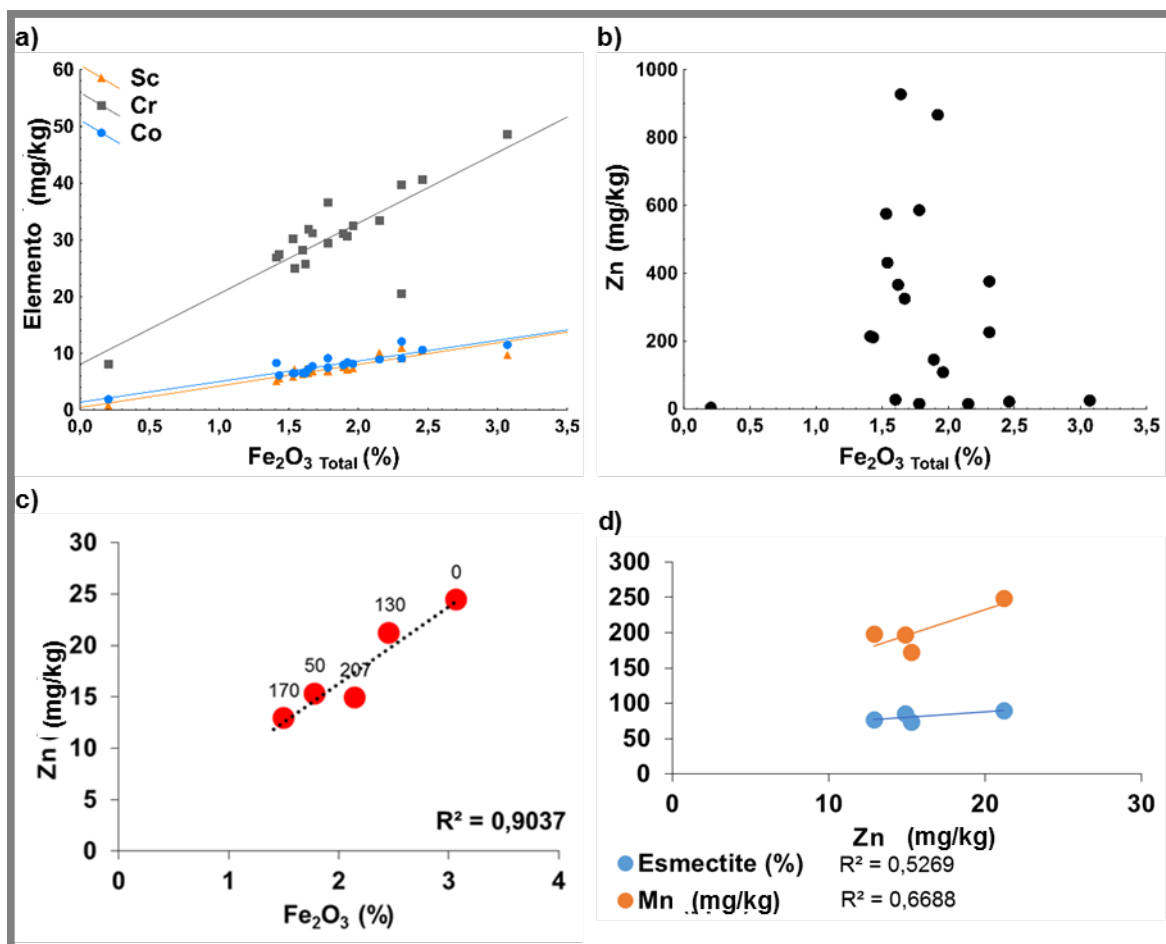


Figura 5.11 Variação dos teores em Sc, Cr e Co em função do teor em óxido de Fe (a) e do teor em Zn em função do óxido de Fe (b). Variação dos valores de Zn em função do teor em óxido de Fe para as materiais de preenchimento com menores teores em Zn (c, os rótulos de dados indicam a profundidade em cm à qual a mostra foi recolhida). Variação dos valores de Zn em função do teor em Mn na amostra total e de esmectite na fração argilosa das amostras de materiais e preenchimento selecionadas para datação (MC1 – MC4) (d). Valores determinados por AAN e FRX na amostra total dos materiais de preenchimento amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal.

Os materiais de preenchimento recolhidos na fase de preenchimento por coluvião, entre os 28 e os 50 cm de profundidade, apresentam um teor mais elevado em Br, enquanto os materiais correspondentes à fase de ocupação registam, menores teores neste elemento, podendo esta concentração na superfície dever-se à acumulação do elemento por precipitação das águas meteóricas e posterior fixação do Br na matéria orgânica. O teor em Br também pode justificar-se pela sua concentração por evaporação durante a precipitação de calcite, em condições de salinidade elevada. Nestas condições, o teor em Br tende a decrescer com a profundidade o que pode também justificar o aumento de Br, da base para o topo da sequência de preenchimento (Grevenitz e Chivas, 2005; Salminen et al, 2005).

O teor em Rb apresenta fortes correlações positivas ($R^2 > 0,9$) com o óxido de K, com o Cs, o Ta e o Th tal como foram também verificadas em calcretos Australianos (Grevenitz e Chivas, 2005). A forte correlação do Rb com o K é justificada pela possibilidade deste elemento substituir o K nos minerais argilosos e nos feldspatos.

Durante os processos de meteorização e de pedogénese, devido a trocas iónicas e a mecanismos de adsorção distintos, o teor em Rb tende a aumentar relativamente ao K, provavelmente devido à melhor fixação deste elemento nos filossilicatos. Assim, a razão entre o óxido de K e o Rb deverá ser menor nos materiais mais meteorizados e ou mais ricos em filossilicatos, o que de um modo geral ocorre nos materiais recolhidos no preenchimento após abandono da estrutura (menores razões e maior proporção de filossilicatos) (Figura 5.12, a).

Os materiais correspondentes ao solo moderno e aos níveis superiores do preenchimento durante a fase de ocupação humana (materiais recolhidos a 155 cm e 170 cm de profundidade, onde foram identificados pedaços de carvão) apresentam os valores mais elevados de Sb. Este elemento associa-se, por norma, a matéria orgânica, a oxí/hidróxidos de Fe e à fração argilosa e está muito associado à presença de metais pesados e à combustão de carvão de metais (Figura 5.12, b).

Realça-se ainda o fato de nos materiais recolhidos nos níveis da base do preenchimento durante a fase de ocupação humana (entre os 223 cm e os 207 cm de profundidade), níveis associados a pisos de circulação formados por materiais argilosos compactados com coloração mais acastanhada, o teor em óxido de Fe ser mais elevado (Figura 5.12, b).

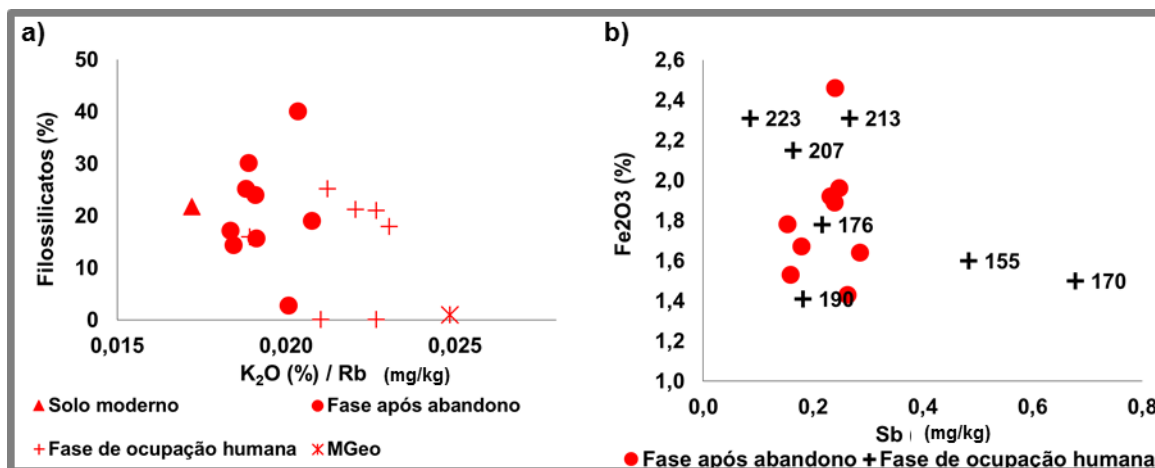


Figura 5.12 a) Variação da proporção de filossilicatos, determinados por DRX, em função da razão entre o óxido de K e o Rb determinados por AAN; b) variação do teor em óxido de Fe em função do teor em Sb, determinados por AAN, na amostra total (fração < 2 mm) dos materiais de preenchimento da estrutura negativa e do calcreto do Monte Carrascal.

Atendendo à similaridade do raio iónico do Sr^{2+} com o Ca^{2+} , o K^+ e o Ba^{2+} , o Sr pode substituir estes elementos na estrutura da calcite e dos feldspatos. A distribuição do Sr nos processos sedimentares é afetada pela forte adsorção nos minerais argilosos, pela extensiva substituição do Ca e do Ba nos carbonatos e quantidade de feldspatos detríticos onde pode ocorrer a substituição do K e do Ba (Salminen et al, 2005). Assim é esperada uma forte correlação positiva entre o teor em Sr e os teores em CaO, carbonatos e calcite (McQueen, 2006). Nos materiais de preenchimento selecionados para datação (amostras MC1 – MC4), quando estas correlações existem são negativas e com coeficientes R^2 próximos de 1. Contudo, observou-se uma correlação positiva ($R^2=1$) com o teor em CaO^* (estimativa do teor em CaO não associado aos carbonatos) o que aponta para que este elemento esteja presente nos materiais de preenchimento,

maioritariamente associado à fração não carbonatada proveniente dos produtos de meteorização dos gabros (ricos em filossilicatos e plagioclase) (Niu et al, 2002).

O teor em Pb (6 – 7 mg/kg) surge mais elevado a 207 cm de profundidade e com um valor mais baixo e constante nas restantes amostras. O teor em Pb em calcretos pode variar entre 5 e 65 mg/kg e este elemento raramente estabelece correlações com outros elementos (McQueen, 2006). O aumento do teor em Pb com a profundidade foi já observado em calcretos estudados em África e na Índia (Ghavami-Riabi e Theart, 2011; Achyuthan et al, 2012) e deve-se sobretudo ao aumento da calcite no mesmo sentido. Este elemento pode ser captado pela calcite, diminuindo a sua mobilidade e ficando incorporado na sua estrutura (Krug, 1995; Chada et al, 2005; Ghavami-Riabi e Theart, 2011). Neste conjunto de amostras observou-se uma correlação positiva entre o teor em Pb e em calcite ($R^2=0,8$)

5.1.3.2.1 Índices químicos

As amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, MC1 – MC4, apresentam valores de perdas por ignição ($29% < LOI < 33%$) semelhantes ao verificado na amostra de calcreto MCa ($LOI=34%$) indicando a presença de uma elevada proporção de carbonatos e/ou matéria orgânica.

No que respeita ao índice de alteração química ($17% < CIA < 20%$) verificaram-se valores mais elevados nos materiais de preenchimento do que na amostra de calcreto, o que seria de esperar visto os materiais de preenchimento apresentarem uma maior proporção de silicatos.

A razão de calcificação ($RC = MgO + CaO / Al_2O_3$) nos materiais de preenchimento ($7 < RC < 9$) é significativamente inferior ao verificado para o calcreto MCa ($RC=125$)

A razão de dolomitização ($RD = MgO / CaO$), nos materiais de preenchimento ($0,03 < RD < 0,06$) é ligeiramente superior ao verificado para o calcreto MCa ($RD=0,02$) o que reflete o teor em MgO mais elevado e o teor em CaO mais baixo nas amostras de materiais de preenchimento, onde a presença de dolomite não foi detetada.

A razão $Si_2O / CaCO_3$, indicador do estado de maturação dos materiais ricos em calcite, é cerca de 10 vezes maior nos materiais de preenchimento ($0,2 < Si_2O / CaCO_3 < 0,3$) que na amostra de calcreto (0,03), o que reflete o estado de maturação mais avançado do calcreto na amostra MCa (quase exclusivamente formada por carbonatos), relativamente aos materiais de preenchimento. Esta razão correlaciona-se negativamente como a razão de calcificação ($R^2=0,8$) nos materiais de preenchimento (Figura 5.13, a).

As razões SiO_2 / Al_2O_3 e CaO / MgO são bons indicadores do estado de meteorização intensa, precipitação e cimentação dos calcretos. A razão SiO_2 / Al_2O_3 oscila entre 3,4 e 4,1 enquanto a razão CaO / MgO oscila entre 18 e 30. Como seria de esperar ambas apresentam valores inferiores aos da amostra MCa (Figura 5.13,b), indicando que estes materiais de preenchimento sofreram menos alterações e, de acordo com o já citado, se encontram numa fase de menor maturação (no que respeita aos processos de formação dos calcretos). Verifica-se também a correlação negativa ($R^2=0,96$) entre a razão

CaO/MgO e a razão $\text{Si}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$, corroborando o maior estado de maturação e de meteorização intensa, precipitação e cimentação na amostra de calcreto MCa, relativamente aos materiais de preenchimento (Figura 5.13, c).

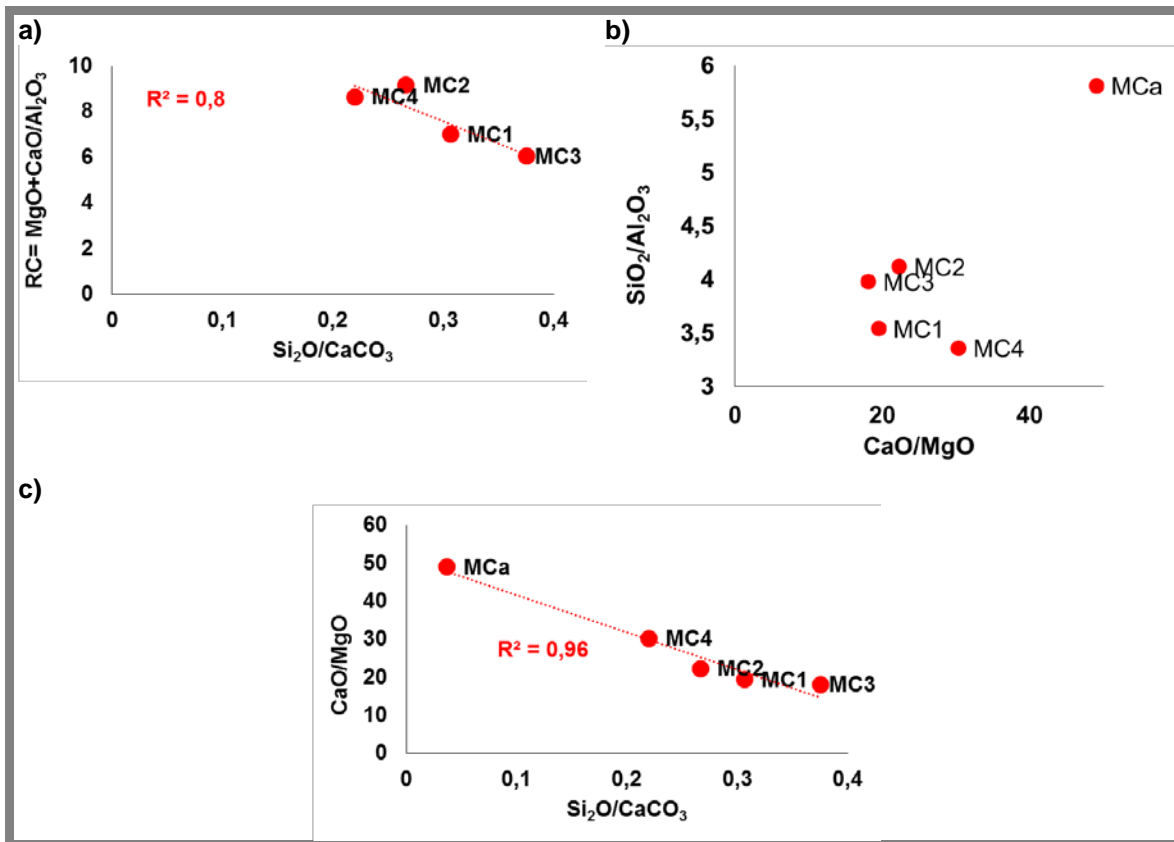


Figura 5.13 a) Variação da razão de calcificação em função da razão $\text{Si}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$ (teor em CaCO_3 determinado com base no LOI determinados por FRX) na amostra total dos materiais de preenchimento amostrados no fosso; b) variação das razões $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e CaO/MgO , determinadas a partir dos valores obtidos por FRX, para a amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura negativa e do calcreto MCa; c) variação da razão CaO/MgO em função da razão $\text{Si}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$, na amostra total dos materiais de preenchimento e na amostra de calcreto MCa, recolhidos no Monte Carrascal.

5.1.3.2.2 Comportamento dos elementos terras raras

Considerando a distribuição das REE ao longo do perfil pode observar-se que os materiais recolhidos no solo moderno apresentam os teores mais elevados da maioria das REE (Figura 5.14, a e b) e que no geral os materiais de preenchimento apresentam teores mais elevados em REE que a amostra de calcreto MCa.

O somatório das REE ($17 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 44 \text{ mg/kg}$) é mais elevado na amostra total do solo moderno e dos materiais de preenchimento do que na amostra de calcreto MCa recolhido no Monte Carrascal, assim como na amostra de caliche de Beringel estudado por Prudêncio et al (1994). O somatório das REE nas amostras recolhidas lateralmente encontra-se dentro da janela de valores determinados nos materiais recolhidos no perfil central. Relativamente aos valores médios da crosta continental superior verifica-se que os materiais de preenchimento apresentam somatórios de REE mais baixos. Na sequência de preenchimento nota-se, de um modo geral, o

enriquecimento em REE da base para o topo, sendo o preenchimento efetuado por coluvião após o abandono da estrutura, a fase onde se verifica o teor mais elevado em REE na amostra total dos materiais (Figura 5.14, b). O somatório dos REE nos materiais de preenchimento apresenta correlações fortemente positivas ($R^2 \geq 0,8$) com o teor em óxido de K e com os elementos Ga, Rb, Cs, Ta e Th.

A normalização dos teores em REE aos valores referência para os condritos permitiu verificar que em geral, os materiais depositados por coluvião encontram-se enriquecidos em REE leves (Figura 5.15, a). Como exceção verifica-se o comportamento da amostra recolhida na fase correspondente ao preenchimento durante a ocupação humana, a 213 cm de profundidade, cujo teor em REE leves e intermédias é mais elevado que nos restantes materiais da mesma fase. Observa-se também que a amostra recolhida no topo do preenchimento por coluvião, a 28 cm de profundidade apresenta o maior enriquecimento em REE intermédias (Figura 5.15, a).

A anomalia negativa de Eu encontrada nos materiais de preenchimento correspondentes à fase ocupação humana ($0,81 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,87$) tende a ser mais acentuada que nos materiais de preenchimento depositados por coluvião ($0,82 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,98$) e no solo moderno ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,96$). Verificam-se exceções para os materiais recolhidos na base da fase de ocupação humana, a 223 cm de profundidade, onde a anomalia de Eu é positiva ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,12$) e nos materiais recolhidos no topo do preenchimento por coluvião onde a anomalia negativa de Eu é mais acentuada ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,47$) (Figura 5.15, b). Na fase correspondente ao período de ocupação humana observa-se uma boa correlação positiva entre a anomalia de Eu e o índice de alteração mineralógico, sugerindo que o aumento da anomalia de Eu deverá estar relacionado com os processos de meteorização dos silicatos. Este facto pode ser confirmado pela correlação positiva ($R^2 = 0,6$) entre esta anomalia e o índice químico de alteração (CIA) calculado para as amostras seleccionadas para datação. Esta relação pode ser explicada pela retenção preferencial do Eu^{2+} (nos carbonatos do calcreto) após o colapso de minerais como os feldspatos, durante os processos de meteorização, como observado anteriormente em calcretos provenientes da Tunísia (Prudêncio et al, 2011). A retenção do Eu nos carbonatos decorreu em meio neutro, sendo mais evidente na amostra com anomalia positiva (amostra recolhida a 223 cm de profundidade) tal como ocorre no caliche de Beringel (Prudêncio et al, 1994).

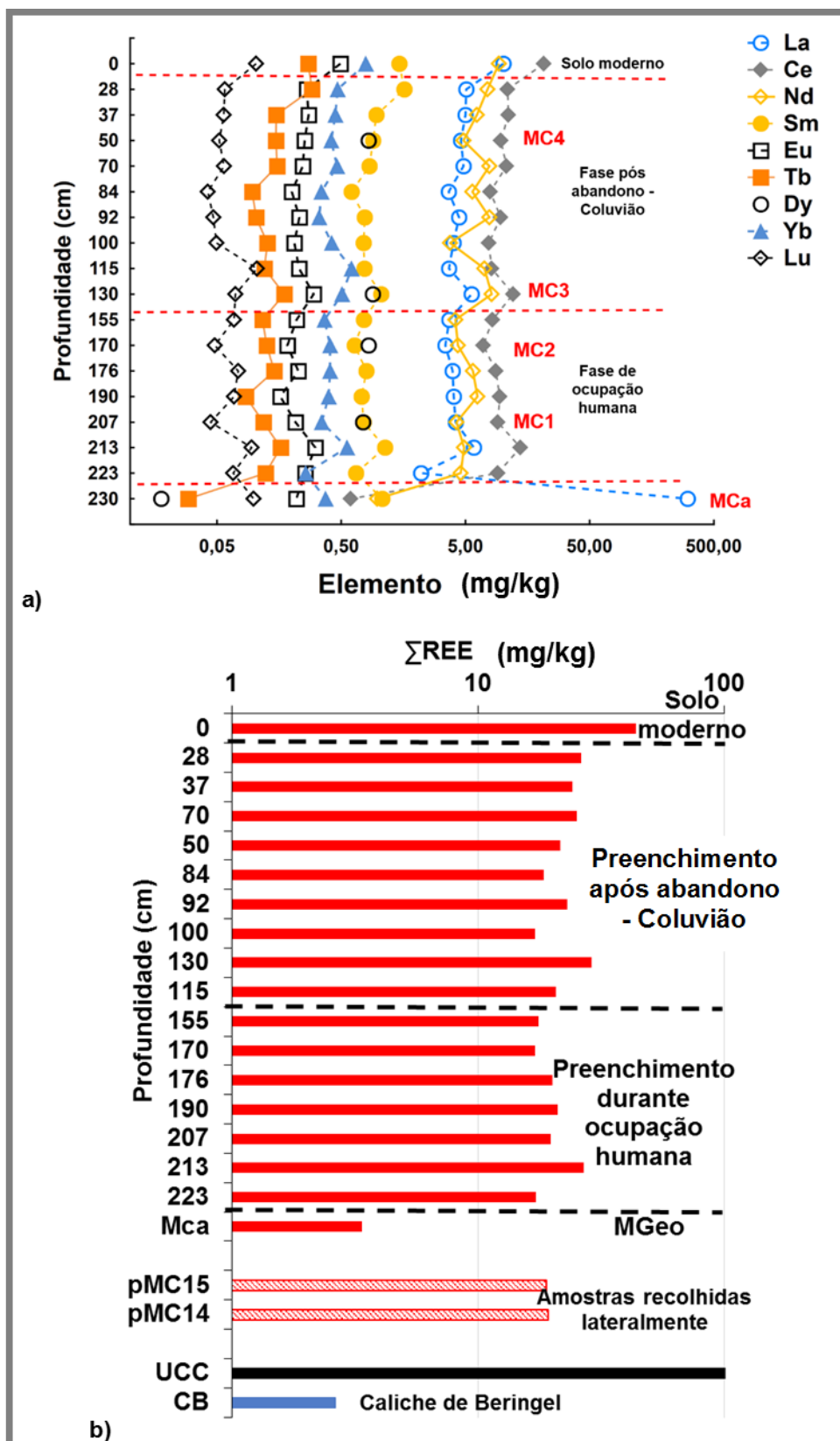


Figura 5.14 a) Variação do teor em REE com a profundidade, determinados por AAN, nos materiais de preenchimento da estrutura negativa do Monte Carrascal e na amostra de calcreto MCa; b) Variação do somatório de REE ao longo da sequência de preenchimento do fosso e comparação com o somatório de REE na amostra de calcreto MCa, nas amostras recolhidas lateralmente pMC14 e pMC15, no caliche de Beringel CB e nos valores médios da crosta continental superior UCC.

Relativamente ao Ce, verifica-se que o solo moderno não apresenta anomalia no teor deste elemento (Figura 5.15, c). Os materiais na fase de ocupação humana, a 155 cm e entre 207 e 223 cm de profundidade apresentam anomalia positiva de Ce ($1,01 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 1,57$), enquanto os restantes materiais apresentam anomalias negativas ($0,86 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,98$). Nos materiais correspondentes à fase após abandono regista-se uma tendência para o aumento da anomalia de Ce, da base para o topo da sequência, enquanto na fase correspondente à ocupação humana se observa uma tendência contrária, com a diminuição da base para o topo da sequência de preenchimento. Nos materiais de preenchimento correspondentes à fase de ocupação regista-se também uma correlação positiva entre o teor em óxido de Fe, os elementos Sc, Co e Zr e a anomalia de Ce ($0,5 < R^2 < 0,7$) podendo este fato apontar para a fixação do Ce (IV) nos óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, tal como observado noutros trabalhos (Salminen et al, 2005; Seto e Akagi, 2008; Laveuf e Cornu, 2009).

Relativamente à amostra de calcreto MCa, os materiais de preenchimento apresentam anomalias de Ce e Eu menos acentuadas. Em relação aos valores médios da crosta continental, os materiais de preenchimento apresentam, no geral, anomalias de Eu menos acentuadas e de Ce da mesma magnitude.

No que respeita aos fracionamentos de REE, nos materiais recolhidos na fase de ocupação humana ($2,1 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3,4$ e $5,9 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 7,3$) os fracionamentos são em geral da mesma magnitude que nos materiais recolhidos na fase de preenchimento por coluvião ($2,0 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3,8$ e $4,2 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 9,2$), sendo estes fracionamentos menores que os verificados no solo moderno e nos valores médios da crosta continental superior, e maiores do que o verificado na amostra de calcreto MCa e no caliche de Beringel CB. De um modo geral, os materiais acumulados após o abandono da estrutura apresentam um fracionamento de REE ligeiramente maior, o que aponta para um enriquecimento em REE leves nos materiais de preenchimento mais ricos em filossilicatos e óxidos de Fe, tal como se observou em calcretos provenientes da Tunísia (Prudêncio et al, 2011).

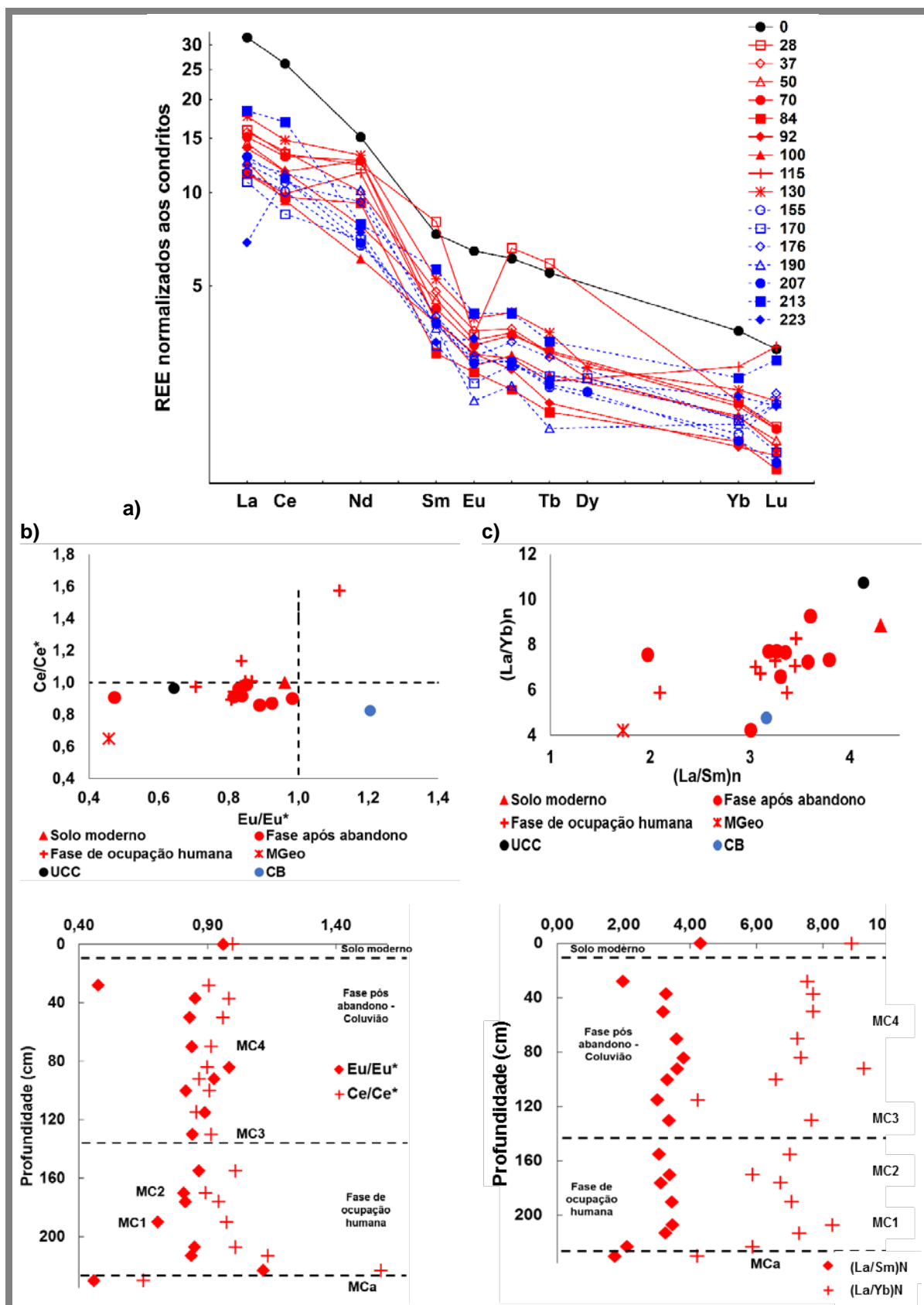


Figura 5.15 a) Padrão de distribuição de REE, normalizado aos condritos, na amostra total dos materiais de preenchimento, recolhidos na estrutura negativa do Monte Carrascal (na legenda está indicada a profundidade à qual cada material foi recolhido); b) Fracionamento entre REE leves e pesadas e leves e intermédias; c) Anomalias de Ce e Eu nos materiais de preenchimento amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal.

5.1.3.3 Materiais de preenchimento – fração argilosa

Para as amostras selecionadas para datação, MC1 – MC4, determinou-se a composição química para a fração argilosa carbonatada e descarbonatada, por AAN (Anexo III e Figura 5.16). O óxido de Na surge em teores muito baixos na fração argilosa pela sua elevada mobilidade em solução aquosa, sendo este elemento perdido durante os processos de separação e descarbonatação por via húmida.

Verifica-se, em geral, uma composição química semelhante da fração argilosa carbonatada das amostras destacando-se o teor mais elevado em Br e REE na amostra do topo MC4 e o teor mais baixo em REE na amostra da base MC1 (Figura 5.16, a).

Após descarbonatação, a fração argilosa das amostras revela também uma composição química idêntica, existindo umas pequenas diferenças na amostra MC4 e MC3, recolhidas na fase de preenchimento por coluvião. Verifica-se um teor mais elevado em Mn, Co, As, Br, Rb, Cs, Hf, Ta e W na fração argilosa descarbonatada da amostra do topo MC4 (75% de esmectite e 25 % de minerais de caulino). A fração argilosa descarbonatada da amostra MC3, constituída por cerca de 90% de esmectite e 10% de minerais de caulino, apresenta os teores mais baixos em REE leves (Figura 5.16, b).

Comparando a composição química da fração argilosa carbonatada com a da fração argilosa descarbonatada verifica-se que, de um modo geral, a fração argilosa descarbonatada está enriquecida na maioria dos elementos determinados, com exceção dos óxidos de Na, nas amostras MC1, MC2 e MC3, e do U, na amostra MC1, estando estes elementos empobrecidos na fração argilosa descarbonatada. A amostra da base MCa apresenta o maior enriquecimento em REE na fração argilosa descarbonatada, enquanto a amostra MC3 apresenta o menor enriquecimento em REE nesta fração, nomeadamente em REE leves e intermédias. A fração argilosa descarbonatada da amostra do topo MC4 apresenta o maior enriquecimento em óxidos de K e Fe, elementos da primeira série de transição, Ga, As, Br, Rb, Sb, Cs e Ta.

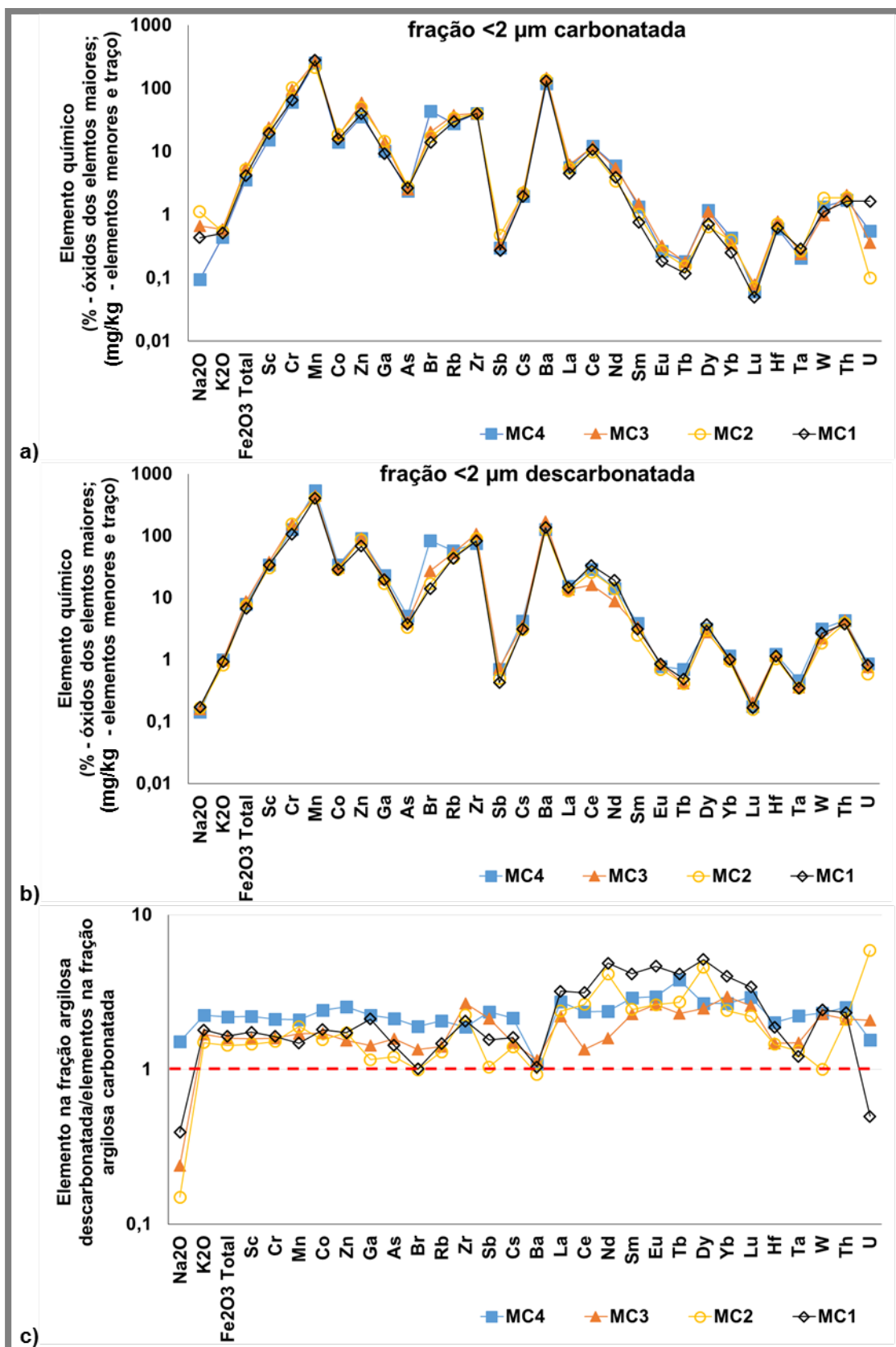


Figura 5.16 Composição química da fração argilosa carbonatada (a) e decarbonatada (b) e relação entre a composição química da fração argilosa carbonatada e decarbonatada (c) dos materiais de preenchimento do fosso do Monte Carrascal, MC1 – MC4, determinada por AAN.

Considerando a relação entre a fração argilosa carbonatada da amostra de calcreto MCa e a fração argilosa carbonatada das amostras de materiais de preenchimento MC1 – MC4, verifica-se que a fração argilosa carbonatada de todos os materiais de preenchimento está empobrecida em Cr, Zn, Zr, REE intermédias exceto Eu e Hf e enriquecida em Mn, Co, As, Br e Cs e Ce (Figura 5.17, a). O enriquecimento em Br, na fração argilosa carbonatada das amostras aumenta da base para o topo da sequência de preenchimento. A fração argilosa carbonatada da amostra MC4 está também empobrecida em óxidos de K e Fe e nos elementos Sc e Ga. O empobrecimento da fração argilosa da amostra MC4 nos elementos da primeira série de transição e em Fe pode explicar-se pelo menor teor em esmectite nesta amostra, sendo este elementos preferencialmente associados a este mineral argiloso (Marques, 2007). Relativamente à fração argilosa carbonatada da amostra de calcreto, a fração argilosa carbonatada da amostra MC3 é a mais enriquecida em Fe, Sc e Eu, a fração argilosa carbonatada da amostra MC2 é a única enriquecida em Sb e W e a fração argilosa carbonatada da amostra da base MC1 é a mais empobrecida em REE e a mais enriquecida em Mn.

Comparando a composição química da fração argilosa relativamente à da amostra total verifica-se que a fração argilosa encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados, sendo este comportamento mais evidente quando se trata da fração argilosa descarbonatada (Figura 5.17, b e c). O empobrecimento em óxido de Na nas amostras deve-se à perda deste elemento no processo de separação e/ou descarbonatação da fração, como referido anteriormente. Particularizando para cada uma das amostras estudadas, verifica-se que a fração argilosa da amostra MC1, se encontra empobrecida em Nd, Eu, Dy, Yb e Hf na fração carbonatada e em U na fração descarbonatada, o que pode indicar que a presença do U na fração argilosa desta amostra é explicada pela sua associação aos carbonatos de granulometria inferior a 2 μm . A fração argilosa da amostra MC2 encontra-se empobrecida em Sb, Nd, Dy, Hf e U, quando carbonatada, e apenas em Sb quando descarbonatada. Na fração argilosa desta amostra verifica-se que após a descarbonatação há um ligeiro empobrecimento em Br, Ba e W. Considerando a fração argilosa da amostra MC3 verifica-se que esta se encontra empobrecida em Nd, Tb, Hf e U quando carbonatada e apenas em Hf e U quando descarbonatada. A fração argilosa carbonatada da amostra MC4 encontra-se empobrecida em Zr, Hf e U enquanto a fração descarbonatada apenas se encontra empobrecida em Hf e U. Neste sentido, pode dizer-se que, os elementos Sb, algumas REE, Zr, Hf, assim como o U, se encontram maioritariamente na fração mais grosseira das amostras de materiais de preenchimento.

É também de notar o comportamento dos elementos Mn e Ba. O Mn parece estar mais concentrado na fração grosseira das amostras, nomeadamente associado aos nódulos de óxidos de Mn resultantes do processo de pedogénese nos calcretos (Krug, 1995; Chen et al, 2002; Marques, 2007; Prudêncio et al, 2011; Achyuthan et al, 2012). O Ba parece estar concentrado na fração argilosa das amostras, quando estas se encontram carbonatadas, ou seja na fração fina (<2 μm) da calcite. Sendo o Ba^{2+} um catião com capacidade para substituir o Ca^{2+} na calcite, a sua ausência da fração argilosa descarbonatada dever-se-á à ausência deste mineral e não a perdas durante o processo de descarbonatação.

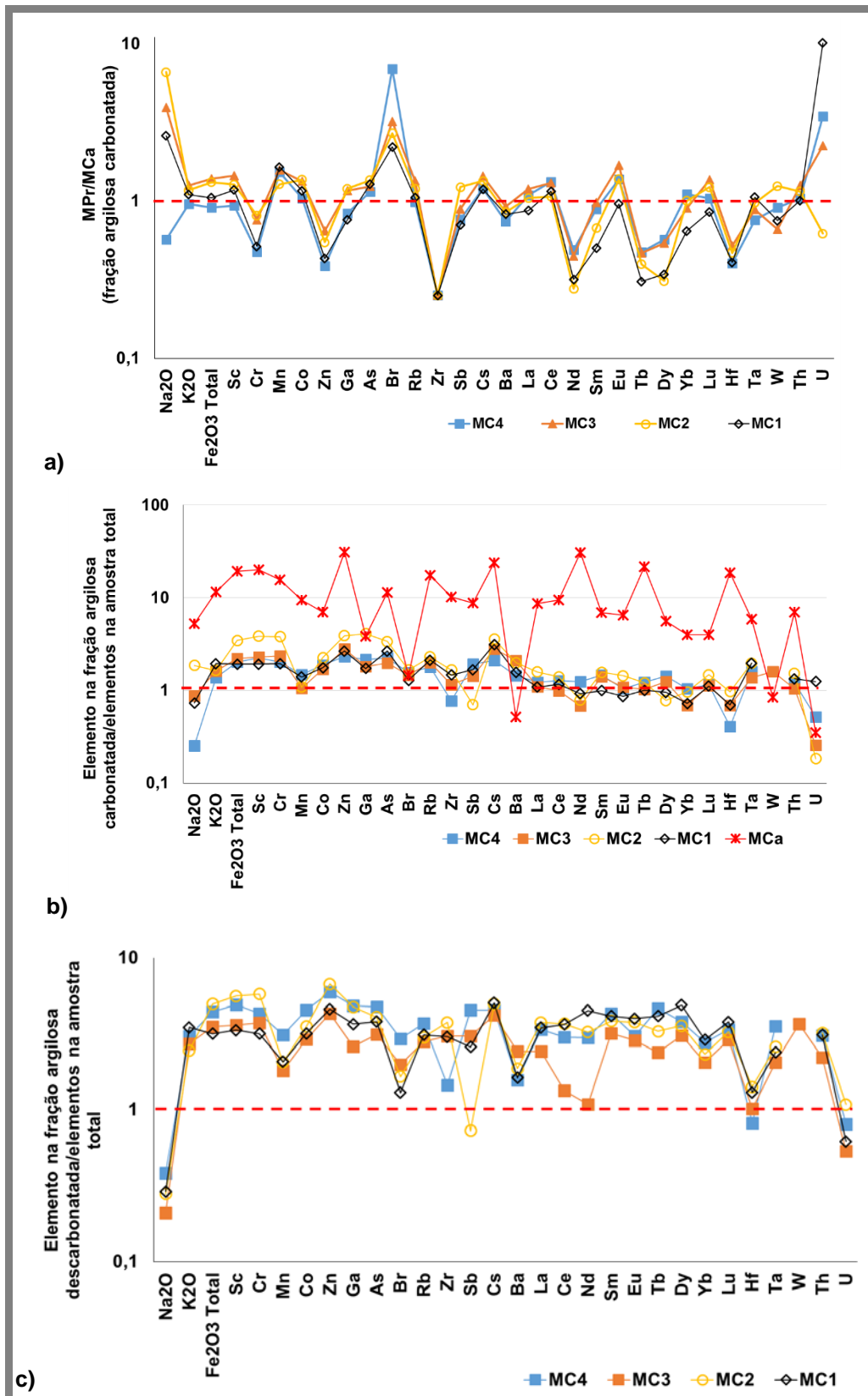


Figura 5.17 a) Relação entre a composição química da fração argilosa carbonatada das amostras de materiais de preenchimento MPr e da fração argilosa carbonatada da amostra de calcreto MCa; b) relação entre a composição química da fração argilosa carbonatada e a amostra total dos materiais de preenchimento; c) relação entre a composição química da fração argilosa descarbonatada e a amostra total dos materiais de preenchimento MC1 - MC4, recolhidos no fosso do Monte Carrascal.

5.1.3.3.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório de REE na fração argilosa é bastante superior ao verificado na amostra total, nomeadamente na fração argilosa descarbonatada ($47 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 76 \text{ mg/kg}$), uma vez que na fração argilosa carbonatada o teor em REE varia entre $21 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 27 \text{ mg/kg}$, para todas as amostras de materiais de preenchimento (Figura 5.18, a e b).

No que respeita à fração argilosa carbonatada é notório o enriquecimento em REE dos materiais recolhidos na fase após abandono (MC3 e MC4), nomeadamente nas intermédias, relativamente aos materiais correspondentes à fase de ocupação (Figura 5.18, b).

Relativamente à anomalia de Eu na fração argilosa verifica-se que existem anomalias negativas em todas as amostras estudadas, sendo mais acentuada na fração argilosa de calcreto MCa (Figura 5.18, c).

A anomalia de Ce ($0,90 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 1,12$ na fração argilosa carbonatada e $0,60 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,10$ na fração argilosa descarbonatada) é, no geral, mais acentuada na fração descarbonatada (Figura 5.18, c). Para a amostra MC1, verifica-se que a anomalia positiva de Ce que se detetou na amostra total, se mantém na fração argilosa, quer carbonatada quer descarbonatada. Neste sentido, poderá dizer-se que o Ce (IV) tende a fixar-se na fração argilosa da amostra, em especial na componente não carbonatada que nesta amostra é formada por esmectite (e uma menor proporção de minerais de caulino).

Quanto ao fracionamento entre REE, em especial o fracionamento entre REE leves e pesadas, é maior na fração argilosa do que na amostra total dos materiais de preenchimento (Figura 5.18, d). Relativamente à fração argilosa da amostra de calcreto, a fração argilosa das amostras de preenchimento assumem fracionamentos maiores. O fracionamento entre REE leves e intermédias e entre leves e pesadas é ligeiramente maior na fração argilosa carbonatada ($2,6 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3,7$ e $9,0 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 12,4$) que na fração argilosa descarbonatada ($2,5 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3,3$ e $9,0 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 9,9$).

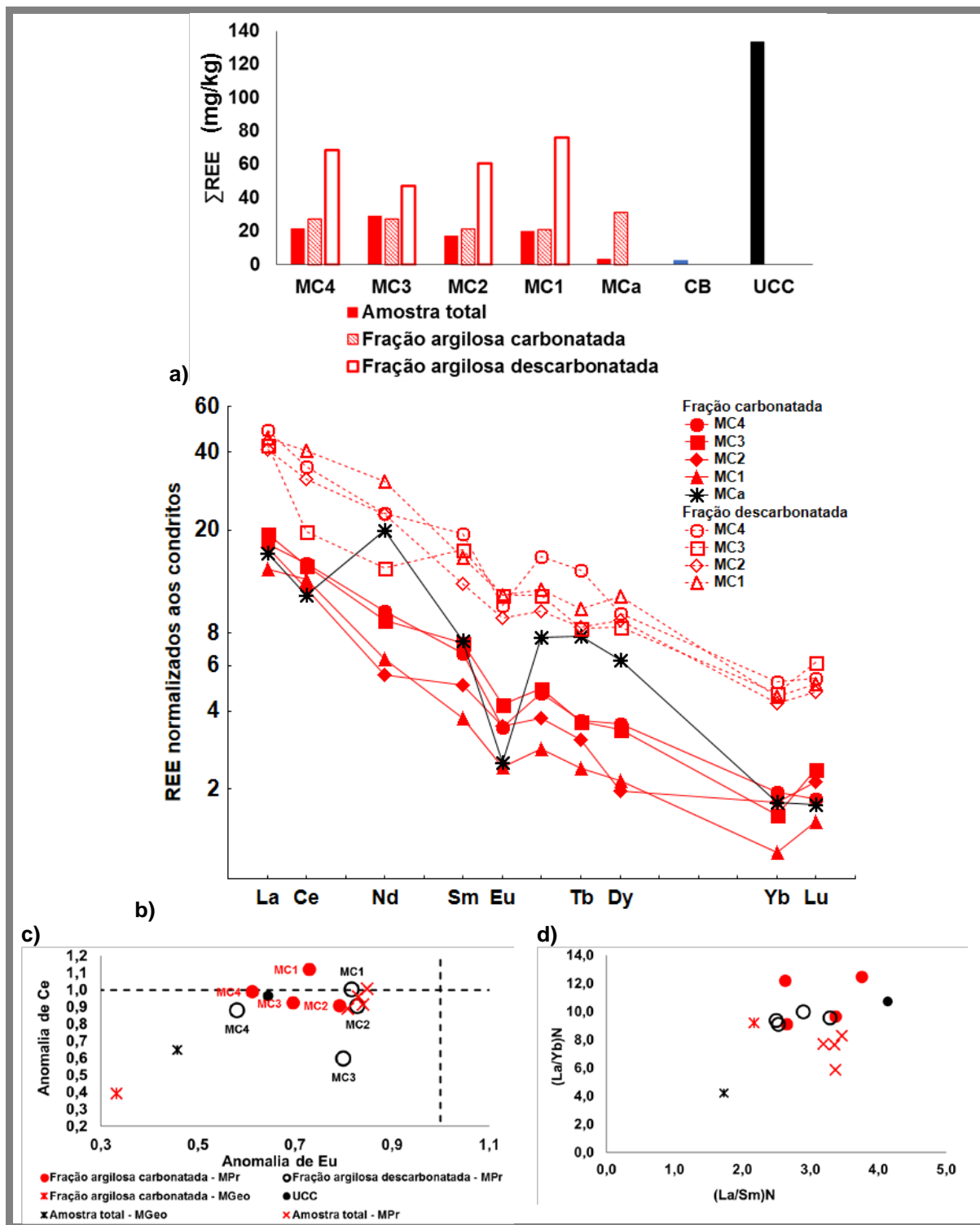


Figura 5.18. a) Somatório do teor em REE na amostra total e frações argilosas carbonatada e decarbonatada dos materiais de preenchimento MC1 – MC4 e amostra de calcreto MCa, na amostra total do caliche de Beringel Cb, e nos valores médios da crosta continental superior UCC; b) padrão de distribuição de REE, normalizado aos condritos, na fração argilosa carbonatada e decarbonatada das amostras de materiais de preenchimento selecionados para datação recolhidos na estrutura negativa e nos materiais representativos da geologia local, no Monte Carrascal; c) Valores das anomalias de Ce e Eu; d) fracionamento entre REE leves e pesadas e leves e intermédias na fração argilosa dos materiais de preenchimento selecionados para datação, amostrados na estrutura negativa do Monte Carrascal.

5.1.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento

5.1.4.1 Estudos em perfil

As frações de poliminerais, fina e grosseira, bem como a fração enriquecida em quartzo (PMF, PMG e EQZG) foram sujeitas ao protocolo de medida de testes iniciais, a partir do qual se obteve o comportamento dos sinais de luminescência ao longo do perfil, a sensibilidade de cada tipo de sinal à dose irradiada e a estimativa da dose absorvida aparente.

Considerando as diferentes frações mineralógicas é de notar que a sensibilidade ao IRSL é sempre inferior à sensibilidade ao OSL, que por sua vez é menor que a sensibilidade do pico 110°C do TSL, sendo estas diferenças mais evidentes na fração enriquecida em quartzo (EQZG) e menos marcadas na fração de PMG (Figura 5.19). É na fração de poliminerais grosseiros que se nota uma maior variação da sensibilidade dos sinais de IRSL, OSL e do pico 110°C do TSL (Figura 5.19, b). No que respeita à razão entre os sinais de IRSL e OSL é de notar que são no geral muito baixas e que as exceções verificam-se para algumas alíquotas de poliminerais finos (PMF), o que indica a presença de uma maior proporção de quartzo face a outros silicatos nas frações analisadas (Figura 5.21). Algumas amostras, inclusive a da base (mais semelhante ao substrato), mostraram valores muito pequenos em todos os sinais. Contudo, estas variações parecem relacionar-se com a quantidade de material depositado nos discos e portanto com a quantidade de silicatos disponíveis nas amostras. Para a fração de PMF (Figura 5.19, a) verifica-se que da base ao topo da sequência correspondente à fase de ocupação (dos 223 cm aos 155 cm de profundidade), existe um aumento da sensibilidade do pico 110°C do TSL e uma diminuição da sensibilidade ao IRSL, indicativo de um enriquecimento relativo em quartzo. Da base ao topo da sequência correspondente à fase pós-abandono (dos 115 cm até à superfície), verifica-se o aumento da sensibilidade de todos os sinais, indicativo de maiores quantidades de material nos discos.

No que respeita ao comportamento da sensibilidade dos grãos de QZG verifica-se que a sensibilidade de todos os sinais diminui da base para o topo da sequência correspondente à fase ocupação e que, apesar de variabilidade significativa na fase de preenchimento após abandono, em média o sinal de IRSL é sempre menor (2 ordens de grandeza) que o sinal de OSL.

Considerando a sensibilização dos sinais estudados após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy (Figura 5.20), esta assume no geral valores mais baixos para os PMF (razão sempre inferior a 5). Relativamente aos grãos grosseiros, a sensibilização é mais elevada no sinal TSL do pico 110 °C (razão entre 2 e 8 para os grãos de QZG e entre 0,6 e 8 para os grãos de PMG) e mais reduzida para a resposta IRSL (razão inferior a 3). A sensibilização dos sinais OSL varia entre 2 e 6 para os grãos de QZG e entre 0,1 e 4 para os grãos de PMG.

A baixa resposta à estimulação com infravermelho relativamente à resposta à estimulação com luz azul, permite considerar que o material em estudo apresenta boas condições para ser usado nos estudos de datação por luminescência, utilizando o protocolo SAR-OSL.

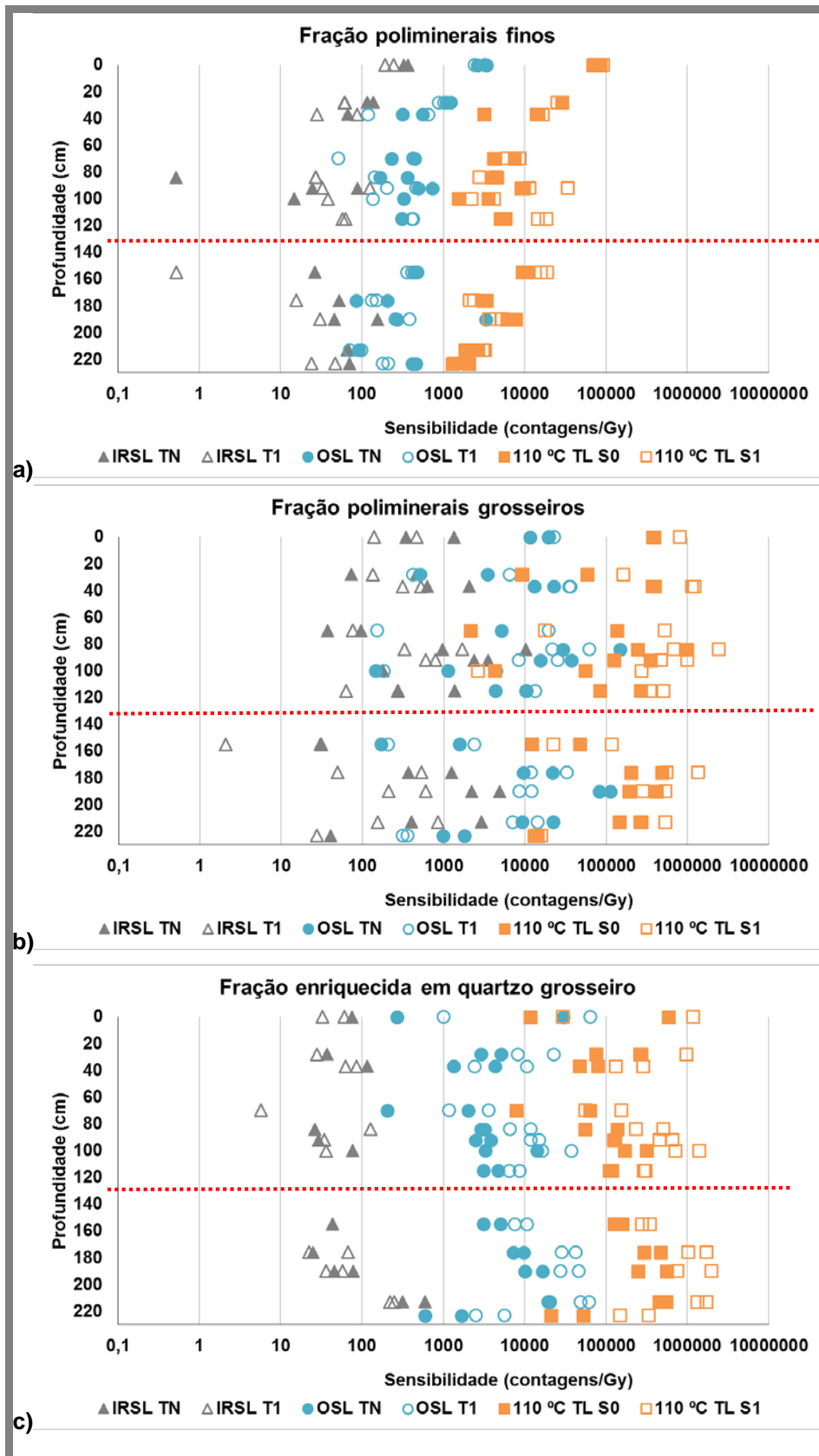


Figura 5.19 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração fina e grosseira de poliminerais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil no Monte Carrascal. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.

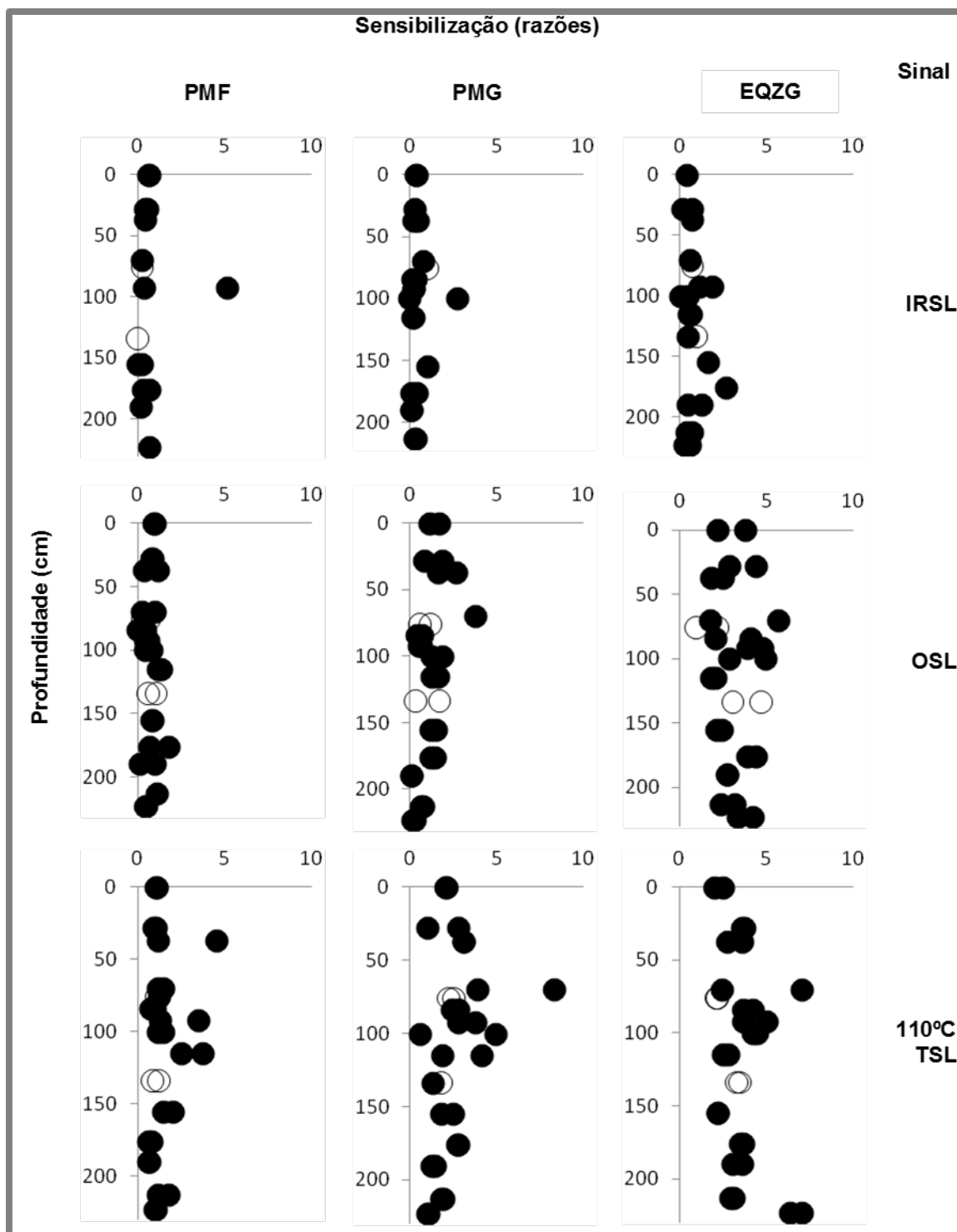


Figura 5.20 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil pMC14 e pMC15 recolhidas lateralmente em relação ao perfil central e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.

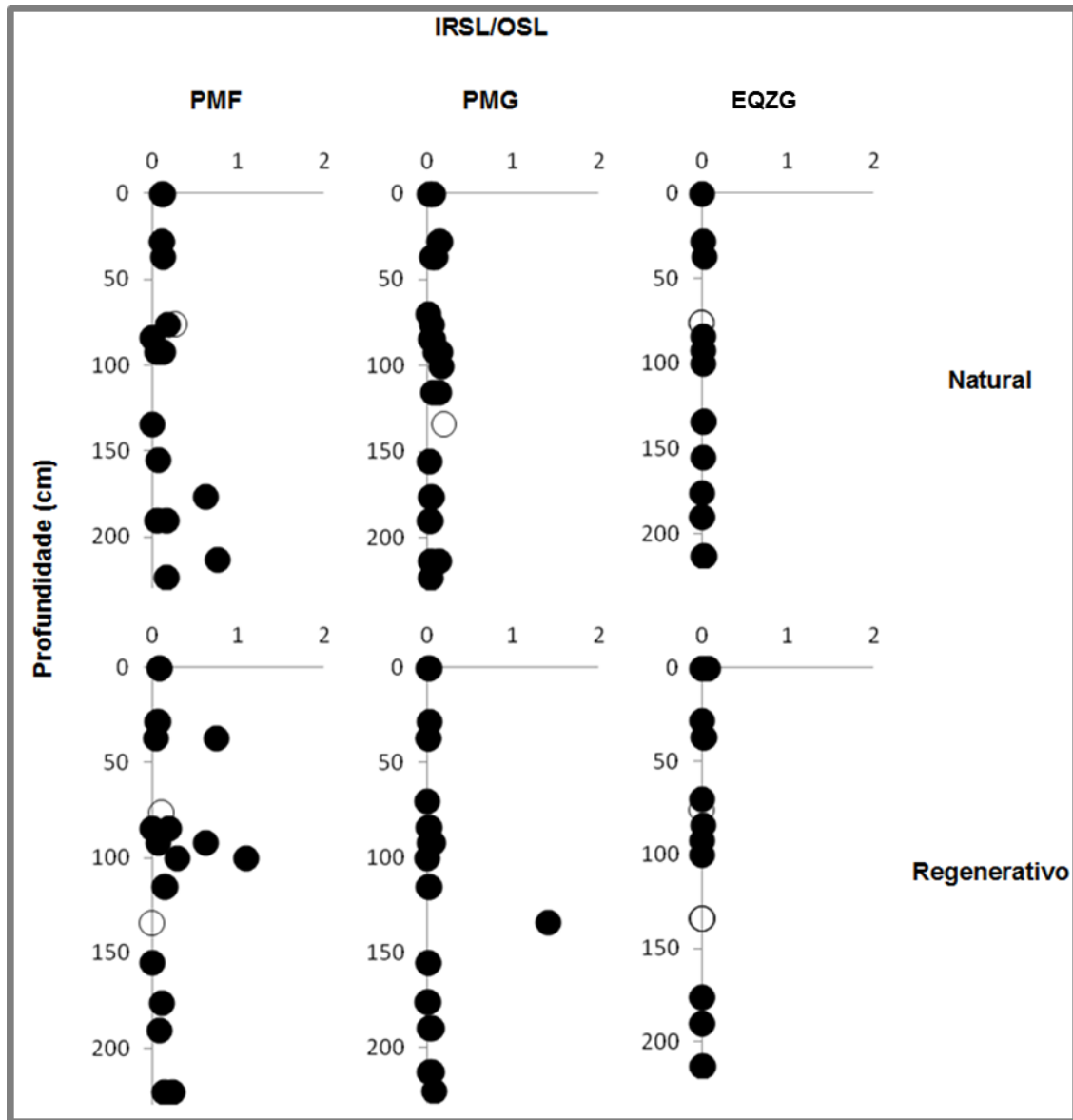


Figura 5.21 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidas em perfil no Monte Carrascal. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil pMC14 e pMC15 recolhidas lateralmente em relação ao perfil central e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.

Observando a variação da dose absorvida aparente com a profundidade estimada com base no comportamento dos grãos PMF, PMG e QCG (Figura 5.22) pode referir-se que da base da sequência de preenchimento para o topo há uma diminuição gradual da dose absorvida aparente, apresentando os materiais da base do fosso maior contribuição de sinais residuais do geológico (valores muito elevados de dose absorvida aparente que correspondem a grãos para os quais o sinal medido não foi levado a zero durante evento de interesse). A diminuição da dose absorvida da base para o topo da sequência indica, de um modo geral, o preenchimento gradual da estrutura, sendo mais evidente nos materiais de preenchimento correspondentes à fase de ocupação humana. Este preenchimento parece ter ocorrido lentamente, dando hipóteses para que a luz solar removesse os sinais geológicos. Os materiais depositados após o abandono, apresentam menor variação de dose absorvida aparente, podendo indicar uma situação de preenchimento rápido, por colapso. Este comportamento é mais evidente nas frações de grãos PMF e QZG, como resposta ao OSL e ao TSL a temperatura elevada. Nos níveis em que sinais residuais são inferiores, os grãos de PMF apresentam valores residuais maiores que as outras frações mineralógicas analisadas, possivelmente devido a uma maior proteção dos grãos finos (4-11 μm) dos efeitos da luz (fatores que levam à eliminação do sinal residual do geológico. Para esta fração mineralógica foi detetada uma correlação positiva entre dose absorvida aparente e os teores em calcite na amostra total, com coeficientes R^2 entre 0,4 e 0,6 (Figura 5.23).

Com base nas taxas de dose aparente obtidas para os grãos de PMF e os grãos de EQZG, como resposta ao OSL e TSL a temperatura elevada, e da composição mineralógica, nomeadamente o teor em calcite na amostra total dos materiais de preenchimento, é possível identificar quatro fases de preenchimento da estrutura (separadas pelas linhas vermelhas e cinzentas na Figura 5.24 e Figura 5.25). As duas fases identificadas no preenchimento correspondente ao período de ocupação humana (da base até aos 213 cm de profundidade e dos 190 cm aos 155 cm de profundidade) apresentam um decréscimo evidente da dose absorvida aparente, da base para o topo, acompanhado pela diminuição do teor em calcite. As duas fases identificadas no preenchimento após abandono caracterizam-se por teores em calcite relativamente constantes e mais elevados entre os 115 cm e os 84 cm de profundidade que acompanham um ligeiro aumento da dose absorvida aparente; ligeira diminuição do teor em calcite entre os 70 cm de profundidade e o solo moderno à superfície e diminuição da dose absorvida aparente acumulada nos PMF e da dose absorvida aparente determinada por TSL a temperatura elevada na fração EQZG. A dose absorvida aparente determinada por OSL nos grãos EQZG tende a aumentar entre os 70 cm de profundidade e a superfície (Figura 5.25).

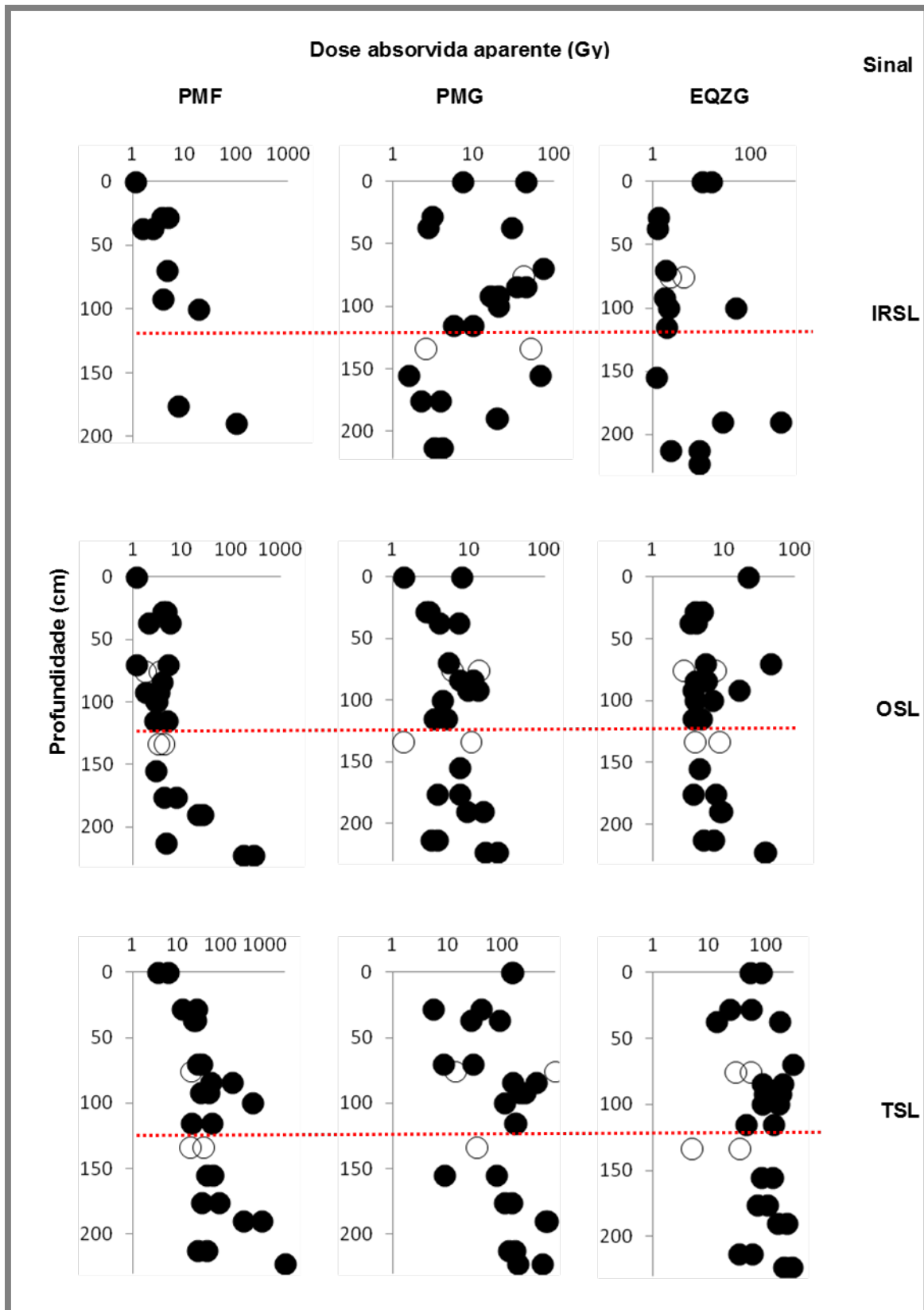


Figura 5.22 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil no Monte Carrascal. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil p14 e p15, recolhidas lateralmente em relação ao perfil central.

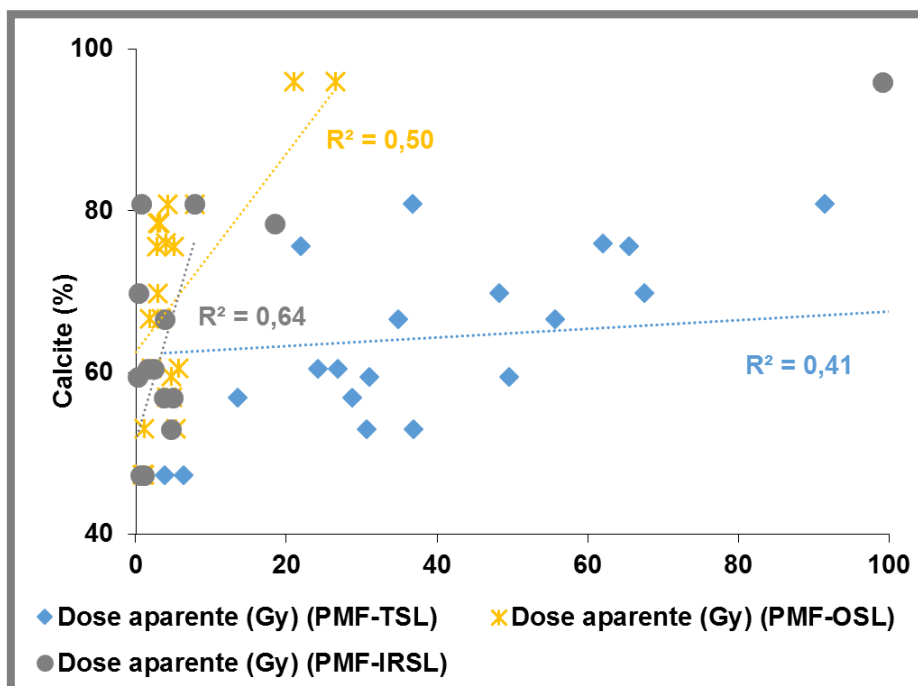


Figura 5.23 Variação do teor em calcite na amostra total em função das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos finos de poliminerais dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais.

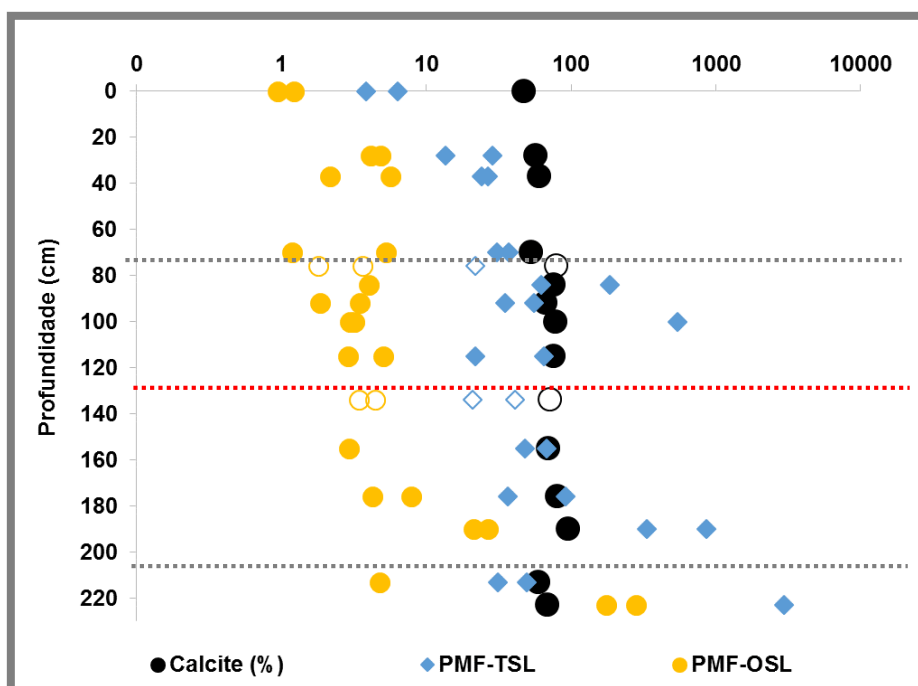


Figura 5.24 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos finos de poliminerais dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade.

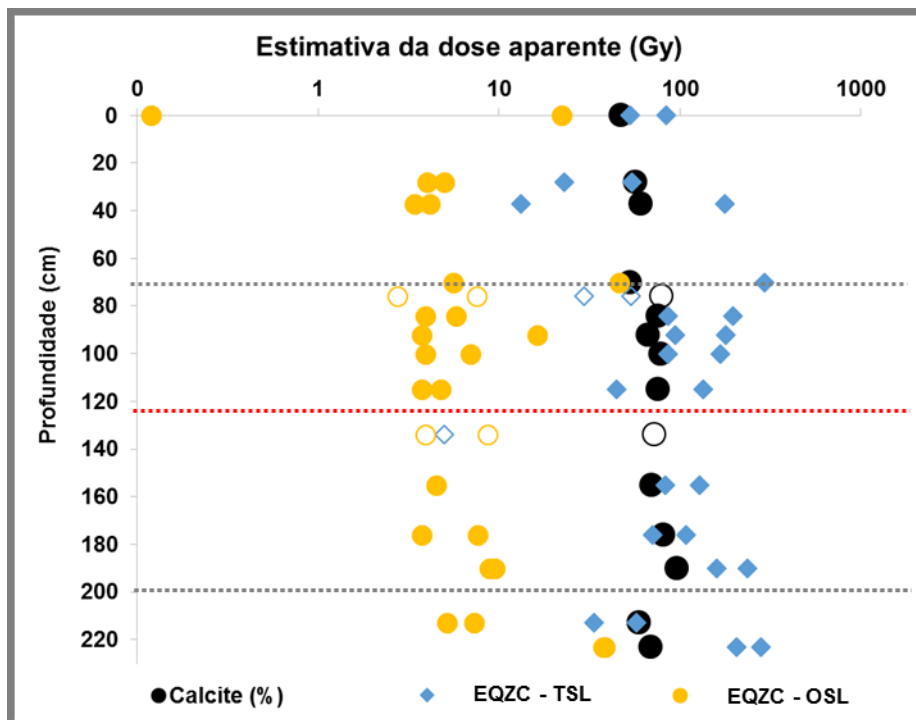


Figura 5.25 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos grosseiros de quartzo dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no Monte Carrascal, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade.

5.1.4.2 Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraído das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datar (MC1-MC4), foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração de quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de QZG ao OSL é elevada ($1207 - 1581 \times 10^3$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) e apresenta correlações positivas ($R^2=0,6$) com o teor em CaO e Sb na amostra total dos materiais de preenchimento. Por outro lado, as correlações estabelecidas com os teores em óxidos de Al e Fe, bem como com os teores nos elementos da primeira série de transição, Ga, As, Y, REE leves, Ta e U apresentam correlações negativas ($R^2>0,6$). Há ainda a salientar a correlação da sensibilidade ao OSL com o CIA que se apresenta negativa, com um coeficiente de 0,5 e com a razão de calcificação, que se apresenta positiva com um coeficiente de 0,9. No que respeita à sensibilidade do pico a 110°C do QZG no TSL ($1,94 - 3,16 \times 10^3$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) são de notar as fortes correlações positivas ($R^2> 0,6$) com o teor em óxidos de Na, Al, Si, Fe, e Ti, assim como com os elementos da primeira série de transição, Ga, Ta e U. A correlação com o teor em CaO é a única que se apresenta negativa com um coeficiente de 0,96. Com a razão de calcificação a correlação é também fortemente negativa com um coeficiente de 0,96.

Tabela 5.1 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas no Monte Carrascal

Amostra	Sensibilidade (contagens Gy ⁻¹ g ⁻¹) x 10 ³	
	OSL	TSL (pico a 110°C)
MC4	1419	1,96
MC3	1207	3,16
MC2	1581	1,94
MC1	1232	2,54

5.1.4.3 Radioluminescência

Os grãos de quartzo grosseiro (160-250 µm) da amostra MC1 foram analisados por radioluminescência por forma a ser estudado o comportamento dos centros de emissão de luminescência entre 365 e 380 nm, utilizados para as medições de datação, e outras emissões nas bandas visíveis. Neste sentido, verificou-se que ao longo das medições efetuadas, ocorre a diminuição da intensidade do sinal de radioluminescência tanto na amostra natural como após ativação (Figura 5.26). Na amostra natural a intensidade máxima do sinal diminui de 0,35 para 0,14 durante 20 ciclos de irradiação com raios X (medição RL), enquanto após a irradiação a intensidade máxima diminui de 1,32 para 0,24. Para além do aumento da intensidade do sinal, após ativação a curva da intensidade em função do comprimento de onda sofre uma alteração na sua forma (Figura 5.26). O aumento de intensidade do sinal de cerca de 4 vezes nos grãos de quartzo após ativação, em relação ao observado nos grãos de quartzo ao natural, revela um aumento da sensibilização por meio do aumento da probabilidade de recombinação em centros emissores.

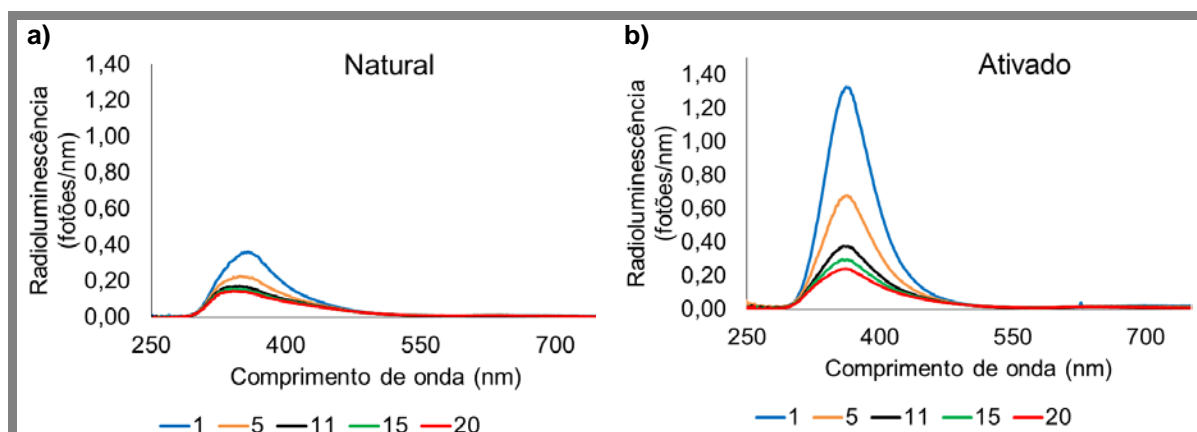


Figura 5.26 Intensidade do pico de radioluminescência do quartzo grosseiro da amostra MC4 recolhida no Monte Carrascal, natural (a) e com ativação (b).

A sensibilidade elevada dos grãos de quartzo, tanto determinada por meio dos testes iniciais (secção 5.1.4.2 neste capítulo), quer por radioluminescência, que aumenta com a estimulação (ótica, térmica e radioluminescência), relaciona-se com o elevado número de centros de recombinação na estrutura do quartzo. Estes centros de recombinação estão diretamente relacionados com os defeitos na estrutura cristalina do quartzo que ocorrem pela substituição do Si por Al e a necessária compensação por um íon alcalino (M^+) ou um centro de recombinação carregado positivamente. Entre os esses íons salienta-se a presença de H^+ , Li^+ , Na^+ e, em menor escala K^+ , Ag^+ ou Cu^+ (Martini et al, 2009). Para além do Al, o Si pode ser substituído por Ti, Fe e menos frequentemente por Ge, P, e Ga, (Götze et al, 2001; Preusser et al, 2009). A diminuição da presença de íons alcalinos como compensadores de carga permite que o número de centros de recombinação disponíveis aumente conduzindo a uma maior sensibilidade no quartzo. Este aumento de sensibilidade do quartzo ocorre com aplicação de ciclos de ativação, em laboratório, que recriam os ciclos naturais de ativação por exposição a condições de meteorização intensa, aquecimento e transporte, que não só promovem o aumento da sensibilidade individual de cada grão de quartzo como do número de grãos de quartzo sensíveis (Preusser et al, 2009). Neste sentido, a sensibilidade do quartzo tem sido utilizada em estudos de proveniência, dada a sua relação com a natureza da rocha mãe (condições de cristalização), transporte e historial de deposição de sedimentos (Pietsch et al, 2008; Zheng et al, 2009; Fitzsimmons, 2011; Lü e Sun, 2011; Sawakuchi et al; 2011; Jeong e Choi, 2012).

O quartzo recolhido nas amostras do Monte Carrascal apresenta uma sensibilidade elevada que pode ser explicada pela ativação natural deste mineral durante os processos de formação do calcreto. Este calcreto, de origem freática, é classificado como um calcreto maduro, no qual a grande parte dos minerais detríticos que fez parte da sua formação foi substituída por carbonato de cálcio. A meteorização desses minerais levou ao empobrecimento do calcreto na maioria dos elementos em especial em elementos capazes de formar íons alcalinos, restando apenas o quartzo por ser um dos minerais mais resistente a condições de meteorização. Assim, verificam-se condições favoráveis à presença de um quartzo muito sensível, ativado naturalmente pelos repetidos ciclos de meteorização, num meio pobre em catiões alcalinos (mais móveis em solução).

5.1.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico do Monte Carrascal foram selecionadas 4 amostras para datação por luminescência (MC1-MC4), recolhidas ao longo da sequência de preenchimento do fosso 1. De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiro e a estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra

5.1.5.1 Determinação da dose absorvida

5.1.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida o QZC obtido foi sujeito a testes iniciais cujos resultados

principais são apresentados na Figura 5.27. Desta forma estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação da amostra, e verificou-se que a razão dos sinais IRSL/OSL era bastante baixa o que indicou que o material analisado era essencialmente composto por grãos de quartzo. Deve ainda salientar-se que existe reprodutibilidade dos valores de sensibilidade e de dose absorvida aparente entre alíquotas de cada amostra.

No que respeita à dose absorvida aparente, determinada com a sequência de testes iniciais por OSL no QZC, verifica-se uma tendência geral para a diminuição da dose absorvida aparente da base para o topo da sequência de preenchimento.

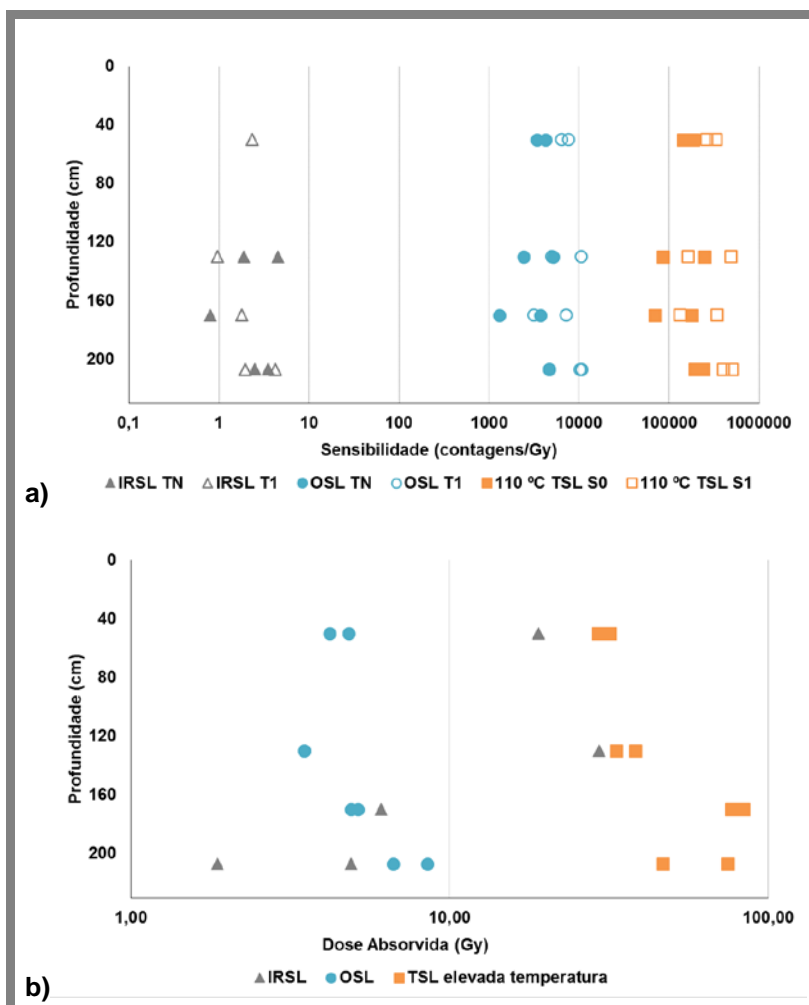


Figura 5.27 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) do QZG em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal.

5.1.5.1.2 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL, verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvida para estas amostras (MC1, MC2, MC3 e MC4) é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelhos nos gráficos da Figura 5.28, a). Da base para o topo da sequência de preenchimento a dispersão dos valores de dose absorvida diminui,

havendo maior dispersão na amostra MC2. A percentagem de incerteza é maior para as amostras com maior dispersão dos valores de dose (MC1 e MC2), representativas da fase de preenchimento por ação humana. Estas amostras apresentam uma maior proporção de calcite na sua composição mineralógica.

No que respeita à dose absorvida determinaram-se valores entre $4,5 \pm 0,2$ e $6,9 \pm 0,4$ Gy, sendo a maior dose referente ao QZC da amostra MC2, a amostra com maior dispersão de doses absorvidas em função da raiz quadrada do sinal de teste (Tabela 5.2). As amostras recolhidas na fase de preenchimento durante a fase de ocupação apresentam grãos de QZG para os quais se determinou uma dose absorvida maior, tal como seria expectável visto tratarem-se de materiais depositados anteriormente aos materiais depositados por coluvião, e que levaram ao encerramento do fosso, mas também fruto de maior contaminação com sinais residuais geológicos. Segundo o aferido no estudo das amostras em perfil o elevado teor em calcite na composição das amostras parece conduzir a doses absorvidas mais elevadas. Assim, podemos desde já assumir que, de um modo geral e mais evidente nas amostras relativas à fase de ocupação, os valores determinados para a dose absorvida após enterramento estão sobrevalorizados.

Tabela 5.2 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	MC4	MC3	MC2	MC1
Dose absorvida (Gy)	4,5	4,6	6,9	5,2
Incerteza	0,2	0,2	0,4	0,3
% Incerteza	4	4	6	6

No que respeita à variação da dose absorvida com a temperatura de pré-aquecimento verifica-se uma maior dispersão nas alíquotas correspondentes à temperatura mais elevada (280 °C). Verifica-se também uma maior dispersão dos valores de dose absorvida nas alíquotas correspondentes aos grãos de quartzo grosseiro das amostras MC1 e MC2, recolhidas na fase de preenchimento durante a ocupação humana.

A razão de reciclagem e a razão de reciclagem após IRSL apresentam valores próximos de 1, sendo maior a dispersão nas alíquotas correspondentes ao pré-aquecimento a temperaturas mais elevadas (260°C e 280°C)

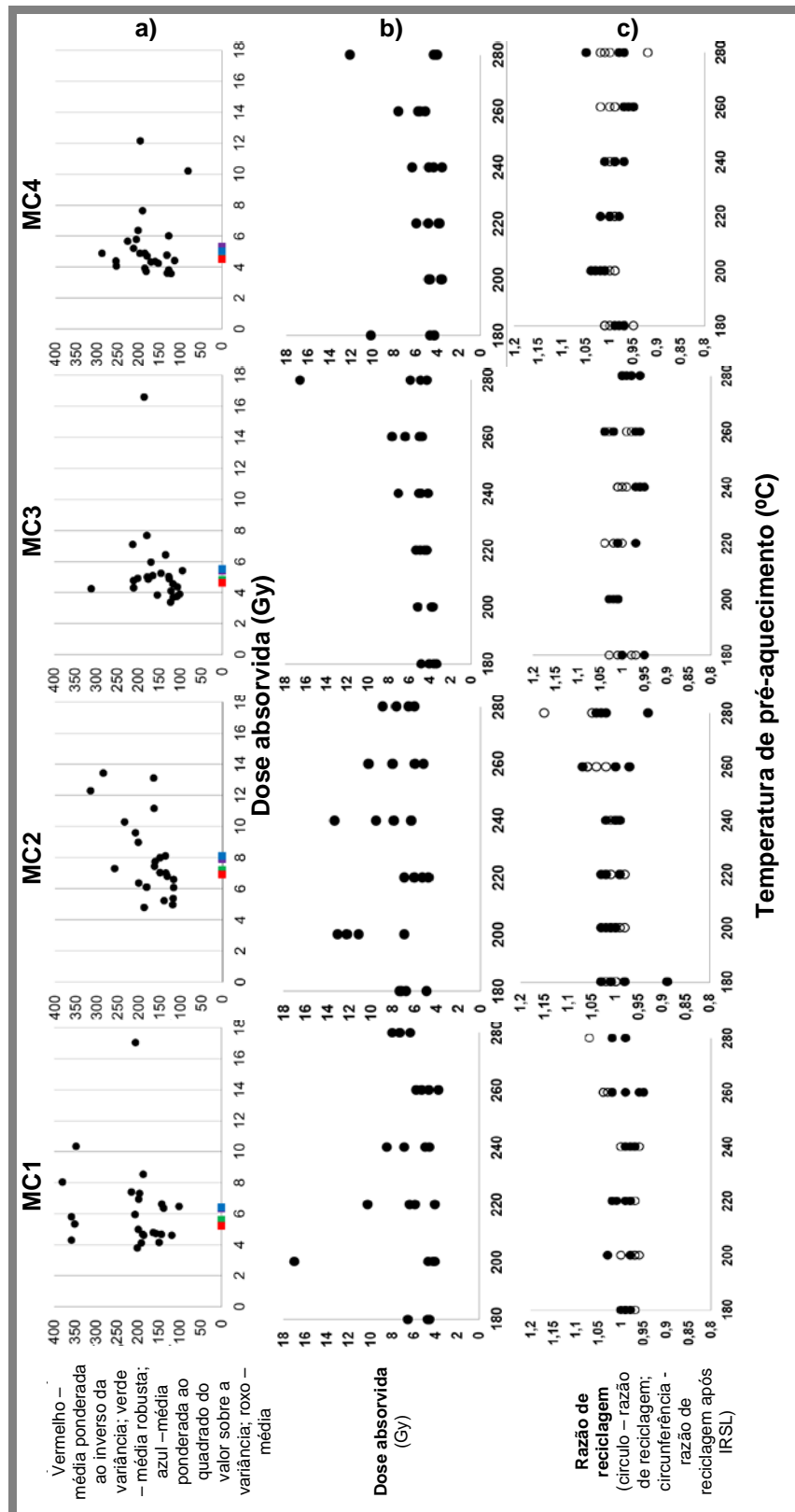


Figura 5.28 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal.

5.1.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose foi determinada seguindo os procedimentos descritos na secção 4.5.3 do capítulo 4 e os valores das determinações que conduziram ao valor final da taxa de dose, nomeadamente os teores em radionuclídeos determinados por AAN, EGIS e EGER, bem como os teores em água, encontram-se no Anexo V. A taxa de dose determinada para estas amostras aumenta da base para o topo da sequência de preenchimento ($0,42 \pm 0,04 < \text{Taxa de dose} < 0,65 \pm 0,06$). Relativamente ao esperado, estes valores baixos parecem ser devidos ao baixo teor em radionuclídeos K, Rb, Th e U, promovido pela elevada proporção de calcite. Esta proporção elevada de calcite condiciona a taxa de dose, sendo negativa a correlação forte entre a taxa de dose e o teor em calcite nas amostras. O elevado teor em calcite conduz também a uma maior retenção de água nas amostras o que influencia a taxa de dose, atenuando a radiação e portanto reduzindo a taxa de dose efetiva.

Tabela 5.3 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas no fosso do Monte Carrascal.

Amostras		MC4	MC3	MC2	MC1
	Gy/ka	0,65	0,61	0,57	0,42
Taxa de dose	±	0,06	0,05	0,05	0,04
	% Incerteza	9	8	9	19

5.1.5.3 Estimativa da idade – Interpretação

A idade estimada para as amostras recolhidas no fosso do Monte Carrascal encontra-se entre os $6,9 \pm 0,7$ ka e os $12,4 \pm 1,5$ ka (Tabela 5.4). Tal como seria de esperar, a idade estimada diminui da base para o topo da sequência de preenchimento e as incertezas associadas à sua determinação acompanham essa tendência. A percentagem de incerteza associada ao cálculo varia entre 9% e 12%.

Tabela 5.4 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas no fosso do Monte Carrascal.

Amostras	MC4	MC3	MC2	MC1
Idade (ka)	6,9	7,6	12	12,4
±	0,7	0,7	1	1,5
% Incerteza	11	9	10	12

As idades estimadas, quando projetadas em conjunto com a idade estimada aparente, determinada com base na dose absorvida aparente das amostras de perfil (OSL na fração enriquecida em QZG nos testes iniciais), apresentam uma relação com a profundidade como expectável, respeitando a estratigrafia de preenchimento e com idades superiores na base do fosso (Figura 5.29).

O período atribuído pelos arqueólogos para a utilização deste fosso é do Calcolítico, que corresponde a janela de idades de 4,3 ka e os 4,9 ka (Figura 5.29), tendo por base a tipologia, artefactos recolhidos e contexto envolvente à estrutura negativa. Contudo, as idades obtidas por luminescência para as amostras são superiores a essa janela de tempo, encontrando-se apenas as amostras MC3 e MC4, dentro da incerteza associada, na janela de idades associadas ao Neolítico. A diferença entre a idade obtida por luminescência e a idade atribuída tipologicamente reflete, numa primeira análise, o já descrito anteriormente (5.1.5.1.2 neste capítulo) no que respeita à sobrevalorização da dose absorvida pelo quartzo das amostras, nomeadamente nas amostras MC1 e MC2 (fase de ocupação).

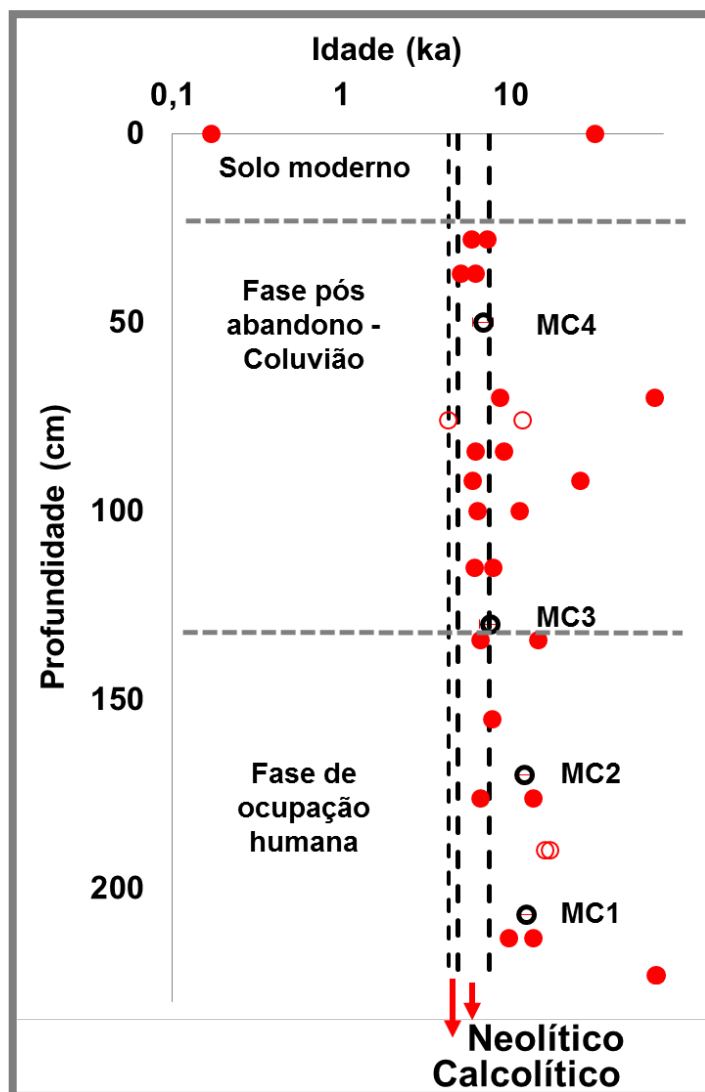


Figura 5.29. Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico e ao Calcolítico. A idade das amostras de perfil (círculos vermelhos e circunferências vermelhas que correspondem ao perfil recolhido no centro do fosso e às amostras recolhidas lateralmente, respetivamente) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em QZG nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade ao longo do perfil foi interpolada com base na taxa de dose determinada para as amostras MC1 – MC4. As circunferências a preto indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao QZG das amostras MC1 – MC4, recolhidas no fosso do Monte Carrascal.

5.1.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

Os calcretos da Bacia do Sado, em particular no extremo desta, na área já abrangida pela bacia de Alvalade podem apresentar uma génese de origem freática (Pimentel et al, 1996). Atendendo à localização do Monte Carrascal, e à forma e dimensões da macha de calcroto aqui identificada (pequena mancha no seio de um substrato formado por material de alteração de gabros) e às indicações da composição mineralógica e química este calcroto deverá ter tido uma origem freática. As evidências de um ambiente húmido, alcalino e redutor, pobre em Mg com uma drenagem eficiente, que favoreceu a formação exclusiva de esmectite. O calcroto apresenta também anomalias negativas de Eu e Ce, tanto na amostra total como na fração argilosa, o que o confirma a diferença entre este calcroto e o caliche de Beringel, um calcroto nodular pulverulento, gerado a baixa temperatura, num ambiente semiárido e de drenagem deficiente, cuja mineralogia é essencialmente calcite, paligorskite e traços de feldspatos e quartzo de origem detrítica (Abreu et al, 1990; Marques et al, 1990; Prudêncio et al, 1994). A concentração de Cs na fração argilosa da amostra de calcroto, não tendo o Cs especial afinidade com a esmectite, pode indicar a presença de meio hidrotermal, sendo este elemento mantido em condições de aridez, favoráveis ao desenvolvimento dos calcretos.

A coloração mais escura da amostra total dos materiais de preenchimento, a presença de uma maior proporção de filossilicatos, bem como a presença de elementos como o V (ausente nos calcretos e presentes em quantidade significativa nos gabros) na fração não carbonatada da amostra total, associado à presença de uma associação mineralógica distinta na fração argilosa (esmectite e minerais de caulino), indica que a composição destes materiais de preenchimento dever-se-á, não só à acumulação de materiais provenientes da desagregação do calcroto, mas também aos produtos da meteorização dos gabros que circundam e estão cobertos por esta mancha de calcroto.

Entre a amostra total dos materiais depositados durante a fase de ocupação e a fase após abandono verificam-se algumas diferenças, embora ténues, no que respeita à composição mineralógica e química, uma vez que as maiores diferenças verificadas entre os materiais dependem da proporção de calcite na amostra total dos materiais.

A amostra total dos materiais depositados durante a ocupação humana apresentam um teor ligeiramente maior em calcite (menor proporção de nódulos de calcretos de dimensões superiores a 2 mm, face ao verificado nos materiais depositados por coluvião) e, por conseguinte, um maior teor em elementos que se correlaciona com a presença deste mineral. Observou-se ainda que, na fase correspondente ao período de ocupação humana existe uma boa correlação positiva entre a anomalia de Eu e o índice de alteração mineralógico e o índice químico de alteração, sugerindo que o aumento da anomalia de Eu deverá estar relacionada com os processos de meteorização dos silicatos e substituições destes por carbonatos (calcificação), sendo o Eu (III) retido preferencialmente nos carbonatos após o colapso dos silicatos (nomeadamente plagioclase) em meio neutro.

Nos materiais depositados por coluvião o teor em Br é mais elevado devido a presença de maior proporção de matéria orgânica oriunda do solo moderno utilizado para a agricultura.

Considerando os objetivos iniciais para este fosso, que pretendiam contribuir para o estudo da cronologia de ocupação e abandono da estrutura e preenchimento, bem como a distinção entre as duas fases distintas de preenchimento, comprovou-se a partir do comportamento luminescente do perfil como resposta à estimulação ótica, a existência de duas fases de preenchimento, que pelos estudos composicionais apresentavam apenas diferenças ténues. O estudo de perfil, nomeadamente a partir da projeção das idades aparentes em função da profundidade (Figura 5.29) evidencia um preenchimento mais lento na fase de ocupação humana do que no topo, apresentando idades dentro da janela de tempo do Neolítico. A fase de preenchimento superior, após abandono da estrutura, parece ter ocorrido de forma mais rápida e com materiais que apresentam idades aparentes dentro do período de tempo do Neolítico. Sendo esta uma estrutura atribuída ao Calcolítico (atendendo à tipologia e artefactos recolhidos), o facto de as idades obtidas para os materiais de preenchimento corresponderem a idades anteriores e do período do Neolítico, e atendendo ao comportamento de luminescência destes materiais ricos em calcite, poderá indicar que deveremos estar na presença de materiais cuja exposição à luz durante o processo de preenchimento não foi suficiente para remover o sinal residual do geológico e/ou o sinal acumulado desde a sua última exposição durante o Neolítico, na superfície da área envolvente ao fosso, anterior à deposição do material no fosso no Calcolítico. Deve ainda realçar-se que, sendo utilizada uma abordagem convencional de datação por luminescência, o efeito da calcite nestas amostras não está a ser considerado de forma exata, no que respeita à sua influência na taxa de dose, à qual o quartzo grosseiro esteve sujeito durante o enterramento.

Efetivamente a obtenção de datações por luminescência em quartzo proveniente de materiais carbonatados é citada em vários estudos como sendo uma situação problemática e um desafio (Aitken, 1985; Prescott e Robertson, 1997; Roberts, 1997; Wintle, 2008; Nathan e Mauz, 2008), dadas as dificuldades existentes no cálculo da taxa de dose nestes materiais carbonatados devido ao empobrecimento na generalidade dos elementos, aos problemas de equilíbrio na série dos radionuclídeos de interesse, bem como às questões da retenção de água pelas amostras carbonatadas, que tendem a promover a redução da taxa de dose. No presente trabalho não se verificaram questões relacionadas com o desequilíbrio nas séries de desintegração dos radionuclídeos de interesse (verificado com recurso à análise química por espectrometria gama de elevada resolução em laboratório, Anexo V). Contudo, os materiais estudados apresentam baixos teores em radionuclídeos e uma capacidade de retenção de água elevada.

Deste modo, tentou-se neste trabalho efetuar uma outra abordagem no sentido de melhor entender o papel da calcite na sobrevalorização de idades de luminescência.

Por forma a delimitar os efeitos máximos do teor elevado em calcite nos materiais, que conduziu a uma estimativa da idade ($6,9 \pm 0,7$ ka - $12,4 \pm 1,5$ ka) superior à atribuída pelos arqueólogos (4,3 ka - 4,9 ka) procedeu-se à estimativa da idade considerando para o cálculo da taxa de dose a situação extrema de que toda a calcite presente nos materiais teria sido depositada (precipitada) recentemente. Neste sentido através do valor de perdas por ignição (LOI) estimou-se o teor em radionuclídeos, K, Rb, Th e U, considerando que no limite, as amostras eram desprovidas de qualquer carbonato de cálcio e matéria orgânica. Neste sentido, reduziu-se também a percentagem de água durante o enterramento para um valor de 5% (com base nos resultados obtidos para as

amostras recolhidas num contexto com menores proporções de calcite, como é o Recinto de fossos dos Perdigões, considerando que, na ausência de calcite a capacidade de retenção de água pelas amostras é bastante menor. Os resultados obtidos permitem verificar que no caso extremo de ausência de calcite e matéria orgânica na composição das amostras a taxa de dose seria maior (cerca de 1,4 vezes maior) e como consequência a idade estimada diminuiria obtendo-se idades entre os 5 e os 10 ka. Sem calcite, a idade dos materiais recolhidos no preenchimento após abandono encontram-se dentro da janela de tempo do Calcolítico, tal como esperado, enquanto as amostras recolhidas na fase correspondente à ocupação humana apresentam idades, embora menores, ainda dentro do período do Neolítico. Neste sentido, pode considerar-se que a influência da calcite sobre a taxa de dose pode ser suficiente para produzir a sobrevalorização da idade observada. No entanto, relativamente às amostras correspondentes ao nível de ocupação, a situação limite da ausência de calcite sobre a taxa de dose permite obter valores dentro da janela do Neolítico. Portanto, qualquer efeito relacionado com a calcite não é suficiente para explicar a sobrevalorização de idade relativamente às expectativas arqueológicas, o que implica que a sobrevalorização nestes materiais da fase de ocupação se deve à presença de sinais residuais no OSL. Estes terão contribuído para a sobrevalorização da dose absorvida, quer pela proteção conferida em relação à luz solar pela formação de aglomerados, quer pela introdução de quartzo para o qual o sinal residual do geológico não foi completamente removido (Rodrigues et al, 2013).

No entanto, é interessante o facto dos resultados dos materiais de preenchimento por coluvião após abandono, ficarem dentro das expectativas quando a calcite não é considerada. Este poderá ser consistente com o caso extremo de precipitação recente, ou alternativamente poderia indicar um cenário menos extremo, onde a calcite sempre esteve presente, afetando apenas a taxa de dose gama, sendo a taxa de dose beta e alfa apenas devida a um ambiente não carbonatado em torno dos grãos de quartzo grosseiro. Este cenário produziria resultados intermédios, correspondentes ao Neolítico Final/ Início do Calcolítico. A quantificação de tal efeito de variabilidade espacial implicava análises adicionais de mapeamento em 3D da composição das amostras intactas, e/ou de dosimetria de cápsula (Burbidge e Duller, 2003), que poderão constituir novo trabalho a desenvolver no futuro.

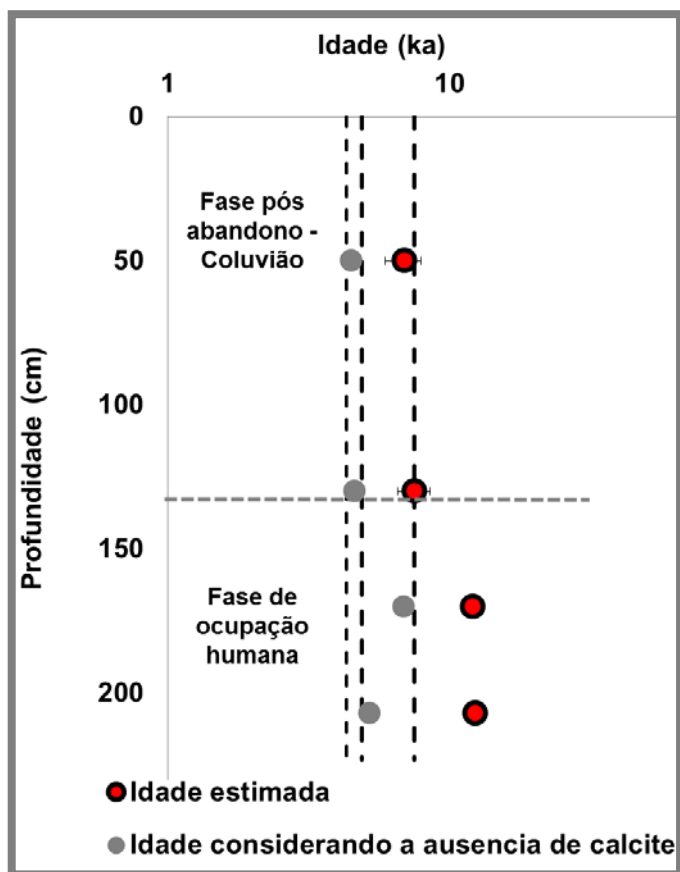


Figura 5.30 Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico e ao Calcolítico. Os círculos vermelhos indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao quartzo grosseiro das amostras MC1 – MC4, recolhidas no fosso do Monte Carrascal e os círculos cinzentos representam a estimativa feita considerando a condição extrema de ausência de calcite na composição das amostras.

5.2 Monte de Cortes

No Monte de Cortes foram estudados os materiais de preenchimento de duas estruturas negativas, um fosso e uma fossa, e um perfil de calcreto pulverulento onde se identificaram blocos de xisto muito alterado.

5.2.1 Granulometria

Analisando os teores em cada fração granulométrica dos materiais de preenchimento das estruturas negativas (Anexo II) observa-se que os materiais recolhidos no preenchimento do fosso (COR2 – fase de preenchimento por coluvião) apresentam um teor ligeiramente mais elevado da fração > 2 mm e o menor teor de fração arenosa (2 mm – 63 μ m), relativamente à amostra proveniente do enchimento da fossa (COR1) (Figura 5.1, a). No que respeita às frações silto-argilosas nos materiais de preenchimento COR1 e COR2 as amostras são muito idênticas, predominando a fração entre 2 e 20 μ m, visível no diagrama de Shepard (Figura 5.1, c).

Considerando os materiais recolhido no perfil do calcreto (CORa, CORb e CORc) verifica-se que da base ao topo do perfil amostrado, o teor na fração > 2 mm diminui, da mesma forma que aumenta o teor em material argiloso, sendo a amostra CORc, solo moderno no topo do perfil, a amostra com uma maior proporção de material de granulometria < 2 μ m (Anexo II). As frações de areia e silte existem em proporções idênticas nas amostras CORa, CORb e, sendo a fração entre 63 e 20 μ m a menos representada. Saliente-se ainda, o baixo teor em material argiloso na amostra da base deste perfil (CORa) (Figura 5.31, c)

Através da projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard (Figura 5.31, a), é possível classificar os materiais de preenchimento das estruturas (COR1 e COR2) como areia siltosa, assim como as amostras de materiais representativos da geologia local (CORb e CORc), embora estas últimas já no limite que separa a areia siltosa do silte arenoso. A amostra CORa, na base do corte classifica-se como areia. No que respeita à fração inferior a 63 μ m é possível verificar que, a fração granulométrica entre 2 e 20 μ m é a predominante em todas as amostras.

As curvas granulométricas da amostra total evidenciam que as amostras recolhidas no Monte de Cortes apresentam-se mal graduadas, sendo este facto confirmado pelo valor do coeficiente de curvatura (C_c) da curva granulométrica que nestas amostras não se encontra entre 1 e 3 (Norma ASTM International – D2487-06 e Powrie, 2014) (Figura 5.31, b).

A distribuição do teor em cada fração granulométrica na amostra total evidencia que, em geral, a fração < 63 μ m apenas corresponde a cerca de 30% da amostra. As curvas granulométricas da fração < 63 μ m em todas as amostras (Figura 5.31, d) permitem distinguir perfis de distribuição das partículas finas: um correspondente ao material recolhido na base do perfil do calcreto (amostra CORa) que apresenta uma curva em S ligeiramente mais vertical indicando que o material desta amostra se encontra ligeiramente menos bem calibrado (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993); um perfil correspondente aos materiais de preenchimento do fosso COR2, com uma curva em S mais vertical que a amostra CORa; os materiais de preenchimento da fossa COR1 e as amostras CORb e CORc do perfil do calcreto (amostras da base e do topo) apresentam

um perfil de distribuição muito semelhante, com uma curva em S mais suavizada revelando uma melhor calibração dos materiais finos (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993). Comprovando a boa calibração do material fino destas amostras obteve-se um coeficiente de curvatura entre 1 e 3 para a componente fina dos materiais amostrados no Monte de Cortes (Norma ASTM International – D2487-06 e Powrie, 2014).

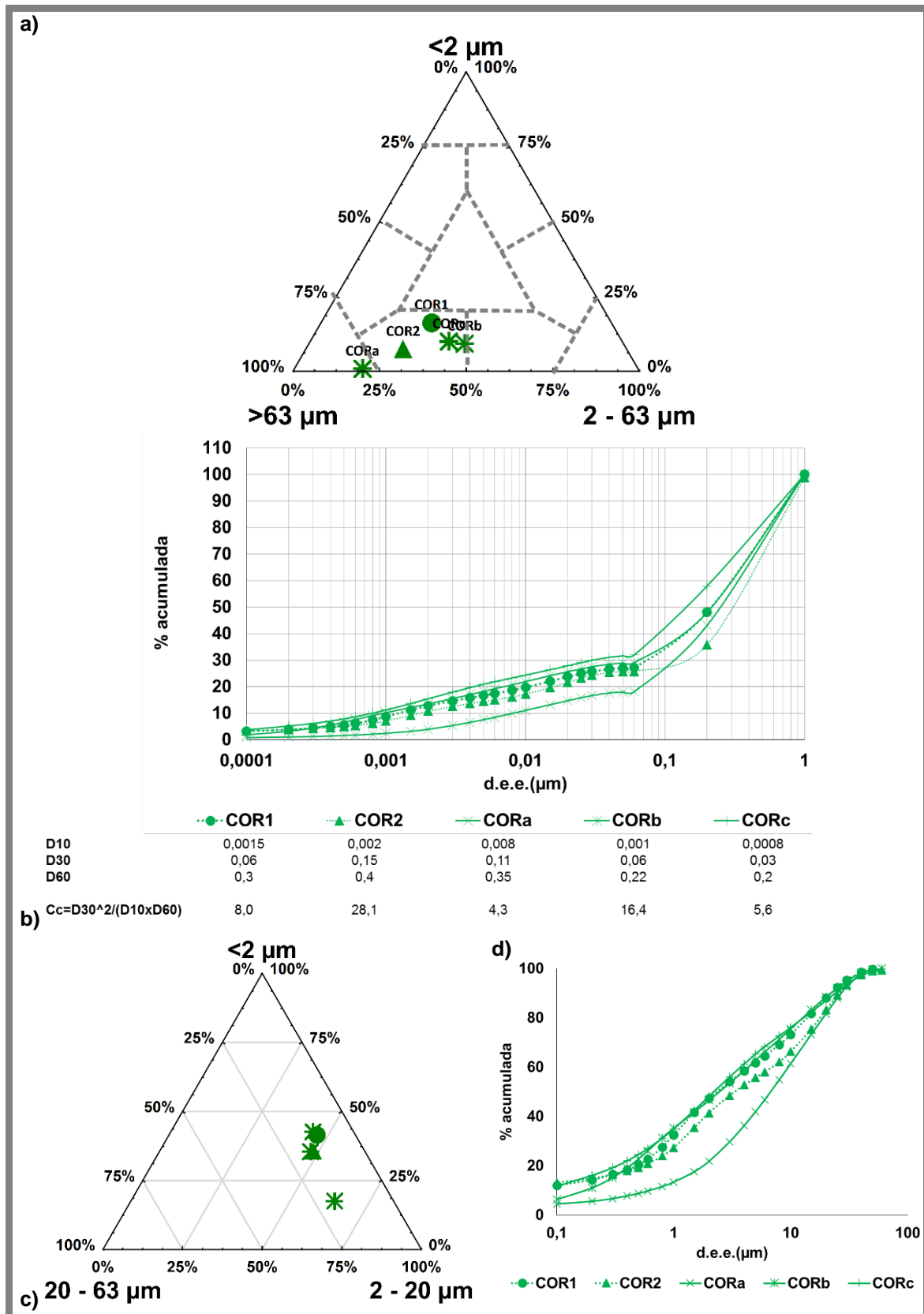


Figura 5.31 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (<63 μm) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <63 μm para os materiais amostrados no Monte de cortes.

5.2.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para amostra total (fração < 2 mm) e fração argilosa das amostras estudadas, assim como a semiquantificação dos teores dos minerais presentes nas amostras encontram-se no Anexo III.

5.2.2.1 Amostra total

Em todo o perfil do calcreto predomina a calcite (59-75%). No entanto, observaram-se variações na associação mineralógica da base ao topo (Figura 5.32). Na base do perfil (CORa) predomina a calcite associada a filossilicatos (entre os quais micas) e quartzo em proporções idênticas. Os feldspatos ocorrem em menores quantidades. A amostra CORb é a mais carbonatada com cerca de 90% de carbonatos, predominado a calcite sobre a dolomite, aos quais se associam pequenas proporções de quartzo e filossilicatos (entre os quais micas) e ainda quantidades vestigiais de plagioclase e hematite. Na amostra de solo moderno (CORc) a associação mineralógica é dominada pela calcite à qual se associam os filossilicatos (incluindo micas) e o quartzo, uma pequena porção de plagioclase. A hematite e os feldspatos potássicos apenas ocorrem em quantidades vestigiais (Figura 5.32). A maior proporção de filossilicatos nesta amostra está em concordância com os resultados obtidos no estudo granulométrico, predominando nesta amostra a fração <2 µm.

Identificou-se a presença de uma pequena quantidade de micas, que diminui da base para o topo e que foram contabilizadas no total de filossilicatos presentes. A maior abundância de micas na base deverá ser consequência da maior alteração dos blocos de xisto neste nível, uma vez que estando estes presentes nos níveis superiores com dimensões acima dos 2 mm foram removidos da amostra antes da sua preparação para a análise por DRX.

Atendendo à localização de amostragem, os materiais estudados correspondem a calcretos lacustres, cartografados como calcários de Moura e Arrancadas, onde a mineralogia é dominada pela presença de carbonatos (94%), aos quais se associam materiais detríticos representados por quartzo, feldspatos e traços de andaluzite, epídoto, turmalina, granada, silimanite e zircão (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970). A composição mineralógica do perfil de calcreto do Monte de Cortes é típica deste tipo de formações carbonatadas, sendo a presença de dolomite na amostra do nível intermédio reflexo da génese lacustre indicada para esta formação. Esta associação mineralógica com a presença de dolomite foi detetada em diferentes calcretos, nomeadamente lacustres por todo o planeta, onde ao elevado teor em carbonato na água se associam condições alcalinas e razões Mg/Ca elevadas (>10) (Krug 1995; Chen et al, 2002; Alonso-Zarza, 2003; Eren et al, 2008; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a, 2010b; Dixon, 2010; Kaplan et al, 2013; Küçükuysal e Kapur, 2014; Wanas e Soliman, 2014).

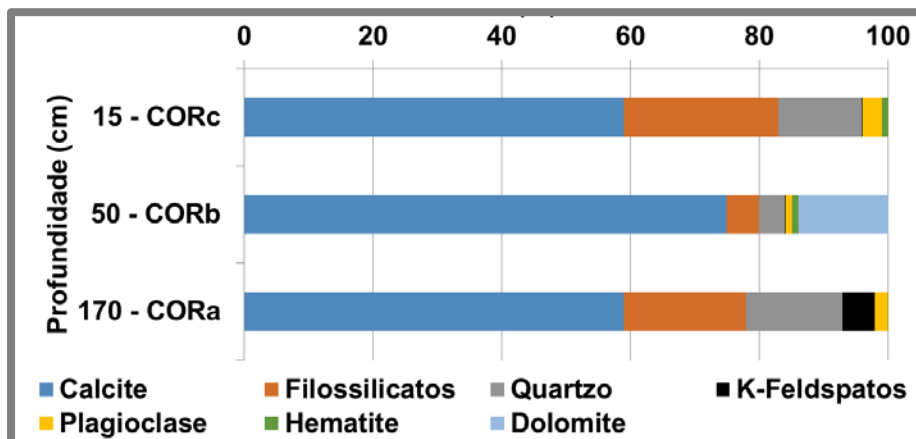


Figura 5.32 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais amostrados no perfil de calcetreto representativo da geologia no Monte de Cortes.

No que respeita aos materiais de preenchimento da fossa (COR1), a mineralogia é dominada pela calcite (90%) associada a pequenas porções de quartzo e plagioclase, e vestígios de feldspatos potássicos e filossilicatos (Figura 5.33). Esta associação mineralógica está de acordo com as evidências observadas aquando do trabalho de campo, no que respeita à cor e textura, sendo este material descrito como castanho claro com nódulos de calcetreto acumulado em torno de blocos de calcetreto (de fácil desagregação), o que justifica o elevado teor em calcite na amostra.

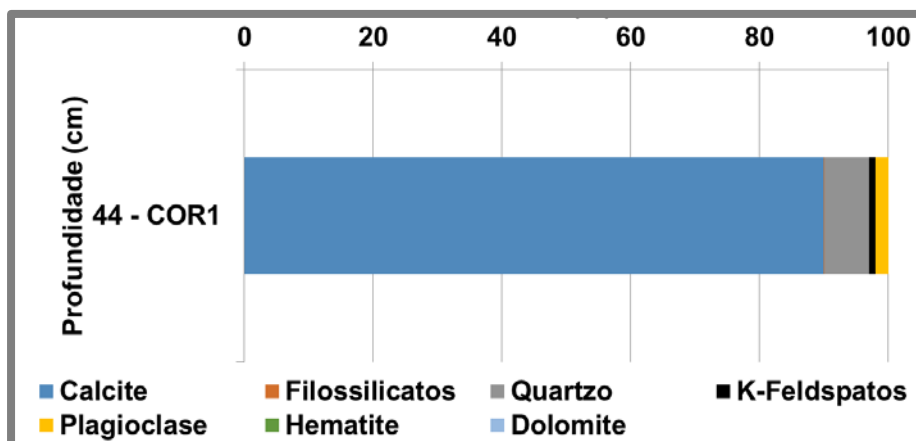


Figura 5.33 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento amostrados na fossa no Monte de Cortes.

A associação mineralógica na sequência de materiais de preenchimento do fosso, onde se enquadra a amostra COR2, é dominada pela presença de calcite (52-80%) à qual se associa um teor menor de filossilicatos e quartzo, assim como traços de feldspatos potássicos e de hematite (realce-se que apenas foi possível identificar hematite em três níveis do perfil do fosso a 80, 48 e 30 cm de profundidade) (Figura 5.34). Apenas se identificou a presença de plagioclase em proporções vestigiais na amostra COR2, recolhida a 48 cm de profundidade. Na base da sequência de preenchimento, a camada fina de material de alteração do calcetreto (pCOR2_1), surgem

materiais mais ricos em calcite, com os menores teores em filossilicatos e quartzo e ausência de feldspatos.

De forma geral, o teor em calcite diminui da base para o topo, enquanto o teor em filossilicatos e quartzo aumenta (Figura 5.34). Este comportamento foi igualmente observado no preenchimento do fosso no Monte Carrascal (na secção 5.1 deste capítulo), bem como num perfil de calcrete na Tunísia (Prudêncio et al, 2011).

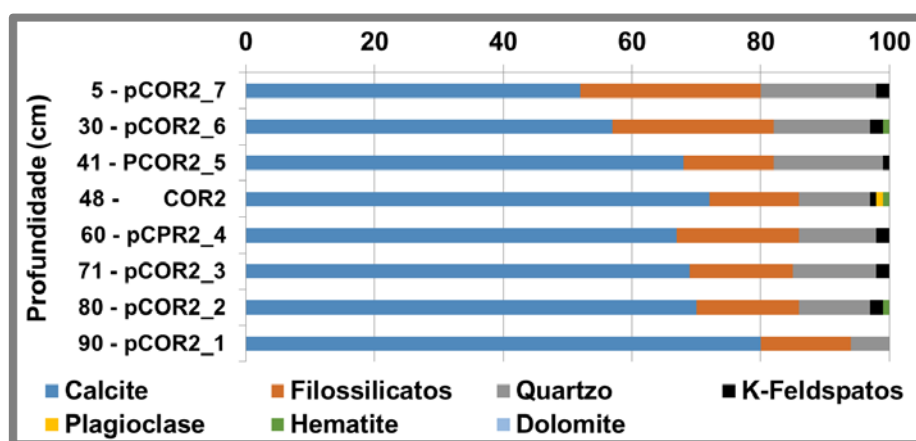


Figura 5.34 Composição mineralógica(%) da amostra total dos materiais de preenchimento amostrados no fosso no Monte de Cortes.

Considerando a composição mineralógica da amostra total, rica em calcite e sem filossilicatos, da amostra COR1 (recolhida no preenchimento inicial da fossa) bem como a sua textura e a presença de blocos de calcrete, pode dizer-se que este nível de preenchimento da fossa será o mais próximo do substrato geológico no local. Este preenchimento poderá ter ocorrido por colapso das paredes da fossa sendo posteriormente coberto por materiais depositados por coluvião.

5.2.2.1.1 Índices mineralógicos

No perfil do calcrete, verifica-se que o índice mineralógico de alteração (MIA) aumenta (68-81%) da base ao topo, indicando uma diminuição da proporção de feldspatos em relação ao teor em quartzo (mineral mais resistente), fruto da meteorização destes minerais (Figura 5.35, a). No caso dos materiais de preenchimento da fossa, amostra COR1, o MIA é 70%. Na sequencia de preenchimento do fosso observaram-se oscilações no valor do MIA, embora sem refletirem uma tendência geral de comportamento (Figura 5.35, b). Na base do preenchimento (amostra pCOR2_1), a ausência de feldspatos condiciona o valor de MIA a 100%.

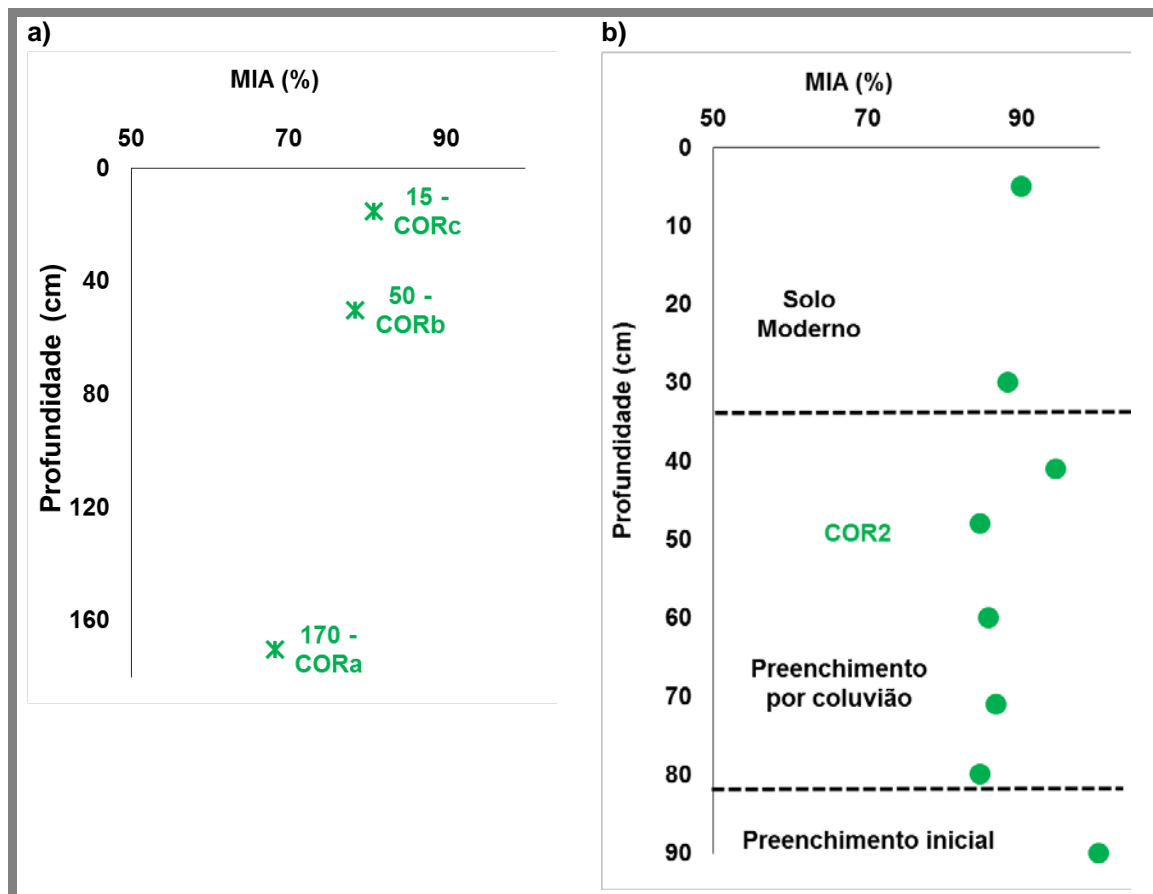


Figura 5.35 Distribuição do índice mineralógico de alteração (MIA) na amostra total, em função da profundidade, no Monte de Cortes: a) perfil de calcreto; b) perfil de preenchimento do fosso.

Os valores mais elevados deste índice nos materiais de preenchimento do fosso em relação aos materiais de preenchimento da fossa, em conjunto com o maior teor em filossilicatos nestes materiais em relação à amostra COR1 (preenchimento da fossa), sugerem que os silicatos do material amostrado na fossa estejam menos meteorizados que o material recolhido no preenchimento por coluvião no fosso.

O material recolhido na fossa (amostra COR1) apresenta um valor de MIA semelhante à amostra CORa (base do perfil de calcreto). Os materiais de preenchimento do fosso apresentam valores deste índice maiores que a amostra CORc (topo do perfil de calcreto), indicando maior meteorização dos silicatos nos materiais de preenchimento do fosso do que os materiais recolhidos no perfil de calcreto.

A razão entre o teor em silicatos (quartzo, feldspatos e filossilicatos) e o teor em carbonatos (calcite e dolomite) é inferior à unidade em todas as amostras estudadas (Figura 5.36). Na sequência de preenchimento do fosso observa-se um aumento desta razão da base para o topo do perfil de enchimento (Figura 5.36, b) consequência da diminuição do teor em calcite da base para o topo da sequência de preenchimento. A amostra COR1, recolhida no preenchimento da fossa apresenta uma razão de 0,1 sendo, a par com a amostra CORb, a amostra com razão mais baixa (maioritariamente devido ao elevado teor em carbonatos). Esta razão com valores inferiores à unidade é também observada na maioria dos calcretos do Cabo Mondego estudados por Rocha e Ramalho (2003).

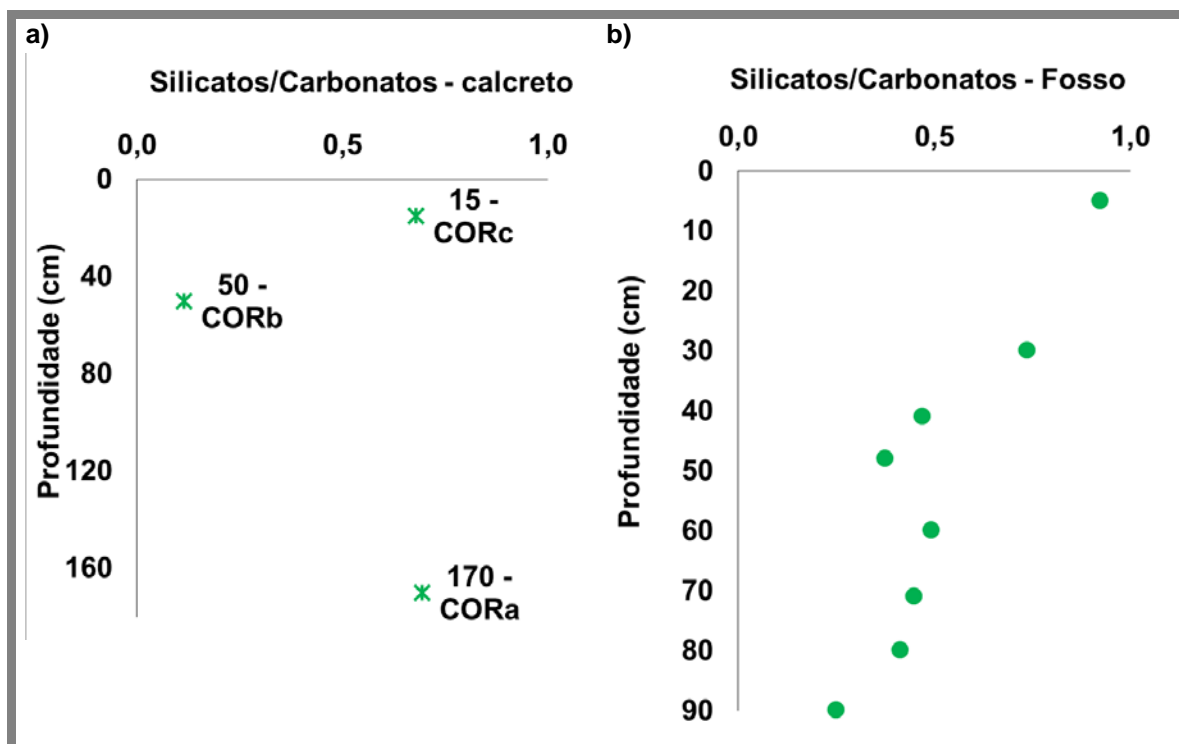


Figura 5.36 Razão entre o teor de silicatos e carbonatos na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto (a) e na sequência de preenchimento do fosso no Monte de Cortes (b)

5.2.2.2 Fração argilosa

Os difratogramas obtidos e a semiquantificação dos minerais argilosos na fração <2 μm das amostras do perfil de calcreto (CORa, CORb e CORc), assim como da amostra de materiais de preenchimento do fosso (COR2) encontram-se no Anexo III. Verificou-se a presença de calcite na fração inferior a 2 μm separada das amostras CORa, CORb, CORc e COR2 (amostras não descarbonatadas), não tendo sido considerado o teor deste mineral na semiquantificação.

A mineralogia da fração argilosa do perfil do calcreto é dominada pela ilite (50-64%) à qual se associa um menor teor de esmectite (23-38%) e de minerais de caulino (12-18%) (Figura 5.37). Na base do perfil (amostra CORa) identificou-se a presença de clorite (10%). A amostra CORb (amostra total mais carbonatada) apresenta os maiores teores em esmectite e minerais de caulino. A amostra do topo (CORc) surge com o maior teor em ilite.

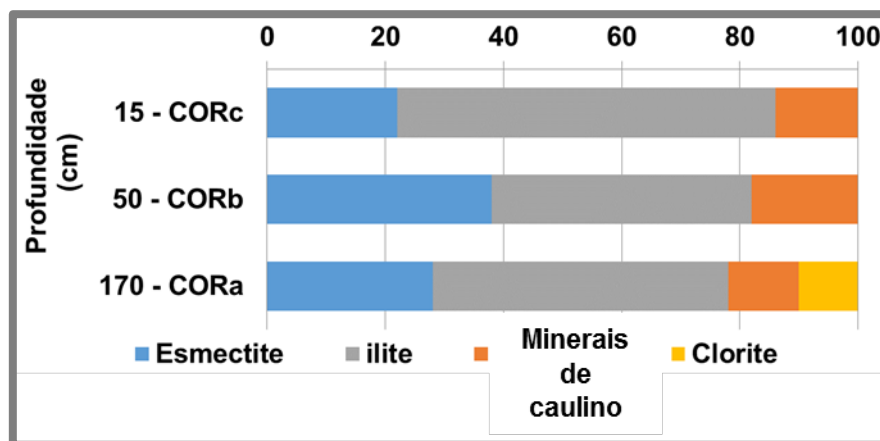


Figura 5.37 Composição mineralógica da fração argilosa (%) no perfil de calcreto representativo da geologia do Monte de Cortes, identificados por DRX.

A presença de esmectite nestas amostras pode ser justificada pelas condições de drenagem deficiente e pouca escorrência, sob clima quente e seco, com períodos de chuva curtos, o que favorece a presença de um meio alcalino onde estão disponíveis cátions básicos, favorável à formação de esmectite (Gomes, 1988; Sheldon e Tabor, 2009; Churchman e Lowe, 2012). As características topográficas e climatéricas da área geográfica em estudo foram então favoráveis à presença de um calcreto rico em esmectite.

Em regiões áridas e com chuvas sazonais, onde a formação de calcretos ocorre, a alteração da esmectite em ilite é um processo comum à superfície, em ambiente alcalino (ilitização) (Wright, 1991; Üçukuysal et al, 2013). A acumulação de K oriundo da meteorização dos minerais primários, nomeadamente feldspatos, potencia esta transformação (Wright, 1991). Este facto explica o maior teor em ilite na amostra do topo do perfil de calcreto. A ocorrência de clorite, na base do perfil, indica exposição a condições de oxidação em meio ácido na presença de água (Atabey, 1998). A clorite provém da degradação de minerais primários de entre os quais se salientam as micas (nomeadamente a biotite) (Gomes, 1988; Yuste et al, 2004). Sendo a amostra total (< 2 mm) CORa a que apresenta a maior proporção de micas, justifica-se que apenas se identifique a presença de clorite na fração argilosa da base do perfil de calcreto, onde este mineral aparece em maior proporção na fração inferior a 2 mm.

A associação mineralógica esmectite, ilite e minerais de caulino foi identificada na formação carbonatada de origem lacustre, designada por calcários de Moura na Carta Geológica de Portugal (folha 43 B Moura), na qual se insere este perfil (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970). Esta associação, típica da fração argilosa dos calcretos formados em clima semiárido foi também identificada em diferentes calcretos, embora com proporções diferentes e muitas vezes associada à presença de paligorskite, em Portugal e no resto do mundo (Abreu et al, 1989; Marques et al, 1990; Sancho et al, 1992; Rodas et al, 1994; Krug, 1995; Bachman, 1997; Armenteros et al, 1995; Atabey et al, 1998; Chen et al, 2002; Pimentel, 2002; Alonso-Zarza, 2003; Rocha e Ramalho, 2003; Dhir et al, 2004; Durand et al, 2006; Eren et al, 2008; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Prudêncio et al, 2011; Pais et al, 2012; Kaplan et al, 2013; Santos, 2013; Shahbaz, 2013; Üçukuysal et al, 2013; Küçukuysal e Kapur, 2014).

A paligorsquite surge nos calcretos associada a ambientes lacustres, de águas paradas e ricos em Mg, em calcretos mais antigos e associada à passagem de calcretos ricos em Mg para calcretos pobres em Mg (Krug, 1995; Bachman, 1997; Alonso-Zarza, 2003; Churchman, 2012). Surgindo nestas amostras ilite e esmectite como minerais dominantes e não se identificando paligorsquite, poderemos estar na presença de um calcreto jovem formado em condições climáticas mais áridas, onde apesar da presença de dolomite, o teor em Mg não favoreceu a formação de paligorsquite.

Os materiais recolhidos no preenchimento do fosso (COR2) apresentam a ilite como mineral argiloso dominante e menores proporções de minerais de caulino e esmectite. As proporções identificadas sugerem uma maior semelhança da fração argilosa desta amostra com a fração argilosa da amostra de solo moderno recolhida no topo do perfil de calcreto.

Atendendo à mineralogia da amostra total verifica-se uma maior semelhança entre os materiais de preenchimento da fossa e do fosso com os materiais da base e do nível intermédio do calcreto. Quanto aos materiais finos, a mineralogia da fração argilosa dos materiais de preenchimento do fosso assemelha-se mais com a fração argilosa da amostra do topo do perfil, junto ao solo. Estes factos parecem indicar que o preenchimento das estruturas terá ocorrido com uma mistura de materiais com origem nos diferentes níveis do perfil de calcreto, os mais grosseiros com origem nos níveis mais profundos e os mais finos com origem no topo.

5.2.3 Composição química

5.2.3.1 Materiais representativos da geologia local – Amostra total

No Monte de Cortes, os materiais geológicos amostrados correspondem a três níveis de um calcreto pulverulento com fragmentos de xisto dispersos (amostras CORa - CORc) e a composição química destes materiais encontra-se descrita no Anexo IV e na Figura 5.38.

Verifica-se que a composição química da amostra da base e do topo do perfil, CORa e CORc respetivamente, são semelhantes e destacam-se da composição química da amostra CORb. A amostra CORc no topo do perfil apenas se destaca da amostra CORa, na base, por apresentar maior teor nos óxidos de P e S, possivelmente por ser parte do solo moderno, e por ter alguma contaminação da atividade agrícola desenvolvida no local. De um modo geral, a amostra CORb apresenta teores inferiores na maioria dos elementos determinados devido ao elevado teor em carbonatos. Exceção são os teores em MgO, CaO, Br, Sr, Mo e I. O teor mais elevado em óxidos de Mg e Ca devem-se à maior proporção de carbonatos, calcite e dolomite, nesta amostra. As amostras CORb e CORc apresentam um teor em iodo de cerca de 17 mg/kg, não sendo este elemento detetado na amostra da base. Este valor é muito elevado em relação aos valores médios da crosta continental superior (1,4 mg/kg) o que se poderá dever ao fato de o iodo poder permutar com o Ca da calcite o que ocorre em depósitos de nitrato formados em zonas áridas (Salminen et al, 2005; Dill, 2010). O iodo surge em maior quantidade nos solos e rochas sedimentares devido à sua apetência para a matéria orgânica, óxidos de Fe e Al e para a ilite, quando na forma de ião solúvel (Salminen et al, 2005). É no nível superior do perfil que surge a presença de matéria orgânica (raízes) e

um teor em ilite mais elevado. O fato deste elemento não ter sido detetado na amostra CORa, na base do perfil pode indicar que a sua mobilização através do perfil, após captura da atmosfera em meio aquoso, não decorreu até à base, ficando apenas acumulado nos níveis mais superficiais.

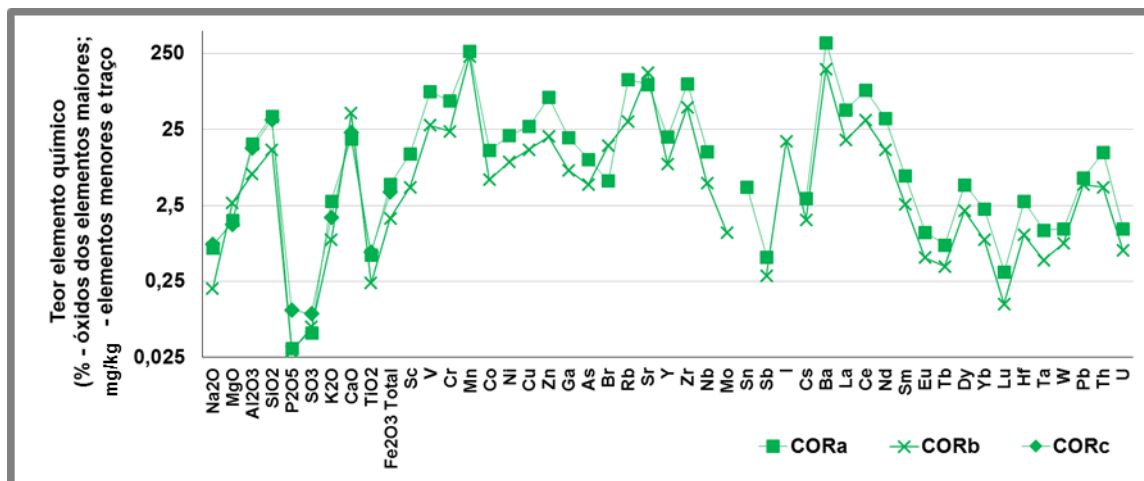


Figura 5.38 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcetro do Monte de Cortes.

Comparando a amostra do topo com a amostra da base do perfil (Figura 5.39), verifica-se que a amostra do topo se encontra enriquecida em óxidos de Na, P, S, Ca e Ti e nos elementos Mn, As, Br, Zr, Nb, Sb e Cs, REE intermédias, Hf, Ta, W, Pb e U, relativamente à amostra da base. O enriquecimento em óxidos de S e P dever-se-á provavelmente, a uma maior contaminação do solo pela atividade agrícola. O maior teor em Zr, Hf e Nb na amostra do topo indica uma maior proporção de minerais detríticos. De entre os restantes elementos em que a amostra do topo se encontra empobrecida, há a realçar o empobrecimento em óxido de K, Ga, Rb e Sr na amostra CORc que poderá relacionar-se com a menor proporção de feldspatos potássicos no topo do perfil, em relação à base. O empobrecimento em elementos da primeira série de transição, com exceção do Mn, indica que na amostra do topo a presença de minerais ferromagnesianos será menor que na amostra da base.

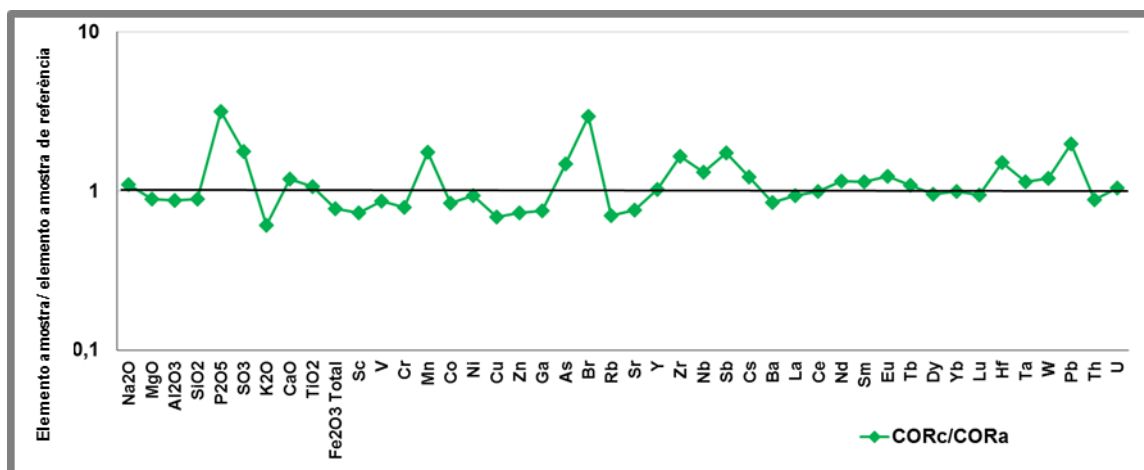


Figura 5.39 Relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no topo e na da base do perfil de calcetro.

À exceção do Mn, os teores de todos os elementos da primeira série de transição correlacionam-se fortemente com o teor em óxido de Fe. Os teores elevados em Ba relativamente aos restantes elementos deve-se à possível substituição do Ca da calcite pelo Ba e pode ainda indicar a presença de barite e/ou viterite no calcreto (Salminen et al, 2005; Tonusoglu et al, 2007; Dill, 2010; Achyuthan et al, 2012; Singh et al, 2013). Verificou-se a presença de Sn apenas na amostra CORa. O Sn encontra-se comumente associado a minerais como as micas, e sendo a amostra MCa a que apresenta um maior teor neste mineral justifica-se a presença deste elemento apenas neste nível (Salminen et al, 2005).

Comparando as amostras recolhidas no perfil de calcreto com os valores médios considerados para a crosta continental superior (UCC) verifica-se que todas estão enriquecidas em CaO, Br e iodo e empobrecidas nos óxidos de Na, Si, P e Fe e em todos os elementos da primeira serie de transição, Sr, Zr, Cs, Ba, Hf, W, Pb e U (Figura 5.40). Este empobrecimento é mais evidente na amostra CORb, a amostra mais carbonatada. As amostras da base, CORa e do topo, CORb, distinguem-se pelo maior empobrecimento em óxido de P, Zr, Hf e Pb e um menor enriquecimento em Br, As e Sb na amostra CORa. Na amostra CORc verifica-se um maior empobrecimento em óxido de K, elementos da primeira serie de transição e Sr, e um maior enriquecimento em REE intermédias. A amostra CORb está empobrecida na maior parte dos elementos determinados, à exceção do MgO, CaO, Br e iodo, como já referido, devido à elevada proporção de calcite nesta amostra.

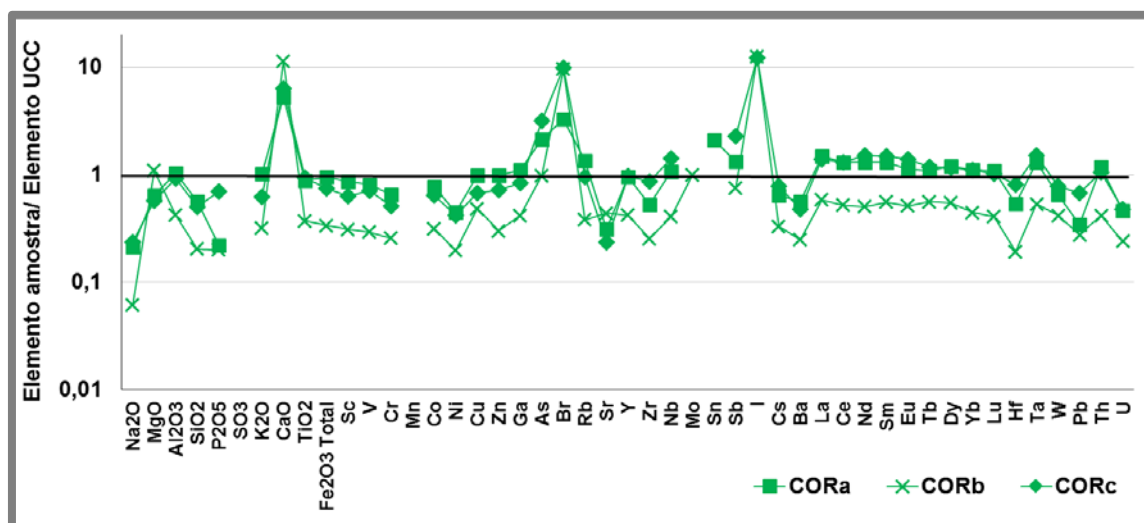


Figura 5.40 Composição química das amostras recolhidas no perfil de calcreto relativamente à média da crosta continental superior (UCC).

5.2.3.1.1 Índices químicos

Dado o elevado teor em carbonatos nas amostras, nomeadamente na amostra CORb seria expectável que a composição química desta amostra, no que respeita aos elementos maiores fosse dominada pelo CaO e que o valor de perda por ignição (LOI – *loss on ignition*) fosse elevado (Kaplan et al, 2013). O valor de LOI para estas amostras é de 18% para a amostra CORa, 33% para a CORb e 21% para a CORc.

No que respeita à razão de calcificação ($RC = MgO+CaO/Al_2O_3$) os valores na base ($RC=1,3$) e no topo ($RC=1,7$) do perfil são bastante inferiores ao valor apresentado pela amostra CORb ($RC=7$), o que se justifica pelo elevado teor em carbonatos (calcite e dolomite) nesta amostra. Quanto à razão de dolomização ($RD=MgO/CaO$) o perfil apresenta valores baixos, na ordem de 0,07. Apesar da amostra CORb apresentar dolomite na sua composição, devido ao maior teor desta amostra em CaO a razão de dolomitização desta amostra não se destaca das restantes.

No que diz respeito ao índice de alteração química (CIA – *chemical index of alteration*), as amostras apresentam valores de 40%, 25% e 37% da base para o topo do perfil. A amostra CORb, apresenta menor valor de CIA o que indicaria um estado de menor meteorização dos feldspatos na amostra. No entanto, esta amostra apresenta apenas traços de feldspatos e por isso este valor não será representativo do estado de alteração da amostra.

A razão $SiO_2/CaCO_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos assume valores de 1,0, 0,2 e 0,7, da base para o topo do perfil (no caso da amostra CORb o teor em $CaCO_3$ reflete o teor total em carbonatos, de cálcio e de magnésio). Neste sentido, considera-se que a amostra CORb representa um calcreto mais maduro, em que toda a componente não carbonatada se encontra quase completamente substituída pelos carbonatos. Esta razão tem uma correlação forte ($R^2=0,96$) de forma positiva com os valores de CIA.

A razão SiO_2/Al_2O_3 apresenta um valor de 2 para todas as amostras do perfil e a razão Ca/Mg, que aumenta da base para o topo, de 12 para 16, são consideradas como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação nos calcretos.

5.2.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne às REE a amostra CORb apresenta menor somatório de REE (71 mg/kg) que as amostras da base e do topo (179 mg/kg e 182 mg/kg, respetivamente) onde o teor em REE é superior ao verificado para os valores médios da crosta continental superior (UCC) (Figura 5.41, a).

Quando normalizados aos condritos, verifica-se que a amostra CORc é mais enriquecida em REE intermédias que as amostras da base (Figura 5.41, b). Verificam-se anomalias negativas de Eu ($0,58 < Eu/Eu^* < 0,63$) ligeiramente mais acentuadas do que para os valores médios da crosta continental superior, que diminuem da base para o topo do perfil. A anomalia negativa de Ce ($0,88 < Ce/Ce^* < 0,89$) na amostra total do calcreto é menos acentuada do que o registado para os valores médios da crosta continental superior (Figura 5.41, c). O fracionamento entre REE leves e pesadas ($13 < (La/Yb)_N < 14$) diminui da base para o topo do perfil e é maior do que o registado para os valores médios da crosta continental superior. O fracionamento entre REE leves e intermédias ($3,8 < (La/Sm)_N < 4,7$) é também maior no perfil de calcreto que na média da crosta continental superior (Figura 5.41, d).

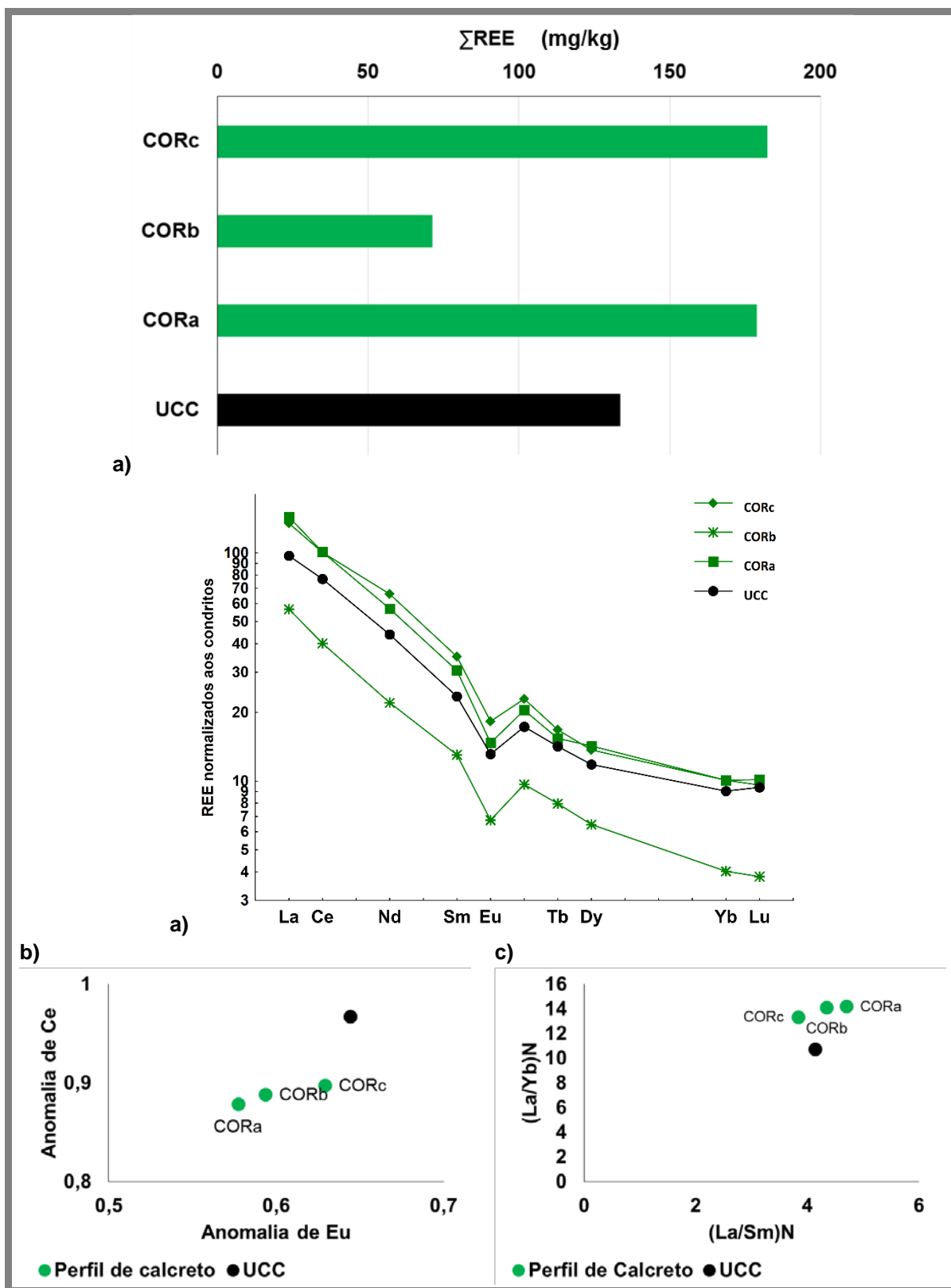


Figura 5.41 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto no Monte de Cortes e para os valores médios da crosta continental (UCC); c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE.

5.2.3.2 Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa

No que respeita à fração argilosa das amostras CORa, CORb e CORc (Anexo IV, Figura 5.42), onde se identificaram os minerais argilosos ilite, esmectite e minerais de caulino e no caso da fração argilosa da amostra CORa, na base do perfil, também clorite, verifica-se que, enquanto a amostra CORb apresenta menores teores na maioria dos elementos, a amostra da base, CORa, apresenta o maior teor para a generalidade dos elementos determinados. Na fração argilosa da amostra do nível intermédio, CORb, a exceção regista-se para o teor em Br e em Cs que nesta amostra apresentam concentração semelhante à determinada na fração argilosa da amostra da base do perfil (CORa). A fração argilosa da amostra da base CORa, comparativamente à fração argilosa da amostra do topo do perfil CORc, encontra-se enriquecida na generalidade dos elementos, com maior evidência no Mn, Co, As, Sb e REE, em particular as leves. Os teores mais elevados de Mn, As e REE na fração argilosa da base do perfil podem ser parcialmente devidos à presença de clorite nesta amostra. No caso do Mn, este elemento ocorre comumente na estrutura deste mineral argiloso (Caritat et al, 1993); o As poderá estar incorporado na estrutura deste mineral (Masuda et al, 2012); e as REE poderão ser fixadas por este mineral argiloso (Laveuf e Cornu, 2009).

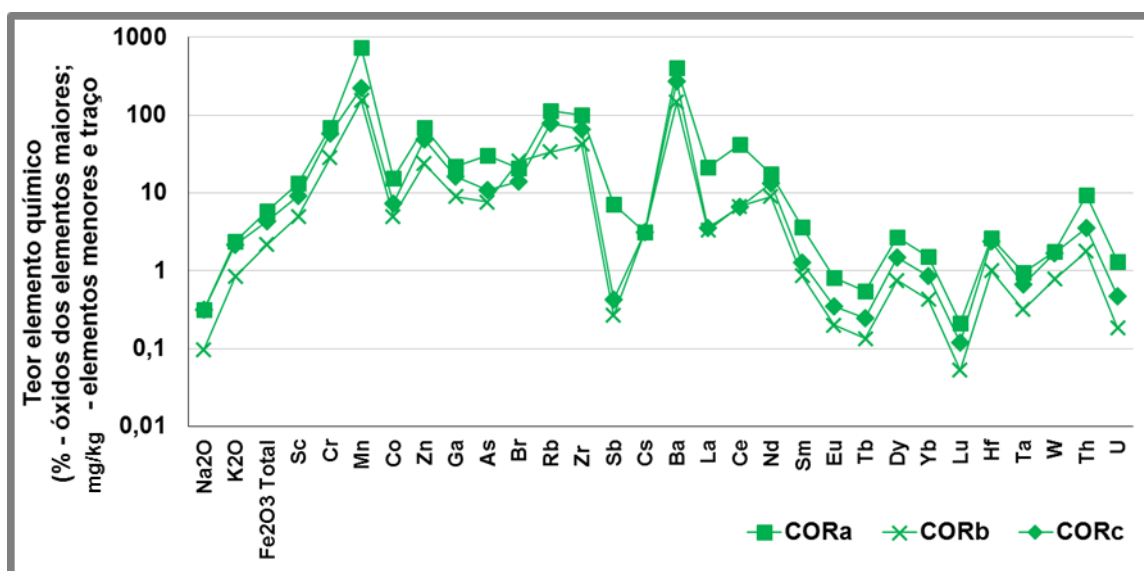


Figura 5.42. Composição química da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcetro do Monte de Cortes.

Comparando a composição química da fração argilosa das amostras com a da amostra total (Figura 5.43) verifica-se que em todas as amostras a fração argilosa está empobrecida em óxido de Na, REE e Th e enriquecida em óxido de Fe, Sc, Cr e W. O empobrecimento em óxido de Na justifica-se pela perda deste óxido durante o processo de separação da fração argilosa, dada a sua elevada solubilidade em água. As REE, nomeadamente os leves encontram-se mais empobrecidos na fração argilosa do topo e menos empobrecidos na fração argilosa da base. Assim, estes elementos deverão estar concentrados na fração grosseira das amostras, nomeadamente as REE leves, em minerais detríticos como o epídoto, a granada, a turmalina e o zircão que foram anteriormente identificados por petrografia nos materiais desta formação carbonatada (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970).

A fração argilosa da amostra da base, CORa, apresenta um enriquecimento ligeiro em óxido de Fe, Sc, Cr e Co e mais acentuado em Mn, Ga, As, Br e Sb, Ba, W e U. Como já referido, o Mn e o As deverão estar associados à presença de clorite (Caritat et al, 1993; Masuda et al, 2012). O enriquecimento em Fe, Sc e Cr poderá relacionar-se com a presença de clorite e ilite nesta amostra (Prudêncio et al, 2011). Para além dos elementos já elencados a fração argilosa da amostra da base está empobrecida em óxido de K, que corrobora o já citado no que respeita ao estado de meteorização desta amostra: o K encontra-se nos feldspatos potássicos (amostra com maior proporção deste mineral) na fração grosseira em detrimento da fração fina. Nas amostras dos níveis superiores o relativo enriquecimento na fração argilosa em K dever-se-á à meteorização dos feldspatos e incorporação do K nos minerais argilosos, nomeadamente na ilite que surge em maiores proporções na fração argilosa da amostra do topo CORc.

A amostra do topo, CORc, apresenta a fração argilosa ligeiramente enriquecida em óxidos de K e Fe, Sc, Cr, Ga e W e empobrecida em óxido de Na, Mn, Co, As, Br, Zr, Sb, Cs, REE, Th e U, sendo de realçar o grande empobrecimento em REE leves. O teor mais elevado em K, Fe, Sc, Cr é justificado pela maior proporção de ilite na fração argilosa da amostra do topo do perfil de calcreto. A amostra CORb, para além do já citado, encontra-se enriquecida em As, Br e Cs e empobrecida em Mn e Th, na fração argilosa.

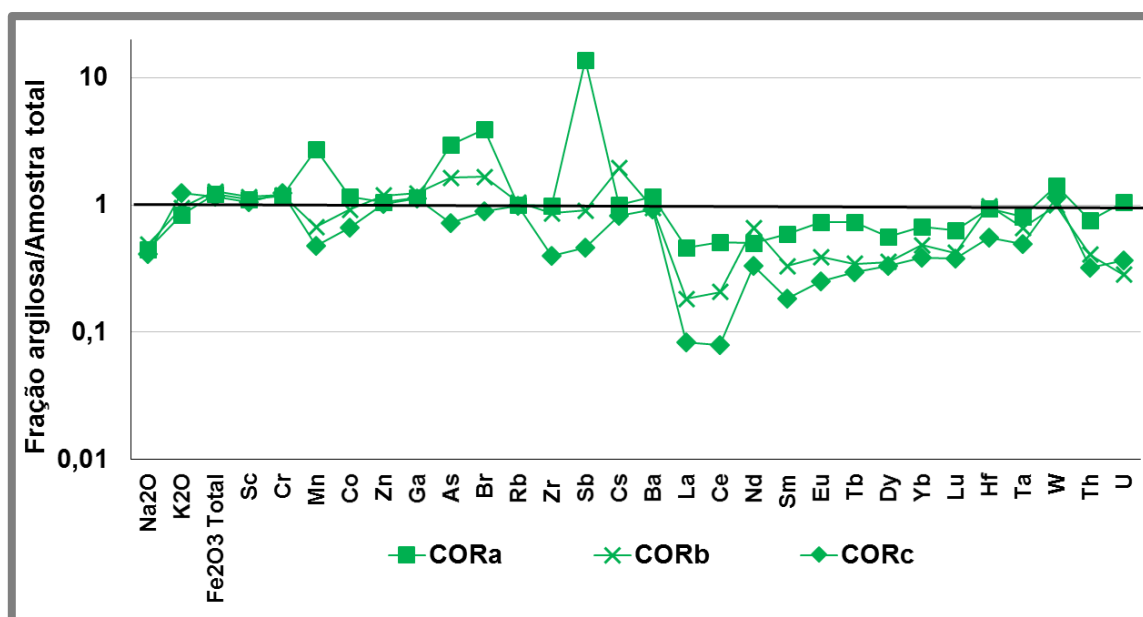


Figura 5.43 Razão entre a composição química da fração argilosa e a amostra total das amostras recolhidas no perfil de calcreto recolhido no Monte de Cortes.

5.2.3.2.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório das REE na fração argilosa é inferior ao verificado na amostra total ($21 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 90 \text{ mg/kg}$), sendo a fração argilosa da amostra da base a que apresenta o maior teor em REE (Figura 5.44, a). Comprova-se mais uma vez a maior concentração dos REE na fração grosseira das amostras. O teor mais elevado em REE na amostra da base CORa deverá ser consequência da presença de clorite nesta amostra, mineral onde as REE, nomeadamente as intermédias, tendem a fixar-se (Laveuf e Cornu, 2009).

Quando normalizados aos condritos verifica-se que a fração argilosa da amostra da base CORa é a mais enriquecida em REE e que a amostra do topo CORc se distingue da amostra do nível intermédio CORb pelo teor mais elevado em REE intermédias e pesadas na amostra do topo onde a proporção de ilite é mais elevada (Figura 5.44, b).

A anomalia negativa de Ce ($0,54 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,94$) na fração argilosa aumenta da base para o topo do perfil de calcreto. A mesma tendência é verificada na proporção de ilite na fração argilosa das amostras, mineral ao qual estão associadas anomalias negativas de Ce (Laveuf e Cornu, 2009) (Figura 5.44, c).

A anomalia negativa de Eu ($0,69 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,77$) diminui da base para o topo do perfil, sendo menos acentuada na fração argilosa do que na amostra total, o que poderá indicar que o Eu se fixa preferencialmente nos minerais argilosos em detrimento dos minerais presentes na fração grosseira (Figura 5.44, c). Uma vez que a proporção de ilite aumenta da base para o topo, verifica-se uma correlação positiva entre a diminuição da anomalia negativa de Eu e o aumento da proporção deste mineral argiloso.

O fracionamento entre REE leves e pesadas ($2,9 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 9,8$) e entre leves e intermédias ($1,7 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3,7$) diminui da base para o topo de forma mais evidente do que na amostra total mas com menores razões (Figura 5.44, d).

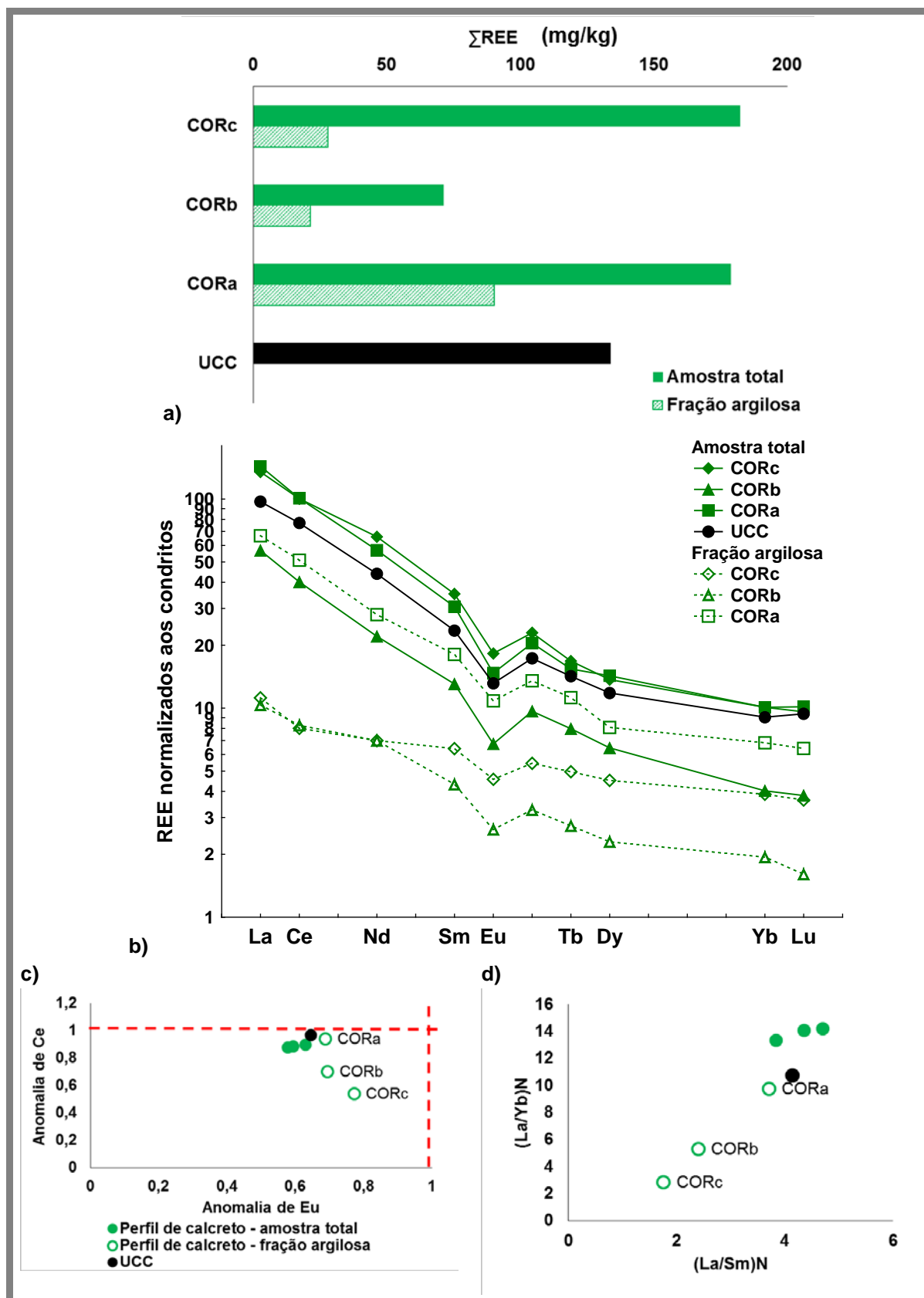


Figura 5.44 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento das REE na fração argilosa e na amostra total das amostras recolhidas no perfil de calceteo no Monte de Cortes e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).

5.2.3.3 Materiais de preenchimento da fossa – Amostra total

A amostra recolhida no preenchimento da fossa no Monte de Cortes, constituída por material muito carbonatado, incluindo grandes blocos de calcreto, COR1, apresenta a composição química descrita na Anexo IV, de onde há a reter que esta amostra, dado a elevada proporção de calcite apresenta teores baixos da generalidade dos elementos determinados com exceção do teor em CaO.

Relativamente à costa continental a amostra COR1 encontra-se empobrecida na maioria dos elementos determinados, com exceção do óxido de Ca, Br, Mo e I (Figura 5.45), resultado de uma mineralogia dominada pela presença de calcite. Relativamente às amostras recolhidas no perfil de calcreto, nesta amostra não foi detetado óxido de S e Sn e foi detetada a presença de Cl, Cd e Tl. Considerando as amostras do perfil de calcreto, a amostra COR1 encontra-se empobrecida na maioria dos elementos com exceção do óxido de Ca, Br. Em relação à amostra da base do perfil de calcreto CORa e à amostra do nível intermédio CORb, a amostra de materiais de preenchimento da fossa COR1 encontra-se enriquecida em óxidos de P e Pb. Em relação à amostra CORb, a amostra COR1 encontra-se ainda enriquecida em Mo, Hf, W e U (Figura 5.45).

Considerando a composição química e mineralógica da amostra COR1 e das amostras recolhidas no perfil de calcreto, pode considerar-se que esta apresenta uma maior semelhança com a amostra CORb. A análise estatística, considerando como variáveis o teor dos 28 elementos químicos determinados, permitiu corroborar esta afirmação, mostrando uma maior proximidade entre o material de preenchimento da fossa (COR1) e a amostra recolhida no nível intermedio do perfil de calcreto CORb (Figura 5.46). Embora se estejam apenas a tratar de 4 casos, considerou-se importante através de tratamento estatístico apresentar as semelhanças encontradas entre cada par de amostras, bem como, atendendo às 28 variáveis, quais os elementos que melhor as explicavam.

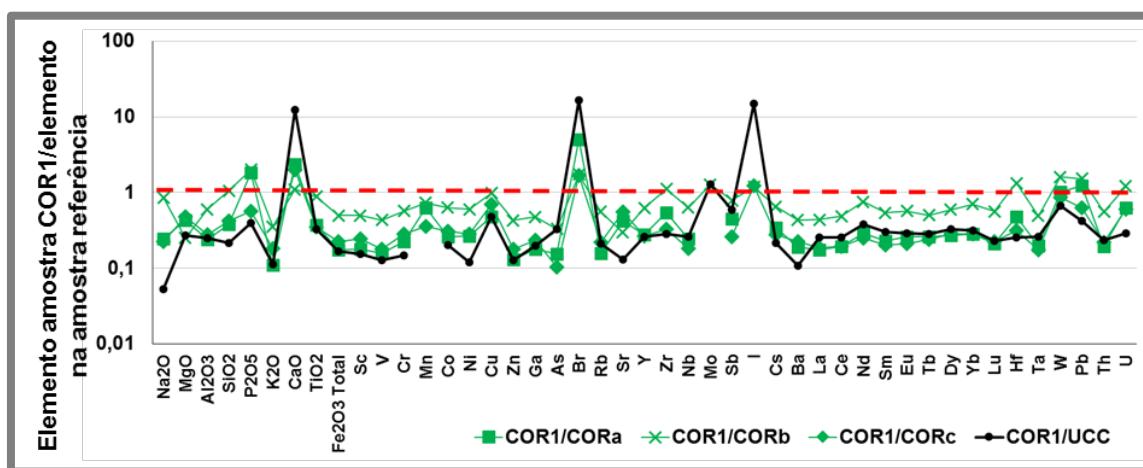


Figura 5.45 Composição química da amostra COR1 recolhida no preenchimento da fossa do Monte de Cortes, relativamente à média da crosta continental superior (UCC) e as amostras recolhidas no perfil de calcreto.

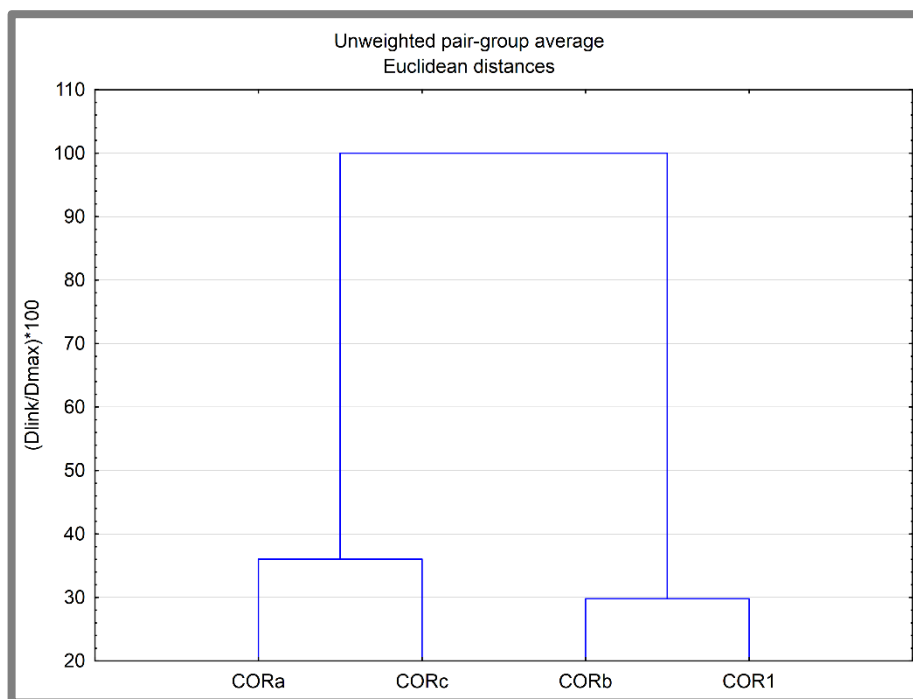


Figura 5.46 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis o teor de 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto e no preenchimento da fossa no Monte de Cortes.

5.2.3.3.1 Índices químicos

O índice químico de alteração (CIA=18) na amostra COR1 é inferior ao obtido nas amostras do calcreto (25 - 39), o que indicaria um estado de menor meteorização dos feldspatos na amostra. Tal como nas amostras do calcreto, dada a pequena proporção de feldspatos nesta amostra o valor obtido para o CIA não espelha o estado de alteração desta.

A razão $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos assume o valor 0,2, tal como a amostra CORb.

A razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ apresenta um valor de 4 e a razão Ca/Mg o valor de 66. Estas razões são consideradas como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação e nesta amostra surgem com valores muito superiores, nomeadamente a razão Ca/Mg , ao encontrado nas amostras do calcreto. Estes indicadores de meteorização, precipitação e cimentação estão de acordo com a indicação de uma amostra de calcreto mais maduro obtida pela razão $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$. O valor de LOI (35%) é semelhante ao valor determinado para a amostra CORb.

As razões de dolomitização e de calcificação na amostra do preenchimento da fossa (COR 1) são de 0,02 e 12 respetivamente. A razão de dolomitização é inferior à registada em qualquer das amostras do calcreto enquanto a razão de calcificação é muito superior.

5.2.3.3.2 Comportamento dos elementos terras raras

O teor em REE na amostra recolhida nos materiais de preenchimento, COR1, da fossa ($\Sigma\text{REE}=38 \text{ mg/kg}$) é inferior ao teor de REE quer nos materiais recolhidos no perfil de calcreto que em relação aos valores médios da crosta continental superior (Figura 5.47, a). Quando normalizados aos condritos as REE da amostra COR1 apresentam anomalias negativas de Eu e Ce ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,63$ e $\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,88$) (Figura 5.47, b), tal como no perfil de calcreto. O fracionamento entre REE leves e pesadas ($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=8,8$) e entre REE leves e intermédias ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=3,5$) é menor do que o fracionamento na crosta continental superior. Na amostra COR1 o fracionamento entre REE leves e intermédias é semelhante ao que ocorre nas amostras do calcreto enquanto o fracionamento entre pesadas e leves é menor.

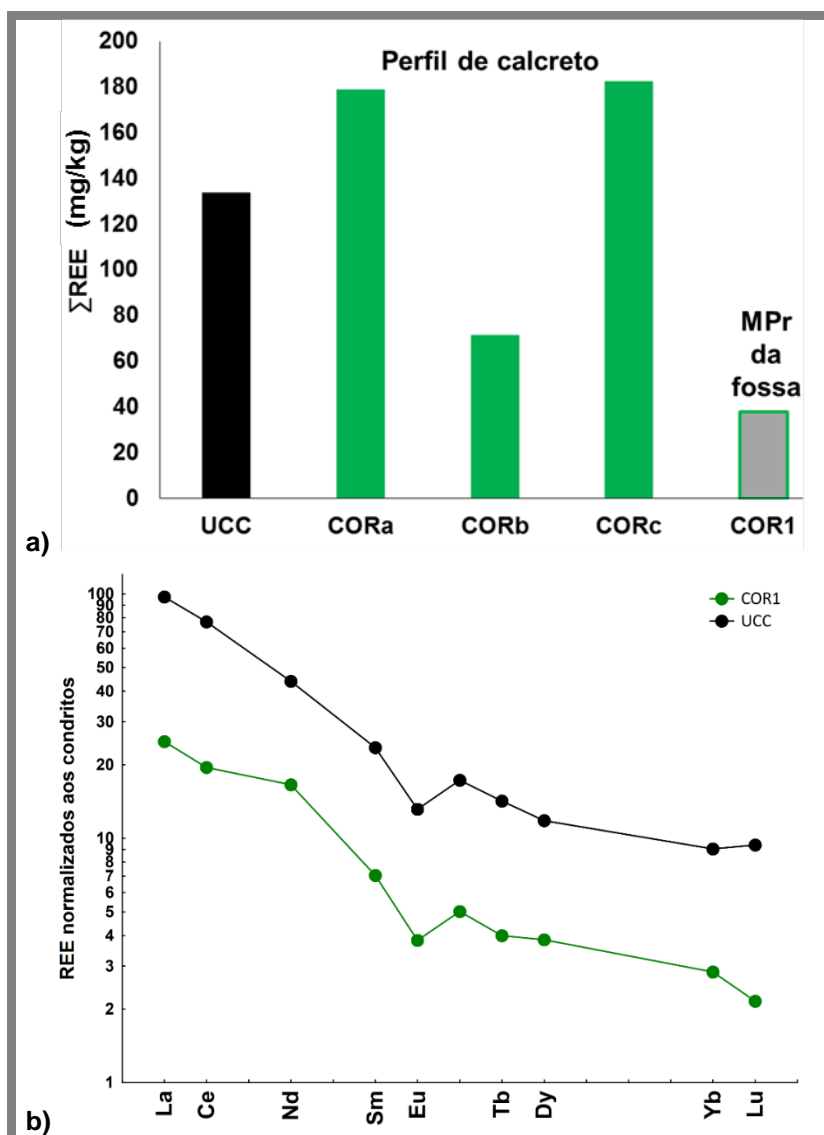


Figura 5.47 a) Somatório do teor em REE, determinados por AAN na amostra total dos materiais de preenchimento da fossa (COR1), no perfil de calcreto (CORa – CORb) e para os valores médios da crosta continental superior (UCC); b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra recolhida na fossa do Monte de Cortes e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).

5.2.3.4 Materiais de preenchimento do fosso – Amostra total

No preenchimento do fosso foram recolhidas 8 amostras (pCOR2_1 – pCOR2_7 e COR2) para as quais se determinou a composição química em elementos maiores, menores e traço por AAN. Para a amostra COR2 determinou-se também a composição de elementos maiores e menores por FRX (Anexo IV). De um modo geral, regista-se um aumento, da base para o topo da sequência de preenchimento do fosso, do teor em elementos químicos, sendo exceção a este comportamento os materiais recolhidos a 48 cm e 90 cm de profundidade que, por conterem maior proporção de calcite assumem teores mais baixos na generalidade dos elementos determinados (Figura 5.48). O comportamento dos elementos Br, Zr e U destaca-se do comportamento dos restantes elementos. O teor em Br mantém-se constante da base até aos 41 cm de profundidade, aumentado depois até aos 30 cm de profundidade e na amostra recolhida no topo assume um teor mais baixo. O teor em Zr aumenta da base até ao topo sem se registar diminuição do teor no nível mais carbonatado, a 48 cm de profundidade. Quanto ao teor em U verificam-se teores menores aos 90 cm e aos 60 cm de profundidade, e teores mais elevados aos 41 e aos 30 cm de profundidade. Na sequência de preenchimento há ainda a realçar a diferença entre as amostras de solo moderno recolhidas a 30 cm e a 5 cm de profundidade. A amostra recolhida a 30 cm de profundidade apresenta teores inferiores na generalidade dos elementos determinados, com maior diferença no que respeita aos elementos Ga, As, Sb, Hf e Th.

Relativamente aos valores médios da crosta continental, os materiais de preenchimento do fosso contêm menores teores da maioria dos elementos determinados, sendo exceção o teor em Br, que se apresenta mais elevado em todas as amostras, e o teor ligeiramente mais elevado em As e Sb na amostra do topo (recolhida a 5 cm de profundidade) (Figura 5.49, a). O Br que surge com teor mais elevado nos materiais de preenchimento do fosso, poderá estar relacionado com a presença de matéria orgânica e de atividade humana que, na amostra recolhida no topo se justifica pela manipulação do solo moderno na atividade agrícola (Salminen et al, 2005).

Em relação à amostra recolhida no preenchimento da fossa (COR1), os materiais recolhidos no fosso (COR2) apresentam um maior teor da maioria dos elementos determinados (Figura 5.49, b). Exceção a este comportamento é o teor mais baixo em óxidos de Na e K e o teor dos elementos Ga, Br, Rb, W e U na amostra recolhida a 90 cm de profundidade. O teor mais baixo em óxidos de Na e K, bem como em Ga e Rb relacionam-se com a menor proporção de feldspatos potássicos e plagioclase (minerais não identificados por DRX) na amostra da base do preenchimento do fosso, a 90 cm de profundidade.

Considerando as amostras recolhidas no perfil do calcreto que representam a geologia local (CORa, CORb e CORc), os materiais de preenchimento do fosso surgem com uma composição semelhante à da amostra CORb recolhida no nível intermédio do perfil de calcreto. Em relação à amostra da base do perfil de calcreto, os materiais de preenchimento do fosso encontram-se empobrecidos na generalidade dos elementos, à exceção do Br. Relativamente à amostra CORc, no topo do perfil de calcreto, os materiais de preenchimento encontram-se empobrecidos na generalidade dos elementos (Figura 5.49, c). Esta semelhança da composição química entre as amostras dos materiais de

preenchimento e a amostra CORb é corroborado pela análise estatística feita com base no teor em 28 elementos químicos na amostra total (Figura 5.50).

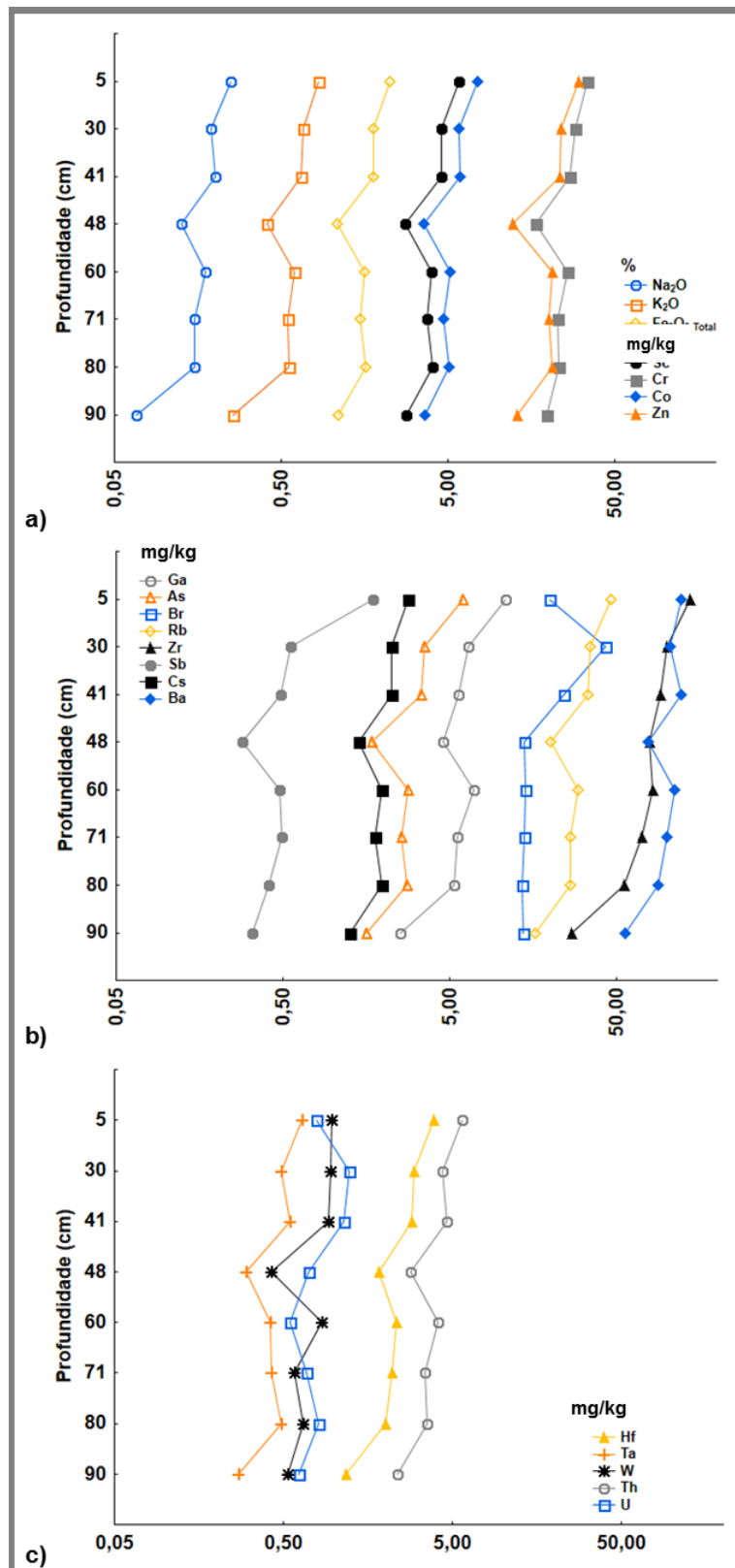


Figura 5.48 Variação da composição química em óxidos dos elementos maiores e em elementos traço com a profundidade na amostra total dos materiais de preenchimento do corte do fosso recolhidos no Monte de Cortes.

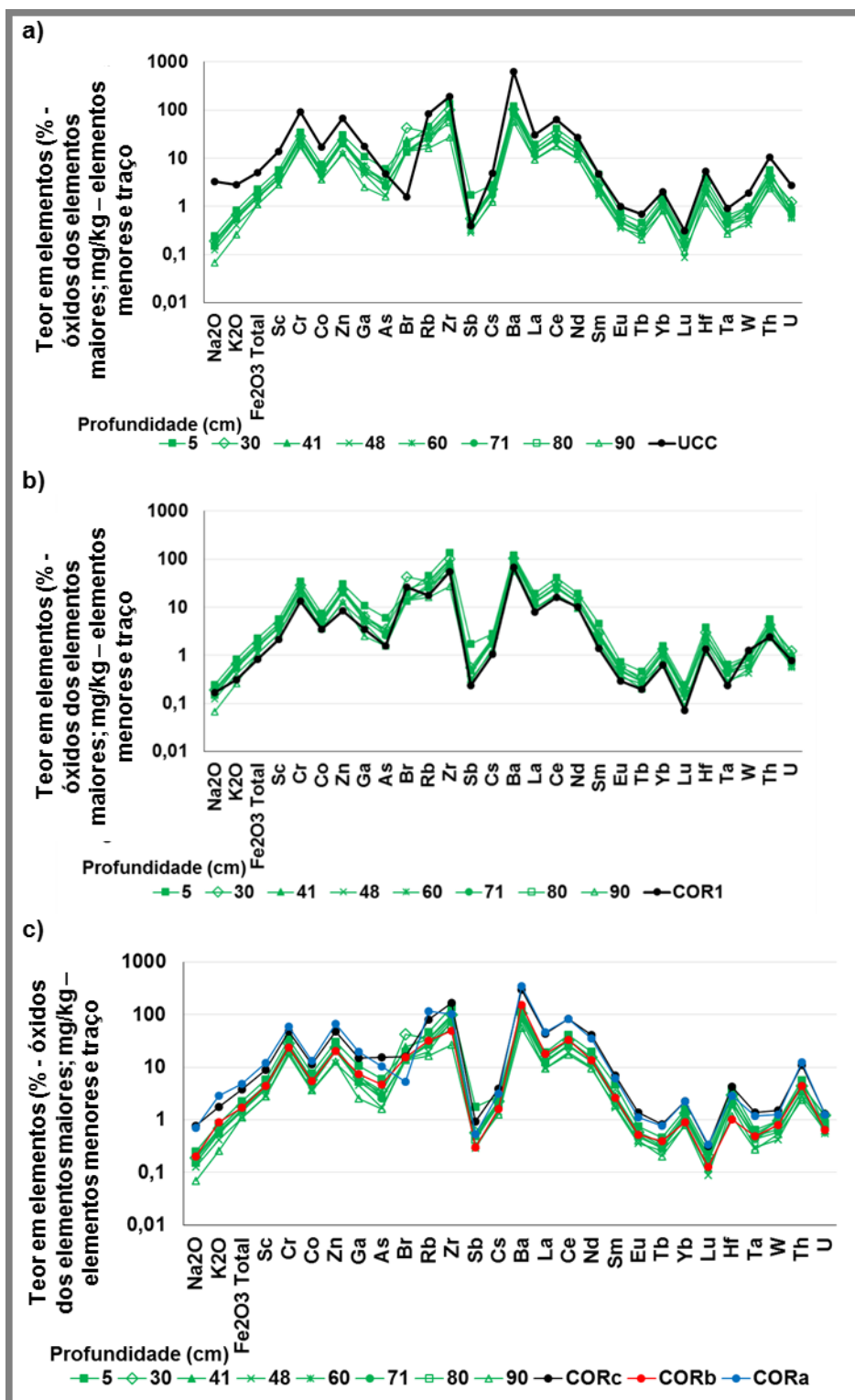


Figura 5.49 Composição química em elementos maiores, menores e traço nos materiais recolhidos no corte do fosso do Monte de Cortes e a sua relação com: a) os valores médios para a crosta continental superior (UCC); b) a composição química da amostra COR1 recolhida no preenchimento da fossa no Monte de Cortes; c) a composição química das amostras recolhidas no perfil de calcreto.

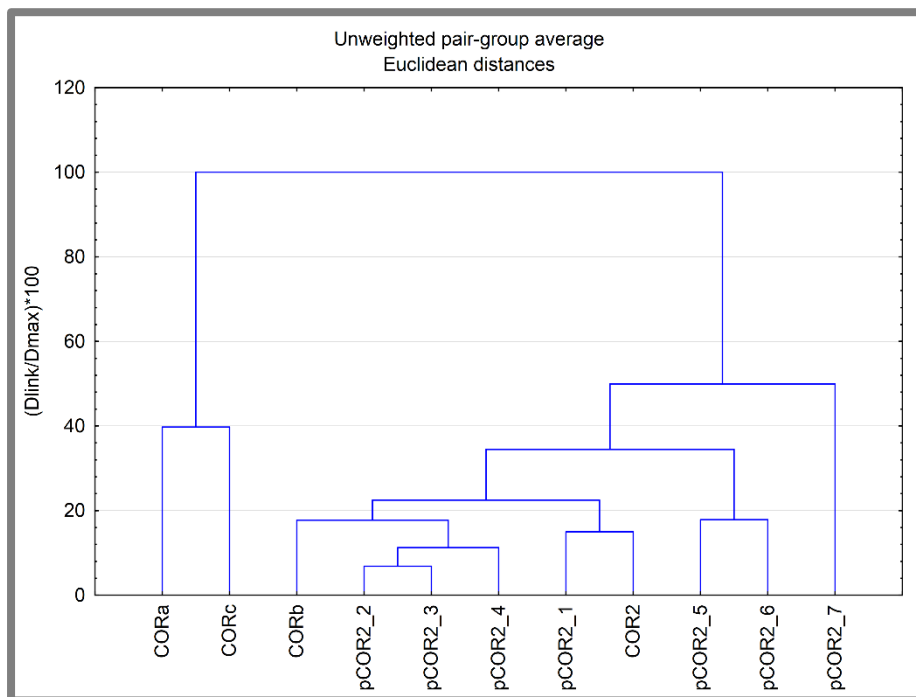


Figura 5.50 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis o teor dos 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais de preenchimento do fosso das amostras do perfil de calcreto no Monte de Cortes.

Comparando a amostra de materiais de preenchimento do fosso (COR2) com a amostra de materiais de preenchimento da fossa (COR1), a amostra COR2 encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados, com exceção dos óxidos de Na e Ca e dos elementos Cl, Cu, Br, Sr, I e W (Figura 5.51). O empobrecimento em óxido de Ca e Sr e o enriquecimento na maioria dos elementos determinados está relacionado com a menor proporção de calcite na amostra COR2.

Relativamente aos valores da UCC, a amostra COR2 encontra-se empobrecida na maioria dos elementos determinados à exceção do Ca, Br, Mo, Cd e I (Figura 5.51), estando o enriquecimento em Ca e I relacionado com o teor em calcite nos materiais de preenchimento do fosso. Relativamente à amostra CORb, verifica-se que a amostra COR2 encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados com exceção dos óxidos de Mg e Ca e do Sr, nos quais a amostra COR2 se encontra empobrecida dado o teor mais baixo em calcite nos materiais de preenchimento em relação à amostra de calcreto. No que se refere à amostra CORa (na base do perfil de calcreto) a amostra COR2 encontra-se empobrecida na maioria dos elementos exceto em óxidos de Mg, S, Ca e nos elementos Br e Sr. Em relação à amostra do topo do perfil de calcreto CORc, a amostra de materiais de preenchimento do fosso encontra-se empobrecida em todos os elementos determinados com exceção para o óxido de Ca (Figura 5.51).

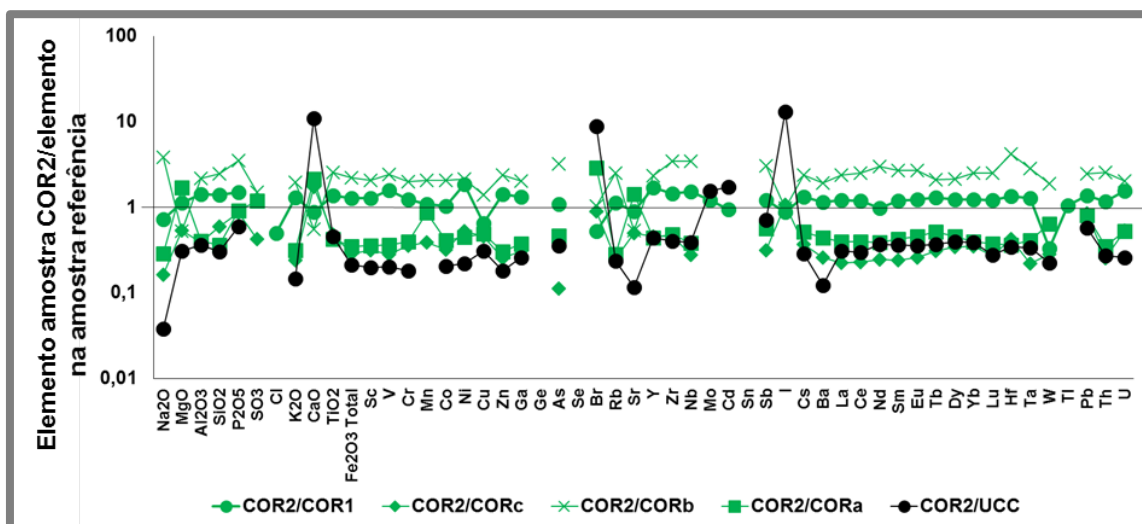


Figura 5.51 Relação entre a composição química da amostra COR2, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes e as amostras COR1, CORa, CORb e CORc, bem como com os valores médios da crosta continental superior (UCC).

5.2.3.4.1 Índices químicos

A amostra COR2 apresenta um CIA de 21%, superior ao registado para a amostra COR1, o que indica um maior índice de alteração química dos feldspatos nesta amostra em relação à amostra recolhida no preenchimento da fossa (COR1). O CIA desta amostra é inferior ao obtido para as amostras recolhidas no calcreto, indicando um maior grau de alteração química dos feldspatos na amostra de preenchimento do fosso do que no perfil de calcreto (como seria de esperar). No que respeita ao valor de LOI (32%), tal como a amostra COR1, trata-se de um valor muito próximo do obtido pela amostra CORb recolhida no perfil de calcreto.

O índice de maturação dos calcretos ($\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3=0,3$) é superior ao registado na amostra COR1 e CORb mas, muito inferior ao registado para as amostras CORa e CORc. Este valor indica um nível de maturação da amostra COR2 menor que as amostras COR1 e CORb e menor que as amostras CORa e CORc.

A razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4$ na amostra COR2 tal como na amostra COR1 é o dobro do registado na amostra do perfil de calcreto. A razão $\text{Ca}/\text{Mg}=61$ é inferior ao registado na amostra COR1 mas muito superior ao valor registado nas amostras do perfil de calcreto. Estas razões são consideradas como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação o que indica que os materiais de preenchimento do fosso e da fossa terão sofrido condições mais severas de meteorização, precipitação e cimentação que as amostras do calcreto.

A razão de dolomitização ($\text{RD}=0,2$) nos materiais de preenchimento do fosso, tal como na amostra de materiais de preenchimento da fossa assume valores inferiores aos registados para as amostras recolhidas no perfil de calcreto. No que concerne à razão de calcificação ($\text{RC}=7$), inferior ao verificado na amostra de materiais de preenchimento da fossa e semelhante à razão de calcificação do nível intermédio do perfil de calcreto, está de acordo com as observações feitas no campo e com a composição mineralógica obtida por DRX, uma vez que estamos na presença de uma amostra muito carbonatada, composta por nódulos e blocos de calcreto.

Para o conjunto de amostras recolhidas no sítio arqueológico do Monte de Cortes verifica-se que o índice químico de alteração se correlaciona negativamente com a razão de calcificação ($R^2=0,94$) e apresenta correlações positivas ($R^2=0,75$ e $R^2=0,89$, respetivamente) com a razão de dolomitização e o índice de maturação (Figura 5.52).

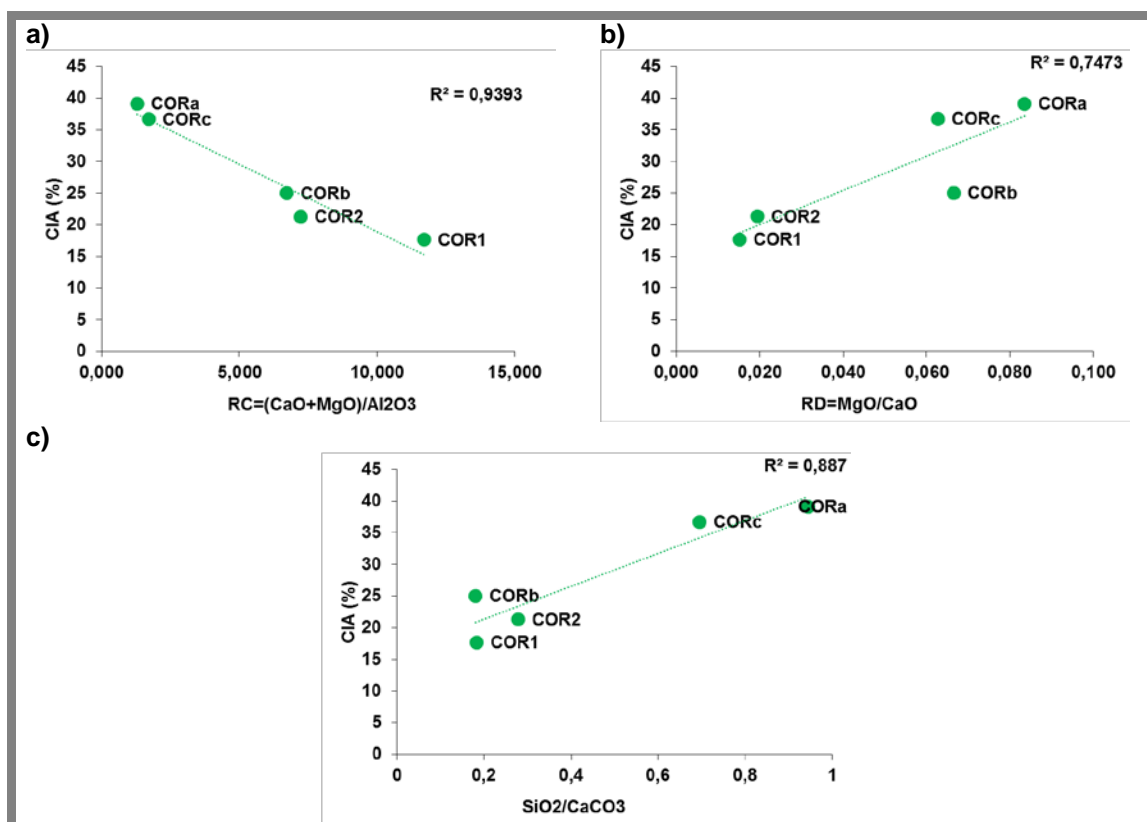


Figura 5.52 Correlação entre o índice químico de alteração e a razão de calcificação (a), a razão de dolomitização (b) e o índice de maturação dos calcretos (c), determinados para a amostra total dos materiais de preenchimento COR 1 e COR2 e os materiais recolhidos no perfil de calcreto no Monte de Cortes.

5.2.3.4.2 Comportamento dos elementos terras raras

De um modo geral, o somatório em REE nos materiais de preenchimento do fosso (40 mg/kg $<\sum\text{REE}<$ 88 mg/kg) aumenta da base para o topo da sequência de preenchimento, sendo a exceção a amostra recolhida a 48 cm de profundidade (COR2) que apresenta um teor mais baixo em REE, eventualmente por apresentar um teor em calcite maior. Relativamente às amostras recolhidas no perfil de calcreto e aos valores médios da crosta continental, as amostras recolhidas no preenchimento do fosso apresentam teores mais baixos em REE, tal como ocorre na amostra recolhida no preenchimento da fossa (COR1) (Figura 5.53).

A normalização dos teores em REE aos valores de referência para os condritos (Figura 5.54) permitiu verificar a existência de anomalias negativas de Ce ($0,85<\text{Ce}/\text{Ce}^*<0,99$) e de Eu ($0,52<\text{Eu}/\text{Eu}^*<0,69$). O fracionamento entre REE leves e pesadas ($7,8<(\text{La}/\text{Yb})_N<9,0$) é maior que entre REE leves e intermédias ($2,6<(\text{La}/\text{Sm})_N<3,6$) nos materiais de preenchimento do fosso (Figura 5.54, c). O fracionamento de REE nos materiais de preenchimento do fosso é da mesma ordem de grandeza do fracionamento nos materiais de preenchimento da fossa e menor quando

comparado com o fracionamento registado nas amostras de perfil de calcreto e da crosta continental superior (Figura 5.54, d).

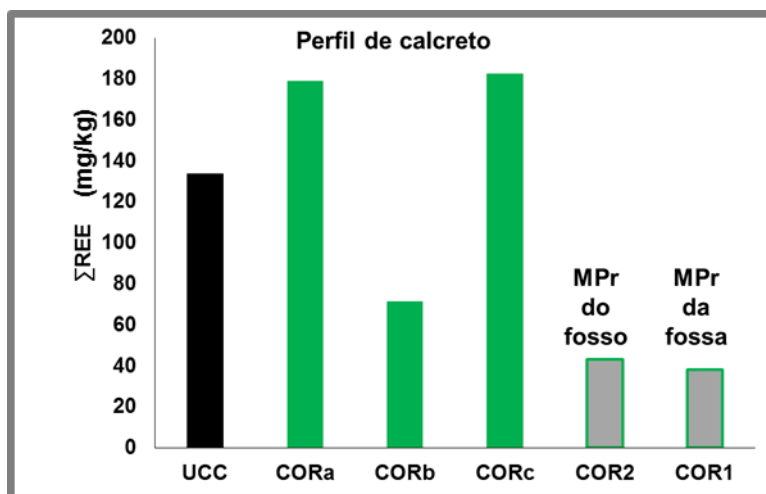


Figura 5.53 Somatório dos REE, determinados por AAN, na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento das estruturas negativas (COR1 e COR2), no perfil de calcreto (COR1 - CORc) e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).

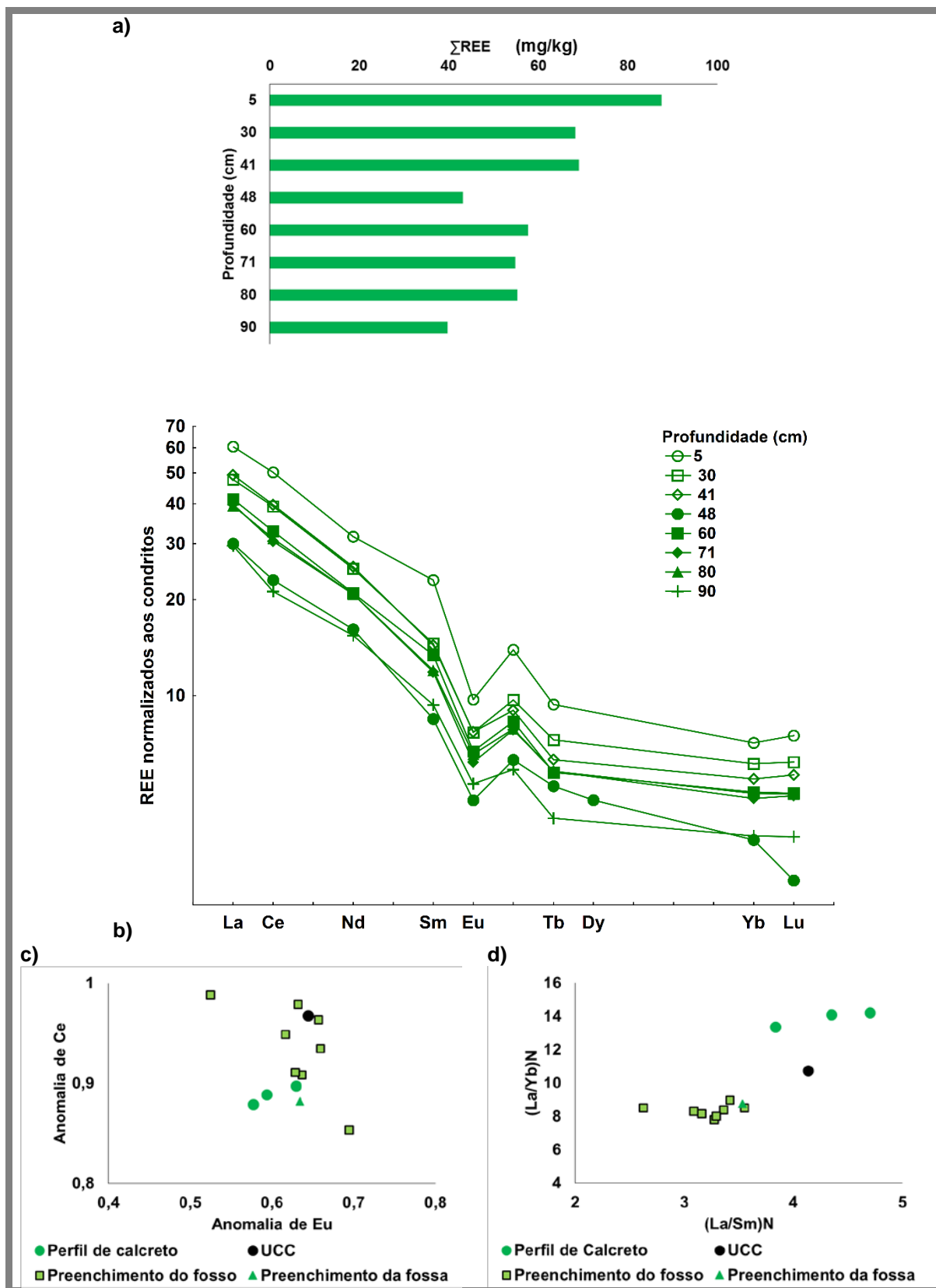


Figura 5.54 a) Somatório do teor em REE ao longo da seqüência de preenchimento do fosso; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE nas amostras recolhidas no fosso do Monte de Cortes.

5.2.3.5 Materiais de preenchimento da fossa e do fosso – Fração argilosa

A composição química da fração argilosa encontra-se descrita no Anexo IV para a amostras COR1 e COR2, na fossa e no fosso, respetivamente (Figura 5.55). De um modo geral, a amostra COR1 apresenta menores teores na maioria dos elementos determinados com exceção do óxido de Na, do Br, Cs e W que surgem em maior proporção nesta amostra em relação à amostra COR2 cuja composição mineralógica é ilite>minerais de caulino>esmectite.

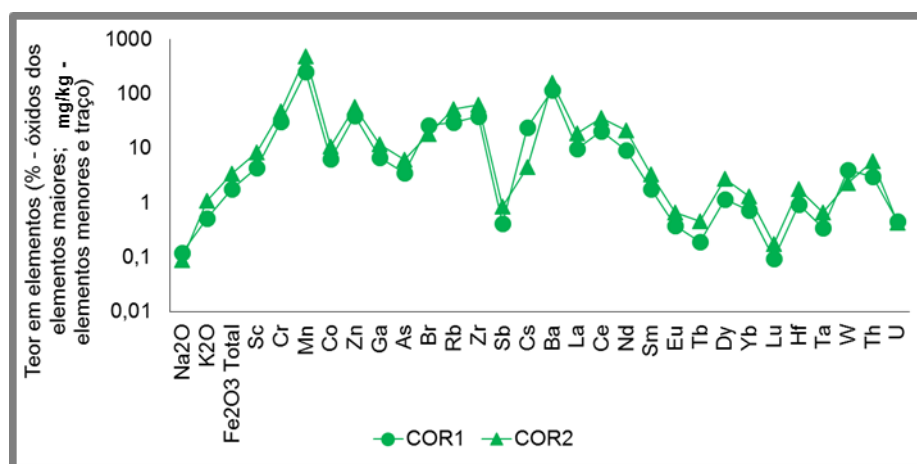


Figura 5.55 Composição química da fração argilosa das amostras COR1 e COR2 recolhidas no preenchimento da fossa e do fosso do Monte de Cortes, respetivamente, determinados por AAN.

Relativamente à amostra total a fração argilosa encontra-se enriquecida na maioria dos elementos estudados com exceção para o óxido de Na, perdido no processo de separação da fração argilosa, e para o Br, Zr, Hf e U, elementos nos quais a fração argilosa das duas amostras se encontra empobrecida, que poderão estar associados a minerais presentes nas partículas mais grosseiras (Figura 5.56). A fração argilosa da amostra COR1 encontra-se também ligeiramente empobrecida em REE pesadas.

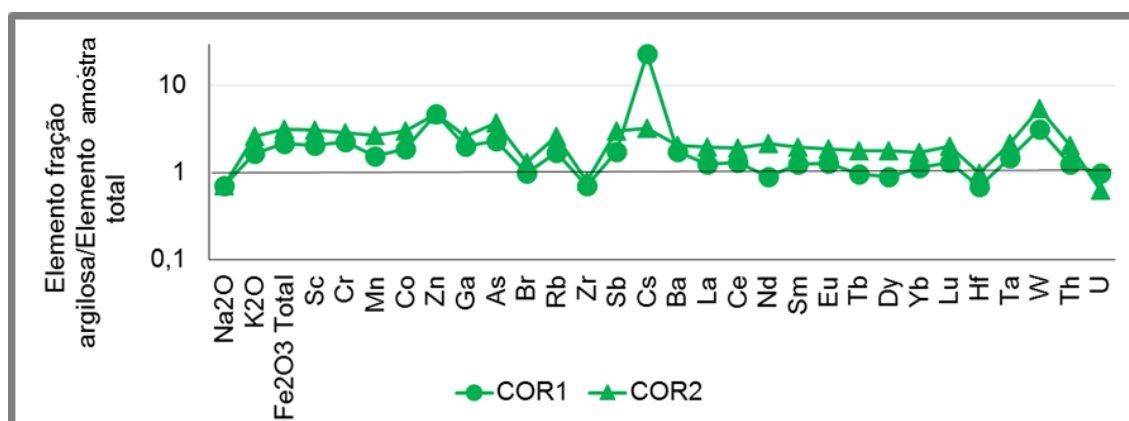


Figura 5.56 Relação entre a composição química da fração argilosa e a amostra total nos materiais COR1 e COR2, recolhidos no Monte de Cortes.

Comparando a fração argilosa das amostras COR1 e COR2 com a fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil de calcreto há a registar que a fração argilosa da amostra COR1 se encontra empobrecida na maioria dos elementos determinados em relação à fração argilosa da amostra CORa, com exceção para Mn, Br, Cs, La, Ce, Sm e W, nos quais a amostra COR2 se encontra enriquecida. Relativamente à amostra CORb,

a fração argilosa da amostra COR1 encontra-se enriquecida em óxido de Na, Mn, Zn, Br, Sb, Cs, La, Ce, Sm – Lu, W e U e empobrecida em óxido de K, Ga, As, e Ba. Em relação à amostra do topo do perfil (CORc), a fração argilosa da amostra COR1 encontra-se empobrecida na maioria dos elementos determinados com exceção do Br, Cs e W (Figura 5.57, a).

A fração argilosa da amostra COR2 tem, em relação às amostras do perfil de calcrete, maior proporção de ilite e menor de esmectite. Esta fração da amostra COR2 encontra-se empobrecida em relação à fração argilosa da amostra CORa nos óxidos de Na e K, As, Rb, Ba e Hf e enriquecida em Mn, Co, Br, Sb, Cs, REE, W e Th. Em relação à fração argilosa da amostra CORb, a amostra COR2 encontra-se enriquecida na maioria dos elementos à exceção do As. Em relação à amostra do topo do perfil de calcrete (CORc), a fração argilosa da amostra COR2 encontra-se empobrecida em todos os elementos determinados (Figura 5.57, b).

Tal como ocorre na amostra total, a fração argilosa da amostra COR1 assemelha-se mais do ponto de vista químico com a amostra CORb. A maior semelhança entre a amostra COR2 e CORb no que respeita à composição química da amostra total não se reflete na fração argilosa da amostra. A composição química da fração argilosa da amostra COR2 assemelha-se mais com a composição química da fração argilosa das amostras CORa e CORc. Neste sentido, pode dizer-se que a fração grosseira, que domina a composição da amostra total COR2, será mais próxima do ponto de vista químico da amostra total do nível de calcrete, mais rico em dolomite e com menor proporção de materiais detríticos, e portanto mais próximo de um calcrete lacustre. Enquanto a fração argilosa da amostra COR2 terá uma contribuição maior de materiais de alteração de formações distintas que surgem mais representadas nas amostras CORa e CORc (calcreto menos maduro onde ainda existe uma grande proporção de material detrítico como fragmentos de xisto). Deste modo, para estes materiais de preenchimento destas estruturas negativas atribui-se uma proveniência mista.

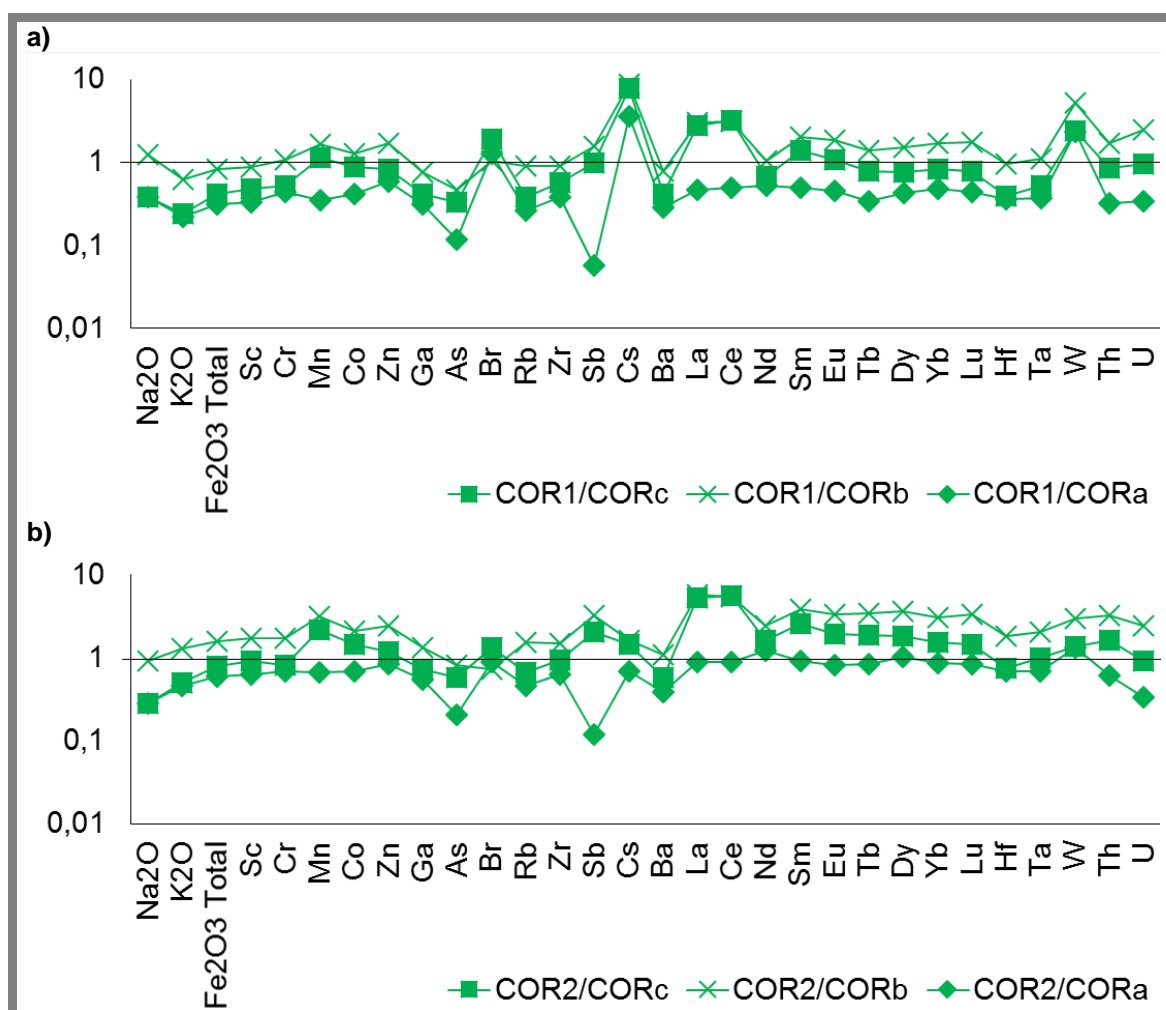


Figura 5.57 Relação entre a composição química da fração argilosa das amostras de preenchimento da fossa (COR1, a) e do fosso (COR2, b) e as amostras recolhidas no perfil de calcreto, no Monte de Cortes.

Através de análise estatística, elaborada com base no teor de 30 elementos químicos determinados na fração argilosa das amostras de preenchimento das estruturas negativas e do perfil de calcreto, é possível comprovar a maior semelhança entre a fração argilosa da amostra recolhida na sequência do preenchimento do fosso (COR2) com a fração argilosa da amostra do topo do perfil (CORc) e da fração argilosa da amostra de preenchimento da fossa (COR1) com a fração argilosa da amostra no nível intermédio do perfil de calcreto (CORb) (Figura 5.58). Para o caso dos materiais de preenchimento da fossa esta correspondência também se verifica na amostra total.

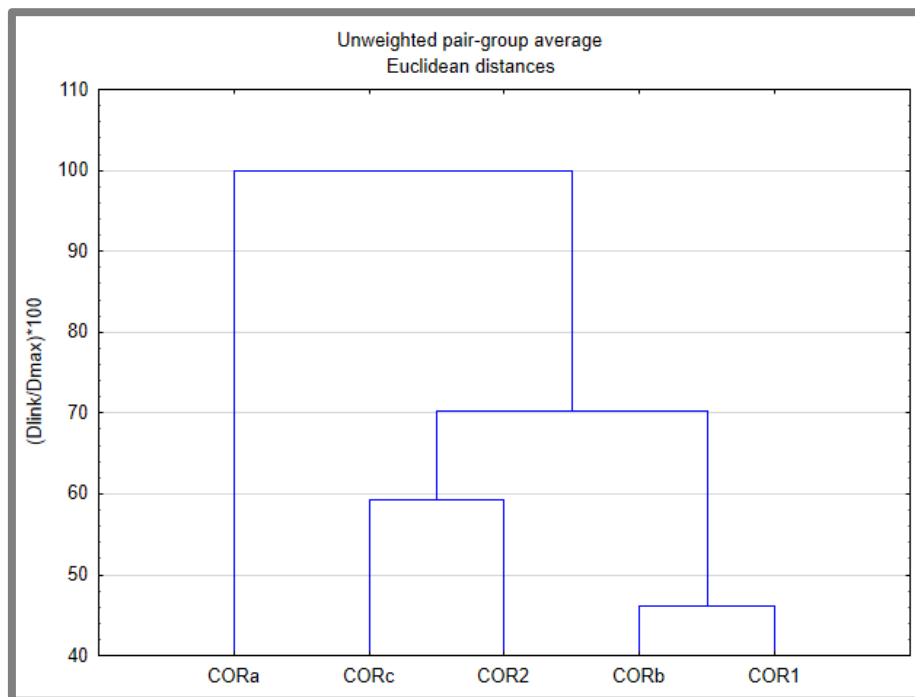


Figura 5.58 Dendrograma construído com o programa *Statística 10*, usando como variáveis o teor de 30 elementos químicos determinados na fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento da fossa e do fosso no Monte de Cortes.

5.2.3.5.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório de REE é de 45 mg/kg na fração argilosa da amostra COR1 e 86 mg/kg na fração argilosa da amostra COR2. Normalizando os teores de REE aos condritos, observam-se anomalias negativas de Ce ($0,87 < Ce/Ce^* < 0,99$), mais evidentes na fração argilosa da amostra de materiais de preenchimento do fosso, e anomalias negativas de Eu ($0,63 < Eu/Eu^* < 0,69$) em ambas as amostras (Figura 5.59). O fracionamento entre REE é maior na fração argilosa dos materiais de preenchimento do fosso do que nos materiais de preenchimento da fossa ($3,5 < (La/Sm)_N < 3,6$ e $9,6 < (La/Yb)_N < 9,9$). Verifica-se que, comparando o perfil de REE da amostra total com a fração argilosa (Figura 5.59), as REE se concentram na fração argilosa das amostras de materiais de preenchimento, mas de forma mais expressiva nos materiais de preenchimento do fosso.

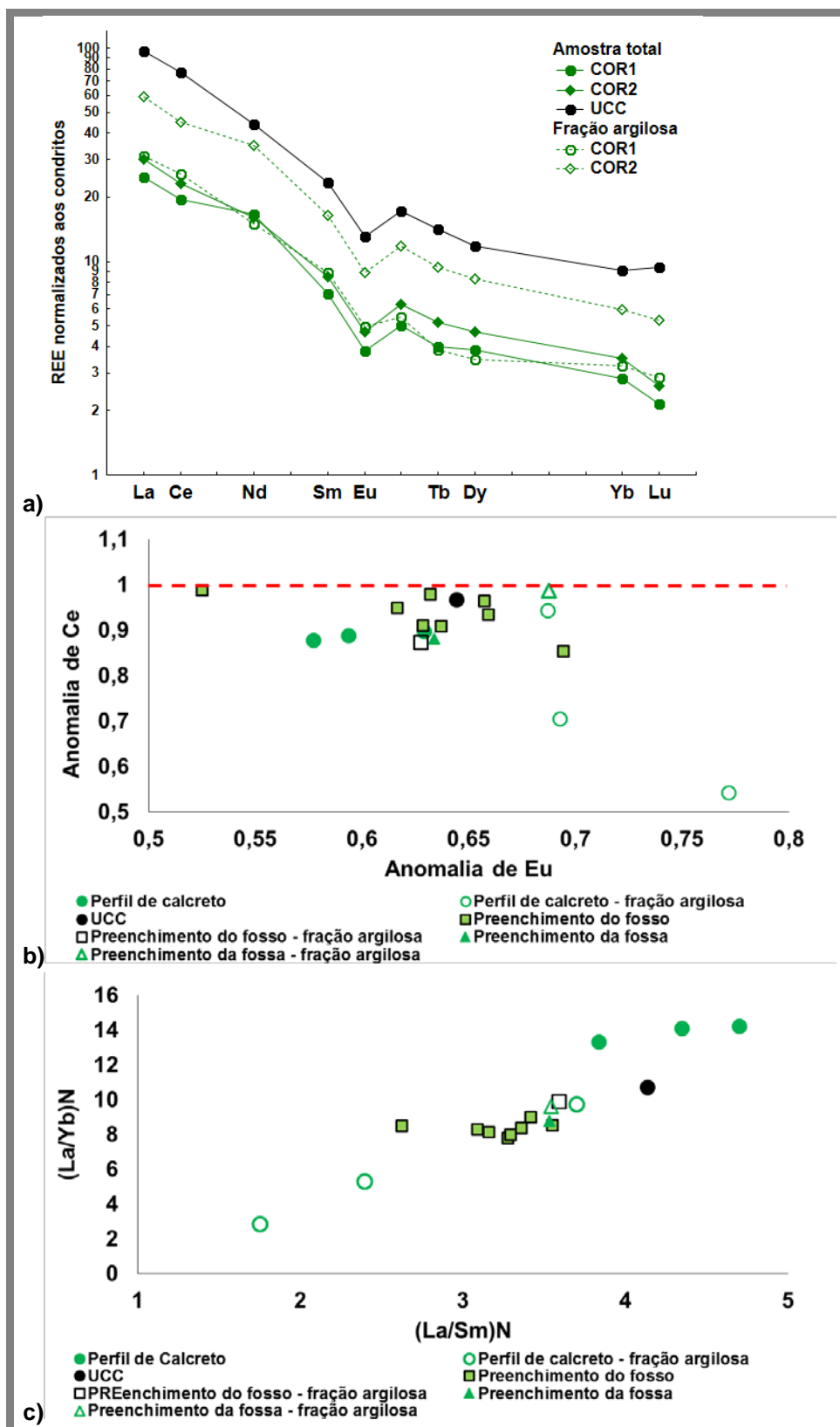


Figura 5.59 a) Perfil de REE normalizado aos condritos; b) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; c) fracionamento de REE na fração argilosa das amostras COR1 e COR2 e na amostra total dos materiais recolhidos nas estruturas negativas do Monte de Cortes, bem como para os valores médios da crosta continental.

5.2.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento

5.2.4.1 Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso

As frações de poliminerais, fina e grosseira, bem como a fração enriquecida em quartzo (PMF, PMG e EQZG), recolhidas nas amostras dos materiais de preenchimento do fosso, foram sujeitas ao protocolo de medida de testes iniciais, a partir do qual se obteve o comportamento dos sinais de luminescência ao longo do perfil, a sensibilidade de cada tipo de sinal à dose irradiada e a estimativa da dose absorvida aparente.

Considerando as diferentes frações mineralógicas é de notar que a sensibilidade ao IRSL é sempre inferior à sensibilidade ao OSL, que por sua vez é menor que a sensibilidade do pico 110°C do TSL, sendo estas diferenças mais evidentes na fração enriquecida em quartzo (EQZG) e menos marcadas na fração de poliminerais grosseiros (PMG) (Figura 5.60). Verifica-se que as frações de poliminerais, finos e grosseiros, recolhidas a 5 cm e a 90 cm de profundidade apresentam menor sensibilidade ao TSL do pico 110 °C, enquanto as frações de poliminerais recolhidas a 60 cm de profundidade apresenta maior sensibilidade. Esta tendência é também verificada para a resposta ao OSL e ao IRSL nos poliminerais grosseiros. No que respeita à sensibilidade dos grãos enriquecidos em quartzo, observa-se uma diminuição da base para o topo na resposta ao OSL e no pico a 110 °C do TSL relativamente à sensibilidade da fração enriquecida em quartzo ao OSL, que é cerca de três ordens de grandeza superior à sensibilidade desta fração ao IRSL. Há a realçar ainda a reprodutibilidade dos valores de sensibilidade entre as alíquotas nomeadamente de grãos poliminerais grosseiros e enriquecidos em quartzo grosseiro na resposta ao OSL e do pico a 110°C do TSL.

Considerando a sensibilização dos sinais estudados após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy (Figura 5.61), esta assume no geral uma maior dispersão da base ao topo da sequência, para os poliminerais finos e para os grãos enriquecidos em quartzo grosseiro como resposta ao IRSL. A sensibilização dos poliminerais grosseiros é maior como resposta ao OSL e ao TSL (razões de cerca de 2) do que ao IRSL (razões de cerca de 0,5). A sensibilização da fração enriquecida em quartzo apresenta uma tendência semelhante de aumento da base para o topo da sequência como resposta ao OSL e ao TSL no pico a 110°C (razões entre 2 - 3).

No que respeita à razão entre os sinais de IRSL e OSL é de notar que são no geral muito baixas e inferiores à unidade (Figura 5.62).

Observando a variação da dose absorvida aparente com a profundidade (Figura 5.63) estimada com base no comportamento dos grãos PMF, PMG e EQZG, pode referir-se que da base da sequência de preenchimento para o topo há uma diminuição gradual da dose absorvida aparente, apresentando os materiais da base do fosso maior contribuição de sinais residuais do geológico (valores muito elevados de dose absorvida aparente que correspondem a grãos para os quais o sinal medido não foi levado a zero durante evento de interesse). A diminuição da dose absorvida da base para o topo da sequência indica, de um modo geral, o preenchimento gradual da estrutura. Na base do preenchimento, numa camada identificada como fruto da alteração do calcreto verificam-se maiores valores de doses aparente, dada a maior contribuição de sinal residual, nas

frações de poliminerais como resposta ao OSL e ao TSL. No caso da fração enriquecida em quartzo grosseiro, os sinais emitidos como resposta ao OSL e ao TSL não evidenciam essa contribuição por parte dos sinais residuais do geológico, mas sim um aumento gradual da dose absorvida aparente da base até ao topo, a 30 cm de profundidade e uma diminuição acentuada da dose absorvida na amostra recolhida a 5 cm de profundidade. Estes dados permitem inferir um preenchimento gradual da estrutura. Por outro lado, a fração de poliminerais grosseiro, com base na resposta ao OSL, mostra que as amostras recolhidas na sequência de preenchimento decorrido por coluvião, entre os 80 cm e os 35 cm de profundidade, sofrem uma ligeira diminuição da base para o topo. Este fato aliado à presença de uma dose elevada na base do preenchimento pode indiciar um preenchimento rápido.

Observando a relação entre a dose absorvida aparente em cada uma das frações e a mineralogia das amostras de recolhidas em perfil, nomeadamente o teor em calcite (mineral dominante) verificam-se correlações positivas fortes, nomeadamente entre a dose aparente determinada na fração enriquecida em quartzo como resposta ao TSL e ao OSL, e na fração de poliminerais grosseiro como resposta ao OSL. Assim, tal como já verificado para o preenchimento do fosso em Monte Carrascal, parece haver uma relação direta entre a proporção de calcite na amostra total e a dose aparente determinada (Figura 5.64).

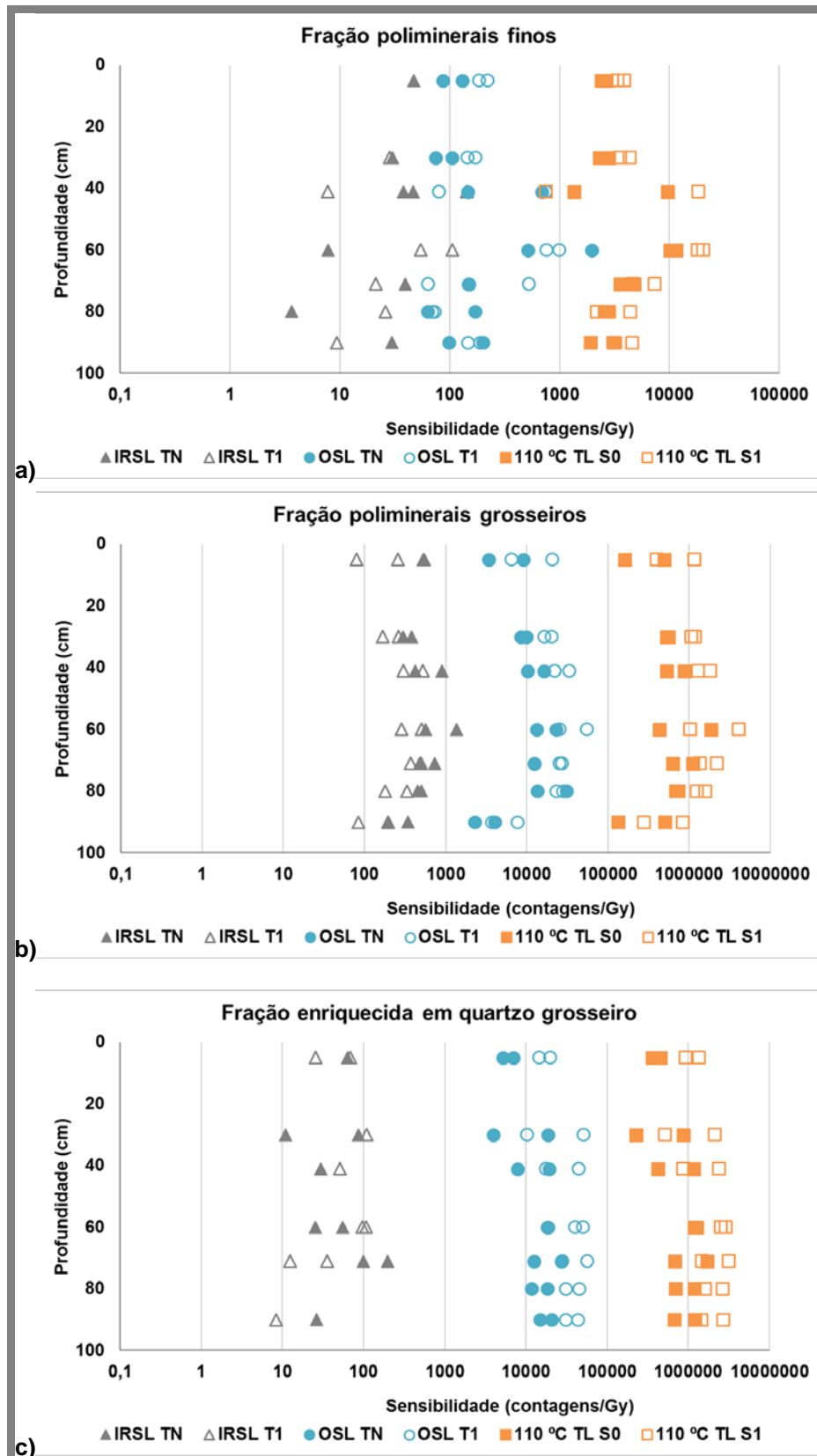


Figura 5.60 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração fina e grosseira de poliminerais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil no Monte de Cortes. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.

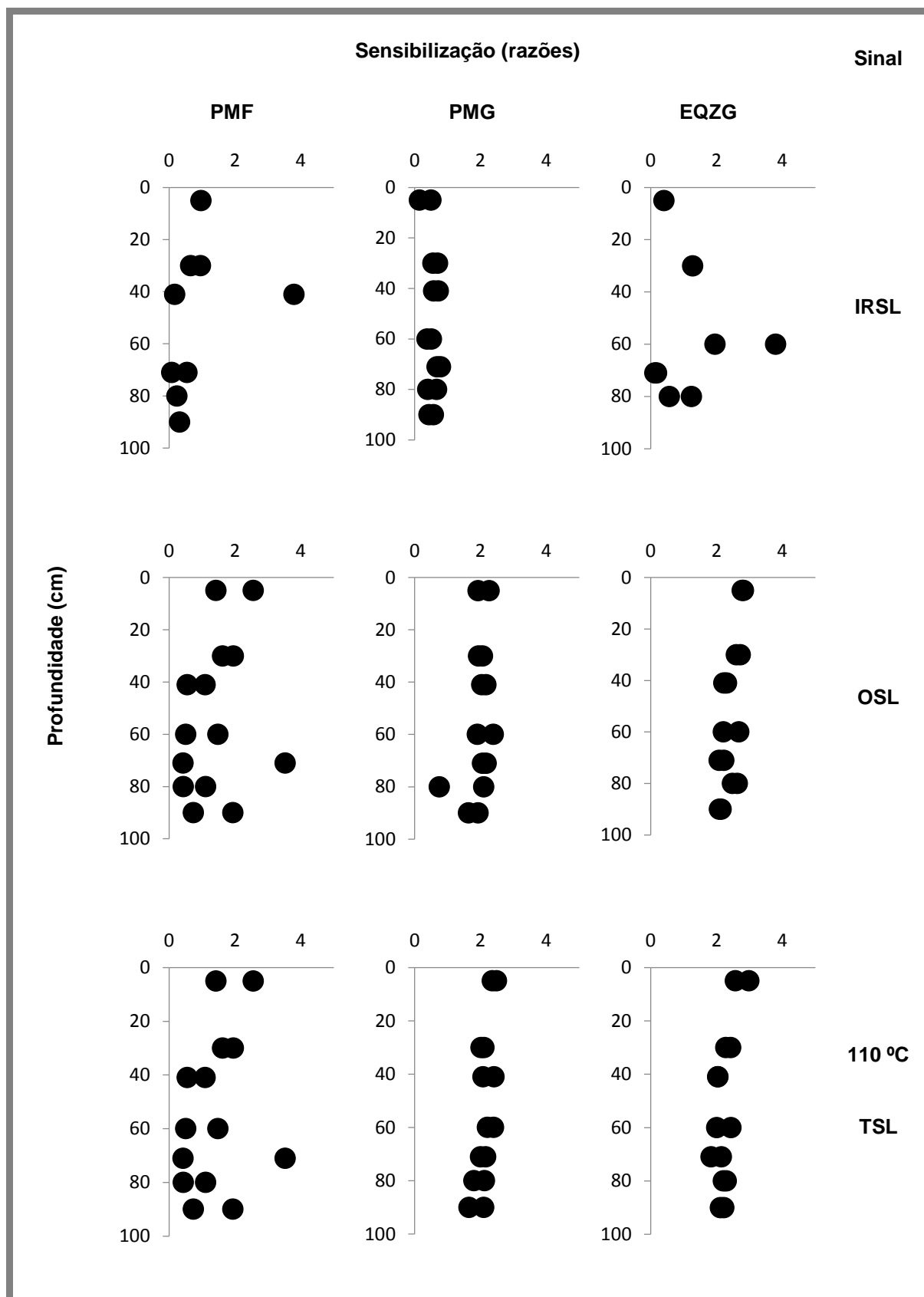


Figura 5.61 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil no fosso do Monte de Cortes.

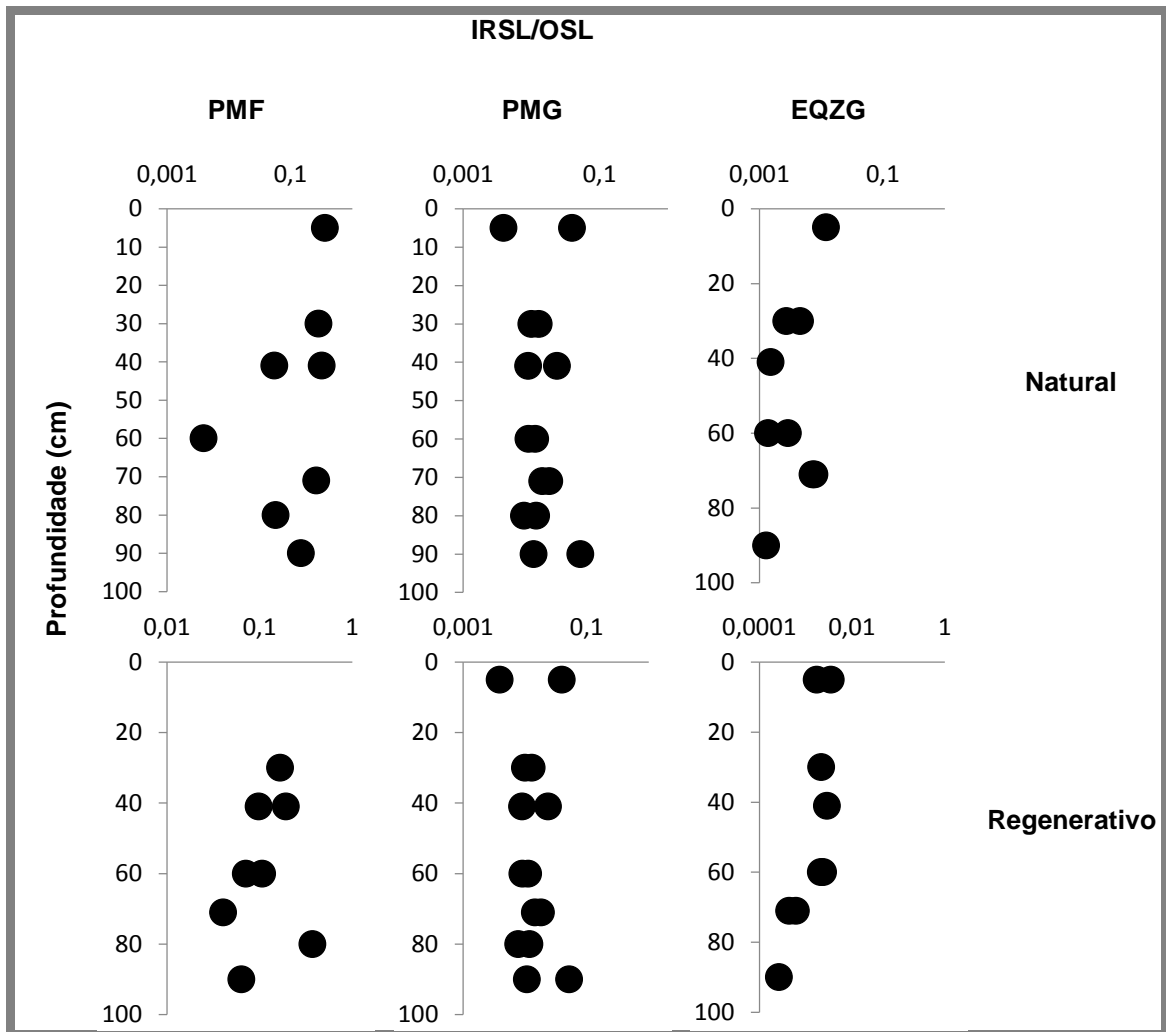


Figura 5.62 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidas em perfil no fosso do Monte de Cortes.

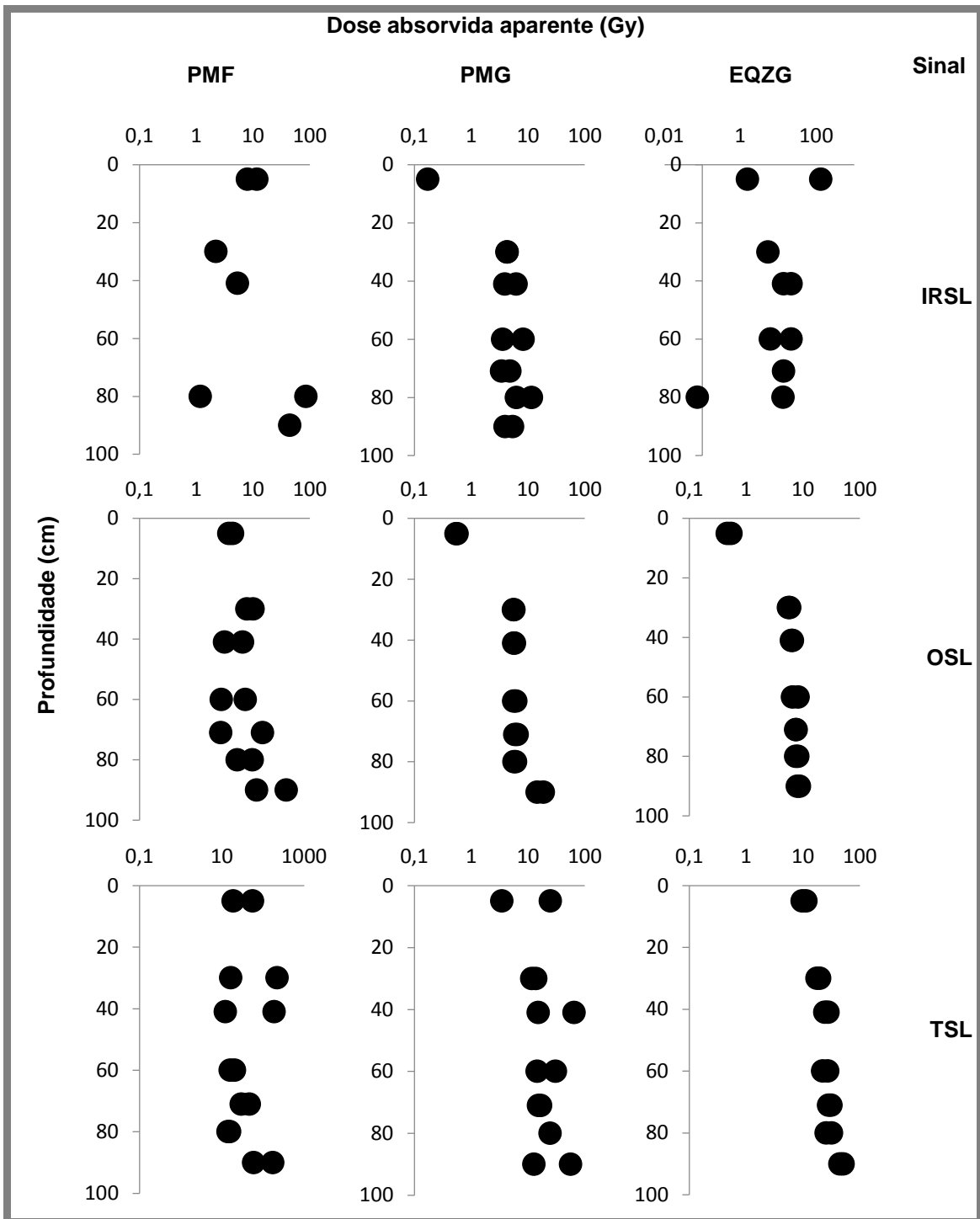


Figura 5.63 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil no fosso do Monte de Cortes.

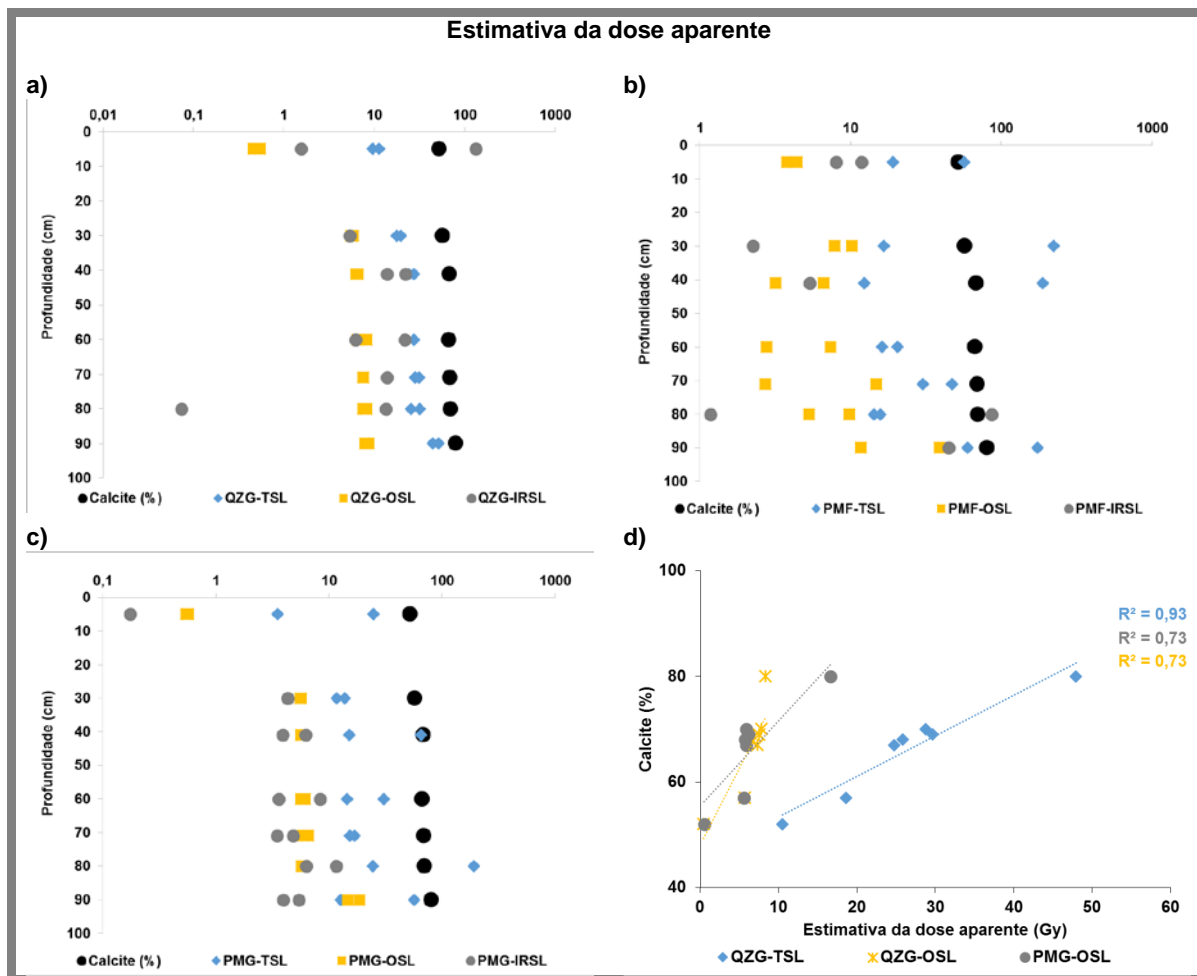


Figura 5.64 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos grosseiros enriquecidos em quartzo (a) e nos grãos de poliminerais finos (b) e grosseiros (c) dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil no fosso do Monte de Cortes, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade. d) variação da proporção de calcite em função da estimativa de dose aparente.

5.2.4.2 Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraído das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datar (COR1 e COR2), foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração enriquecida em quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de QZG ao OSL (345 - 658 contagens Gy⁻¹ g⁻¹) é mais elevada do que a observada sensibilidade para o pico a 110°C do QZG no TSL (4,12 – 5,88 contagens Gy⁻¹ g⁻¹). O QZC recolhido na amostra COR1 recolhida no preenchimento da fossa apresenta a maior sensibilidade ao OSL e a menor ao TSL (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas no Monte de Cortes.

Amostra	Sensibilidade (contagens Gy ⁻¹ g ⁻¹)	
	OSL	TSL (pico a 110°C)
COR2 (MPr fosso)	345	5,88
COR1 (MPR fossa)	658	4,12

5.2.4.3 Radioluminescência

Os grãos de quartzo grosseiro (160-250 µm) da amostra COR2, recolhida no preenchimento do fosso foram analisados por radioluminescência por forma a ser estudado o comportamento dos centros de emissão de luminescência entre 365 e 380 nm, medidos para a datação, e outras emissões nas bandas visíveis. Neste sentido, verificou-se que ao longo das medições efetuadas, ocorre a diminuição da intensidade do sinal de radioluminescência tanto na amostra natural como após ativação (Figura 5.65). Na amostra natural a intensidade máxima do sinal diminui de 0,08 para 0,03 durante 20 ciclos de irradiação com raios X (medição RL), enquanto após a ativação a intensidade máxima diminui de 0,19 para 0,04. Para além do aumento da intensidade do sinal, após irradiação a curva da intensidade em função do comprimento de onda sofre uma alteração na sua forma (Figura 5.65). O aumento de intensidade do sinal de cerca de 2 vezes nos grãos de quartzo após ativação, em relação ao observado nos grãos de quartzo ao natural, revela um aumento da sensibilização por meio do aumento da probabilidade de recombinação em centros emissores.

O quartzo recolhido na amostra COR2, do Monte de Cortes, apresenta uma sensibilidade menor que a verificada para o quartzo das amostras recolhidas no Monte Carrascal (secção 5.1.4.3 neste capítulo), e um menor aumento após ativação. Esta diferença poderá estar relacionada com a diferente origem do quartzo e com o diferente estado de maturação do calcreto. O calcreto pulverulento de origem lacustre amostrado no Monte de Cortes encontra-se num estado de menor maturação que o calcreto do Monte Carrascal, tendo sido sujeito a menos ciclos de meteorização e portanto a uma menor probabilidade de recombinação em centros emissores.

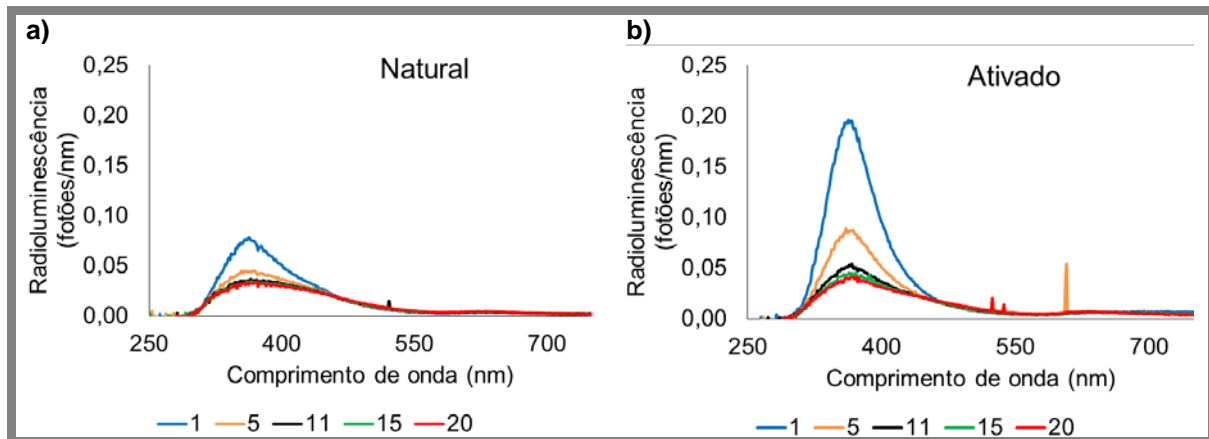


Figura 5.65 Intensidade do pico de radioluminescência do quartzo grosseiro da amostra COR2 recolhida no fosso no Monte de Cortes, natural (a) e com ativação (b).

5.2.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico do Monte de Cortes foram selecionadas duas amostras para datação por luminescência, recolhidas ao longo da sequência de preenchimento da fossa (amostra COR1) e do fosso (amostra COR2). De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiro e a estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra.

5.2.5.1 Determinação da dose absorvida

5.2.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida o quartzo grosseiro obtido foi sujeito a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na Figura 5.66. Desta forma estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação da amostra e verificou-se que apesar da razão dos sinais IRSL/OSL não ser muito baixa no que respeita à dose absorvida aparente, a sensibilidade do quartzo grosseiro ao OSL é cerca de duas ordens de grandeza superior. A sensibilidade do quartzo grosseiro nestas amostras é semelhante, e a dose absorvida aparente pelo QZG da amostra recolhida na fossa COR1 é superior à da amostra recolhida no fosso.

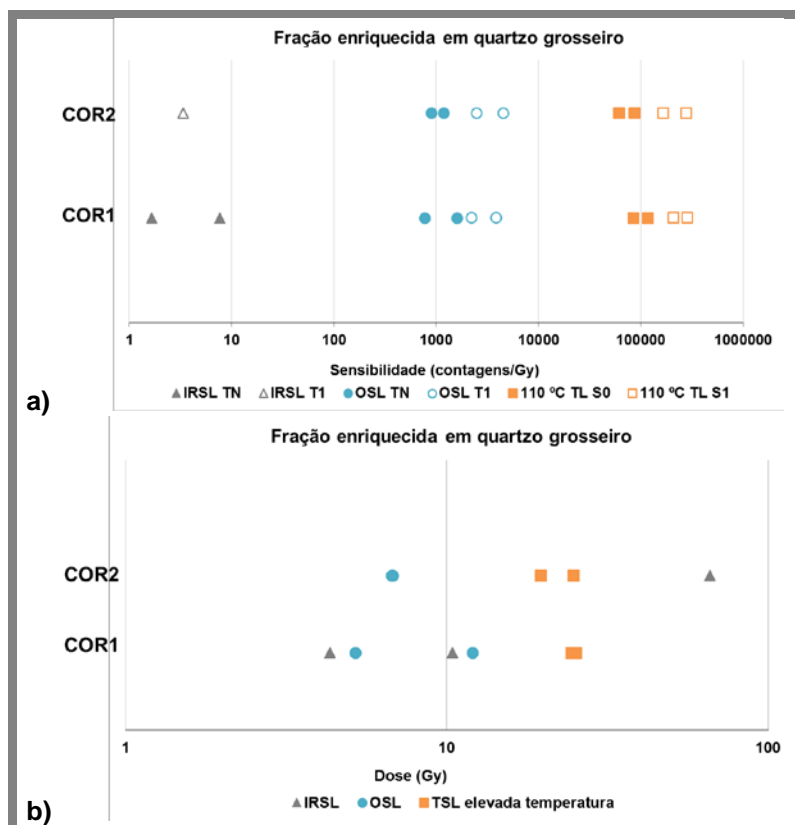


Figura 5.66 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) do QZG em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas no fosso do Monte Carrascal.

5.2.5.1.2 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL, descrito no capítulo 4, secção 4.5.2, verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvida para a amostra COR1 é a média robusta (representada a verde nos gráfico da Figura 5.67, a) e para a amostra COR2 é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho nos gráfico da Figura 5.67, a). A dispersão dos valores de dose absorvida é maior na amostra recolhida na fossa COR1, e para as alíquotas sujeitas a temperaturas mais elevadas durante o pré-aquecimento, conduzindo a uma maior percentagem de incerteza (Figura 5.67, b). A amostra COR 1 apresenta uma maior proporção de calcite na sua composição mineralógica. A razão de reciclagem, antes e pós-IRSL, assume para ambas as amostras valores em torno da unidade (Figura 5.67, c).

No que respeita à dose absorvida determinou-se uma dose $5,6 \pm 0,2$ Gy para a amostra recolhida na fossa e $7,0 \pm 0,1$ Gy para a amostra recolhida no fosso (Tabela 5.6). A amostra recolhida na fossa apresenta grãos de QZG para os quais se determinou uma dose absorvida maior. Este facto poderá dever-se à deposição mais antiga destes materiais na fossa do que a deposição do material de preenchimento do fosso, o que pode relacionar-se como os resultados propostos com base na composição química e mineralógica. Contudo, dada a relação entre a proporção de calcite e a dose absorvida determinada, que já se verificou existir nestes materiais, poderemos estar na presença de uma sobrevalorização da dose absorvida na amostra da fossa.

Tabela 5.6 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	COR1	COR2
Dose absorvida (Gy)	5,6	7,0
Média	Robusta	Ponderada ao inverso da variância
Incerteza	0,2	0,1
% Incerteza	4	1

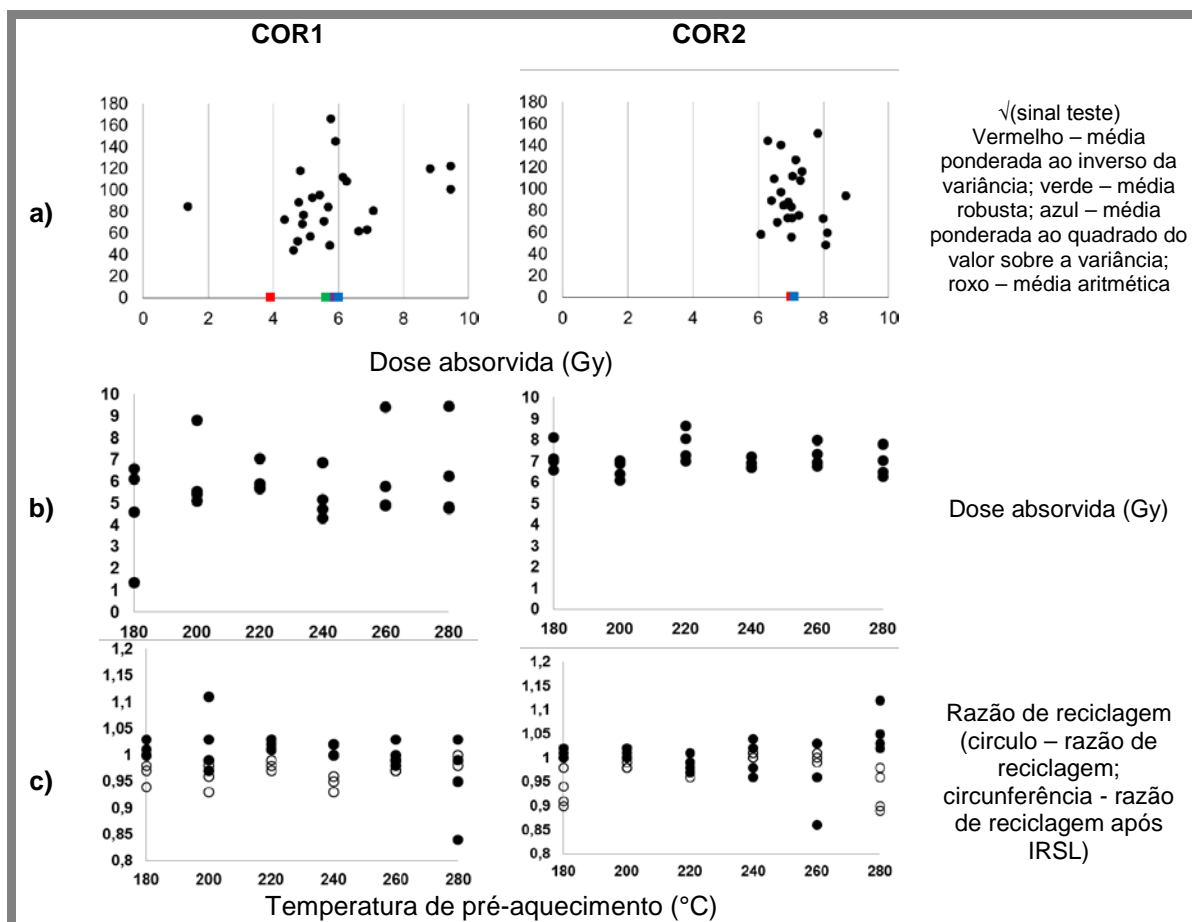


Figura 5.67 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.

5.2.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose foi determinada seguindo os procedimentos descritos na secção 4.5.3 do capítulo 4 e os valores das determinações que conduziram ao valor final da taxa de dose, nomeadamente os teores em radionuclídeos determinados por AAN, EGIS e EGER, bem como os teores em água, encontram-se no Anexo V. A taxa de dose

determinada para estas amostras de preenchimento é de $0,66 \pm 0,05$ Gy/ka para a amostra recolhida na fossa e de $0,99 \pm 0,06$ Gy/ka para a amostra recolhida no fosso (Tabela 5.7). Relativamente ao esperado, apresentam valores baixos, nomeadamente a amostra recolhida na fossa, fruto do baixo teor em radionuclídeos K, Rb, Th e U promovido pela elevada proporção de calcite. Esta proporção elevada de calcite condiciona a taxa de dose, sendo negativa a correlação forte entre a taxa de dose e o teor em calcite nas amostras. O elevado teor em calcite conduz também a uma maior retenção de água nas amostras o que influencia a taxa de dose.

Tabela 5.7 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.

Amostras		COR1	COR2
Taxa de dose	Gy/ka	0,66	0,92
	±	0,05	0,06
	% Incerteza	8	7

5.2.5.3 Estimativa da idade – Interpretação

A idade estimada para as amostras recolhidas no Monte de Cortes são $8,5 \pm 0,8$ ka para a amostra COR1 recolhida na fossa, com uma maior percentagem de incerteza e $7,6 \pm 0,5$ ka para a amostra COR2 recolhida no fosso (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.

Amostras	COR1	COR2
Idade (ka)	8,5	7,6
±	0,8	0,5
% Incerteza	9	7

A idade estimada para a amostra COR2, quando projetada em conjunto com a idade estimada aparente, determinada com base na dose absorvida aparente das amostras de perfil (OSL na fração enriquecida em quartzo grosseiro nos testes iniciais), apresentam uma relação com a profundidade como expectável, respeitam a estratigrafia de preenchimento, com idades superiores na base do fosso (Figura 5.68).

O período atribuído pelos arqueólogos para a construção / utilização deste fosso e da fossa é entre o Neolítico Final e o Calcolítico, que corresponde a janela de idades de 5,4 ka e os 4,3 ka. Os resultados obtidos para as amostras COR1 e COR2 correspondem a idades superiores ao Neolítico Antigo (superiores a 7,5 ka). Esta estimativa aponta para uma sobrevalorização da dose absorvida pelas amostras fruto do teor elevado em calcite.

Considerando os objetivos iniciais para estas estruturas, em especial a relação cronológica entre os preenchimentos do fosso e da fossa verificou-se que o preenchimento inicial da fossa (idade da amostra COR1) deverá ser mais recente que o preenchimento inicial do fosso (idade aparente da amostras pCOR2_1) (Figura 5.68).

A relação estratigráfica verificada para os materiais de preenchimento do fosso indicam que os materiais de preenchimento recolhidos mais profundamente estiveram expostos a luz solar durante um período anterior ao início do Neolítico e que no topo do preenchimento os materiais terão estado expostos durante o Neolítico Antigo e Médio (Figura 5.68).

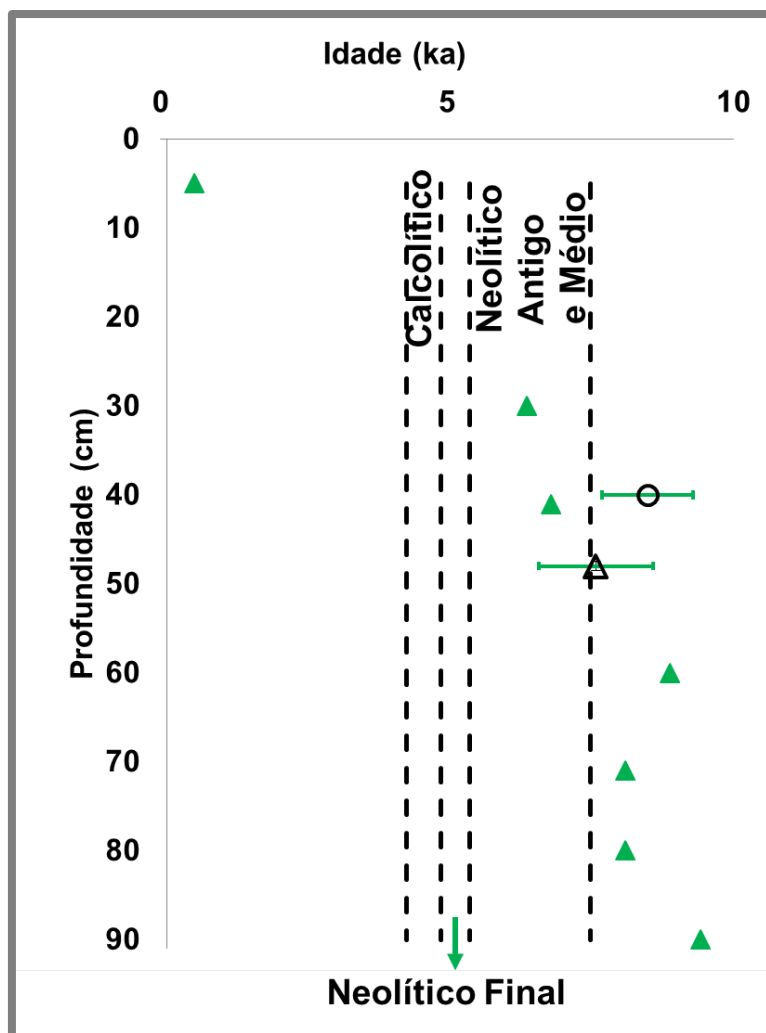


Figura 5.68. Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao calcolítico e ao Neolítico. A idade das amostras de perfil (triângulos verdes) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em QZG nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade ao longo do perfil foi a determinada para os grãos de quartzo da amostra COR2. OS triângulos a preto indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao QZG da amostra COR2, recolhidas no fosso do Monte de Cortes.

5.2.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

A amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto é dominada pela presença de calcite e dolomite (no nível intermédio), bem como a presença de material detrítico (fragmentos de xisto de dimensões superiores a 2 mm), de acordo com o indicado na carta geológica como um calcreto de origem lacustre (calcários de Moura e Arrancadas – folha 43B Moura) gerado na extremidade da bacia sedimentar de Moura, onde se verifica também a deposição de material detrítico grosseiro carbonatado. A mineralogia da fração argilosa dominada pela presença de illite (à qual se associam esmectite e minerais de caulino, não se identificando a presença de paligorskite indicia condições paleoambientais favoráveis a formação de esmectite e posterior alteração desta em illite: (i) clima quente e seco com períodos de chuvas curtos, topografia favorável a drenagem deficiente e meio alcalino com baixo teor em Mg; (ii) ilitização da esmectite.

Considerando a composição mineralógica da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa (amostra COR1), rica em calcite e sem filossilicatos, bem como a sua textura e a presença de blocos de calcreto, pode dizer-se que este nível de preenchimento da fossa será o mais próximo do substrato geológico no local. Este preenchimento poderá ter ocorrido por colapso das paredes da fossa sendo posteriormente coberto por materiais depositados por coluvião.

Considerando a composição mineralógica e química da amostra total e da fração argilosa dos materiais recolhidas no preenchimento das estruturas negativas e no perfil de calcreto no Monte de Cortes é possível estabelecer uma relação entre as amostras estudadas que se encontra refletida no esquema da Figura 5.69. Os materiais de preenchimento da fossa são química e mineralogicamente análogos aos materiais recolhidos no nível intermédio do perfil de calcreto, quer considerando as análises feitas à amostra total quer à fração argilosa. No que respeita aos materiais de preenchimento do fosso, a fração grosseira dos materiais terá uma maior contribuição do material correspondente ao calcreto (nível da base e intermédio) enquanto a fração fina terá uma maior contribuição do material do topo do perfil, apontando para o preenchimento com materiais de proveniência mista.

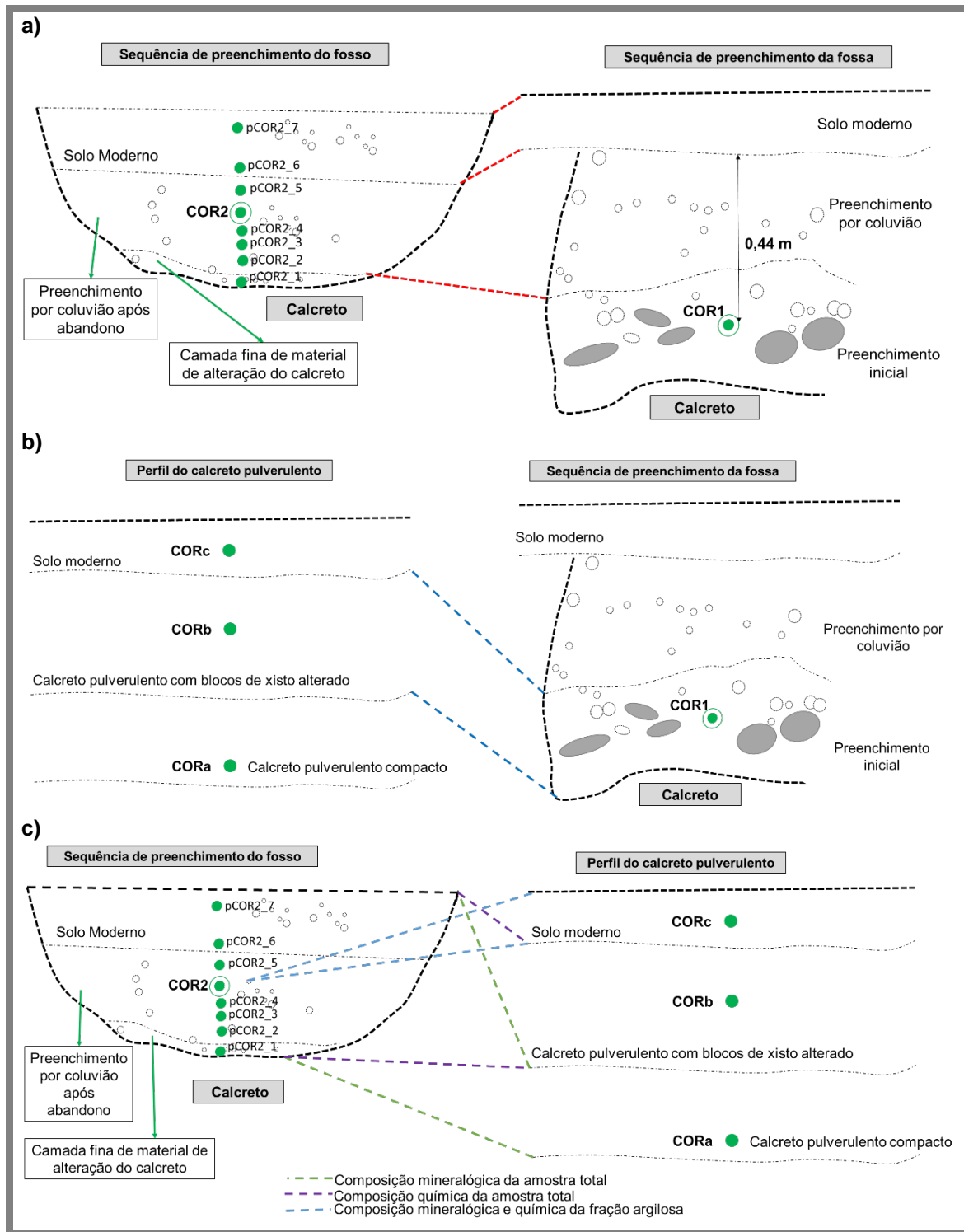


Figura 5.69 Possível relação entre as estruturas arqueológicas do Monte de Cortes e o perfil de calcreto: a) com base na composição química e mineralógica bem como nas características macroscópicas e granulometria; b) e c) com base na composição química e mineralógica da amostra total e da fração argilosa.

Considerando o período atribuído pelos arqueólogos para estas estruturas (Neolítico Final/Calcolítico) as idades obtidas para os materiais de preenchimento encontram-se sobrevalorizadas. Esta sobrevalorização pode, em primeira instância, ser fruto da sobrevalorização da dose absorvida, pela presença de sinais residuais do geológico como consequência do teor elevado em calcite. A elevada proporção de calcite está associada à presença de grãos de quartzo com residuais elevados (quartzo detrítico presente no calcreto), e/ou a proteção dos grãos dos efeitos da luz por formação de aglomerados ricos em calcite (Rodrigues et al, 2013), que podem levar a uma sobrevalorização da idade.

Em alternativa ao efeito provocado na dose absorvida, a calcite poderá ter afetado a taxa de dose (como explicado na secção 5.1.6 para o caso dos materiais recolhidos no Monte Carrascal). Por forma a delimitar os efeitos máximos do teor elevado em calcite sobre a taxa de dose, que conduziu a uma estimativa da idade ($8,5 \pm 0,8$ ka para a amostra COR1 recolhida na fossa, e $7,6 \pm 0,5$ ka para a amostra COR2 recolhida no fosso) superior ao indicado pelos arqueólogos ($4,3$ ka – $5,4$ ka) procedeu-se à estimativa da idade considerando para o cálculo da taxa de dose a situação extrema de que toda a calcite presente nos materiais teria sido precipitada recentemente. Neste sentido através do valor de perdas por ignição (LOI) estimou-se o teor em radionuclídeos, K, Rb, Th e U, considerando que no limite, as amostras eram desprovidas de qualquer carbonato de cálcio e matéria orgânica. Neste sentido, reduziu-se também a percentagem de água durante o enterramento para um valor de 5% (com base nos resultados obtidos para as amostras recolhidas num contexto com menores proporções de calcite, como é o Recinto de fossos dos Perdigões), considerando que, na ausência de calcite a capacidade de retenção de água pelas amostras é bastante menor. Os resultados obtidos permitem verificar que no caso extremo de ausência de calcite e matéria orgânica na composição das amostras a taxa de dose seria maior (cerca de 1,4 vezes maior) e como consequência a idade estimada diminuiria obtendo-se idades de $5,9$ ka para a amostra COR1 e $5,6$ ka para a amostra COR2 que se localizam no limite do Neolítico Médio, com uma idade mais próxima da idade tipológica atribuída (Figura 5.70). Neste sentido, pode considerar-se que a influência da calcite sobre a taxa de dose poderá ser suficiente para produzir a sobrevalorização da idade observada. Esta indicação poderá ser consistente com o caso extremo de precipitação recente, ou alternativamente poderia indicar um cenário menos extremo, onde a calcite sempre esteve presente, afetando apenas a taxa de dose gama, sendo a taxa de dose beta e alfa apenas devida a um ambiente não carbonatado em torno dos grãos de quartzo grosseiro. Este cenário produziria resultados intermédios, correspondentes ao Neolítico Médio ou Antigo, e portanto mais antigo do que o esperado. Assim sendo, nas estruturas do Neolítico Final/Calcolítico, os resultados de OSL devem ser afetados por sinais residuais equivalentes a cerca de 2 ka, apesar da amostra de perfil recolhida junto à superfície do solo (coluvião) moderno indicar cerca $0,1$ ka).

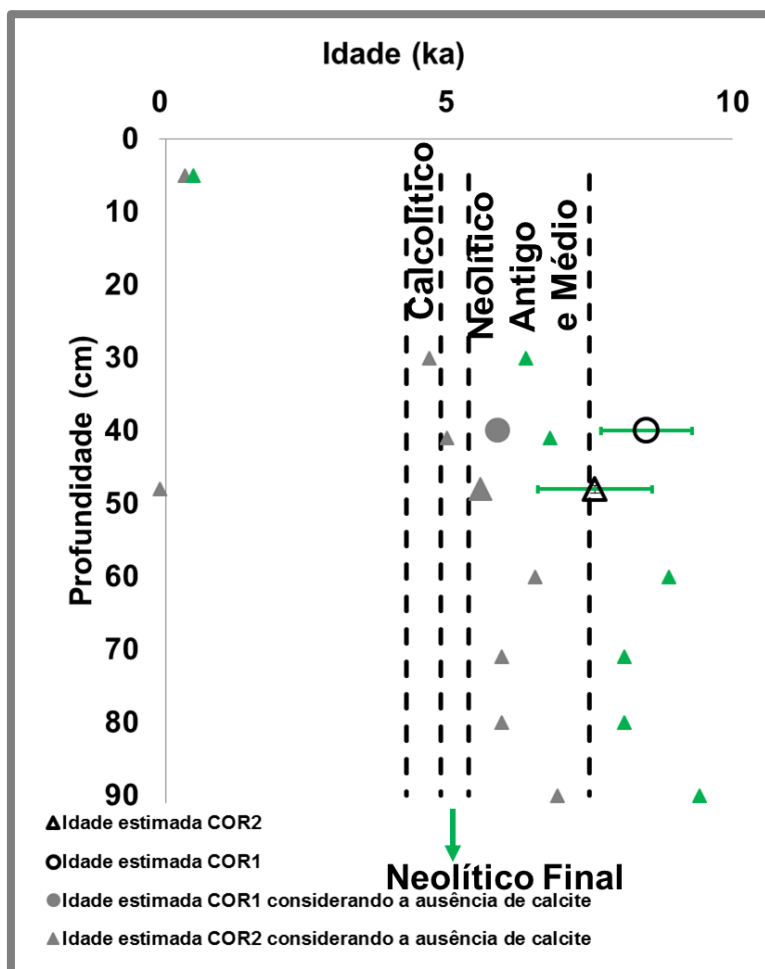


Figura 5.70 Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico e ao Calcolítico. OS pontos vazios indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao quartzo grosseiro das amostras recolhidas no Monte de Cortes. Os triângulos correspondem a idade estimada para as amostras de perfil (verde) e idade estimada para as amostras de perfil considerando a ausência de calcite (cinzento). Os pontos cinzentos representam a estimativa feita considerando a condição extrema de ausência de calcite na composição das amostras de datação recolhidas na fossa e no fosso do Monte de Cortes.

5.3 Covas

Em Covas foram estudados os materiais de preenchimento de uma fossa e um perfil de calcreto pulverulento com vista a caracterizar o substrato geológico onde a fossa foi inicialmente escavada.

5.3.1 Granulometria

Analisando os teores em cada fração granulométrica dos materiais recolhidos em Covas (Anexo II) observa-se que os materiais recolhidos no perfil de calcreto (CVa - CVc) são maioritariamente compostos por materiais de granulometria entre 2 mm e 63 μ m que correspondem a areia. A proporção das frações mais grosseiras destes materiais diminui da base para o topo do perfil (4% < cascalho < 7% e 37% < areia < 62%). Os materiais de preenchimento da fossa (CV1 – CV3) apresentam uma proporção maior de material grosseiro que os materiais recolhidos no perfil de calcreto, que aumenta da base para o topo da sequência de preenchimento (33% < cascalho < 52% e 15% < areia < 20%).

Através da projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard (Figura 5.71, a), é possível classificar os materiais recolhidos no perfil de calcreto como areia silto-argilosa no topo (amostra CVc), e areia siltosa nos restantes níveis do perfil. Quanto aos materiais de preenchimento, todos se enquadram na classificação de areia siltosa (Figura 5.71, a). As curvas granulométricas da amostra total evidenciam que as amostras recolhidas na base CVa e no topo CVc do perfil de calcreto apresentam-se menos bem graduadas, sendo este facto confirmado pelo valor do coeficiente de curvatura da curva granulométrica. Segundo este coeficiente apenas as amostras recolhidas no preenchimento da fossa (CVa - CVc) e os materiais recolhidos no nível intermédio do perfil de calcreto (CVb) se encontram bem graduadas, com coeficientes de curvatura (C_c) que variam entre 1 e 3 (Norma ASTM International – D2487 -06 e Powrie, 2014) (Figura 5.71, b).

No que respeita aos materiais finos (<63 μ m) a fração com maior expressividade, nos materiais amostrados encontra-se nas proporções entre 20% e 31% no perfil de calcreto e entre 16% - 26% nos materiais de preenchimento da fossa. No perfil de calcreto a proporção de material entre 20 μ m e os 2 μ m aumenta da base para o topo do perfil. A fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil de calcreto representa 8% das amostras da base CVa e do nível intermédio CVb e 20% da amostra do topo CVc. No preenchimento da fossa a maior proporção de fração argilosa é encontrada na amostra do nível intermédio CV2 (14%) (Figura 5.71, c).

As curvas granulométricas da fração <63 μ m dos materiais recolhidos em Covas, bem como o coeficiente de curvatura destas (Figura 5.71, d) permitem distinguir dois conjuntos de perfis de distribuição das partículas finas. O material recolhido no topo do perfil de calcreto (amostra CVc) e os materiais recolhidos no preenchimento da fossa CV2 e CV3 apresentam uma curva em S ligeiramente mais suavizada e coeficientes de curvatura entre 1 e 3 indicando que o material fino destas amostras se encontra melhor graduado. Os materiais recolhidos na base CVa e no nível intermédio CVb do perfil de calcreto e os materiais recolhidos na base do preenchimento da fossa CV1 apresentam curvas em S mais verticalizadas indicando que o material fino destas amostras se

encontra menos graduado (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993; Norma ASTM International – D2487 -06).

Há a realçar a semelhança entre a distribuição granulométrica dos materiais recolhidos no nível intermédio do perfil de calcreto (CVb) e os materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento da fossa (CV3), assim como a semelhança entre a distribuição granulométrica dos materiais recolhidos na base do perfil de calcreto (CVa) e os materiais correspondentes à segunda fase de preenchimento (CV1 e CV2).

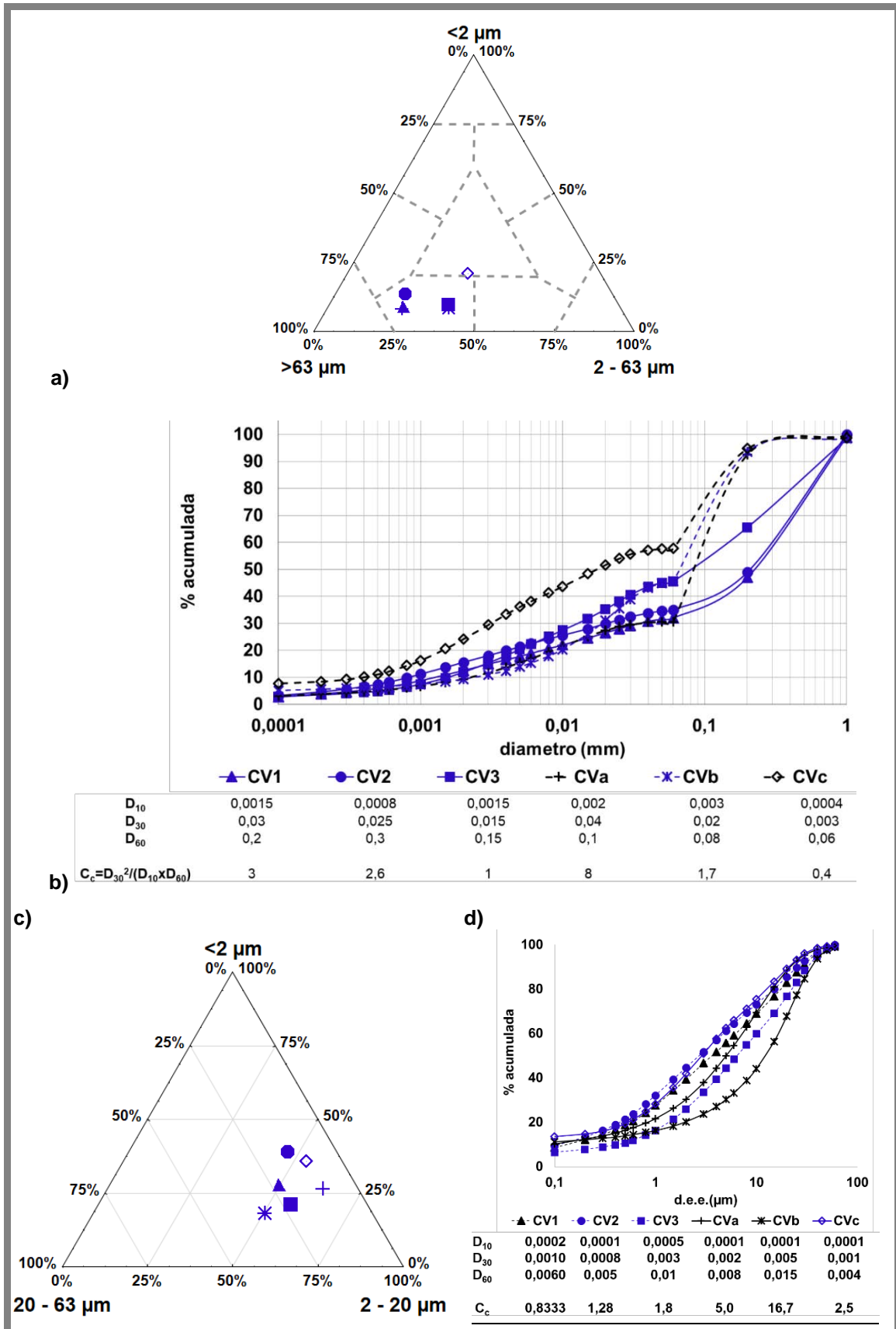


Figura 5.71 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficientes de uniformidade (C_U) e de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (< 63 μ m) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <63 μ m para os materiais amostrados em Covas.

5.3.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para amostra total (fração < 2 mm) e fração argilosa das amostras estudadas, assim como a semiquantificação dos teores dos minerais presentes nas amostras encontram-se no Anexo III.

5.3.2.1 Amostra total

Em todo o perfil do calcreto predomina a calcite (74% - 82%), mineral ao qual se associam filossilicatos (13% - 19%), que na base contêm micas, uma pequena proporção de quartzo, e traços de plagioclase (exceto no topo) (Figura 5.72). Esta composição mineralógica é a esperada da amostra total de um calcreto. Em particular, atendendo à localização de amostragem, estes materiais correspondem a calcretos lacustres, cartografados como calcários de Moura e Arrancadas, onde a mineralogia é dominada pela presença de carbonatos (94%), aos quais se associam materiais detríticos representados por quartzo, feldspatos e traços de andaluzite, epidoto, turmalina, granada, silimanite e zircão (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970).

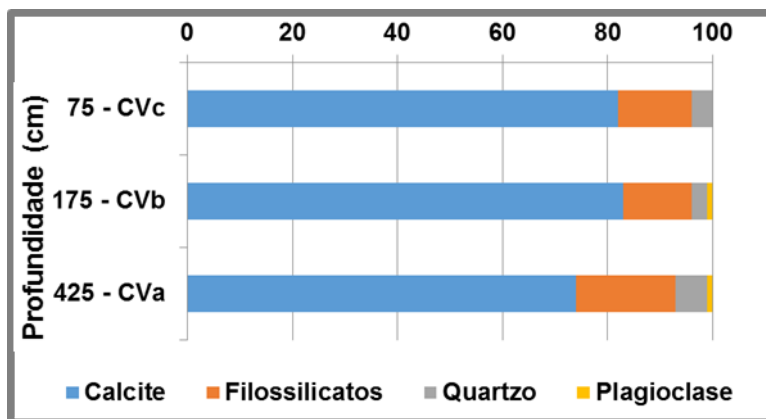


Figura 5.72 Composição mineralógica (%) dos materiais amostrados no perfil de calcreto representativo da geologia em Covas.

Os materiais de preenchimento da fossa recolhidos no perfil lateral que, segundo os arqueólogos correspondem aos materiais da primeira fase de preenchimento (por coluvião) da estrutura (Santos, 2011a), aparentam ser materiais de alteração do calcreto, menos compactos e mais finos que o substrato geológico. A mineralogia destes materiais é dominada pela calcite (72% - 86%), associada a filossilicatos, quartzo e traços de plagioclase (apenas detetada nas amostra recolhidas a 60 cm e a 37 cm de profundidade) (Figura 5.73). Entre os 93 cm e os 60 cm de profundidade a proporção de calcite aumenta ligeiramente. O menor teor em calcite é detetado na amostra recolhida a 37 cm de profundidade. A proporção de filossilicatos ronda os 15 %, verificando-se que nos materiais recolhidos a 93 e 60 cm foram detetadas micas, em maior proporção na amostra recolhida a 60 cm.

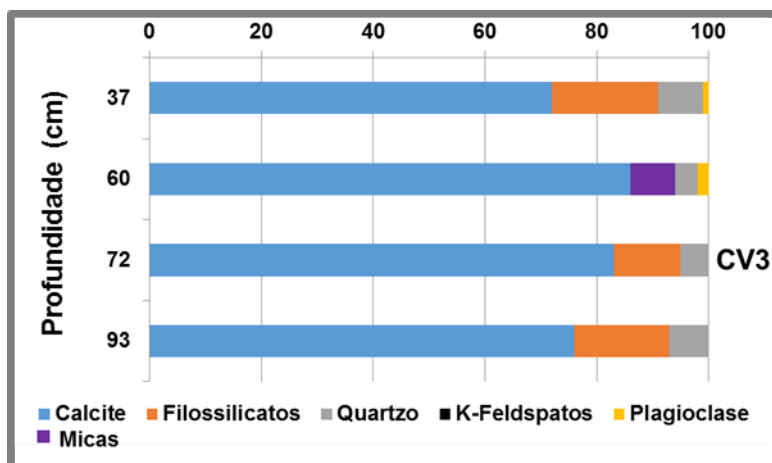


Figura 5.73 Composição mineralógica (%) dos materiais de preenchimento amostrados no perfil lateral da fossa em Covas.

A fração < 2 mm dos materiais recolhidos no perfil central do preenchimento da fossa apresentam, de um modo geral, uma associação mineralógica dominada pela presença de calcite, à qual se associam filossilicatos, quartzo e feldspatos (maioritariamente potássicos) (Figura 5.74). Na base do perfil, a 150 cm de profundidade a composição mineralógica é dominada pela calcite (92%) à qual se associa uma pequena proporção de quartzo e traços de filossilicatos e plagioclase. Estes materiais, em conjunto com os materiais recolhidos no perfil lateral correspondem ao que os arqueólogos designaram como materiais da primeira fase de preenchimento da estrutura (Santos, 2011a). Os materiais recolhidos entre 144 cm e os 126 cm de profundidade, que correspondem ao preenchimento inicial da estrutura na segunda fase de preenchimento, apresentam proporções variáveis de calcite (48% - 70%), filossilicatos (8% - 25%) onde se detetaram traços de micas nos materiais recolhidos a 144 cm, 140 cm e 126 cm, quartzo (18% - 24%) e feldspatos (em pequenas proporções). A amostra total dos materiais recolhidos a 116 cm de profundidade, no nível designado por preenchimento por coluvião durante a segunda fase de preenchimento, a proporção de calcite (38%) é menor que no conjunto de materiais recolhidos nos níveis inferiores e surgem as maiores proporções de filossilicatos (38%) e de quartzo (30%). Os materiais recolhidos entre 112 cm e 106 cm de profundidade, foram considerados como parte de um paleossolo desenvolvido no topo da segunda fase de preenchimento e apresentam variações na associação mineralógica: a 112 cm e a 106 cm não se detetou a presença de feldspatos potássicos nos materiais, enquanto a 109 cm de profundidade estes minerais compõem 30% da amostra. Nos materiais deste nível a proporção de micas é mais significativa. Os materiais recolhidos entre os 102 cm e os 77 cm, correspondem à terceira fase de preenchimento e apresentam novamente teores mais elevados de calcite (57% - 68%) e maiores proporções de feldspatos (5% - 7%) e uma pequena proporção de micas na amostra recolhida a 77 cm de profundidade. A amostra correspondente ao solo moderno, recolhida a 5 cm de profundidade, apresenta a maior proporção de quartzo e feldspatos, assim como filossilicatos (e micas vestigiais) A esta composição não será alheia a proximidade do maciço granítico do Pedrogão.

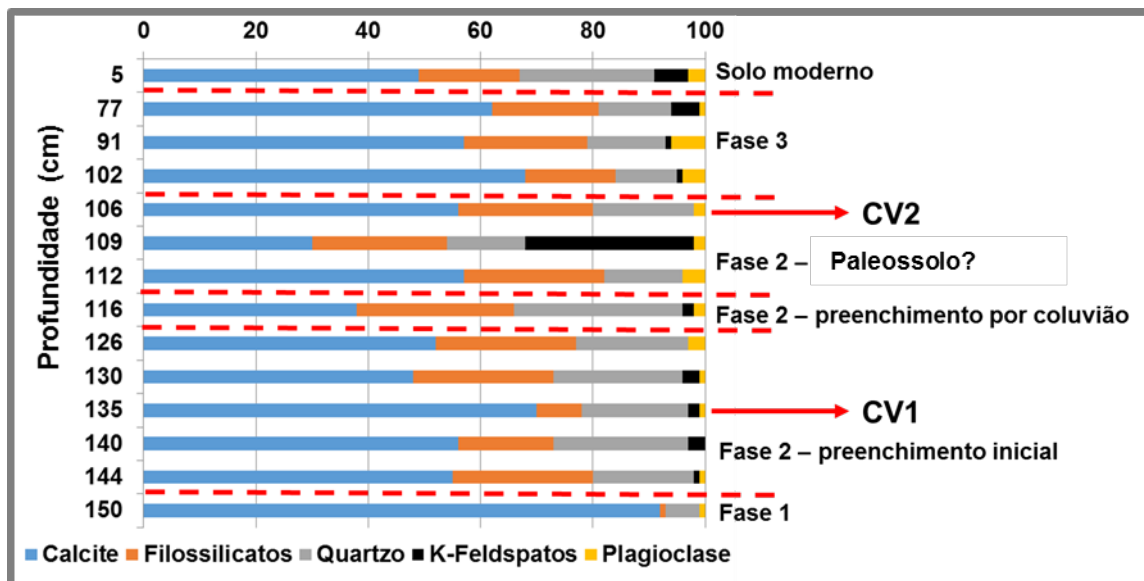


Figura 5.74 Composição mineralógica (%) dos materiais de preenchimento amostrados no perfil central da fossa em Covas.

5.3.2.1.1 Índices mineralógicos

Não fazendo sentido a interpretação do índice mineralógico de alteração (MIA) que indica o nível de alteração dos silicatos, nomeadamente dos feldspatos, face ao quartzo, em materiais altamente carbonatados (Anexo III), determinou-se a razão entre o teor em silicatos e o teor em carbonatos nestes materiais. A razão entre o teor em silicatos (quartzo, feldspatos e filossilicatos) e o teor em carbonatos (calcite) é inferior à unidade na maioria das amostras estudadas (Figura 5.75). No perfil de calcreto a proporção de carbonatos face aos silicatos é menor na base do perfil (amostra CVa) e maior nas amostras do nível intermédio e do topo (amostras CVb e CVc, respetivamente). Nos materiais recolhidos no perfil lateral do preenchimento verifica-se uma ligeira diminuição da razão da base até aos 60 cm de profundidade. Neste perfil, a razão silicatos/carbonatos assume o valor máximo no topo (a 37 cm de profundidade). No perfil central do preenchimento verifica-se uma tendência para o aumento da razão silicatos/carbonatos entre a base e os 116 cm de profundidade. Entre os 112 cm e os 77 cm de profundidade a razão silicatos/carbonatos é menor. Apenas em quatro amostras recolhidas no perfil central do preenchimento da fossa (a 130 cm, 116 cm, 109 cm e 5 cm de profundidade) a razão é superior à unidade, revelando um maior proporção de silicatos face aos carbonatos. Nos materiais recolhidos a 130 cm, 116 cm e 5 cm de profundidade a maior proporção de silicatos deve-se ao quartzo e filossilicatos, enquanto na amostra recolhida a 109 cm de profundidade a maior proporção de silicatos deve-se aos feldspatos potássicos, presentes em elevada proporção nestes materiais. Esta razão com valores inferiores unidade é também observada na maioria dos calcretos do Cabo Mondego estudados por Rocha e Ramalho (2003). Este índice será relacionado com os índices químicos na secção correspondente.

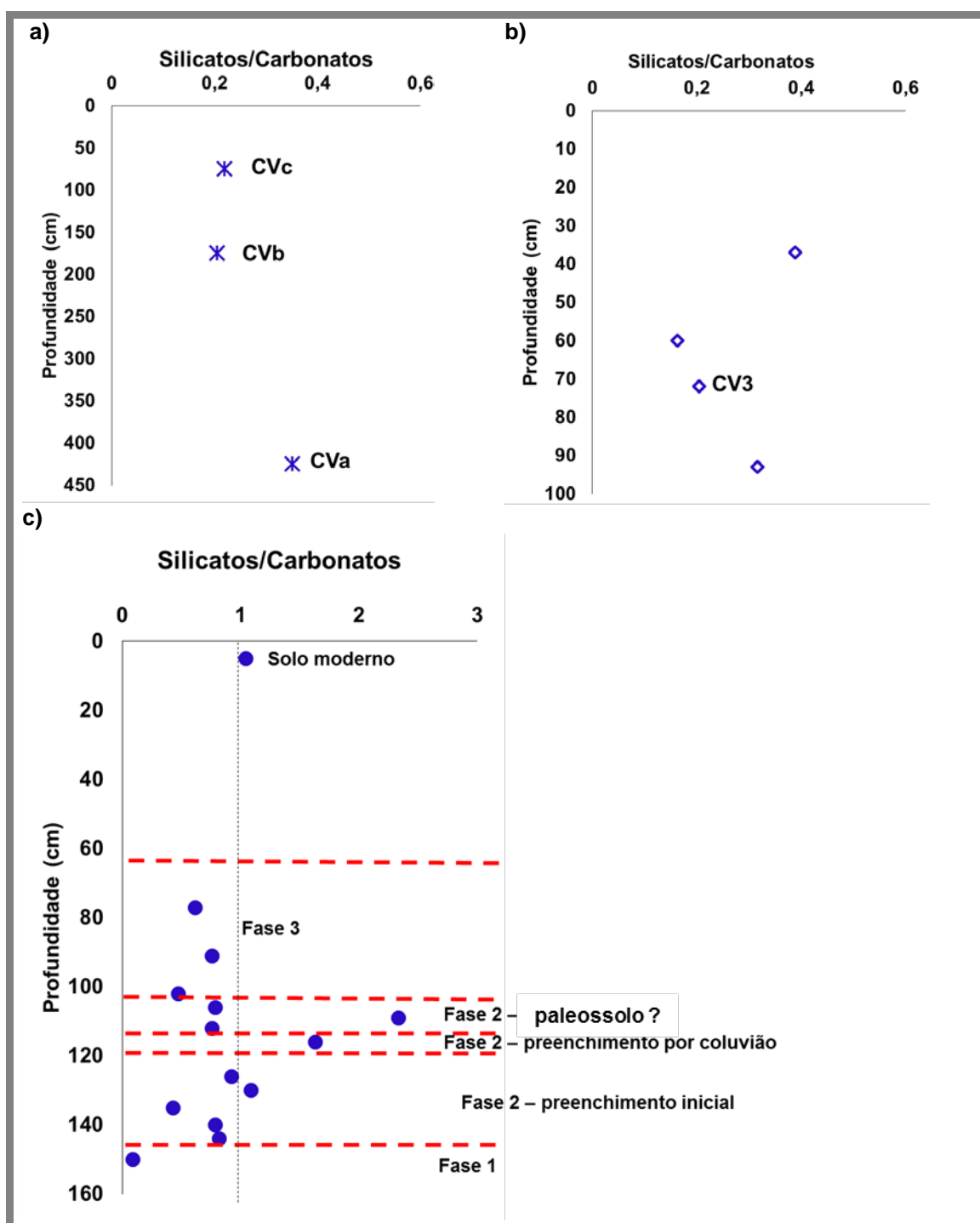


Figura 5.75 Razão entre o teor de silicatos e carbonatos nas amostras do perfil de calcreto (a), no perfil lateral do preenchimento da fossa (b) e no perfil central do preenchimento da fossa em covas.

5.3.2.2 Fração Argilosa

No que respeita à composição mineralógica da fração argilosa dos materiais recolhidos em Covas, observa-se que ao longo do perfil de calcreto lacustre, a associação mineralógica é distinta. Na base, na amostra CVa predomina a ilite (75%)

associada a esmectite. No nível intermédio e superior, verifica-se a associação entre a esmectite, mineral dominante (74% - 85%, mais elevado na amostra CVb), e a paligorskite (15% - 36%, maior proporção no topo, amostra CVc) (Figura 5.76). Segundo a carta geológica de Moura, folha 43-B, a fração argilosa destes materiais é essencialmente formada por esmectite, associada a menores quantidades de ilite e a vestígios de minerais de caulino (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalhos, 1970).

A presença de esmectite pode ser justificada pelas condições de drenagem deficiente e pouca escorrência, sob clima quente e seco, com períodos de chuva curtos, o que favorece a presença de um meio alcalino onde estão disponíveis catiões básicos, favorável à formação de esmectite (Gomes, 1988; Sheldon e Tabor, 2009; Churchman e Lowe, 2012). As características topográficas e o paleoclima da área geográfica em estudo foram então favoráveis à presença de um calcreto rico em esmectite nos níveis acima da base.

A presença de paligorskite em calcretos lacustres é habitual sendo detetada em calcretos, especialmente lacustres, tanto em Portugal como em todo o planeta (Sancho et al, 1992; Rodas et al, 1994; Armenteros et al, 1995; Krug, 1995; Atabey et al, 1998; Khadkikar et al, 1998, 2000; Chen et al, 2002; Dhir et al, 2004; Durand et al, 2006; Eren et al, 2008; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Prudêncio et al, 2011; Kaplan et al, 2013; Küçükuysal e Kapur, 2014). A paligorskite surge nos calcretos associada a ambientes lacustres, de águas paradas e meio alcalino rico em Mg e Si, e empobrecido em Al, em calcretos mais antigos e associada à passagem de calcretos ricos em Mg para calcretos pobres em Mg (Krug, 1995; López-Galindo et al, 1996; Bachman, 1997; Alonso-Zarza, 2003; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Churchman, 2012).

A presença de ilite ocorre, em regiões áridas e com chuvas sazonais onde a precipitação de carbonatos e formação de calcretos ocorre, por alteração da esmectite. Este processo ocorre mais comumente à superfície e em ambiente alcalino (ilitização) (Wright, 1991; Üçükuysal et al, 2013). A acumulação de K oriundo da meteorização dos minerais primários, nomeadamente feldspatos, potencia esta transformação. A menor proporção de esmectite na amostra onde foi detetada ilite pode ser assim justificada.

O fato de não se ter detetado a presença de minerais de caulino na fração argilosa destes materiais relaciona-se com o já estudado em trabalhos anteriores, realizados com materiais carbonatados recolhidos na Bacia de Marmelar (calcários de Arrancadas) e relacionada com condições de drenagem deficiente e fraca humidade (Alves, 1971).

O fato de se observarem diferentes associações ao longo do perfil permite inferir sobre diferentes condições, nomeadamente a ausência de um ambiente rico em Mg na base e um paleoambiente quente e seco. Esta condição levou a que apenas se formasse esmectite que posteriormente terá sofrido um processo de ilitização. Nos níveis superiores as condições foram favoráveis à formação de paligorskite. Deverá ter ocorrido um período de ambiente mais húmido com drenagem deficiente e disponibilidade de Mg no meio aquoso.

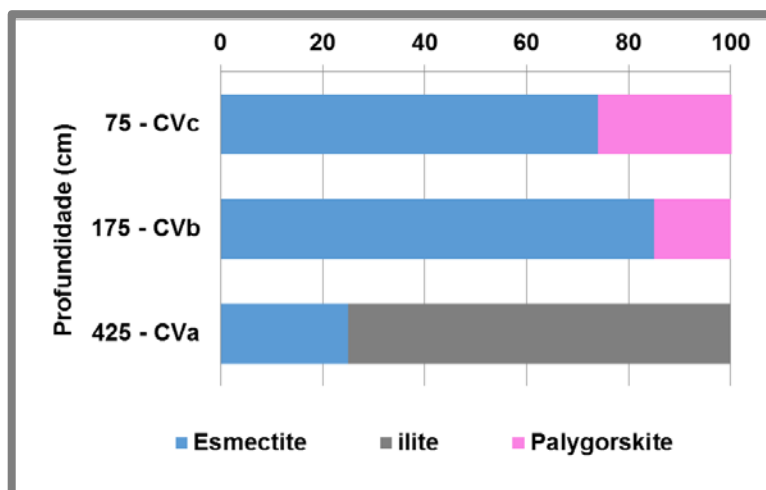


Figura 5.76 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil de calcreto

A composição mineralógica dos materiais recolhidos no perfil central da fossa, que correspondem ao preenchimento inicial da segunda fase (CV1), e ao paleossolo desenvolvido no topo da segunda fase de preenchimento (CV2), apresentam associações mineralógicas distintas entre si e distintas do observado nos materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento (CV3) (Figura 5.77). A fração argilosa dos materiais correspondentes ao preenchimento inicial da segunda fase, amostra CV1 é essencialmente composta por ilite (50%), menores proporções de esmectite (23%) e pequenas proporções de paligorsquite e minerais de caulino (13%). A amostra correspondente ao paleossolo que se desenvolveu no topo da segunda fase de preenchimento, CV2, apresenta na fração argilosa proporções semelhantes de esmectite (54%) e ilite (46%). A amostra correspondente aos materiais representativos da primeira fase de preenchimento, CV3, apresenta na sua fração argilosa uma maior proporção de esmectite (66%) associada a paligorsquite.

Em relação aos materiais recolhidos no perfil de calcreto, a fração argilosa da amostra CV3 apresenta uma composição idêntica ao verificado no nível intermédio e no topo do perfil de calcreto (esmectite e paligorsquite), confirmando mais uma vez a semelhança entre estes materiais da primeira fase de preenchimento e o calcreto.

A fração argilosa da amostra CV2 apresenta uma maior relação com a fração argilosa da base do calcreto, onde foi também identificada a preponderância da ilite sobre a esmectite.

A amostra recolhida no preenchimento inicial da segunda fase, CV1, apresenta uma associação mineralógica distinta (ilite>esmectite>minerais de caulino=paligorsquite), que poderá ser explicada pela contribuição de materiais com origem e processos de formação/alteração diferentes (materiais de alteração do calcreto local e do granito do Maciço do Pedrogão). A presença de ilite e minerais de caulino poderá estar relacionada com a contribuição de materiais detríticos oriundos da alteração do Maciço do Pedrogão enquanto a presença de esmectite e paligorsquite estará associada à presença de materiais de alteração do calcreto neste nível de preenchimento.

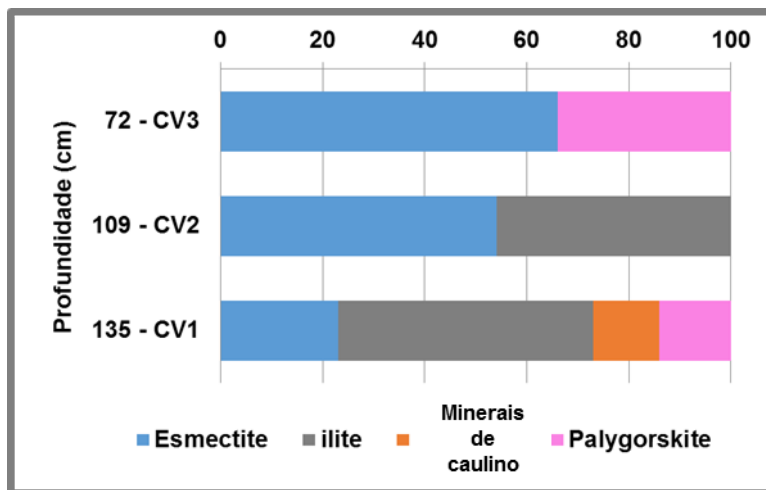


Figura 5.77 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais recolhidos na fossa, em Covas.

5.3.3 Composição química

5.3.3.1 Materiais representativos da geologia local – Amostra total

Em Covas, os materiais geológicos amostrados correspondem a três níveis de um calcetreto pulverulento (amostras CVa - CVc) e a composição química destes materiais encontra-se descrita no Anexo IV e na Figura 5.78 (a). A composição química ao longo do perfil revela que a base do perfil (CVa) apresenta teores mais elevados na maioria dos elementos determinados com exceção dos óxidos de P, S, Ca e dos elementos Mn, Cu, Br, Mo, Cd, I e Ba.

O teor mais elevado em Mg na amostra total da base CVa (onde não se detetou a presença de palygorskite) pode corroborar as indicações obtidas a partir da mineralogia da fração argilosa que apontam para que no calcetreto dos níveis superiores, amostras CVb e CVc, que apresentam um menor teor em Mg (na amostra total) e onde se detetou a presença de palygorskite, este mineral argiloso se tenha formado durante a transformação do calcetreto mais rico em Mg num calcetreto mais empobrecido neste elemento libertando o Mg necessário à formação desse mineral argiloso (Krug, 1995; Bachman, 1997; Alonso-Zarza, 2003; Churchman, 2012). Muito provavelmente tal poderia ser confirmado pelo teor em Mg na fração argilosa das amostras, que não foi determinado.

As amostras do nível intermédio, e do topo são mais semelhantes entre si e apresentam no geral teores mais baixos dos elementos determinados, fruto da maior proporção de calcite face à amostra da base. A menor proporção de calcite na base justifica o menor teor em Ca, I e Ba. A amostra do topo CVc apresenta menor teor de óxidos de Na, Mg, Al, K e dos elementos da primeira série de transição, As, Rb, Y, Cd, Sb, Cs e Ba e maior teor em óxidos de P, S e nos elementos Br e I. O menor teor em elementos da primeira série de transição indicia uma menor proporção de minerais ferromagnesianos nos materiais do topo. O maior teor em Br nesta amostra poderá indicar uma maior proporção de matéria orgânica (o que é confirmado pelo LOI mais elevado nesta amostra). O teor mais elevado em P e S relaciona-se certamente com contaminação pela atividade agrícola dos materiais do topo do perfil. O teor mais elevado em iodo no topo do perfil, para além da relação com a calcite, onde pode permutar com o

ião Ca^{2+} , está possivelmente relacionado com uma maior proporção de matéria orgânica onde o iodo se fixa na forma de ião solúvel após captura da atmosfera pelas plantas (Salminen et al, 2005). A amostra recolhida no nível intermédio CVb apresenta o teor mais elevado em Mn, Cu, Cd e Ba. Da base para o topo do perfil é de realçar a diminuição do teor em óxidos de Na e K, de Si, V e o aumento do teor em Br. O aumento do teor em Br deve-se ao aumento da proporção em matéria orgânica da base para o topo do perfil de calcreiro. A amostra da base CVa, é a única onde se detetou a presença de Sn e a que apresenta o maior teor em V, dois elementos que se relacionam com a presença de micas, mineral apenas detetado na base do perfil de calcreiro.

Comparando as amostras recolhidas no perfil de calcreiro com os valores médios considerados para a crosta continental superior (UCC, Figura 5.78, b) verifica-se que os materiais recolhidos no perfil de calcreiro se encontram empobrecidos na maioria dos elementos determinados, menos pronunciado nos materiais recolhidos na base do perfil. A exceção verifica-se para o óxido de Ca e para os elementos Br (CVb e CVc), Mo (CVb e CVc), Cd (CVc) e iodo nos quais as amostras se encontram enriquecidas.

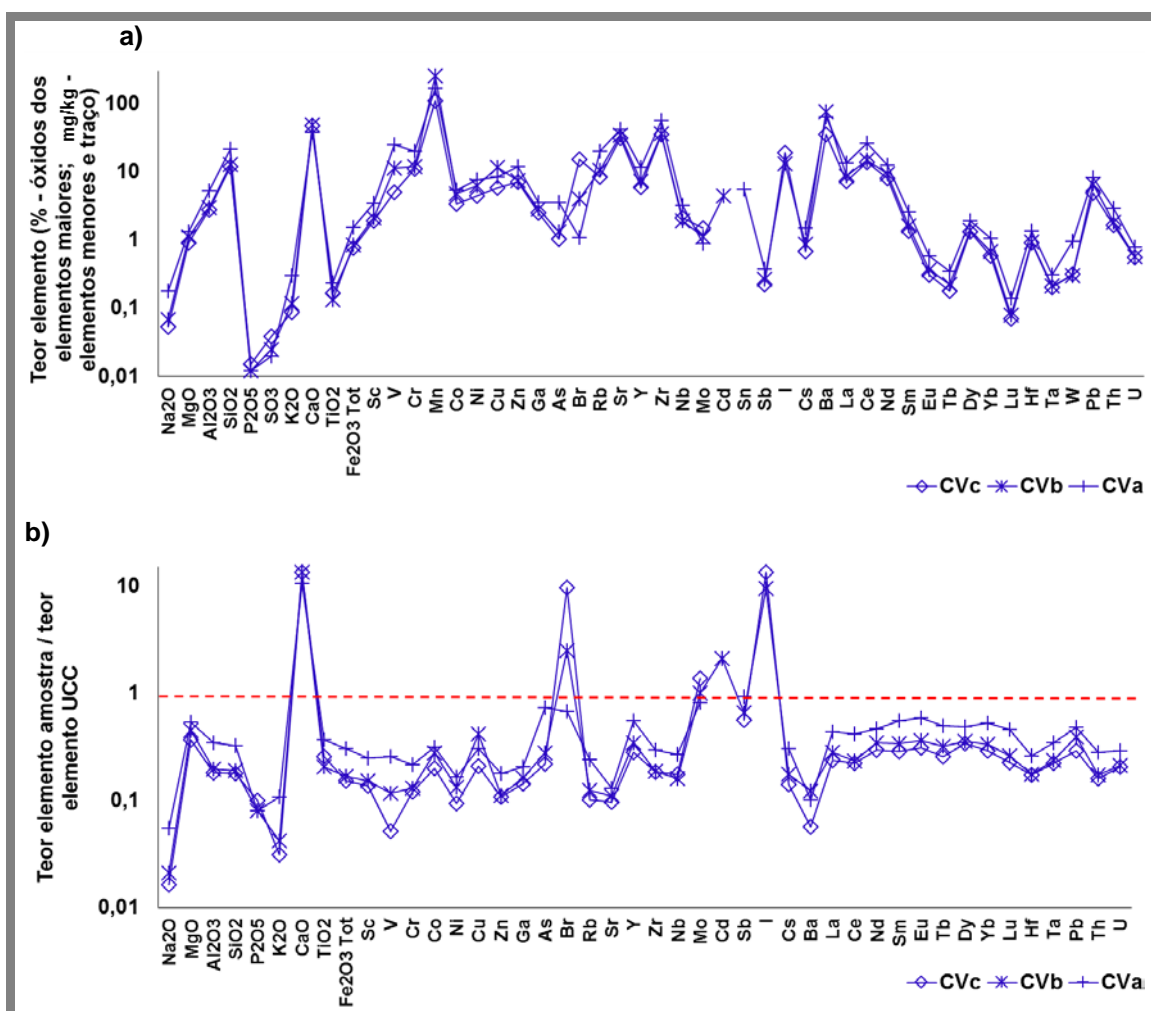


Figura 5.78a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreiro; b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreiro em Covas e os valores médios da crosta continental superior (UCC).

5.3.3.1.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição (LOI – *loss on ignition*) nos materiais recolhidos no perfil de calcreto aumenta da base para o topo (32% - 36%) comprovando a presença de maior proporção de calcite e de matéria orgânica no topo do perfil.

No que respeita à razão de calcificação ($RC = MgO+CaO/Al_2O_3$) observa-se o aumento da base para o topo ($7 < RC < 17$) tal como na proporção de calcite e inversamente ao comportamento da razão silicatos/carbonatos. Quanto à razão de dolomitização ($RD = MgO/CaO$), o perfil apresenta valores baixos, entre 0,02 e 0,03, o que está de acordo com a mineralogia das amostras, na quais não se detetou a presença de dolomite. No que diz respeito ao índice de alteração química, este aumenta da base para o topo do perfil ($69\% < CIA < 77\%$) correlacionando-se diretamente com a razão de calcificação. A razão $SiO_2/CaCO_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos diminui da base para o topo ($0,1 < SiO_2/CaCO_3 < 0,3$) refletindo o aumento da maturação do calcreto da base para o topo, ou seja, no topo a componente não carbonatada encontra-se em menor proporção, tendo já sido substituída por carbonatos. Este índice correlaciona-se positivamente com o índice mineralógico silicatos/carbonatos, com a razão de calcificação e com o CIA (reflete alteração química dos silicatos).

A razão SiO_2/Al_2O_3 apresenta um valor de 4 para todas as amostras do perfil e a razão Ca/Mg, que aumenta da base para o topo, de 7 para 17, são consideradas como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação.

5.3.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne ao somatório dos teores absolutos em REE os materiais do perfil apresentam teores mais baixos que os valores médios da crosta continental superior (UCC, $\sum REE = 143$ mg/kg) que diminuem da base para o topo do perfil (33 mg/kg $< \sum REE < 59$ mg/kg). O baixo teor em REE é consequência do efeito de diluição provocado pela elevada proporção de calcite que aumenta da base para o topo (Figura 5.79, a). Quando normalizados aos condritos as REE apresentam um perfil de distribuição onde se observa novamente uma diminuição da base para o topo do teor em REE e anomalias negativas de Ce e Eu (Figura 5.79, b e c). A anomalia de Eu é semelhante nas três amostras ($Eu/Eu^* = 0,7$) e menos acentuada que na crosta continental superior. A anomalia de Ce é mais acentuada nos materiais do perfil de calcreto que na crosta continental superior, oscilando entre $0,78 < Ce/Ce^* < 0,92$, sendo mais acentuada nos materiais recolhidos no nível intermédio (CVb) (Figura 5.7, c). O fracionamento entre REE leves e pesadas ($(La/Yb)_N = 9$) e o fracionamento entre REE leves e intermédias ($(La/Sm)_N = 3$) são muito semelhantes entre as três amostras do perfil e menores que na crosta continental superior (Figura 5.79, d).

O comportamento das REE, que diminuem da base para o topo do perfil, acompanhando o aumento da calcite, permite inferir que estes elementos não deverão fixar-se na calcite dos materiais recolhidos no perfil de calcreto, em Covas, mas na fração não carbonata das amostras.

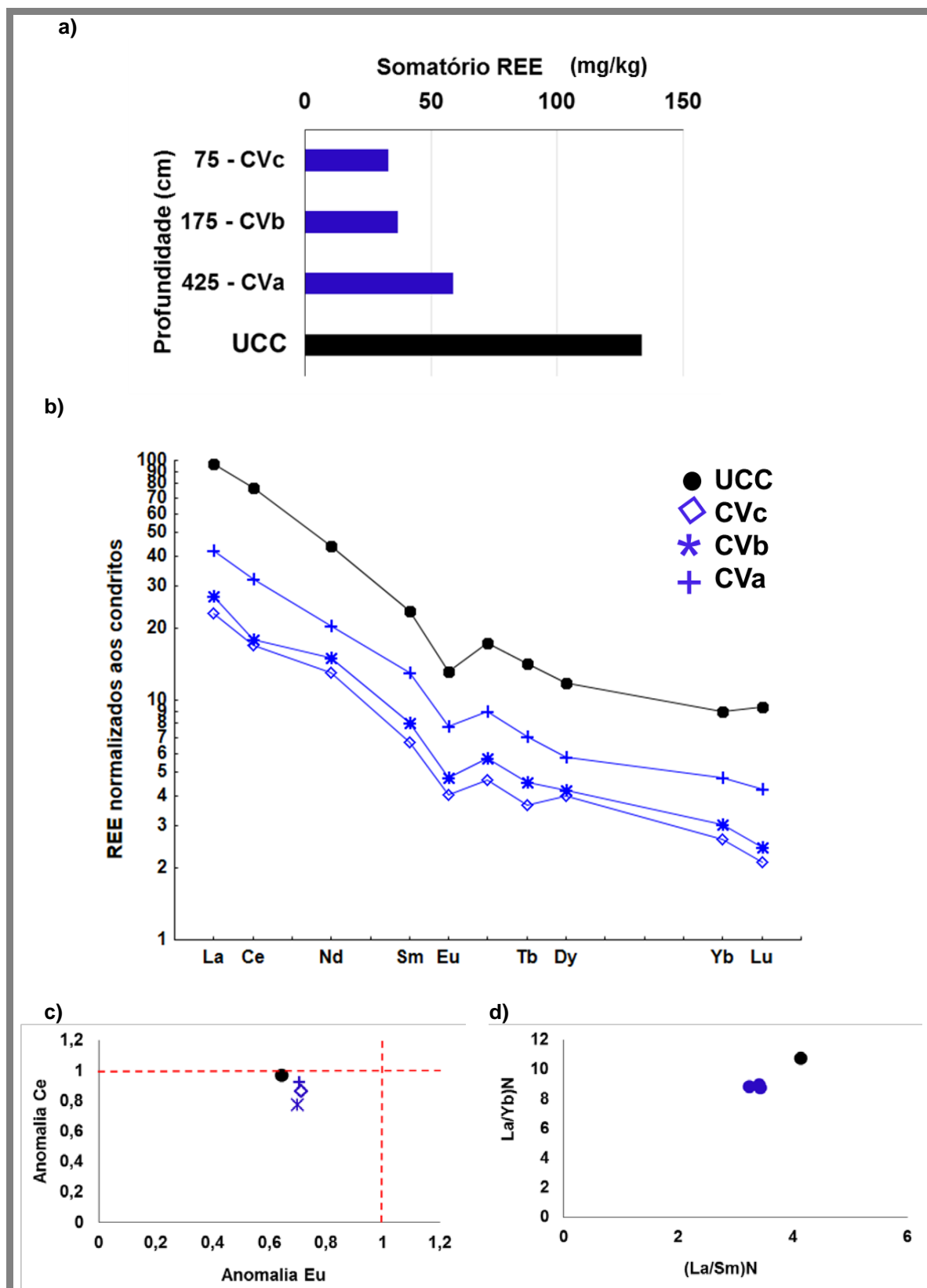


Figura 5.79 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto em Covas e valores médios da crosta continental superior.

5.3.3.2 Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa

No que respeita à fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto em Covas (CVa, CVb e CVc) (Anexo IV, Figura 5.80), verifica-se que a fração argilosa da amostra da base CVa, cuja composição é maioritariamente ilite e uma pequena proporção de paligorsquite, apresenta teores mais elevados na maioria dos elementos determinados com exceção do teor em Mn e Br (apresenta o teor mais baixo).

A fração argilosa das amostras CVb e CVc assemelham-se entre si, reflexo da composição semelhante em minerais argilosos (esmectite>paligorsquite) distinguindo-se pelos teores em Mn e W, mais elevados na amostra do nível intermédio CVb, onde a proporção de esmectite é mais elevada, e pelos teores em Br e U mais elevados na amostra do topo CVc onde a proporção de esmectite é menor.

Relativamente à amostra total, a fração argilosa da amostra da base CVa é a mais enriquecida na maioria dos elementos determinados, verificando-se a exceção para os elementos Na e U nos quais a fração argilosa da amostra se encontra ligeiramente empobrecida. A amostra recolhida no nível intermédio do perfil de calcreto, CVb, é a menos enriquecida na maioria dos elementos determinados, face à amostra total, e está empobrecida em óxido de Na, Co, As, Ba, REE, Th e U. A fração argilosa da amostra do topo CVc encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados com exceção para o Na, REE e U, os quais parecem distribuir-se igualmente entre a fração argilosa e a fração grosseira da amostra.

O empobrecimento em óxido de Na, na fração argilosa, que apenas se verifica na amostra CVb, deve-se à perda deste elemento durante o processo de separação da fração argilosa por via húmida, dada a elevada solubilidade do elemento Na em água.

Há ainda a reter que apenas na amostra da base CVa as REE se deverão fixar na fração argilosa, nomeadamente na ilite, mineral detetado apenas nesta amostra. Na amostra recolhida no nível intermédio CVb a fração argilosa encontra-se empobrecida em REE, devendo estes elementos estar fixos na fração grosseira não carbonatada (dada a correlação negativa entre a proporção de calcite e o teor em REE na amostra total), eventualmente associada a minerais detríticos pesados identificados nesta formação, como o epídoto, a granada e o zircão (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970). Na amostra do topo as REE parecem distribuir-se igualmente entre a amostra total e a fração argilosa.

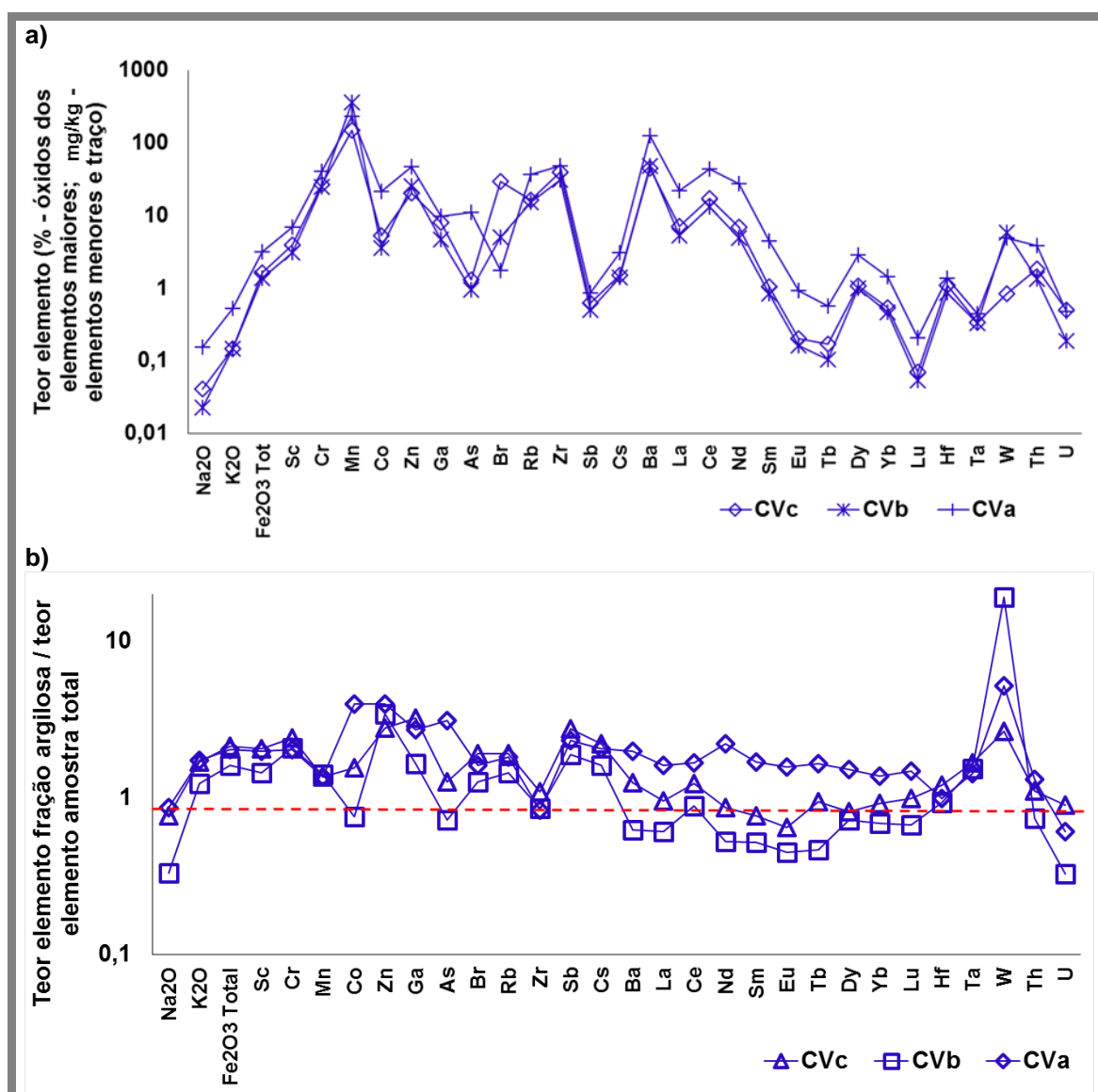


Figura 5.80. Composição química da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto em Covas.

5.3.3.2.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório dos teores absolutos de REE na fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto oscila entre 34 mg/kg e 104 mg/kg, sendo o valor mais elevado registado na amostra da base CVa e o valor mais baixo na amostra do nível intermédio CVb (Figura 5.81, a). Quando normalizados aos condritos as REE apresentam perfis de distribuição onde são evidentes anomalias negativas de Eu na fração argilosa das três amostras recolhidas no perfil de calcreto. Quanto ao Ce, encontram-se anomalias positivas na fração argilosa das amostras recolhidas no nível intermédio CVb e no topo CVc do perfil, e anomalia negativa na fração argilosa da amostra da base CVa (Figura 5.81, b e c). A anomalia negativa de Eu na fração argilosa ($0,57 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,66$) diminui ligeiramente da base para o topo do perfil é mais acentuada na fração argilosa do que na amostra total.

A anomalia de Ce ($0,89 < Ce/Ce^* < 1,15$) é menor na fração argilosa da amostra da base CVa, onde a presença da ilite foi detetada, mineral onde a anomalia de Ce é geralmente negativa (Laveuf e Cornu, 2009), e positiva na fração argilosa das amostras recolhidas a menor profundidade, indicando um ambiente mais oxidante onde o Ce pode precipitar na forma de óxido de Ce (IV), ficando imobilizado. Este ambiente oxidante é também propício à formação de paligorsquite que tal como a esmectite se detetou em maior proporção nas amostras com anomalias positivas de Ce (CVb e CVc) (Lópes-Galindo et al, 1996; Laveuf e Cornu, 2009). O ambiente oxidante, que promoveu anomalias positivas de Ce e negativas de Eu, por concentração de Ce (IV) e perda de Eu (III) relativamente às restantes REE, mais acentuadas nas amostras do topo CVb e CVc, favoreceu também a formação de paligorsquite, facto citado anteriormente por Lópes-Galindo et al (1996).

O fracionamento entre REE leves e pesadas ($7,9 < (La/Yb)_N < 10,4$) é maior na fração argilosa da base e do topo onde assume valores maiores que na amostra total e menor na fração argilosa da amostra do nível intermédio. O fracionamento entre REE leves e intermédias ($3 < (La/Sm)_N < 4$) aumenta da base para o topo, com razões da mesma magnitude que na amostra total.

Saliente-se que a fração argilosa da amostra da base CVa apresenta o maior teor em REE que as restantes amostras na mesma fração. Relativamente à amostra total, é nesta amostra (CVa) que se observa um teor mais elevado de REE na fração argilosa. A concentração de REE na fração argilosa da base pode ser explicada pela maior proporção de filossilicatos nesta amostra, a única onde se detetou a presença de ilite, mineral argiloso com maior capacidade de retenção destes elementos que a esmectite (Lópes-Galindo et al, 1996; Ramakrishnan e Tiwari, 1998; Laveuf e Cornu, 2009).

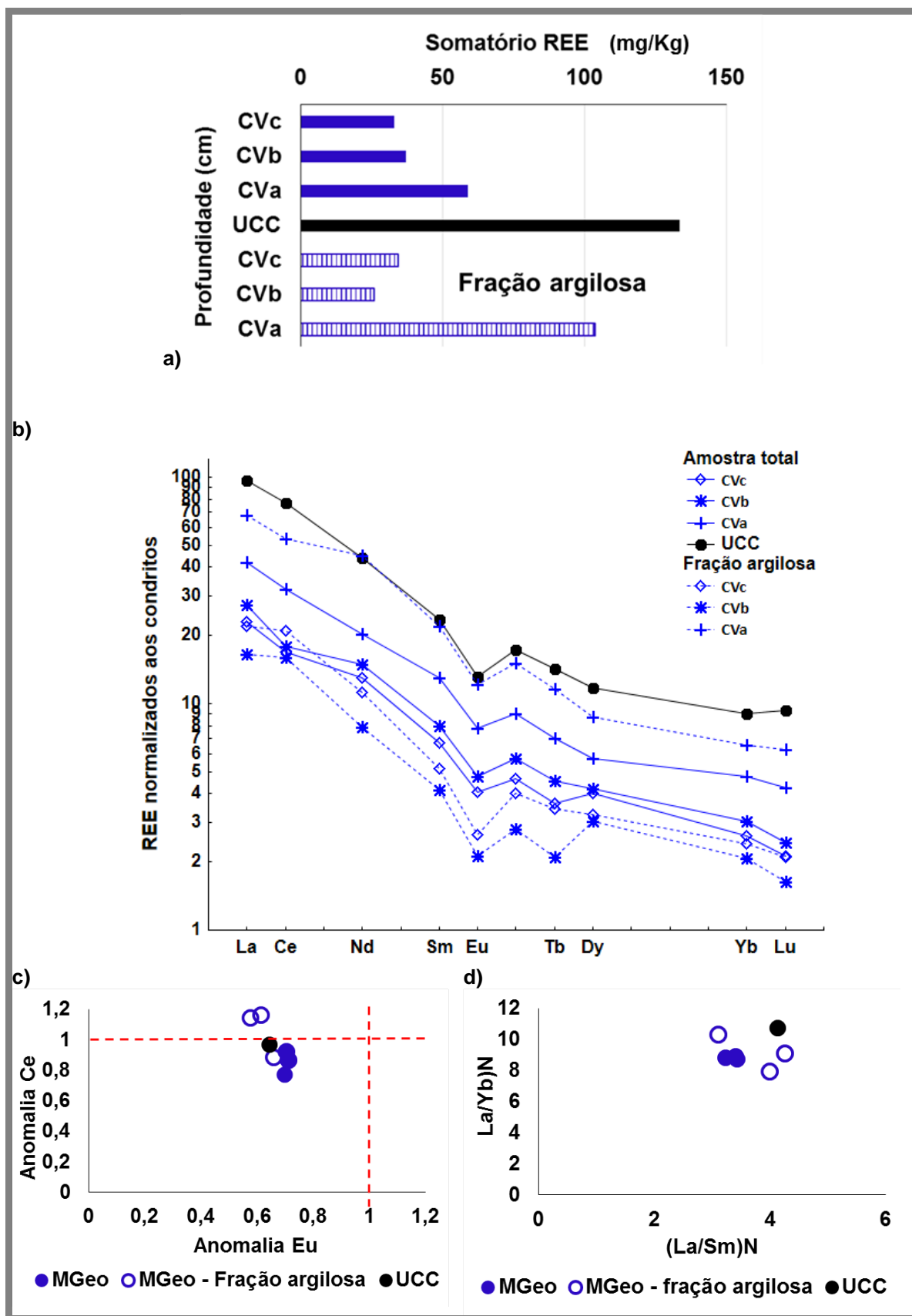


Figura 5.81 a) Somatório do teor absoluto em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcareto em Covas e valores médios da crosta continental superior.

5.3.3.3 Materiais de preenchimento da fossa – Amostra total

Os materiais recolhidos no perfil lateral do preenchimento da fossa (p14, Cv3, p13 e p12) entre os 93 e os 37 cm de profundidade, com uma composição mineralógica dominada pela calcite (cerca de 80%), apresentam uma composição química (Anexo IV) em elementos maiores e traço relativamente homogênea da base ao topo (Figura 5.82). Note-se que o teor ligeiramente mais baixo da maioria dos elementos determinados (com exceção do U) nos materiais recolhidos a 60 cm de profundidade, poderá ser devido à maior proporção de calcite nesta amostra. Os materiais recolhidos a 93 cm e a 72 cm de profundidade apresentam uma composição química bastante semelhante onde apenas há a realçar o teor ligeiramente superior em Cr, Br e U na amostra recolhida a 72 cm e o teor ligeiramente maior em As, Ga, Ba na amostra recolhida a 93 cm de profundidade. Os materiais recolhidos no topo da sequência, a 37 cm de profundidade, onde a proporção de calcite é ligeiramente menor, apresentam os teores mais elevados na maioria dos elementos (com exceção do teor em U).

Quanto aos materiais recolhidos no perfil central do preenchimento da fossa (Anexo IV) verifica-se que a composição dos materiais recolhidos na base do fosso (materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento) apresentam teores mais baixos na maioria dos elementos com exceção do As, que surge mais elevado nesta amostra face aos restantes materiais de preenchimento (Figura 5.83). O empobrecimento na maioria dos elementos deve-se à proporção de calcite nesta amostra (92%). Os materiais recolhidos entre 144 cm e 126 cm de profundidade, no nível correspondente ao preenchimento inicial da segunda fase, apresentam uma composição homogênea, havendo apenas a salientar que a 135 cm de profundidade surgem materiais com teor ligeiramente mais elevado em óxidos de Na, K e Fe e nos elementos da primeira série de transição, Br, Rb, Zr, Cs, Ba, REE, Hf, Ta, Th e U. Neste nível verifica-se uma tendência para o aumento da base para o topo da maioria dos elementos determinados e uma maior oscilação do teor em Sb e Zr. No nível correspondente ao preenchimento por coluvião durante a segunda fase de preenchimento, materiais recolhidos a 116 cm de profundidade, a composição química é muito semelhante à dos materiais recolhidos abaixo, havendo apenas a realçar o menor teor em As, Br, Sb e U. Os materiais recolhidos entre os 112 cm e os 106 cm de profundidade, referentes ao paleossolo que se formou no topo da segunda fase de preenchimento, verifica-se que a composição química se mantém semelhante à registada nos dois níveis inferiores da mesma fase, sendo apenas de notar uma tendência para o ligeiro aumento do teor na maioria dos elementos da base para o topo deste nível. Os materiais recolhidos a 109 cm de profundidade, apresentam um teor ligeiramente maior em Br, Rb e Ba, sendo o maior teor em Rb e Ba justificado pela presença de uma proporção mais elevada de feldspatos potássicos nesta amostra. Nos materiais recolhidos entre os 102 cm e os 77 cm de profundidade, correspondentes aos materiais depositados na terceira fase de preenchimento da fossa, apenas há a realçar o teor mais baixo na maioria dos elementos determinados na amostra recolhida a 102 cm de profundidade e o teor mais elevado em elementos da primeira série de transição, Ga, Rb, Sb, Cs, Ba, REE leves, Ta, W e Th nos materiais recolhidos a 91 cm de profundidade. Os materiais recolhidos a 77 cm de profundidade apresentam os teores mais elevados em As e Hf relativamente aos materiais deste nível (terceira fase de preenchimento). O material recolhido no topo, a 5

cm de profundidade, que corresponde ao solo moderno, apresenta uma composição química muito semelhante aos materiais de preenchimento da fossa.

Ao longo dos perfis, da base para o topo, o comportamento do teor em cada elemento é semelhante, havendo apenas a realçar diferenças nos materiais recolhidos aos 60 cm no perfil lateral e aos 102 cm no perfil central (início da terceira fase de preenchimento), onde se verifica uma inflexão no andamento. Nestes materiais o teor na maioria dos elementos é menor fruto da maior proporção de calcite. Realce-se também o comportamento ligeiramente diferente dos elementos As e U ao longo do perfil central.

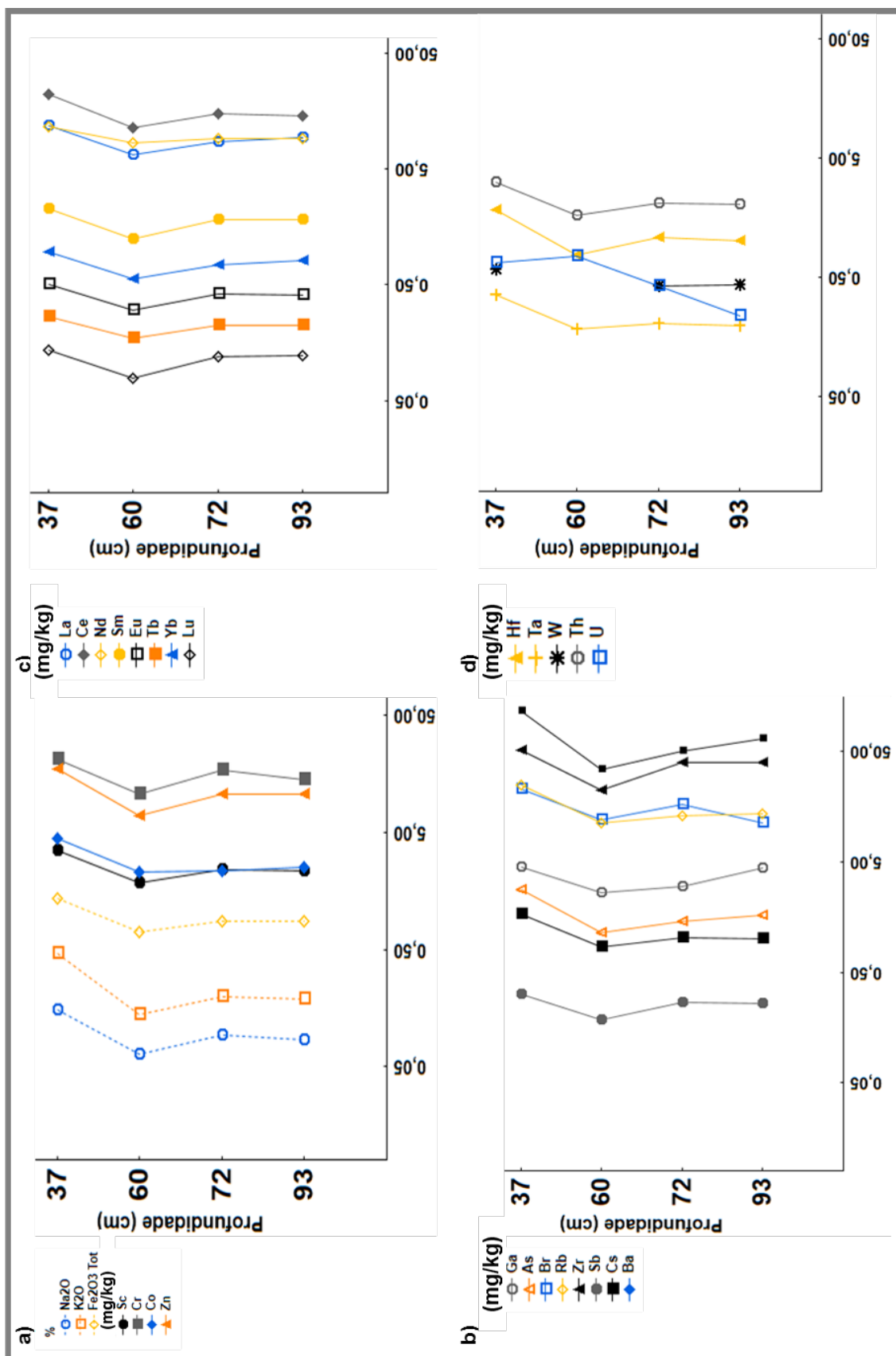


Figura 5.82 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil lateral do preenchimento da fossa em Covas.

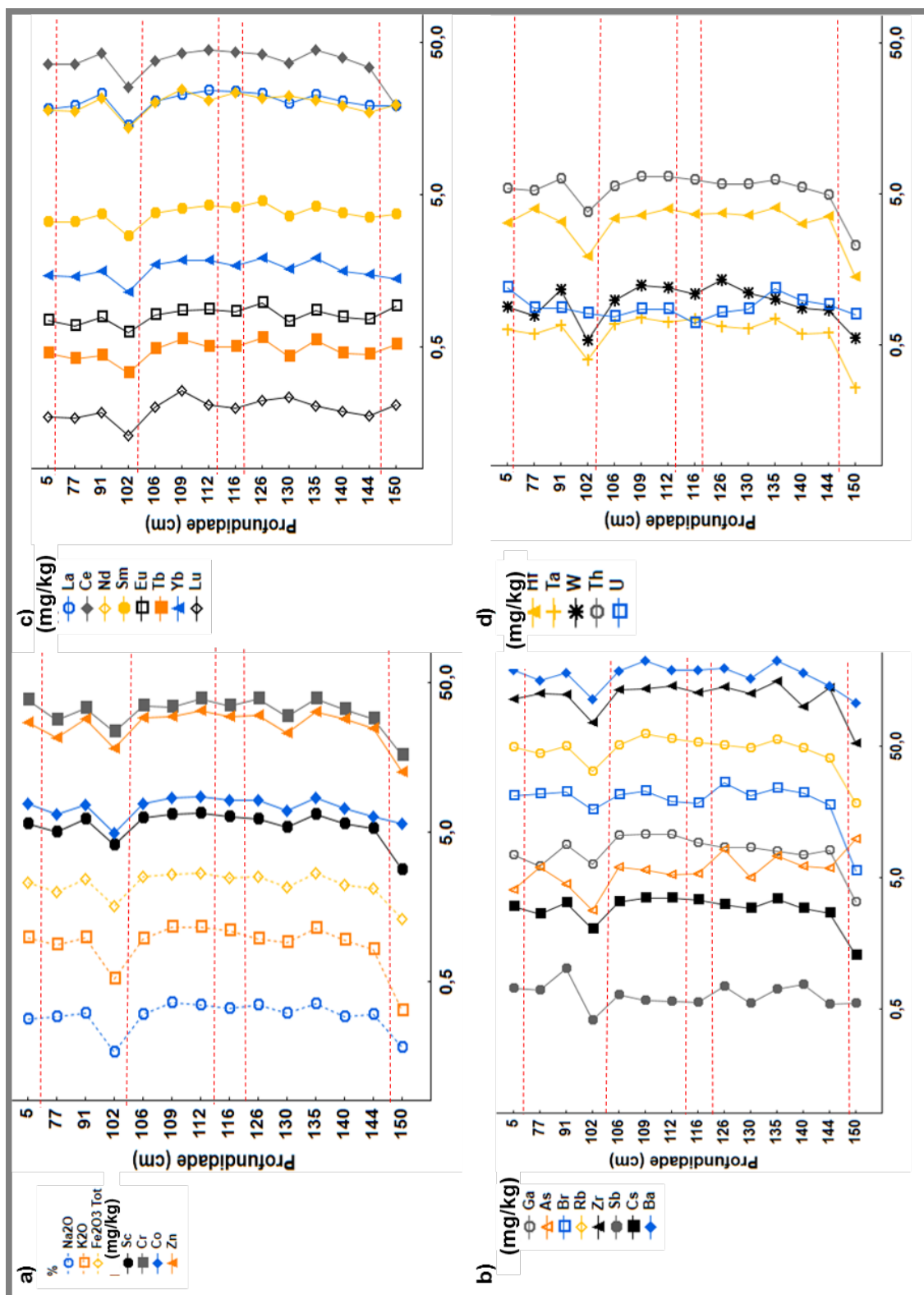


Figura 5.83 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil central do preenchimento da fossa em Covas.

Considerando também os elementos químicos determinados por FRX, nas amostras selecionada para datação, CV1, CV2 e CV3, recolhidas na sequência de preenchimento da fossa, verifica-se que os materiais recolhidos no perfil lateral, correspondente à primeira fase de preenchimento apresentam uma composição mais empobrecida na maioria dos elementos determinados (Figura 5.84, a). A exceção verifica-se para os elementos que se relacionam com a proporção elevada de calcite nesta amostra, como é o caso do CaO, MgO, Sr, Mo e I, elementos nos quais a amostra CV3 (recolhida no perfil lateral) apresenta um teor semelhante ao verificado nos materiais recolhidos no perfil central correspondentes à segunda fase de preenchimento.

Considerando os valores médios para a crosta continental superior (UCC), verifica-se que todos os materiais de preenchimento se encontram empobrecidos na maioria dos elementos determinados, com exceção do Br e Sb, sendo o empobrecimento mais evidente nas amostras mais carbonatadas. Considerando as amostras adjuntas das amostras selecionadas para datação, em relação à crosta continental superior, verifica-se o empobrecimento geral nos elementos determinados, com maior evidência na amostra recolhida no perfil lateral CV3, onde a proporção de calcite é mais elevada (Figura 5.84, b). Os materiais de preenchimento encontram-se enriquecidos em CaO, Br e I face aos valores médios da crosta continental superior, tal como verificado para os materiais recolhidos no perfil de calcreto. O enriquecimento em CaO é fruto do teor elevado em calcite nos materiais de preenchimento, tal como o enriquecimento em iodo. O enriquecimento em Br dever-se-á à presença de matéria orgânica. Os materiais recolhidos no perfil central CV1 e CV2 encontram-se também ligeiramente enriquecidos em As, Mo e Sb, enquanto os materiais recolhidos no perfil lateral se encontram ligeiramente enriquecidos em Cd.

De um modo geral, há a reter que a composição química dos materiais mais ricos em calcite é mais pobre na maioria dos elementos determinados com exceção dos que se relacionam diretamente com a presença da calcite, como CaO, MgO, Sr, Mo e I. Os materiais recolhidos na base do perfil central de preenchimento e no perfil lateral, correspondentes aos materiais da primeira fase de preenchimento, apresentam uma composição química que, tal como a composição mineralógica, se assemelha muito com a composição dos materiais recolhidos no perfil de calcreto, sendo a maior diferença observada ao nível macroscópico referente à agregação dos materiais, que é maior no calcreto. Os restantes materiais de preenchimento recolhidos no perfil central apresentam uma composição química semelhante não sendo possível discriminar composicionalmente as diferentes fases identificadas pelos arqueólogos.

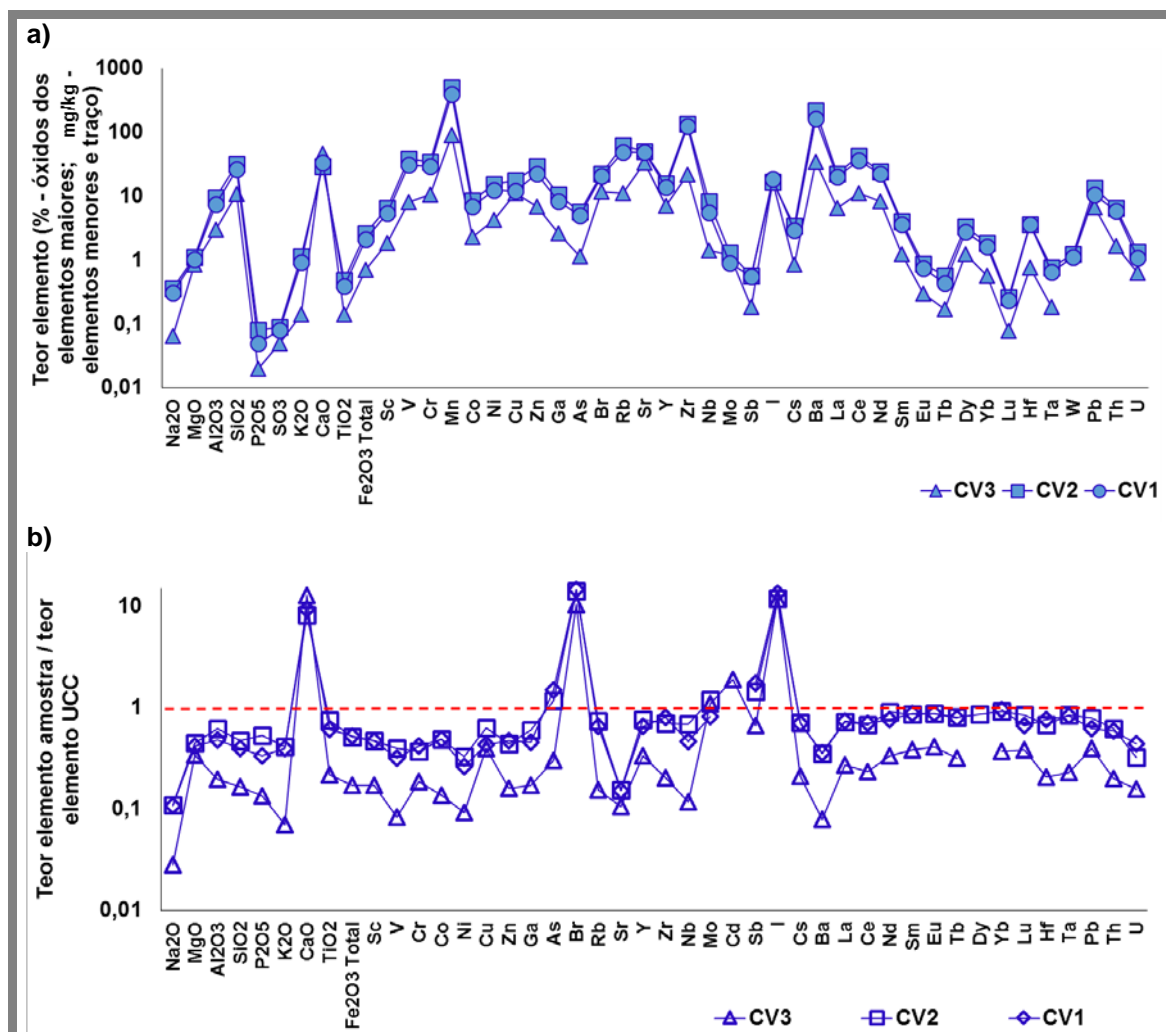


Figura 5.84 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa, em Covas (amostras adjuntas das amostras selecionada para datação) b) composição química da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa, em Covas, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.

5.3.3.3.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição (LOI – *loss on ignition*) nos materiais recolhidos no nível de preenchimento inicial da segunda fase, amostra CVa é de 28%, diminuindo ligeiramente nos materiais recolhidos no paleossolo da mesma fase de preenchimento, amostra CV2 (LOI=24%). Os materiais recolhidos no perfil lateral, correspondentes aos materiais depositados na primeira fase de preenchimento da fossa (CV3), apresentam um LOI de 38%, indicador de uma maior proporção de carbonatos e/ou matéria orgânica nesta amostra. O valor de LOI na amostra CV3 encontra-se dentro da janela de valores obtidos para os materiais recolhidos no perfil de calcreto.

No que respeita à razão de calcificação ($RC = MgO + CaO / Al_2O_3$) observa-se que no perfil central a razão é maior na amostra CV1 ($RC=5$), recolhida no preenchimento inicial da fase 2 e menor no nível correspondente ao paleossolo, CV2 ($RC=3$). Nos materiais recolhidos no perfil lateral, correspondente à primeira fase de preenchimento, a amostra CV3 apresenta uma razão de calcificação semelhante à verificada nos níveis superiores do perfil de calcreto ($RC=16$). Tal como ocorre na amostra do perfil de calcreto, verifica-

se que a razão de calcificação nos materiais de preenchimento se relaciona inversamente com a razão silicatos/carbonatos.

Quanto à razão de dolomitização ($RD=MgO/CaO$) os materiais recolhidos no perfil central apresentam valores de 0,03 no nível do preenchimento inicial da segunda fase (CV1), e 0,04 no nível do paleossolo desenvolvido na segunda fase (CV2), valores semelhantes ao registado na base do perfil de calcreto. Os materiais recolhidos no perfil lateral, CV3, correspondente à primeira fase de preenchimento, apresentam uma razão de dolomitização de 0,02, valor semelhante ao registado no topo do perfil de calcreto. Este valores baixos estão de acordo com a mineralogia das amostras, na quais não se detetou a presença de dolomite, tal como no perfil de calcreto.

A razão $SiO_2/CaCO_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos (Achyuthan et al, 2012) é maior nas amostra recolhidas no perfil central (CV1 e CV2, $0,4 < SiO_2/CaCO_3 < 0,6$) que nos materiais recolhidos no perfil lateral (CV3, $SiO_2/CaCO_3 = 0,1$), o que indica que os materiais da amostra CV3 apresentam-se mais maturados. Os materiais recolhidos no perfil lateral (CV3) apresentam uma razão semelhante ao registado nos materiais recolhidos no nível intermédio e no topo do perfil de calcreto (CVb e CVc). O índice de maturação do calcreto correlaciona-se negativamente com a razão de calcificação, para este conjunto de materiais, como seria de esperar, pois num calcreto mais maduro os carbonatos já substituíram os silicatos (Figura 5.85, a).

O índice de alteração química (CIA – *chemical index of alteration*), é menor nos materiais recolhidos no perfil central ($57\% < CIA < 60\%$) (tal como na base do perfil de calcreto) que nos materiais recolhidos no perfil lateral (CIA=81%, como nos níveis intermédio e do topo do perfil de calcreto). Estes valores, que indicam o nível de alteração química dos silicatos, correlacionam-se positivamente com a razão de calcificação (Figura 5.85, b).

A razão SiO_2/Al_2O_3 apresenta um valor de 3,5 para todas as amostras do perfil e a razão Ca/Mg apresenta valores entre 3 e 5 nos materiais recolhidos no perfil central e 15 nos materiais recolhidos no perfil lateral. Estes índices são considerados como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação nos calcretos e permitem comprovar mais uma vez a maior similaridade entre o estado de alteração/calcificação dos materiais recolhidos no perfil lateral, CV3, com os materiais do nível intermédio e do topo do calcreto (CVb e CVc) e dos materiais recolhidos no perfil central, CV1 e CV2, com os materiais da base do calcreto (CVa) (Figura 5.85, c).

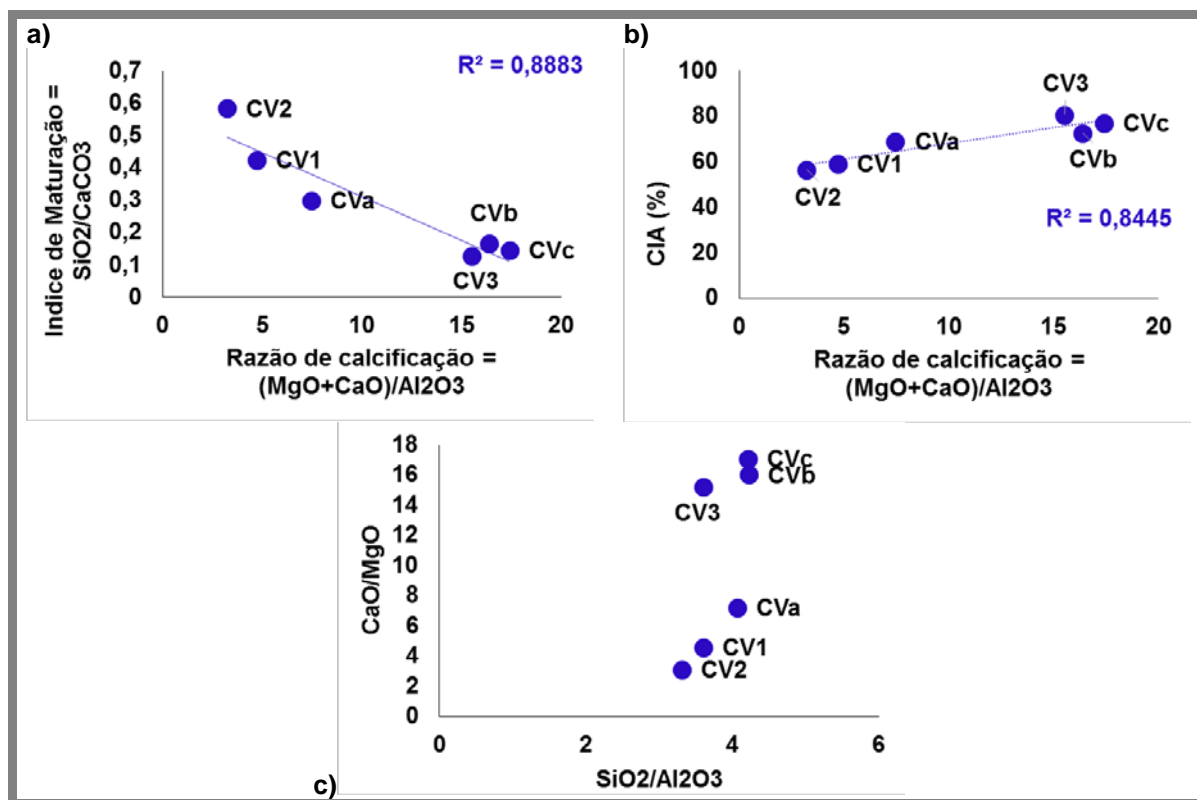


Figura 5.85 Variação do índice de maturação (a) e do Índice de alteração química (b) em função da razão de calcificação; c) índices de meteorização intensa, calcificação e reprecipitação na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa e no perfil de calreito em Covas.

5.3.3.3.2 Comportamento dos elementos terras raras

De um modo geral verifica-se que o somatório de REE nos materiais recolhidos no perfil lateral é menor ($30 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 50 \text{ mg/kg}$) que o somatório de REE dos materiais recolhidos no perfil central ($58 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 100 \text{ mg/kg}$). No perfil lateral regista-se o teor mais elevado em REE na amostra recolhida no topo a 37 cm de profundidade e o menor valor na amostra recolhida a 60 cm de profundidade (Figura 5.86, a). Relativamente aos materiais recolhidos no perfil de calreito observa-se que os materiais do perfil lateral apresentam um somatório em REE da mesma magnitude. Os materiais de preenchimento recolhidos no perfil central, que correspondem à segunda e terceira fases de preenchimento contêm teores mais elevados de REE que os materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento (Figura 5.86, b). Para o conjunto de amostras recolhidas em Covas, observa-se que o somatório em REE correlaciona-se negativamente ($R^2=0,67$) com a proporção de calcite, indiciando que estes elementos não se devem fixar na fração carbonatada das amostras, tal como ocorre nos materiais recolhidos no perfil de calreito (Figura 5.86, c).

Quando normalizados aos condritos as REE apresentam um perfil onde é evidente a anomalia negativa de Eu e Ce em todos os materiais de preenchimento da fossa (Figura 5.86, d). A anomalia de Eu ($0,65 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,76$) é ligeiramente mais acentuada nos materiais de preenchimento correspondentes à segunda fase (anomalia da mesma magnitude dos valores médios da crosta continental superior) e menos acentuada nos materiais correspondentes à primeira fase, que apresentam anomalias da mesma

magnitude dos materiais recolhidos no perfil de calcreto. A anomalia de Ce ($0,46 < Ce/Ce^* < 0,97$) é no geral da mesma magnitude nos materiais de preenchimento da fossa e no perfil de calcreto. Esta anomalia é mais acentuada nos materiais de preenchimento do que na crosta continental superior e verifica-se que nos materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento a anomalia de Ce é mais acentuada, em especial nos materiais recolhidos na base do preenchimento da fossa (perfil central, primeira fase de preenchimento) (Figura 5.86, e).

O fracionamento entre REE leves e pesadas ($8 < (La/Yb)_N < 10$) e entre REE leves e intermédias ($(La/Sm)_N = 3$) é menor do que o fracionamento na crosta continental superior e semelhante ao verificado no perfil de calcreto. Observam-se fracionamentos ligeiramente menores nos materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento e ligeiramente maiores nos materiais correspondentes à terceira fase de preenchimento (Figura 5.86, f).

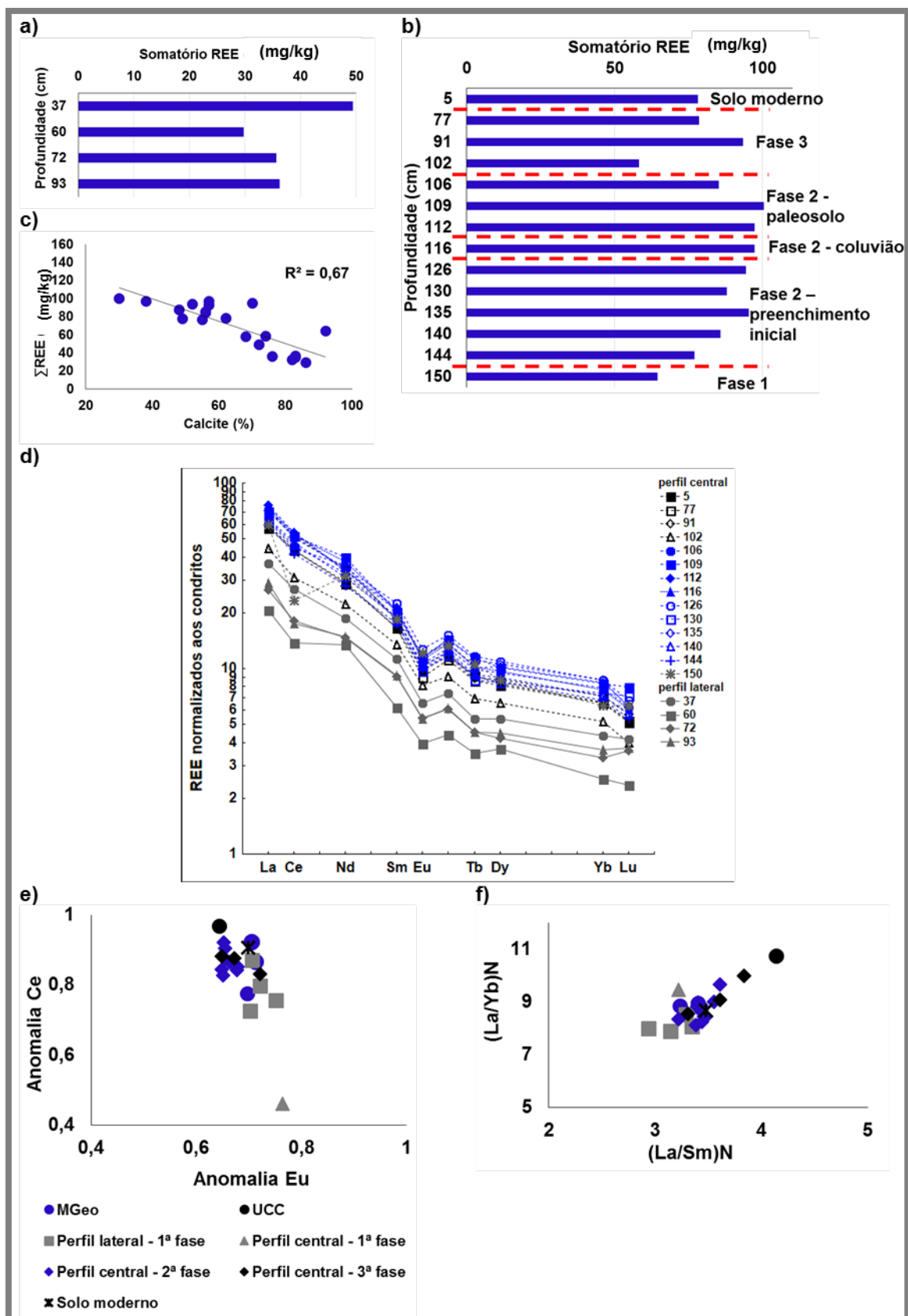


Figura 5.86 a) somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no perfil lateral; b) somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no perfil central; c) somatório de REE na amostra total em função da proporção de calcite; d) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total; e) anomalias de Eu e Ce na amostra total; f) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos em Covas.

5.3.3.4 Materiais de preenchimento da fossa - Fração argilosa

A composição química da fração argilosa encontra-se descrita no Anexo IV para a amostras CV1, CV2 e CV3. De um modo geral, a fração argilosa da amostra CV3, que compreende esmectite e paligorskite, recolhida no perfil lateral que corresponde aos materiais depositados na primeira fase de preenchimento, apresenta menores teores de todos os elementos determinados enquanto a fração argilosa da amostra CV2, constituída por ilite e esmectite, apresenta os teores mais elevados na maioria dos elementos determinados (Figura 5.87,a).

A fração argilosa da amostra CV3, apenas se encontra empobrecida em U, relativamente à amostra total e está mais enriquecida em óxidos de K e Fe, nos elementos da primeira série de transição, As, Rb, Sb e Cs. O enriquecimento em óxido de Fe e nos elementos da primeira série de transição na fração argilosa da amostra CV3 poderá estar relacionado com a proporção mais elevada de esmectite, mineral onde estes elementos tendem a fixar-se (Marques, 2007; Marques et al, 2011).

A fração argilosa da amostra CV1, recolhida no preenchimento inicial da segunda fase, no perfil central, cuja composição mineralógica é ilite >esmectite >minerais de caulino =paligorskite, encontra-se empobrecida em óxido de Na, Zr, Hf e U.

A fração argilosa da amostra CV2, recolhida no nível correspondente ao paleossolo desenvolvido na segunda fase de preenchimento, no perfil central, cuja composição mineralógica é esmectite e ilite em proporções idênticas, encontra-se também empobrecida em Zr, Hf e U e é a amostra que apresenta maior enriquecimento em Sb na fração argilosa.

Sendo o Na um elemento bastante móvel em meio aquoso, o seu empobrecimento dever-se-á ao processo de separação da fração argilosa por via húmida. O empobrecimento em Zr e Hf revela que estes elementos se fixam na fração grosseira da amostra, associados a minerais detríticos pesados identificados nesta formação em trabalhos anteriores (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970), como o epídoto, a granada e o zircão.

Relativamente à amostra total a fração argilosa das amostras encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados, sendo a fração argilosa da amostra recolhida no perfil lateral (primeira fase de preenchimento, CV3) a que apresenta o maior enriquecimento (Figura 5.87, b).

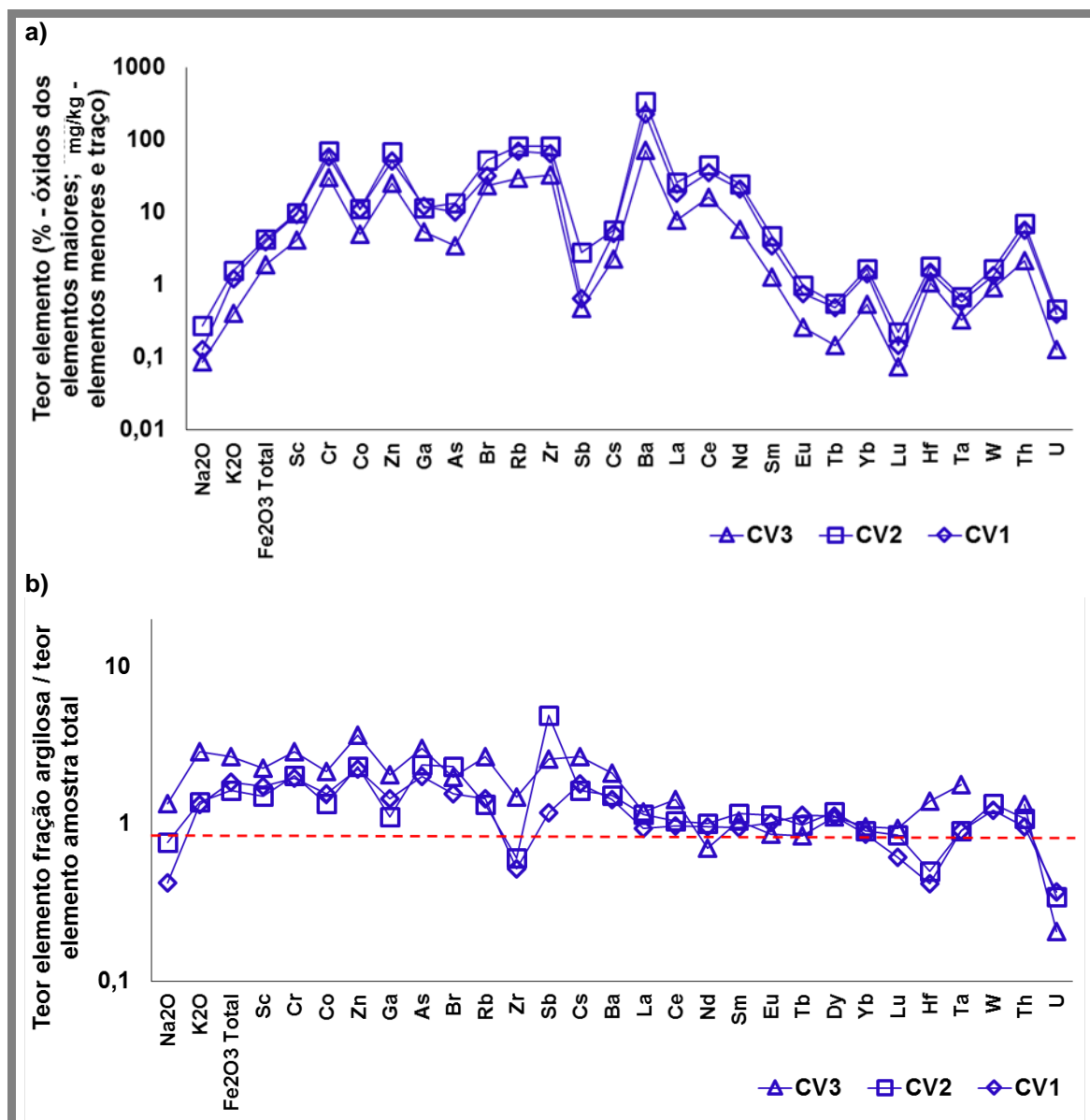


Figura 5.87 a) Composição química da fração argilosa; b) relação entre a composição química na fração argilosa e na amostra total das amostras CV1, CV2 e CV3 recolhidas no preenchimento da fossa em Covas.

5.3.3.4.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório do teor em REE na fração argilosa dos materiais de preenchimento da fossa ($30 \text{ mg/kg} < \text{REE} < 100 \text{ mg/kg}$) é mais elevado na amostra CV2 que corresponde aos materiais recolhidos no paleossolo da segunda fase de preenchimento e mais baixo na fração argilosa da amostra CV3 recolhida no perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento. O teor em REE na fração argilosa, relativamente à amostra total é muito semelhante nas três amostras estudadas (Figura 5.88, a). Assim, nos materiais recolhidos no perfil de calcetreto, verifica-se que a fração argilosa dos materiais correspondentes à primeira fase (amostra CV3) apresentam um teor de REE da mesma magnitude dos materiais recolhidos no topo do perfil (amostra CVc) e que os materiais recolhidos no perfil central, correspondentes à segunda fase do preenchimento (amostras CV1 e CV2), apresentam um teor em REE semelhante ao registado nos materiais recolhidos na base do perfil de calcetreto (CVa).

Normalizando os teores de REE aos condritos, observam-se anomalias negativas de Eu ($0,64 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,67$) na fração argilosa das três amostras e anomalias negativas de Ce pouco acentuadas. Na fração argilosa das amostras recolhidas no perfil central (segunda fase, CV1 e CV2) regista-se uma anomalia negativa de Ce ($0,81 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,86$) e positiva na fração argilosa da amostra recolhida no perfil lateral (primeira fase, CV3, $\text{Ce}/\text{Ce}^* = 1,01$) (Figura 5.88, b e c). A realçar é a grande diferença entre a anomalia de Ce na fração argilosa da amostra CV3 e a anomalia na amostra total (negativa e acentuada), indicando que o Ce(IV) se fixa na fração argilosa da amostra recolhida no perfil lateral, tal como ocorre na fração argilosa dos materiais recolhidos no nível intermédio e no topo do perfil de calcreto (amostras CVb e CVc), relacionando-se com a maior proporção de esmectite, como observado noutros trabalhos (Laveuf e Cornu, 2009). O fracionamento entre REE é maior na fração argilosa que na amostra total dos materiais de preenchimento da fossa ($3,4 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3,8$ e $9,1 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 10,7$, Figura 5.88, d).

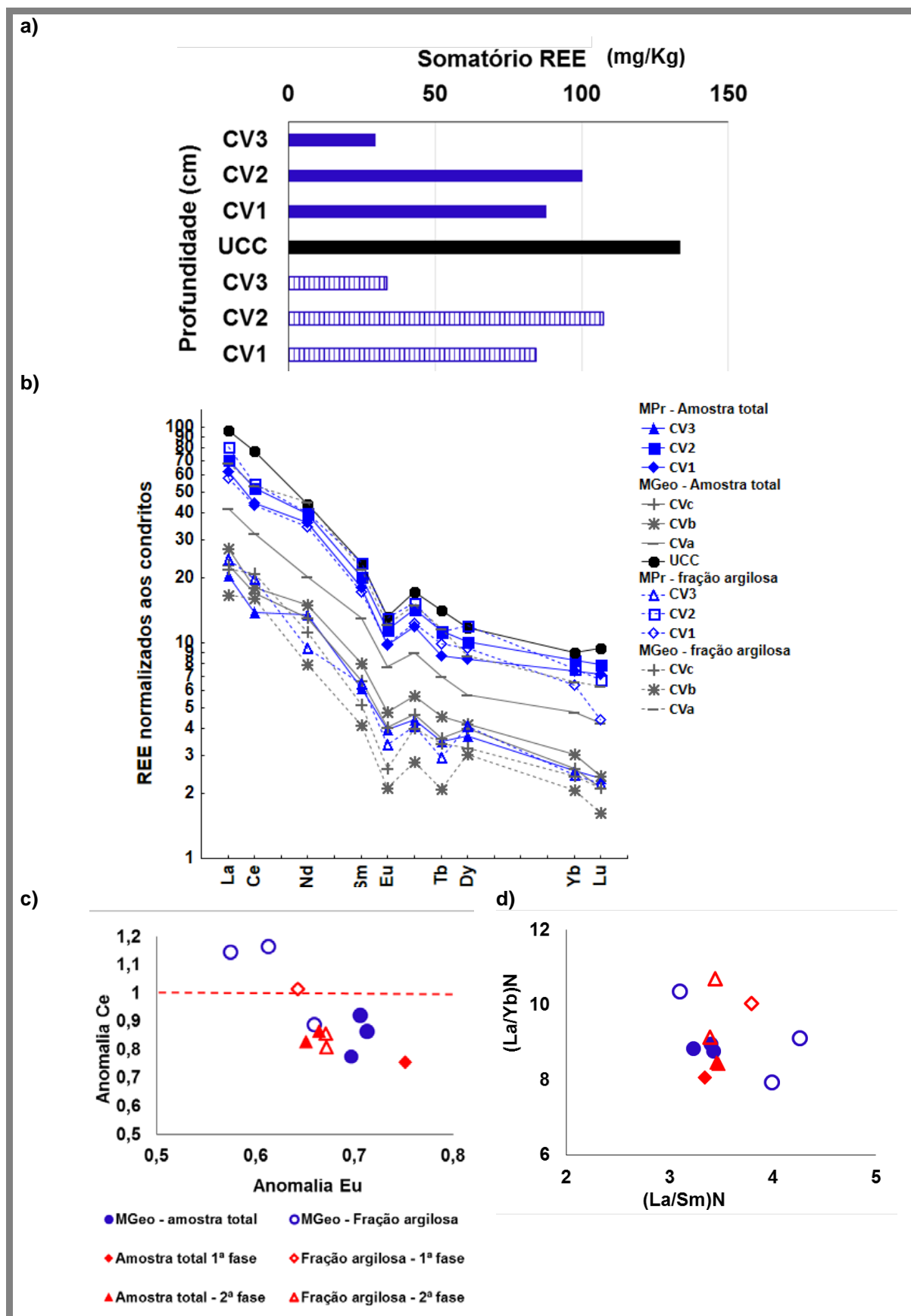


Figura 5.88 a) Somatório do teor em REE na fração argilosa e amostra total; b) Perfil de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento da fossa, recolhidos em Covas.

5.3.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento

5.3.4.1 Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso

As frações de poliminerálicas, fina e grosseira, bem como a fração enriquecida em quartzo (PMF, PMG e EQZG) foram sujeitas ao protocolo de medida de testes iniciais no Capítulo 4), a partir do qual se obteve o comportamento dos sinais de luminescência ao longo do perfil, a sensibilidade de cada tipo de sinal à dose irradiada e a estimativa da dose absorvida aparente.

Considerando as diferentes frações mineralógicas recolhidas no perfil central da sequência de preenchimento é de notar que a sensibilidade ao IRSL é sempre inferior à sensibilidade ao OSL, que por sua vez é menor que a sensibilidade do pico 110°C do TSL, sendo estas diferenças mais evidentes nas frações grosseiras, nomeadamente na fração enriquecida em quartzo (EQZG) (Figura 5.89, a). No que concerne às amostras de perfil recolhidas na sequência lateral e que representam a primeira fase de preenchimento da fossa, a relação entre a sensibilidade das diferentes frações aos diferentes sinais mantém-se (sensibilidade 110°C TSL > OSL > IRSL) sendo novamente mais marcadas as diferenças entre a sensibilidade aos diversos sinais na fração enriquecida em quartzo grosseiro. De um modo geral, a sensibilidade das frações aos sinais de estimulação ótica e térmica, em especial ao OSL e ao pico 110°C TSL, é menor nos materiais recolhidos em níveis correspondentes à primeira fase de preenchimento (perfil lateral e amostra da base da sequência central). (Figura 5.89, b). No que respeita ao comportamento da sensibilidade da fração enriquecida em quartzo grosseiro verifica-se em média o sinal de IRSL é cerca de 3 ordens de grandeza menor que o de OSL, apontando para uma grande proporção de quartzo nestas alíquotas (Figura 5.89 c).

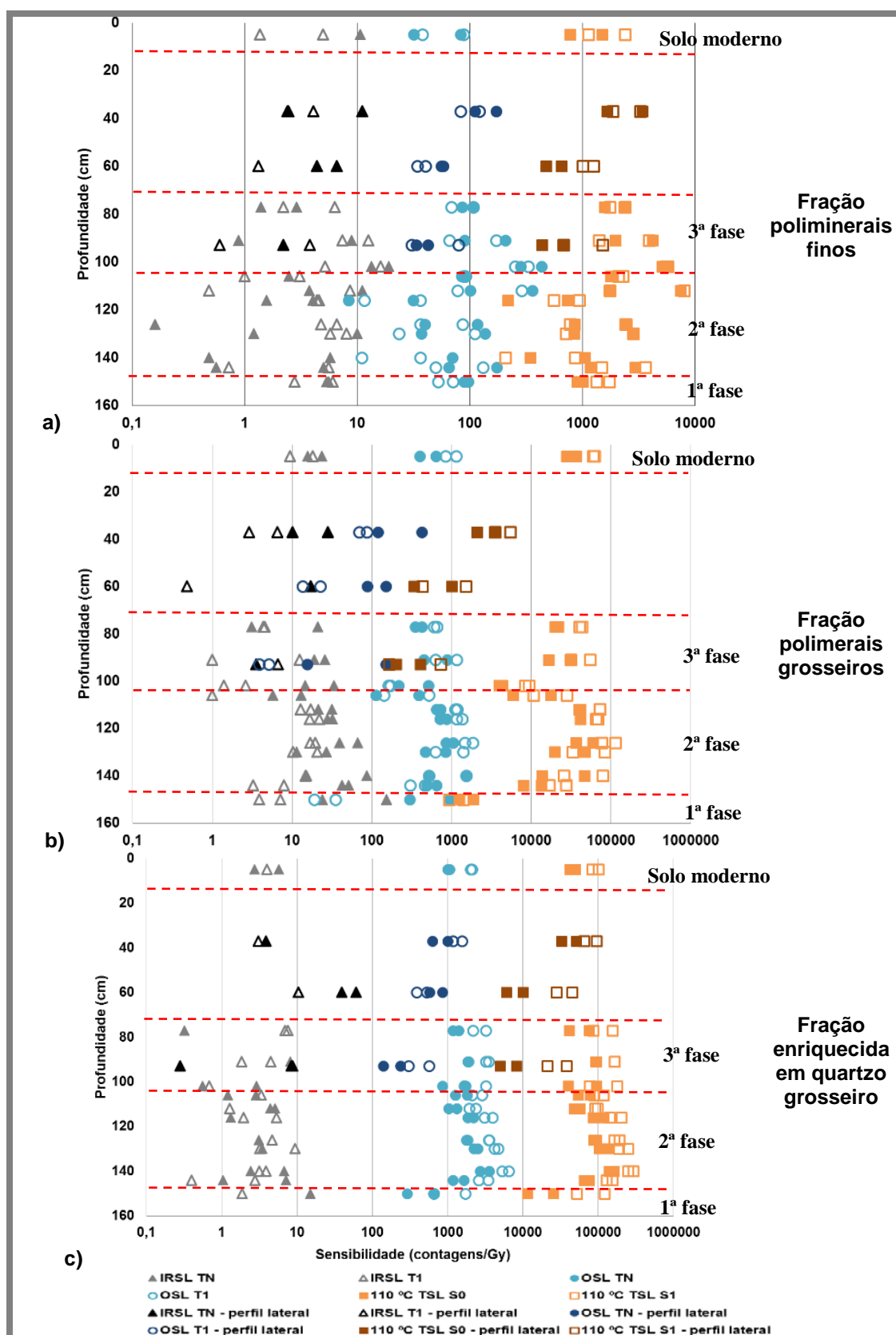


Figura 5.89 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL aos testes iniciais para as frações PMF, PMG e EQZG recolhidas nos materiais de preenchimento amostrados em perfil na fossa em Covas. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy. O perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento é identificado por pontos de cor mais escura.

Considerando a sensibilização dos sinais estudados após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy (Figura 5.90), esta assume no geral valores mais baixos para a fração de poliminerais finos como resposta ao OSL ($T1/TN=0,7$) e para o pico 110°C TSL ($S1/S0=1$) e mais elevados como resposta ao IRSL ($T1/TN=2$) que nas frações grosseiras. Nas frações grosseiras a sensibilização é maior na resposta à estimulação térmica e à estimulação ótica com luz azul do que à estimulação ótica por luz vermelha. Esta informação pode indicar que tanto a fração enriquecida em quartzo grosseiro ($T1/TN=0,3$ para o IRSL, $T1/TN=2$ para o OSL e $S1/S0=2$ para o pico 110°C TSL) como a fração de poliminerais grosseiros ($T1/TN=0,6$ para o IRSL, $T1/TN=1$ para o OSL e $S1/S0=2$ para o pico 110°C TSL) contêm uma proporção grande de quartzo, face a outros silicatos. A baixa resposta à estimulação com luz infravermelho em relação à resposta à estimulação com luz azul, permite considerar que o material em estudo apresenta boas condições para ser usado nos estudos de datação por luminescência, utilizando o protocolo SAR-OSL.

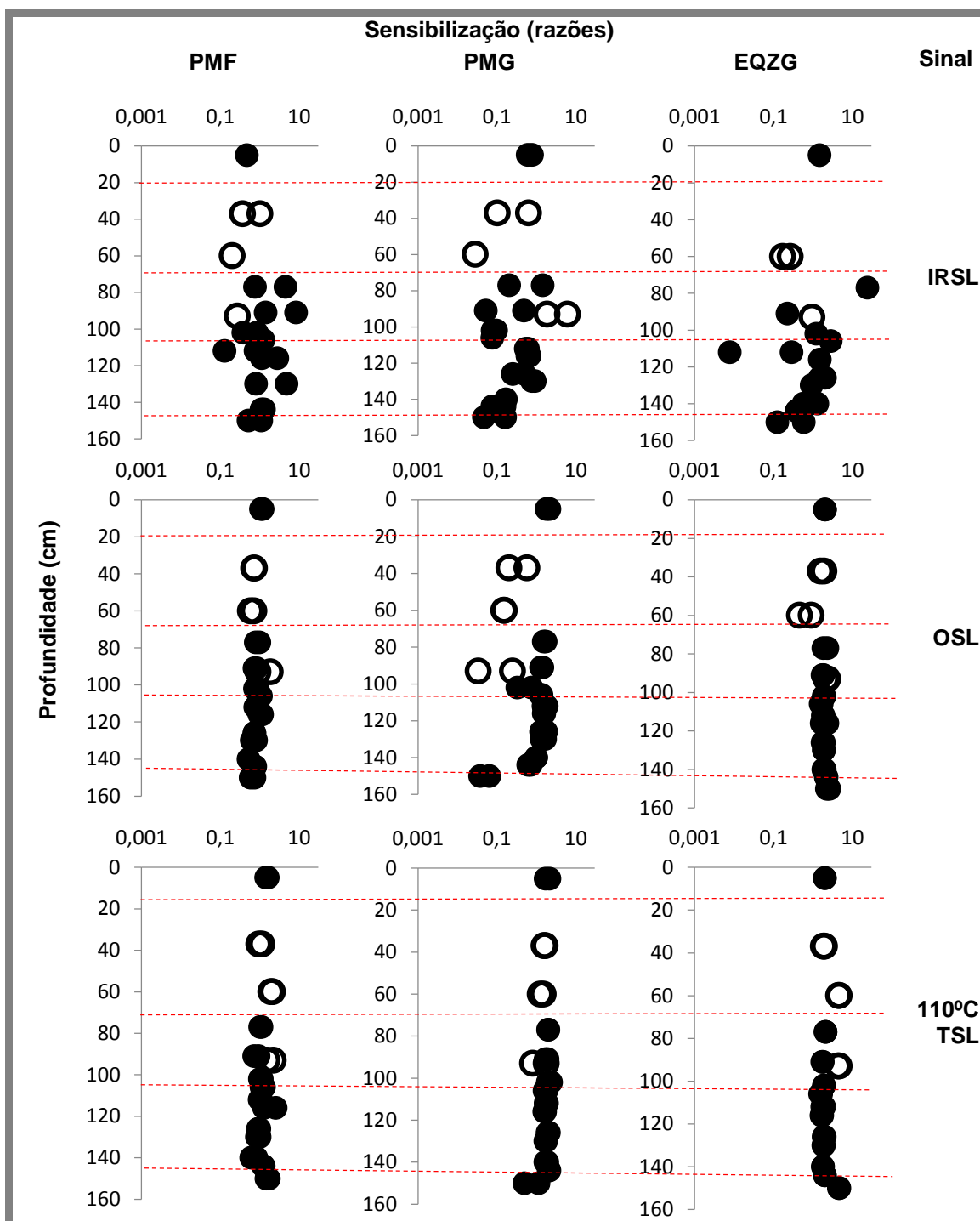


Figura 5.90 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil na fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral que representa a primeira fase de preenchimento e os cheios às amostras de perfil recolhidas no perfil central.

No que respeita à razão entre os sinais de IRSL e OSL é de notar que são no geral muito baixas e inferiores à unidade (Figura 5.91). De um modo geral a razão entre os sinais IRSL e OSL é maior para as frações recolhidas das amostras de perfil correspondentes aos materiais da primeira fase de preenchimento (base da sequência

central e sequência lateral), sendo exceção a razão IRSL/OSL para os sinais regenerativos da fração de polimineraiis finos, para os quais a razão assume valores semelhantes aos verificados para os polimineraiis finos recolhidos nos materiais da sequência preenchimento central (correspondentes à segunda e terceira fase de preenchimento).

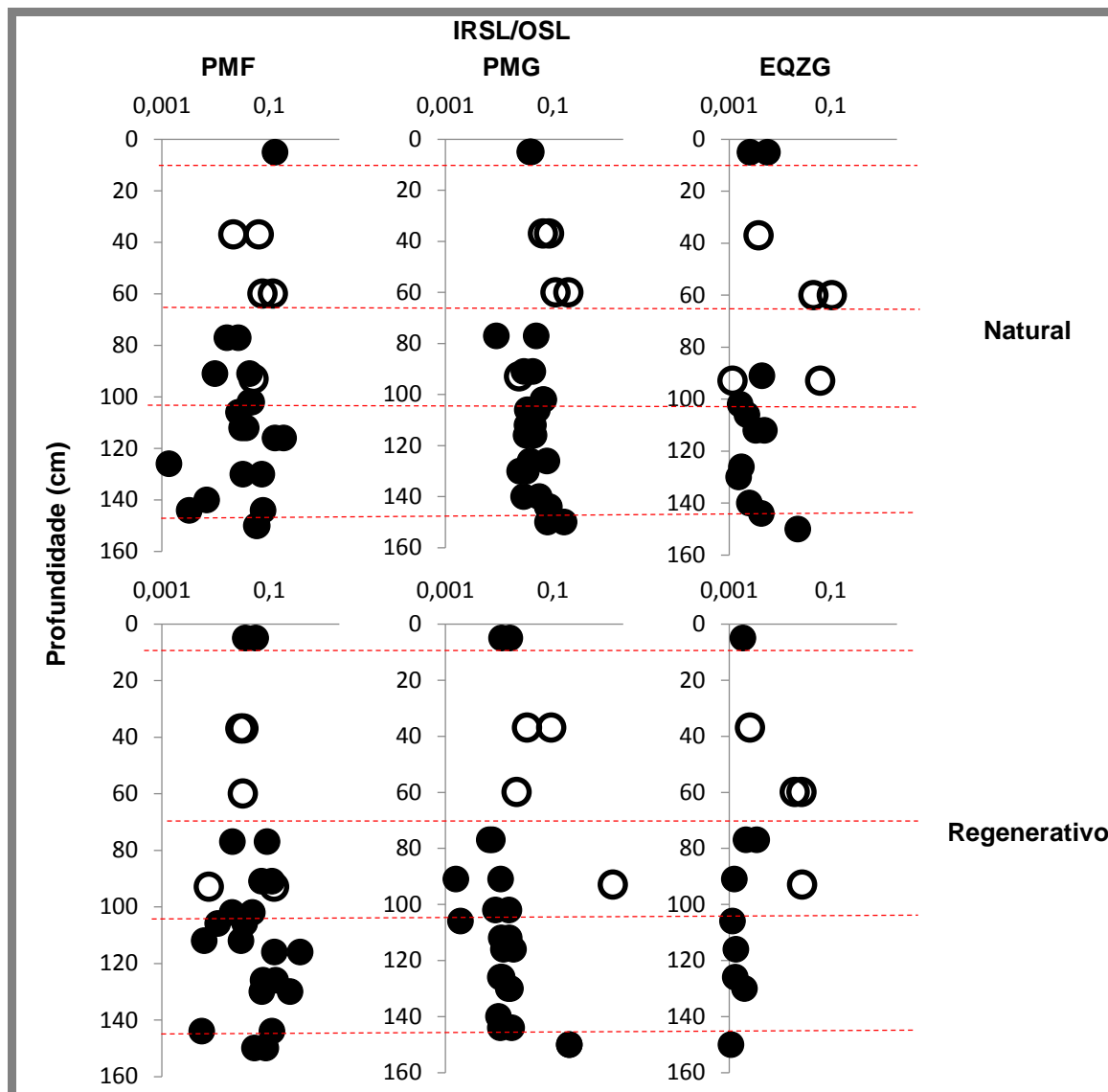


Figura 5.91 Sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidas em perfil na fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral que representa a primeira fase de preenchimento e os cheios às amostras de perfil recolhidas no perfil central.

Observando a variação da dose absorvida aparente com a profundidade (Figura 5.92), pode referir-se que, de um modo geral, na base da sequência de preenchimento central verifica-se um da dose absorvida aparente maior, apresentando os materiais da base do fosso maior contribuição de sinais residuais do geológico (valores muito elevados de dose absorvida aparente que correspondem a grãos para os quais o sinal medido não foi levado a zero durante evento de interesse). Os materiais do topo, correspondentes ao solo moderno apresentam os menores valores de dose absorvida aparente. Os materiais correspondentes à segunda e terceira fases de preenchimento

apresentam doses absorvidas aparentes intermédias com pequenas oscilações ao longo da sequência no que respeita à resposta ao OSL e ao pico 110 °C TSL e com maior variação ao longo da sequência no que respeita à resposta ao IRSL. Para a fração de poliminerais grosseiros como resposta ao OSL é possível verificar o aumento da base para o todo da sequência, tanto para os materiais correspondentes à segunda fase de preenchimento como para os materiais correspondentes à terceira fase. O comportamento dos sinais ao longo da sequência central permite inferir que o preenchimento da sequência terá ocorrido de forma relativamente rápida, uma vez que se verificam doses absorvidas aparentes da mesma ordem de grandeza, o que poderá indicar que o material usado na colmatação da fossa durante a segunda e a terceira fases deverá ter sofrido condições semelhantes de exposição à luz.

Os materiais recolhidos na sequência lateral, que correspondem à primeira fase de preenchimento, apresentam valores mais elevados, maior contribuição de sinais residuais do geológico (tal como na base da sequência central, que corresponde à mesma fase de preenchimento), observando-se uma diminuição gradual dessa dose aparente da base para o topo (sinais OSL e pico 110 °C TSL para as frações grosseiras) (Figura 5.92). A dose aparente determinada para estes materiais, com uma elevada contribuição de sinal geológico, aponta, tal como a composição mineralógica e química da amostra total e da fração argilosa, para que sejam materiais provenientes da alteração/meteorização do calcetreto, podendo não estar relacionados com uma primeira fase de preenchimento da fossa mas sim com a alteração *in situ* do calcetreto.

Relacionando a dose absorvida aparente com o teor em calcite na amostra total, verificou-se que a resposta ao IRSL para cada uma das frações apresenta uma menor (fração enriquecida em quartzo grosseiro) ou inexistente (frações de poliminerais) correlação com o teor neste mineral face às correlações positivas que se observam entre o teor em calcite e a dose absorvida aparente determinada com base na resposta à estimulação ótica com luz azul e térmica (Figura 5.93/Figura 5.23). Há a realçar que as correlações positivas mais fracas se verificam entre o teor em calcite na amostra total e a dose absorvida aparente determinada com base na resposta à estimulação térmica na fração de poliminerais grosseiros e com base na resposta à estimulação com luz azul na fração enriquecida em quartzo. Assim, a dose absorvida determinada nos poliminerais finos com base na resposta ao OSL e ao TSL e na fração de poliminerais grosseiros com base no OSL, parece sofrer maior influência do teor em calcite na amostra total, apresentando os materiais com maior teor em calcite, maiores doses absorvidas aparentes. A fração enriquecida em quartzo grosseiro, sofrendo menor influência da presença de calcite na amostra total poderá indicar que o quartzo grosseiro deverá ser a fração a utilizar para a determinação da dose absorvida, seguindo o protocolo SAR-OSL.

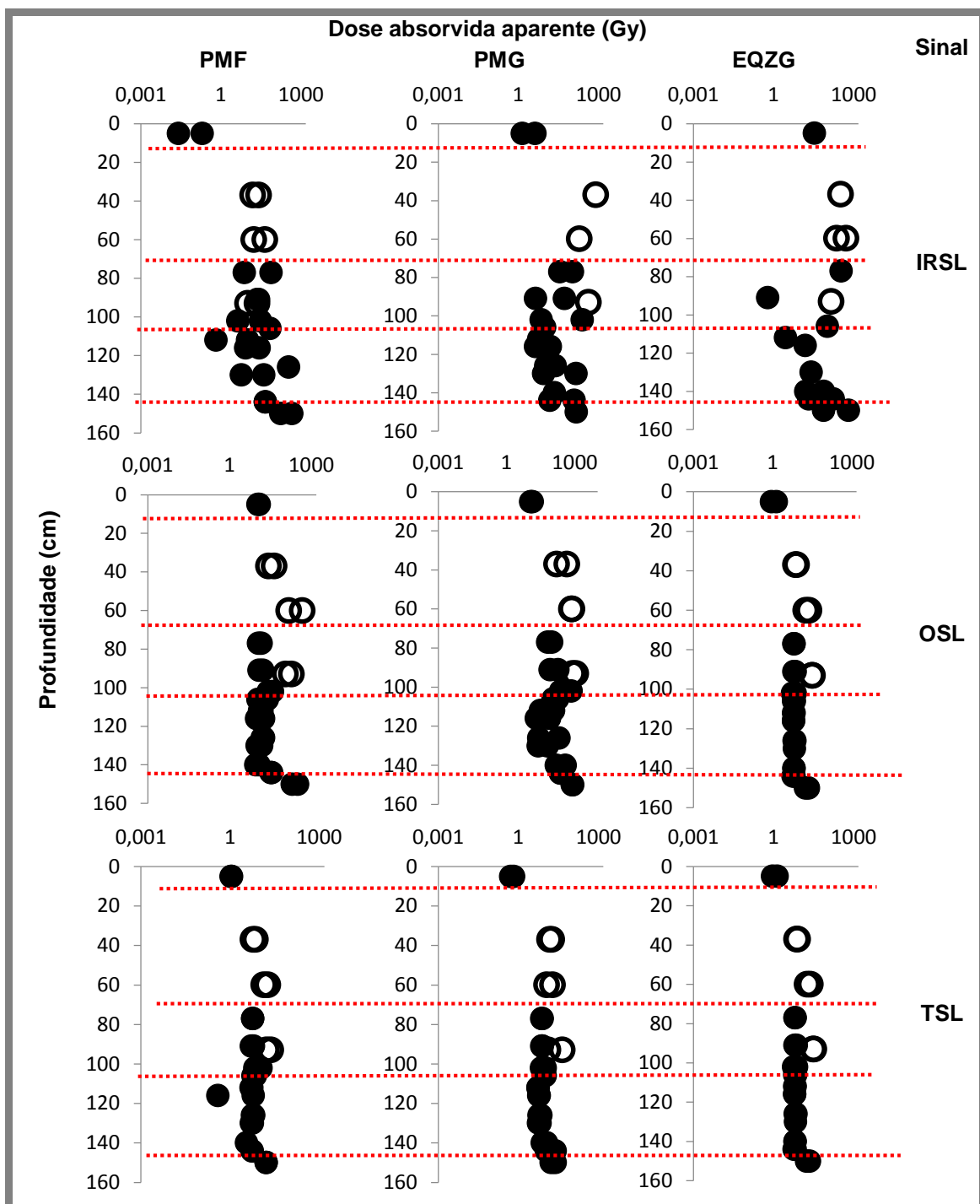


Figura 5.92 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil na dossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.

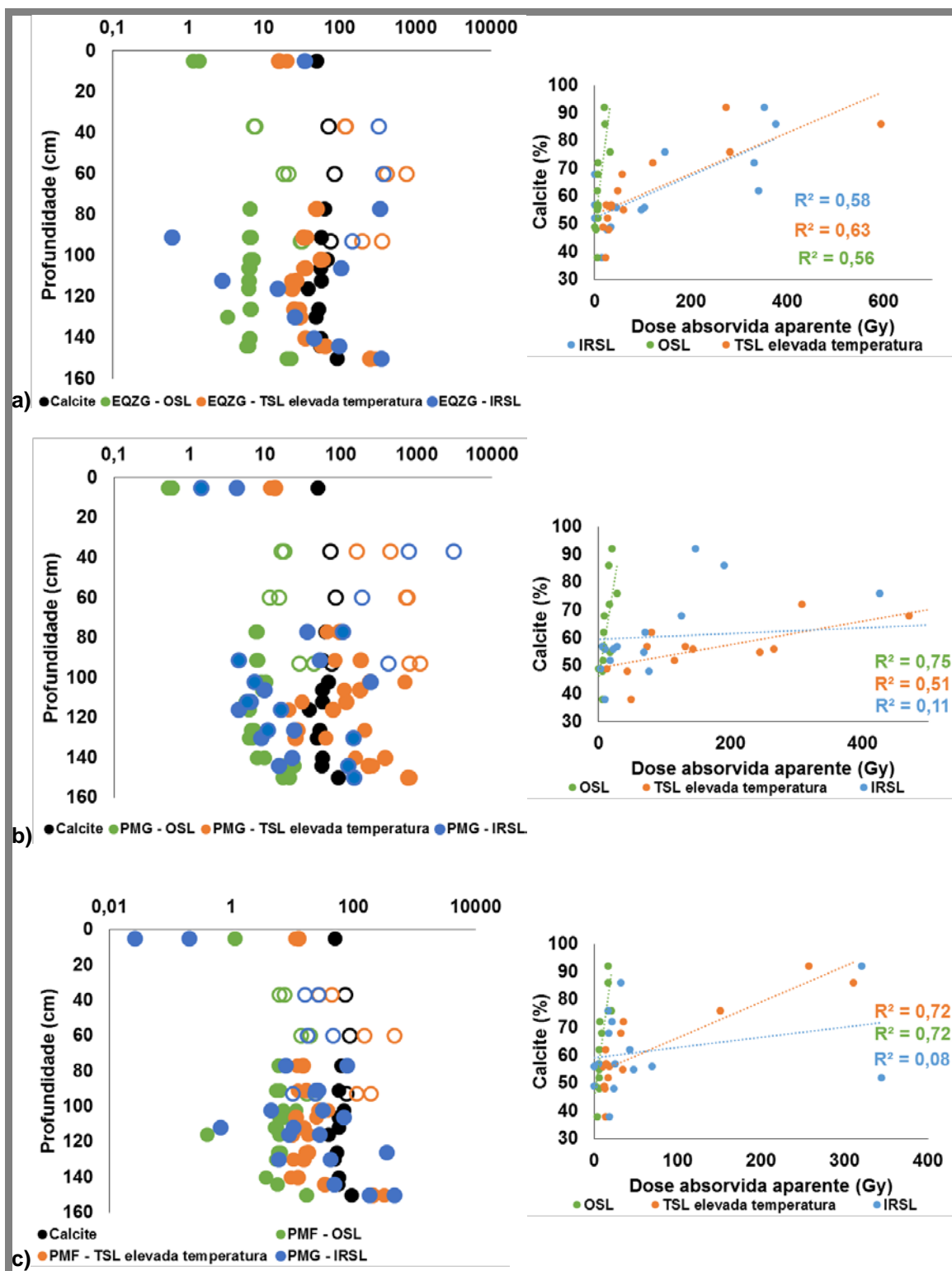


Figura 5.93 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas à estimulação ótica e térmica (sequência de testes iniciais) a partir dos grãos fração enriquecida em quartzo grosseiro (a), de poliminerais grosseiros (b) e finos (a) em função da profundidade (esquerda) e respectivas correlações entre a dose absorvida aparente e o teor em calcite na amostra total (direita) para os materiais recolhidos no preenchimento da fossa em Covas. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no perfil lateral correspondente à primeira fase de preenchimento e os pontos a cheio correspondem às amostras recolhidas no perfil central.

5.3.4.2 Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraído das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datar (CV1 e CV2) recolhidas na sequencia central, correspondente à segunda e terceira fases de preenchimento da fossa, foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração enriquecida em quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro ao OSL é mais elevada ($824 - 974 \times 10^3$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) que a observada para pico a 110°C do QZG no TSL ($2,33 - 2,76 \times 10^3$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) (Tabela 5.9). O quartzo grosseiro extraído da amostra CV2 apresenta uma sensibilidade maior ao OSL que o quartzo grosseiro extraído da amostra CV1.

Tabela 5.9 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas na fossa em Covas.

Amostra	Sensibilidade (contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) $\times 10^3$	
	OSL	TSL (pico a 110°C)
CV2	974	2,33
CV1	824	2,76

5.3.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico Covas foram selecionadas 3 amostras para datação por luminescência (CV1 – CV3), duas delas recolhidas ao longo de uma sequência central de preenchimento e uma outra numa sequência lateral de preenchimento atribuída pelos arqueólogos a uma primeira fase de preenchimento.

De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiros e finos e a estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra.

5.3.5.1 Determinação da dose absorvida

Dada a baixa proporção de quartzo grosseiro recolhido na amostra CV3, foi impossível aplicar o protocolo SAR-OSL a esta fração nesta amostra. No sentido de obter uma dose absorvida para esta amostra recorreu-se à determinação da dose absorvida pelos grãos finos de quartzo, com dimensões entre 4 μm e 11 μm , para a amostra CV3 e também para a amostra CV1 (não se conseguiu extrair grãos finos de quartzo da amostra CV2).

5.3.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida os grãos de quartzo grosseiro obtido foram sujeitos a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na Figura 5.94. Desta forma

estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação das amostras e verificou-se que a razão dos sinais IRSL/OSL era bastante baixa o que indicou que o material analisado era essencialmente composto por grãos de quartzo (apenas verificado para a amostra CV1). A dose absorvida aparente da QZG da amostra CV3 (11 Gy) foi ligeiramente superior ao registado para as amostras recolhidas na sequência central (CV1 9,5 Gy – 10,2 Gy), podendo ser consistente com expectativas de que esta amostra poderá ser mais recente do que o previsto para o contexto em que foi recolhida. Porém, a diferença é pequena quando comparada com os valores e variabilidade na sequência de perfil para o contexto em que a amostra foi recolhida (secção 5.3.4.1 neste Capítulo).

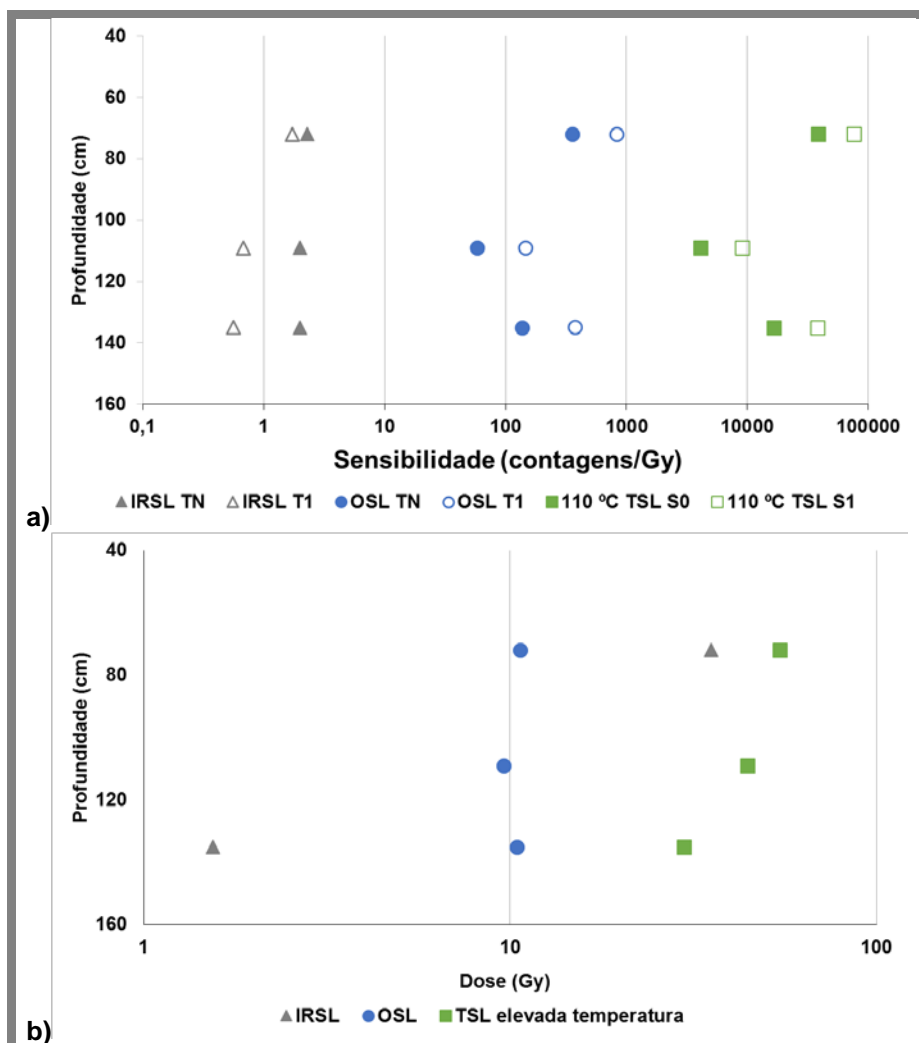


Figura 5.94 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo grosseiro em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (CV1, CV2 e CV3), recolhidas na fossa em Covas.

5.3.5.1.2 Testes iniciais nos grãos de quartzo fino

Precedendo igualmente para os grãos de quartzo fino das amostras CV1 e CV3 (Figura 5.95) verificou-se a necessidade de utilizar uma gama de doses mais extensa no protocolo SAR para irradiação das amostras (sequência II aplicada após sequência I) visto as doses absorvidas aparentes serem superiores nos grãos de quartzo fino (13 – 16 Gy) às obtidas para os grãos de quartzo grosseiros (9-11 Gy). Observou-se que em

ambas as amostras o sinal do IRSL é bastante inferior ao do OSL o que indicou que o material analisado era essencialmente composto por grãos de quartzo.

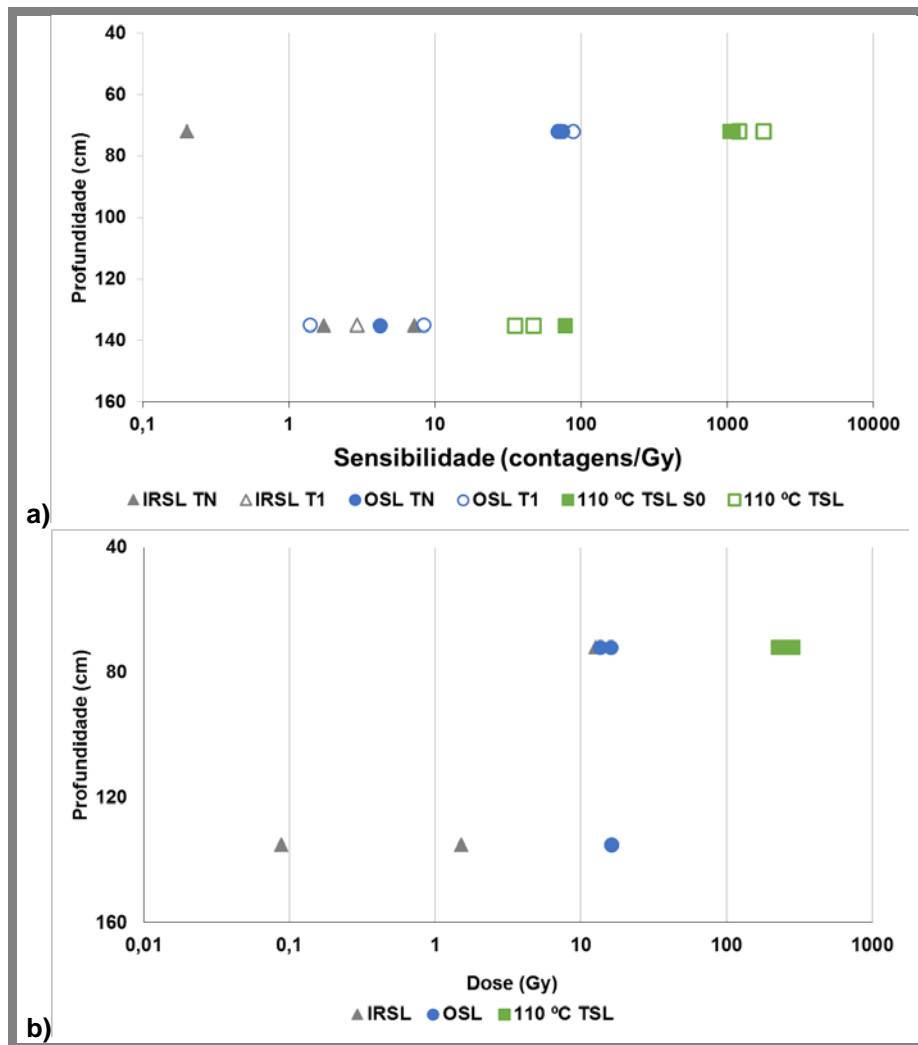


Figura 5.95 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo fino em função da profundidade nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (CV1 e CV3), recolhidas na fossa em Covas.

5.3.5.1.3 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL, verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvida para as amostras CV1 e CV2 é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho nos gráficos da Figura 5.96, a). A amostra CV1 apresenta uma maior dispersão de valores de dose absorvida entre 4 Gy e 9 Gy enquanto a amostra CV2 apresenta um grande grupo de valores de dose em torno de 7 Gy e três alíquotas com valores bastante superiores (>9 Gy), o que afeta a incerteza associada à média. No que respeita às razões de reciclagem ambas as amostras apresentam valores centrados na unidade, verificando-se uma dispersão geral mais acentuada para os grãos de quartzo da amostra CV1.

Dentro da incerteza associada aos valores determinados, pode considerar-se uma dose mais elevada para os grãos de quartzo grosseiros da amostra CV2 ($7,1 \pm 0,2$) que

na amostra CV1 ($6,7 \pm 0,3$) (Tabela 5.10), sendo a percentagem de incerteza relativamente baixa em ambas as amostras.

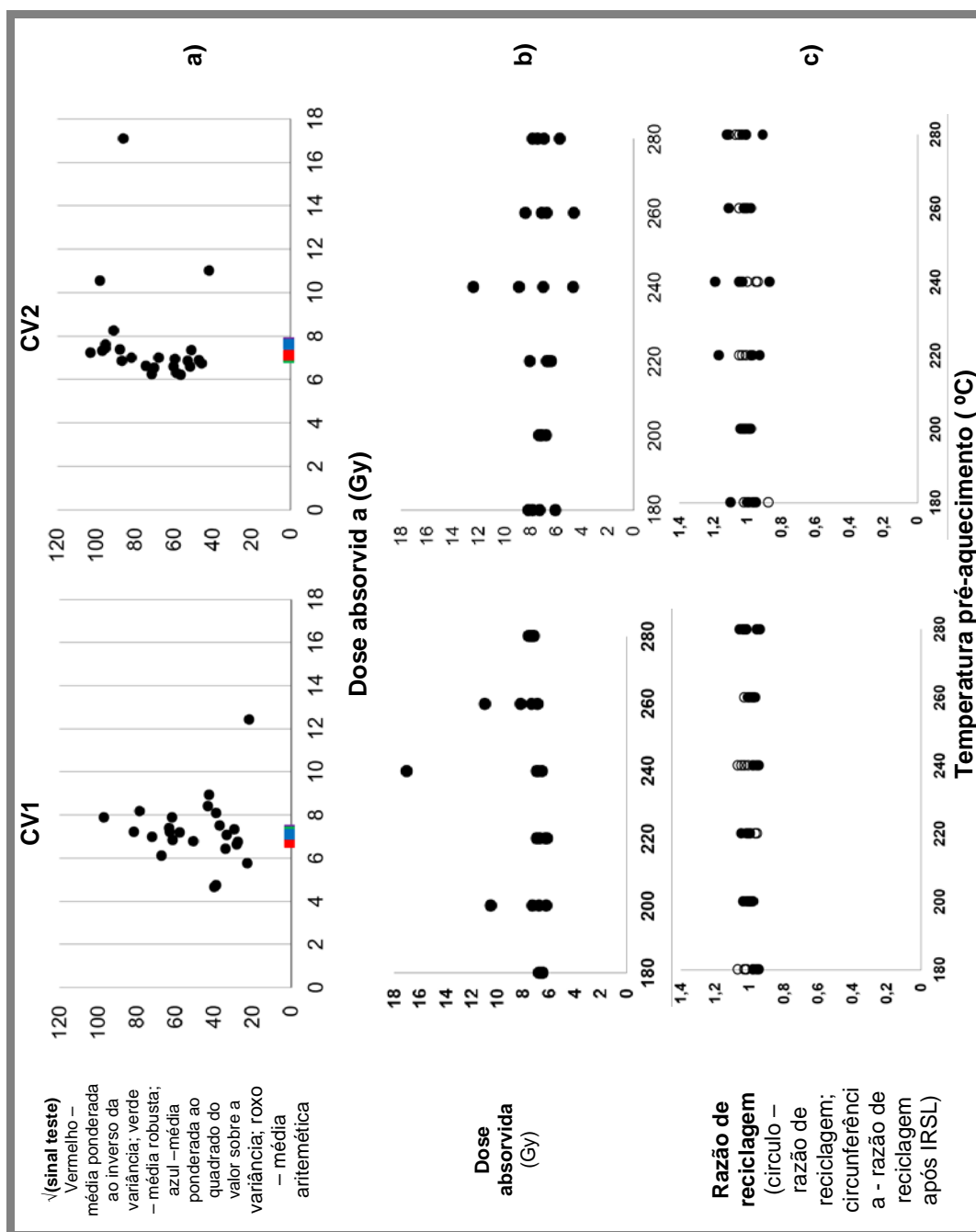


Figura 5.96 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação CV1 e CV2 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase na fossa em Covas.

Tabela 5.10 Dose absorvida pelo quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento CV1 e CV2 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase, na fossa em Covas, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	CV1	CV2
Dose absorvida (Gy)	6,7	7,1
Incerteza	0,3	0,2
% Incerteza	4	3

5.3.5.1.4 SAR – OSL nos grãos de quartzo fino

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL para os grãos de quartzo finos de CV1 e CV3, foi calculada a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho nos gráficos da Figura 5.97, a) sendo também o cálculo de média com menores incerteza para cada uma das amostras.

Para os grãos finos de quartzo da amostra CV1 obteve-se uma dose absorvida de 12 ± 2 Gy com uma incerteza superior à verificada na amostra CV3 para a qual se obteve uma dose absorvida de $14,1 \pm 0,9$ Gy. O conjunto de doses absorvidas e razões de reciclagem obtidas para a amostra CV1 apresentam maior dispersão, o que é considerado relacionar com a baixa, intensidade de sinais. A maior dispersão observada na amostra CV1 é mais evidente para as alíquotas sujeitas a pré-aquecimentos a temperatura mais baixa (180°C). Para os grãos finos da amostra CV3, onde foram observadas sinais maiores, apenas se verifica uma maior dispersão dos valores de dose absorvida para as alíquotas sujeitas ao pré-aquecimento a 180°C e a 280°C , apresentando razões de reciclagem com menor oscilação em torno da unidade (Figura 5.97).

A dose absorvida elevada obtida para os grãos de quartzo finos da amostra CV3 era expectável (Tabela 5.11), uma vez que esta amostra apresenta várias indicações de representar o substrato geológico algo alterado: i) granulometria mais grosseira que as restantes amostras de preenchimento e semelhante à das amostras recolhidas no perfil de calcreto; ii) composição química mais rica em CaO, MgO, Mo, Sr e I; iii) mineralogia da amostra total dominada pela calcite e empobrecida em silicatos; iv) doses aparentes elevadas nos estudos de perfil realizados nos materiais recolhidos no mesmo contexto na sequência lateral. Porém, o pouco quartzo grosseiro obtido para esta amostra apresentou, nos testes iniciais realizados (secção 5.3.5.1.1 neste capítulo) uma dose aparente menor de cerca de 10,5 Gy e neste sentido pode haver a hipótese de na realidade este contexto representar um preenchimento inicial onde terá ocorrido precipitação de calcite proveniente do calcreto local. Contudo, esta hipótese é pouco consistente dado que se baseia num único dado obtido através da determinação da dose aparente.

A dose absorvida obtida para os grãos finos de quartzo da amostra CV1 também é elevada, sendo cerca de 5 Gy maior do que a obtida para os grãos grosseiros deste

mineral. Neste sentido podia inferir-se que o material fino (4 μm – 11 μm) presente na amostra CV1 apresenta uma maior contribuição de sinais do geológico podendo indicar que os materiais finos que surgem no preenchimento da estrutura terão uma maior contribuição dos materiais de alteração/desagregação do calcreto. Porém, os baixos sinais obtidas poderão também ter causado a dispersão observada.

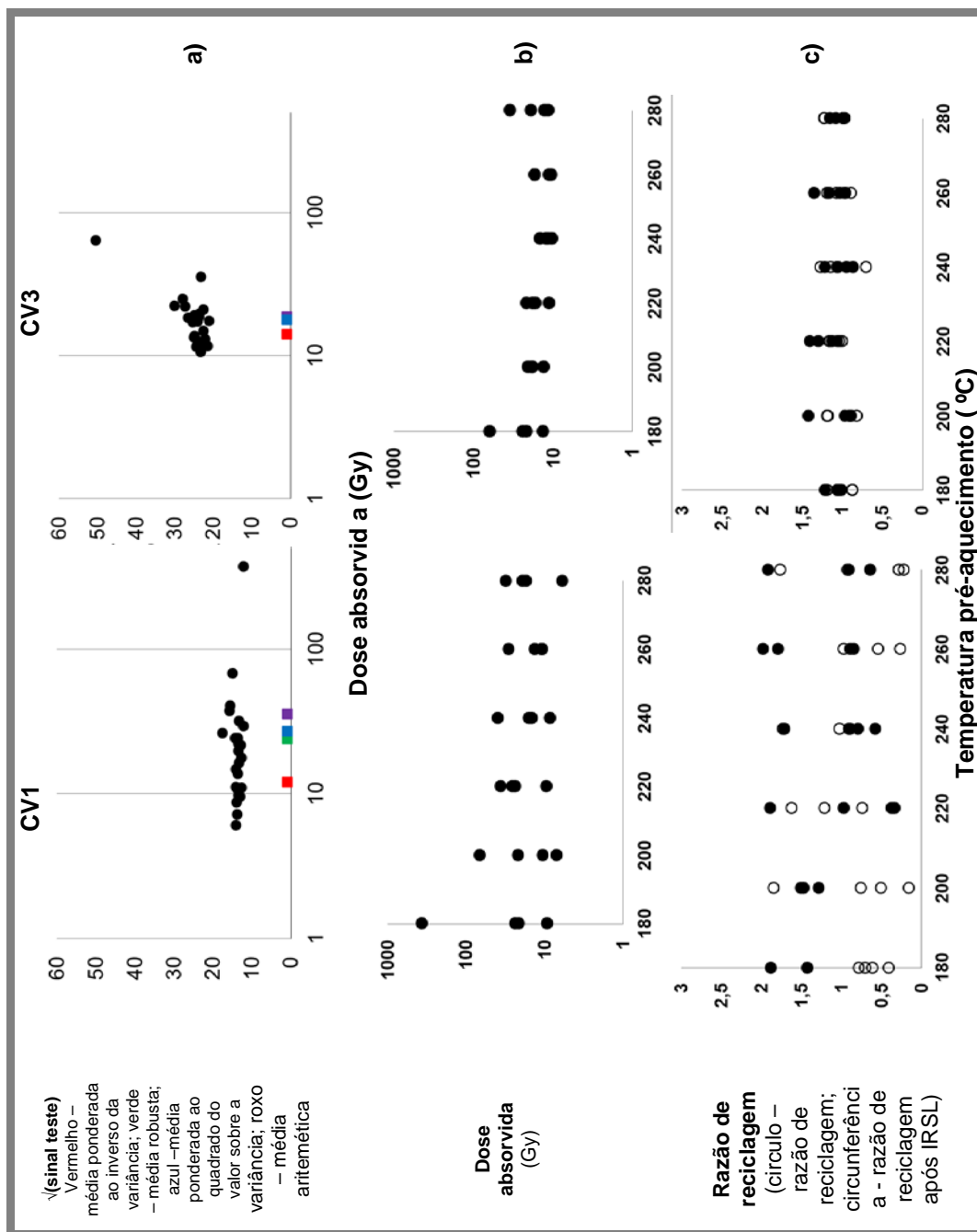


Figura 5.97 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento seleccionadas para datação CV1 e CV3 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase na fossa em Covas.

Tabela 5.11 Dose absorvida pelo quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento CV1 e CV3 recolhidas no preenchimento correspondente à segunda fase, na fossa em Covas, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	CV1	CV3
Dose absorvida (Gy)	12	14,1
Incerteza	2	0,9
% Incerteza	14	6

5.3.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose foi determinada atendendo à utilização de grãos finos e grosseiros de quartzo para a datação. Assim, para a determinação da taxa de dose nos grãos finos considerou-se que a eficácia da radiação alfa é de $4,9 \pm 0,3\%$ Gy/ka (Anexo V)

Independentemente de se considerarem os grãos finos ou grosseiros de quartzo, obtiveram-se taxas de dose de cerca de 1 Gy/ka para as amostras CV1 e CV2, recolhidas na sequência central e de cerca de 0,5 Gy/ka para a mostra CV3, recolhida na sequência lateral (Tabela 5.12).

A amostra CV3, sendo uma amostra recolhida num contexto mais carbonatado apresenta valores mais baixos para a taxa da dose, fruto do baixo teor em radionuclídeos K, Rb, Th e U promovido pela elevada proporção de calcite. Esta proporção elevada de calcite condiciona a taxa de dose, tanto pelo efeito de diluição do teor em elementos químicos como pela maior retenção de água nas amostras.

Tabela 5.12 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas na fossa em Covas, atendendo às aproximações necessárias para a determinação em grãos finos e grosseiros.

		QZG			QZF		
Amostras		CV1	CV2	CV3	CV1	CV2	CV3
Taxa de dose	Gy/ka	1,0	1,2	0,56	1,1	1,3	0,45
	±	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05
	% Incerteza	11	14	10	10	14	9

5.3.5.3 Estimativa da idade - interpretação

A idade estimada para o quartzo grosseiro das amostras CV1 e CV2 encontra-se entre os $6,2 \pm 0,9$ ka e os $6,8 \pm 0,8$ ka com percentagens de incerteza de 12% e 15%, sendo a amostra CV2 a mais recente, como expectável, e a que apresenta uma maior incerteza (fruto da maior incerteza obtida para a taxa de dose) (Tabela 5.13). Considerando os grãos de quartzo finos a amostra CV1 apresenta uma idade de 11 ± 2 ka com uma incerteza elevada de 17%, enquanto a amostra CV3 apresenta uma idade de

31±4 ka com uma incerteza de 12%. O resultado da amostra CV3 indica que a acumulação deste contexto poderá ter ocorrido durante o Pleistocénico ou aponta para que este contexto contenha uma mistura de grãos expostos à luz durante o a formação do calcreto, no Miocénico, e outros expostos mais recentemente, o que poderia ter ocorrido por fenómenos de bioturbação dos grãos a partir da superfície.

Tabela 5.13 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas na fossa em Covas utilizando o protocolo SAR – OSL em grãos de quartzo finos (QZF) e grosseiros (QZG).

	QZG		QZF	
Amostras	CV1	CV2	CV1	CV3
Idade (ka)	6,8	6,2	11	31
±	0,8	0,9	2	4
% Incerteza	12	15	17	12

Para esta estimativa da idade aparente, usando a dose absorvida aparente da fração enriquecida em quartzo grosseiro considerou-se a taxa de dose para os grãos grosseiros de quartzo atendendo relação das amostras de perfil com as amostras de datação. Assim, a taxa de dose aplicada para as amostras recolhidas no perfil lateral foi a determinada para a amostra CV3 (0,56 ±0,05 Gy/ka), para as amostras recolhidas entre os 150 cm e os 126 cm de profundidade, nível correspondente ao início da segunda fase de preenchimento, utilizou-se a taxa de dose obtida para a amostras CV1 (1,0 ±0,1 Gy/ka), para as amostras recolhidas entre os 116 cm e os 5 cm, nível correspondente ao final da segunda fase, terceira fase e solo moderno, utilizou-se a taxa de dose obtida para a amostra CV2 (1,2 ±0,2 Gy/ka).

As idades estimadas, quando projetadas em conjunto com a idade estimada aparente, determinada com base na dose absorvida aparente das amostras de perfil (OSL na fração enriquecida em quartzo grosseiro nos testes iniciais), apresentam uma relação com a profundidade como expectável, respeitam a estratigrafia de preenchimento, com idades superiores na base do fosso e nas amostras recolhidas lateralmente que representam o substrato geológico (Figura 5.98). Mesmo a amostra CV3 para a qual se utilizou apenas a fração fina de quartzo, apresenta uma idade que se enquadra dentro do obtido com a fração grosseira enriquecida em quartzo no perfil.

Segundo as observações de campo e as indicações dos arqueólogos, a sequência arqueológica central permite identificar três fases de preenchimento. A primeira fase é representada pela amostra de perfil da base, recolhida a 150 cm de profundidade, que na realidade apresenta uma idade dentro da gama de valores obtidos para as amostras recolhidas no perfil lateral (cerca de 20 ka) e que aumenta para o dobro (cerca de 40 ka) caso a taxa de dose aplicada seja a mesma que utilizada para esse conjunto de amostras. Trata-se portanto de uma amostra de material aparentemente do Plistocénico e possivelmente não está relacionada com preenchimento arqueológico da estrutura. Identifica-se uma segunda fase que não corresponde exatamente aos limites indicados (144 cm e os 106 cm de profundidade) e se encontra entre os 144 cm e os 126 cm de profundidade com idades que correspondem ao início do Neolítico (6,5 ka). A cima deste nível, verifica-se o que deverá corresponder a uma terceira fase de preenchimento, ainda em período Neolítico (cerca de 5,4 ka), mas posterior.

O período atribuído pelos arqueólogos para a utilização desta fossa, uma vez que o tipo de utilização, bem como a inexistência de artefactos não permitiu atribuir-lhe um período específico para uso e abandono, é bastante alargado podendo a construção, utilização, abandono e colmatção ter ocorrido entre o Neolítico e a Idade do Bronze. Não sendo a dose absorvida pelo quartzo grosseiro, determinada por OSL, muito dependente do teor em calcite, apenas poderemos ter a idade estimada afetada pela redução da taxa de dose em função do ter elevado em calcite e por conseguinte da sua capacidade de retenção de água na envolvente ao material amostrado. Assim, a idade estimada deverá refletir o período de deposição dos materiais após o abandono da estrutura em dois períodos distintos, que envolveram a reescavação no preenchimento da segunda fase e posterior reapreenchimento.

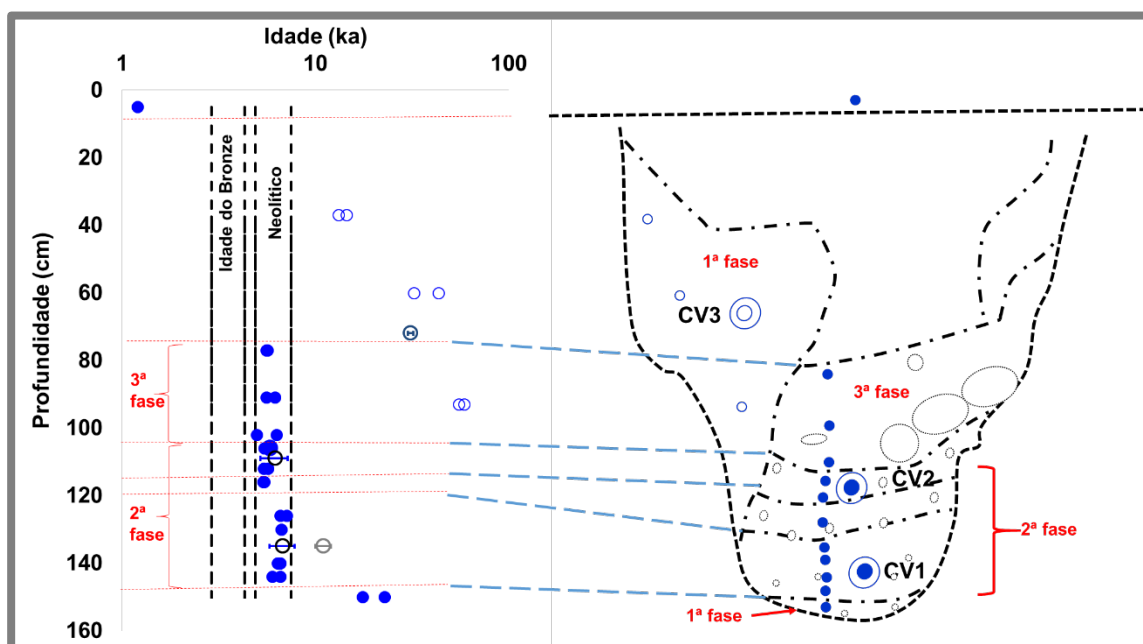


Figura 5.98. Distribuição da idade estimada para as amostras recolhidas na fossa em Covas, com a profundidade com indicação dos períodos entre o Neolítico e a Idade do Bronze e esquema representativo da fossa com indicação das diferentes fases de preenchimento indicadas pelos arqueólogos (a vermelho). A idade aparente das amostras de perfil está representada a círculos e circunferências azuis que correspondem ao perfil recolhido no centro do fosso e às amostras recolhidas lateralmente, respetivamente. As circunferências a preto indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza.

5.3.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

No que respeita ao perfil de calcreto amostrados, é de salientar a indicação de que da base ao topo da sequência se verificou uma alteração da composição mineralógica da fração argilosa que aponta para uma variação do paleoambiente durante a génese do calcreto. Na base detetou-se uma maior proporção de ilite e uma pequena proporção de esmectite que aumentou nos níveis superiores, associada a presença de paligorskite. Neste sentido, pode considerar-se que inicialmente o meio era pobre em Mg e mais árido e alcalino, tornando-se posteriormente mais húmido e rico em Mg permitindo a génese de paligorskite.

A granulometria dos materiais, a associação mineralógica detetada na amostra total (nomeadamente pela ausência de feldspatos potássicos) e na fração argilosa, bem como a razão silicatos/carbonatos permite identificar uma maior semelhança entre os materiais correspondentes à primeira fase de preenchimento da fossa (CV3) e os materiais recolhidos no nível intermédio do perfil de calcreto. Os resultados da composição mineralógica e da granulometria parecem indicar que os materiais interpretados pelos arqueólogos como componentes da primeira fase de preenchimento da fossa se tratam de material geológico mais desagregado e não propriamente de material de preenchimento.

Para além da já verificada semelhança quanto à distribuição granulométrica dos materiais, é ainda clara a relação entre a composição mineralógica da fração argilosa da amostra CV2, recolhida num nível correspondente ao paleossolo desenvolvido no topo da segunda fase de preenchimento e os materiais recolhidos na base do calcreto. A semelhança é apenas verificada na fração argilosa, uma vez que a amostra CV2 apresenta uma composição mineralógica na amostra total rica em feldspatos, o que deverá ser fruto de uma maior proporção de materiais detríticos na fração grosseira (eventualmente proveniente do maciço granítico do Pedrogão) (Figura 5.99).

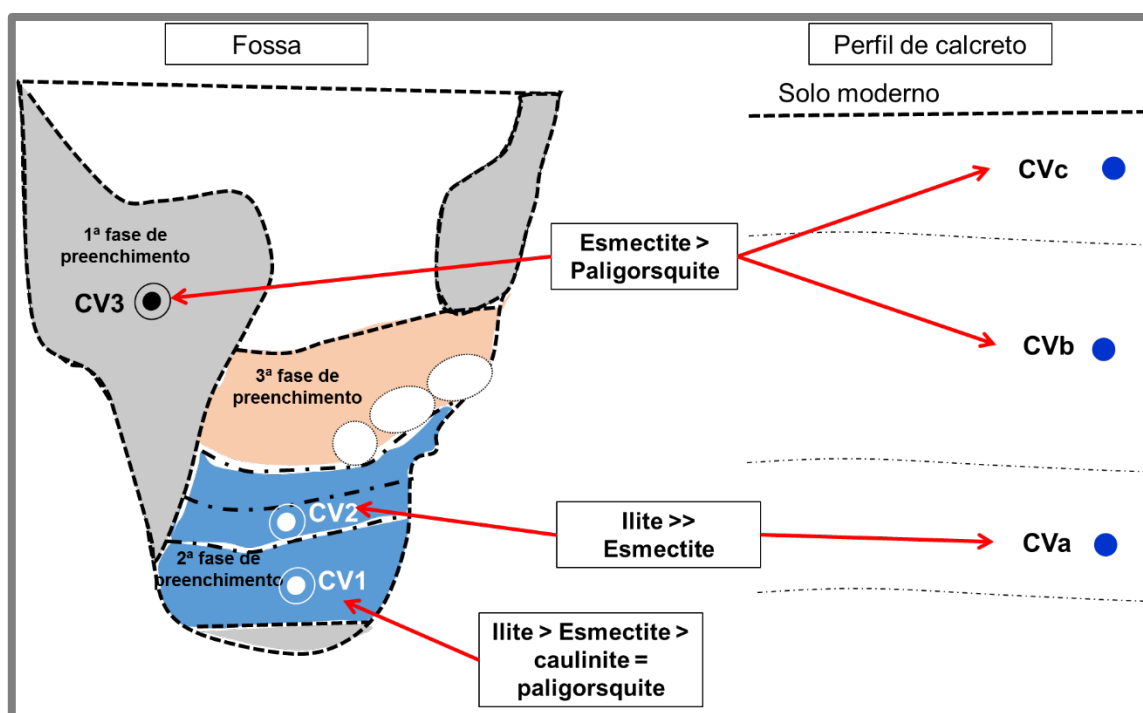


Figura 5.99 Esquema representativo do preenchimento da fossa e do perfil de calcreto com indicação da mineralogia da fração argilosa dos materiais recolhidos em Covas.

Através de análise estatística, elaborada com base no teor em 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais de preenchimento da fossa e recolhidos no perfil de calcreto, é possível comprovar a maior semelhança entre os materiais recolhidos no perfil de calcreto com os materiais referentes à primeira fase de preenchimento do fosso, fato já inferido através da composição mineralógica da amostra total (Figura 5.100).

Com base na análise estatística da composição química da fração argilosa (em 30 elementos) dos materiais de preenchimento CV1, CV2 e CV3 recolhidos, os dois primeiros no perfil central (segunda fase de preenchimento) e o último no perfil lateral (primeira fase de preenchimento), e da fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil de calcrete, corrobora-se a maior semelhança entre a fração argilosa dos materiais de preenchimento correspondentes à segunda fase com a fração argilosa dos materiais recolhidos na base do perfil de calcrete, enquanto a fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil lateral, correspondente à primeira fase de preenchimento se assemelham mais com a fração argilosa dos materiais recolhidos nos níveis intermédio e superior do perfil de calcrete (Figura 5.101). Novamente se assiste a uma contribuição mista de materiais para o preenchimento das estruturas negativas, como observado nas estruturas do Monte de Cortes.

É possível com base na composição química comprovar a semelhança entre os materiais de preenchimento correspondentes à primeira fase e os materiais recolhidos no calcrete. No que respeita aos níveis de preenchimento correspondentes à segunda e terceira fases identificados no perfil central a composição química não permite distinguir entre os materiais correspondentes a cada fase de preenchimento, uma vez que as maiores diferenças são relacionadas com a maior ou menor proporção de calcite.

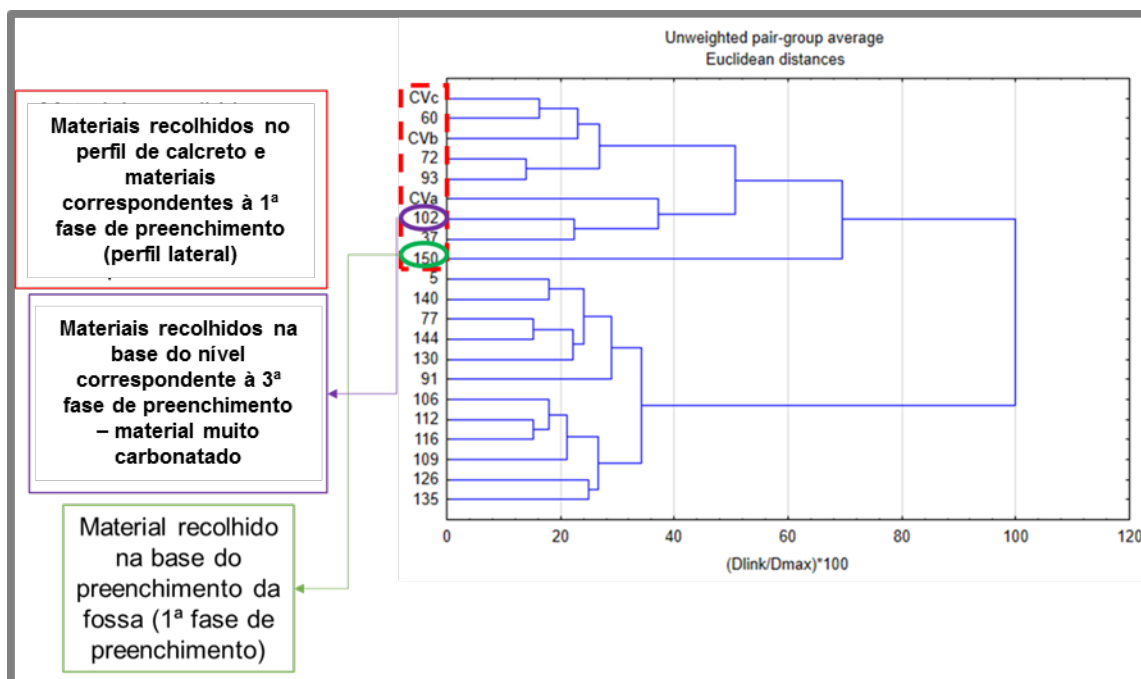


Figura 5.100 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis o teor em 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais recolhidos em Covas.

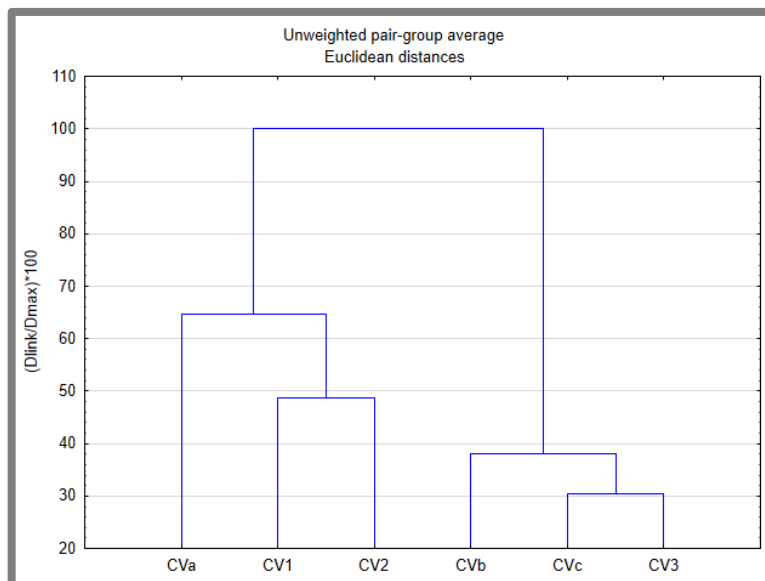


Figura 5.101 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis o teor em 30 elementos químicos determinados na fração argilosa dos materiais recolhidos em Covas.

Os estudos de luminescência apontam para a definição de fases diferentes de preenchimento, duas delas de natureza arqueológica e uma decorrida durante o Pleistocénico que corresponde ao indicado pelos arqueólogos como sendo o restante da primeira fase de preenchimento da estrutura. A idade estimada aparente para os materiais de preenchimento correspondentes às duas fases identificadas no preenchimento central da fossa apontam para duas fases de preenchimento ambas dentro do período do Neolítico, uma no limite da Neolítico Antigo (segunda fase) e outra mais tardia (terceira fase).

As indicações obtidas pelos estudos de luminescência em Covas indicam que, pelo menos dentro da sequência arqueológica principal, a influência da calcite na sobrevalorização da dose absorvida seria menor do que o verificado nos materiais recolhidos no Monte de Cortes e no Monte Carrascal. No entanto, ainda existirá a hipótese dos resultados do perfil lateral se relacionarem com eventuais efeitos da calcite na taxa de dose. Por forma a delimitar os efeitos máximos do teor elevado em calcite nos materiais, procedeu-se à estimativa da idade considerando para o cálculo da taxa de dose a situação extrema de que toda a calcite presente nos materiais teria sido depositada (precipitada) recentemente. Neste sentido através do valor de perdas por ignição (LOI) estimou-se o teor em radionuclídeos, K, Rb, Th e U, considerando que no limite, as amostras eram desprovidas de qualquer carbonato de cálcio e matéria orgânica. Neste sentido, reduziu-se também a percentagem de água durante o enterramento para um valor de 5% (com base nos resultados obtidos para as amostras recolhidas num contexto com menores proporções de calcite, como é o Recinto de fossos dos Perdigões, considerando que, na ausência de calcite a capacidade de retenção de água pelas amostras é bastante menor. Os resultados obtidos permitem verificar que no caso extremo de ausência de calcite e matéria orgânica na composição das amostras a taxa de dose seria maior (cerca de 1,4 vezes maior) e como consequência a idade estimada diminuiria obtendo-se idades entre os 10 ka e os 40 ka nos materiais correspondentes ao contexto lateral, entre os 4 ka e os 5 ka nos materiais recolhidos na segunda fase de

5.4 Outeiro Alto

No Outeiro Alto estudaram-se os materiais de preenchimento de 4 estruturas negativas, 3 fossas e 1 hipogeu e o material representativo da geologia local, um bloco de calcetreto lacustre da Bacia de Moura.

5.4.1 Granulometria

O material representativo da geologia local corresponde a um calcetreto muito compacto e cimentado por calcite (OAa), pelo que se procedeu à sua desagregação em moinho de maxilas, aspeto que terá de ser tido em consideração para a interpretação das frações granulométricas obtidas, bem como a possibilidade de contaminação com elementos da primeira série de transição provenientes da composição metálica das maxilas (apresentadas na Anexo II). De qualquer modo, a interpretação dos dados granulométricos obtidos apontam para uma amostra total de granulometria grosseira, classificada como areia, segundo o diagrama de Shepard (Figura 5.103, a). Os materiais finos da amostra de calcetreto OAa (recolhida após moagem da amostra total em moinho de maxilas) apresentam uma curva em S mais verticalizada indicando que o material fino desta amostra se encontra menos graduado (Figura 5.103, d). No entanto, e tal como referido, esta leitura das curvas deverá estar relacionada com o processo de moagem e não com a própria natureza granulométrica da amostra.

As amostras recolhidas no preenchimento das estruturas negativas (Anexo II) do Outeiro Alto apontam na generalidade para uma maior abundância da fração de cascalho (> 2 mm), representando entre 30% e 47%. No que respeita à fração < 2 mm (areia) a sua expressividade é maior nos materiais recolhidos na fossa 22 (OA1 e OA2), e na fossa 30 (OA4) com proporção 23% <areia> 30%, e muito menor na amostra recolhida no hipogeu (OA3), não atingindo os 10%. Através da projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard (Figura 5.103, a), é possível classificar os materiais de preenchimento das estruturas negativas como areia siltosa. As curvas granulométricas da amostra total evidenciam que a amostra OA2, recolhida na fossa 22 e a amostra OA3 recolhida no hipogeu são as que apresentam uma melhor graduação, sendo este facto confirmado pelo valor do coeficiente de curvatura (C_c) da curva granulométrica que nestas amostras varia entre 1 e 3 (Norma ASTM International – D2487-06, Powrie, 2014) (Figura 5.103, b).

Os materiais finos (<63 μm) representam uma proporção entre 32% e 44% das amostras dos materiais de preenchimento, sendo as frações de silte fino (16% - 20%) e a argilosa (12% - 16%) as que apresentam maior expressividade (Figura 5.103, c). As curvas granulométricas da fração <63 μm dos materiais recolhidos (Figura 5.103, d) permitem distinguir dois conjuntos de perfis de distribuição das partículas finas. O material fino das amostras recolhidas no preenchimento das estruturas negativas apresenta uma curva em S ligeiramente mais suavizada indicando que o material fino destas amostras se encontra melhor graduado (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993).

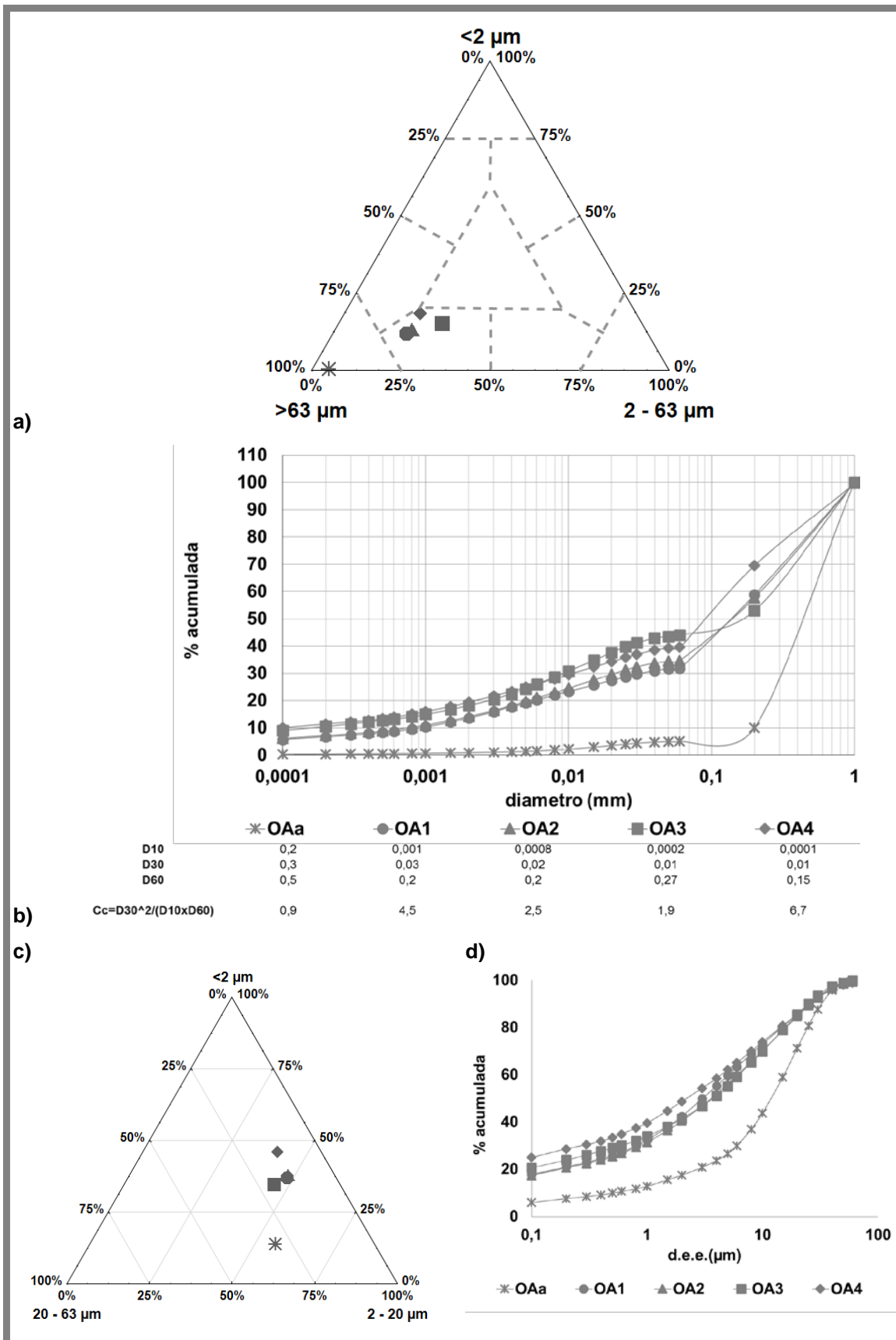


Figura 5.103 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficientes de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (<math>< 63 \mu\text{m}</math>) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <math>< 63 \mu\text{m}</math> para os materiais amostrados no Outeiro Alto.

5.4.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para amostra total dos materiais (fração <2 mm) e fração argilosa das amostras estudadas, assim como a semiquantificação dos teores dos minerais presentes nas amostras encontram-se no Anexo III.

5.4.2.1 Amostra total

A fração <2 mm dos materiais representativos da geologia local, calcetre lacustre (amostra OAa), apresenta uma associação mineralógica onde domina a calcite (84%) e à qual se associa uma pequena proporção de dolomite (7%) e traços de quartzo, filossilicatos e plagioclase (Figura 5.104). A composição mineralógica do calcetre (amostra OAa) é típica deste tipo de formações em todo o planeta (Krug 1995; Chen et al, 2002; Alonso-Zarza, 2003; Eren et al, 2008; Alonso-Zarza e Tanner, 2010a, 2010b; Dixon, 2010; Kaplan et al, 2013; Küçükuysal e Kapur, 2014; Wanas e Soliman, 2014) e também em Portugal (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970).

O solo moderno que cobria todas as estruturas negativas é essencialmente compostos por quartzo e traços de calcite, filossilicatos, feldspatos e hematite.

Os materiais recolhidos no hipogeu 4/5, amostra OA3, apresentam como mineral dominante o quartzo, associado a uma proporção ligeiramente menor de calcite, um pequena proporção de filossilicatos e plagioclase e traços de feldspatos, dolomite e hematite.

Na fossa 22 amostraram-se dois níveis distintos do preenchimento. Na base do preenchimento, num nível considerado de preenchimento inicial da fossa, a 72 cm de profundidade (amostra OA1) a associação mineralógica é dominada pela calcite, à qual se associa uma proporção ligeiramente menor de quartzo, filossilicatos (incluindo micas) e traços de feldspatos e dolomite. O nível de preenchimento por coluvião, amostrado entre os 69 cm e os 12 cm de profundidade (pOA1, OA2, pOA2 e pOA3) apresenta uma composição mineralógica dominada pela calcite (45% - 57%) associada a quartzo (30% - 43%), filossilicatos (1% - 15%, proporção mais baixa nos materiais recolhidos a 69 cm de profundidade) e traços de feldspatos (Figura 5.104, a).

No preenchimento da fossa 28 foram identificados dois níveis (o preenchimento inicial e um posterior por coluvião). Os materiais recolhidos aos 93 cm e 78 cm de profundidade (pOA7 e pOA8), correspondem ao preenchimento inicial e apresentam uma mineralogia dominada pela presença de quartzo (54% - 65%, proporção maior na amostra pOA8), mineral ao qual se associa a calcite, feldspatos (maioritariamente potássicos e com maior proporção na amostra pOA7) e traços de filossilicatos. A amostra pOA8 recolhida a 78 cm de profundidade apresenta ainda traços de hematite e micas. No nível superior do preenchimento da fossa 28, recolherem-se a 52 cm e 18 cm de profundidade as amostras pOA9 e pOA10, respetivamente. A amostra recolhida a 52 cm de profundidade apresenta proporções idênticas de quartzo e calcite (cerca de 48%) e traços de filossilicatos (incluindo micas) e feldspatos. Acima deste material, a 18 cm de profundidade, a proporção de quartzo é mais elevada (56%) e a de calcite menor, verificando-se ainda a presença de uma proporção ligeiramente superior de feldspatos e traços de filossilicatos (incluindo micas) (Figura 5.104, b).

O preenchimento da fossa 30, também inclui dois níveis distintos, o preenchimento inicial onde se recolheram materiais aos 96 cm e 70 cm de profundidade (pOA4 e OA4, respetivamente) e um preenchimento posterior por coluvião, amostrado aos 55 cm e 17 cm de profundidade (pOA5 e pOA6 respetivamente). Verifica-se que na composição mineralógica dos materiais desta fossa, o mineral dominante alterna entre o quartzo (30% - 53%) e a calcite (27% - 50%), aos quais se associam filossilicatos (com menor proporção nos materiais recolhidos a 17 cm de profundidade) e uma pequena proporção de feldspatos. Nos materiais recolhidos a 17 cm de profundidade foi detetada a presença de hematite e nos materiais recolhidos a 70 cm e 55 cm foram detetadas micas (Figura 5.104, c).

Relativamente à amostra OAa, representativa do calcreto lacustre amostrado no local, os materiais de preenchimento das estruturas apresentam uma proporção menor de calcite e maior de silicatos, nomeadamente de quartzo e filossilicatos e não se detetou a presença de dolomite. Neste sentido, pode considerar-se que os materiais de preenchimento contam com uma contribuição de material externo ao local e não apenas com material de alteração do calcreto local.

Em relação aos materiais recolhidos no solo moderno, que cobria todas as estruturas, os materiais de preenchimento apresentam proporções menores de quartzo e maiores proporções de calcite, filossilicatos e plagioclase.

De um modo geral, os materiais correspondentes ao preenchimento inicial apresentam maior proporção de feldspatos potássicos e menor proporção de calcite que os materiais acumulados por coluvião.

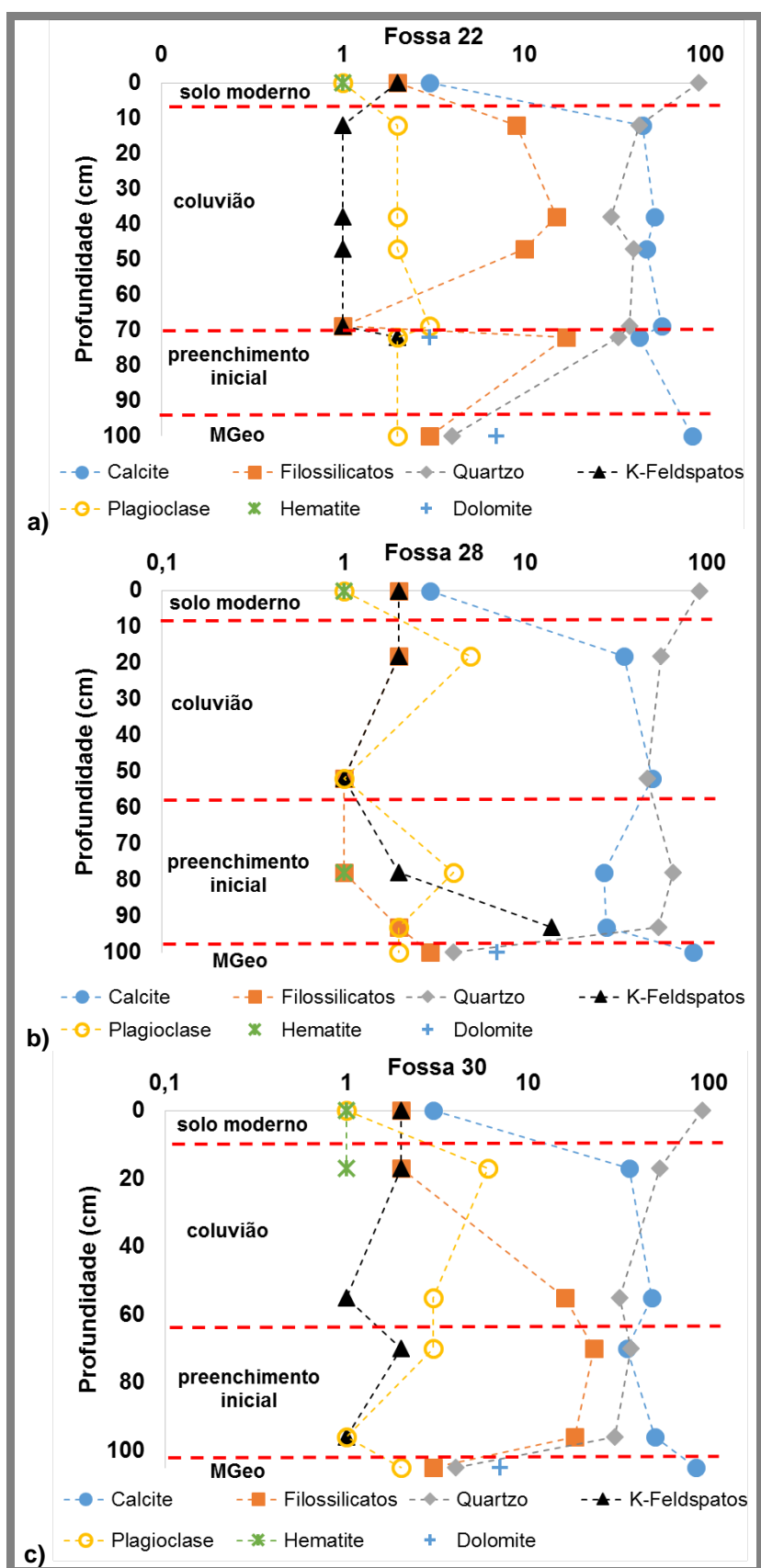


Figura 5.104 Composição mineralógica da amostra total (fração <2 mm), determinada por DRX, dos materiais representativos do preenchimento das fossas 22 (a), 28 (b) e 30 (c) no Outeiro Alto, usando a amostra de calcreto OAa como base e a amostra de solo moderno como o topo da sequência.

5.4.2.1.1 Índices mineralógicos

O índice mineralógico de alteração (MIA) (Anexo III), no caso da fração <2 mm dos materiais recolhidos no preenchimento das estruturas, apresenta valores mais elevados (77%<MIA<97%) que na amostra de calcreto OAa (MIA=67%). Nestes materiais carbonatados o uso do MIA para inferência do estado de alteração não será discutido, uma vez que os valores obtidos refletem a escassez de silicatos e não o estado de alteração dos mesmos. Assim, seguindo a sugestão de Rocha e Ramalho (2003) determinou-se a razão silicatos/carbonatos que apresenta um valor inferior à unidade na fração <2 mm dos materiais recolhidos no preenchimento por coluvião da fossa 22, a 38 cm e a 69 cm de profundidade (pOA1 e pOA2) e na amostra de calcreto (OAa), amostras nas quais se detetou uma proporção de calcite superior a 50%. Pode dizer-se que o preenchimento por coluvião na fossa 22 contou com uma maior contribuição de material de alteração do calcreto. Os restantes materiais recolhidos apresentam razões silicatos/carbonatos inferiores à unidade revelando uma menor proporção de material carbonatado oriundo da alteração do calcreto.

5.4.2.2 Fração Argilosa

A fração argilosa do calcreto lacustre representado pela amostra OAa é formada por esmectite (60%) e paligorsquite (40%) (Figura 5.105). A presença de esmectite pode ser justificada pelas condições de drenagem deficiente e pouca escorrência, sob clima quente e seco, com períodos de chuva curtos, o que favorece a presença de um meio alcalino onde estão disponíveis catiões básicos, favorável à formação de esmectite (Gomes, 1988; Sheldon e Tabor, 2009; Churchman e Lowe, 2012). As características topográficas e o paleoclima da área geográfica em estudo foram então favoráveis à formação de um calcreto rico em esmectite. A presença de paligorsquite em calcretos lacustres é habitual sendo detetada em calcretos, especialmente lacustres, tanto em Portugal como em todo o planeta (Sancho et al 1992; Rodas et al, 1994; Armenteros et al, 1995; Verrecchia e Coustumer, 1996; Krug, 1995; Atabey et al, 1998; Khadkikar et al, 1998, 2000; Chen et al, 2002; Dhir et al, 2004; Durand et al, 2006; Eren et al, 2008; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Kaplan et al, 2013; Küçükuysal e Kapur, 2014). A paligorsquite surge nos calcretos associada a ambientes lacustres, de águas paradas e meio alcalino rico em Mg e Si e empobrecido em Al, em calcretos mais antigos e associada à passagem de calcretos ricos em Mg para calcretos pobres em Mg (Krug, 1995; López-Galindo et al, 1996; Bachman, 1997; Alonso-Zarza, 2003; Alonso-Zarza e Tanner, 2010b; Churchman e Lowe, 2012). A pequena proporção de dolomite na amostra total face à proporção de calcite pode indicar que terá ocorrido alteração do calcreto por solubilização do Mg, empobrecendo a fração grosseira neste elemento que se concentrou na fração argilosa e permitiu a formação de paligorsquite.

A fração argilosa dos materiais recolhidos no preenchimento inicial da fossa 30 apresentam como mineral dominante a ilite (53%) à qual se associam proporções idênticas de minerais de caulino e esmectite (23%). A mesma associação mineralógica, mas com proporções mais elevadas de ilite (63%) e menores de minerais de caulino (7%) é observada nos materiais de preenchimento da fossa 22. Ainda na fossa 22, detetou-se uma associação mineralógica distinta nos materiais de preenchimento depositados por coluvião, caracterizada pela predominância de ilite (80%) associada a uma menor

proporção de minerais de caulino. A fração argilosa dos materiais recolhidos no hipogeu 4/5 é constituída por uma maior proporção de ilite (72%) e uma menor proporção de esmectite (28%) (Figura 5.105). A presença de esmectite nos materiais de preenchimento será devido a presença de materiais de alteração do calcreto enquanto a presença de ilite e minerais de caulino deverá relacionar-se com a presença de material oriundo em outras formações. Neste sentido, pode corroborar-se as indicações já obtidas pela mineralogia da amostra total que indica que a origem dos materiais de preenchimento não se restringe ao calcreto lacustre.

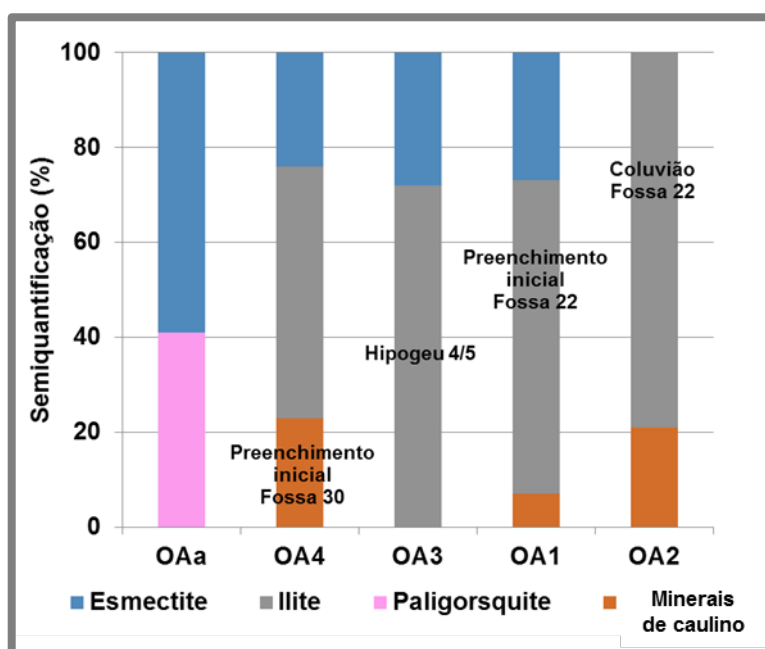


Figura 5.105 Composição mineralógica da fração argilosa dos materiais amostrados no Outeiro Alto, determinada por DRX.

5.4.3 Composição química

5.4.3.1 Materiais representativos da geologia local

A composição química da amostra de calcreto OAA encontra-se descrita no Anexo IV. Tal como seria de esperar, dada a elevada proporção de calcite, o teor de elementos é baixo, com exceção do teor em CaO. Comparando a sua composição com os valores médios da crosta continental superior verifica-se que a amostra de calcreto se encontra empobrecida na maioria dos elementos determinados, estando apenas enriquecida em CaO e apresentando teores em MgO, Br e W semelhantes (Figura 5.106, a).

Comparando a amostra total com a fração argilosa verifica-se que esta última se encontra enriquecida na maioria dos elementos determinados, à exceção do óxido de Na, W e U para os quais a composição é muito semelhante (Figura 5.106, b). O enriquecimento da fração argilosa em Fe, elementos da primeira série de transição, As, Br, Rb, Sb e Cs é mais evidente. O enriquecimento em Fe e elementos de transição poderá estar associado à fixação deste elemento na esmectite (Marques, 2007). O As tem apetência para se fixar na paligorsquite (Gálan e Singer, 2011)

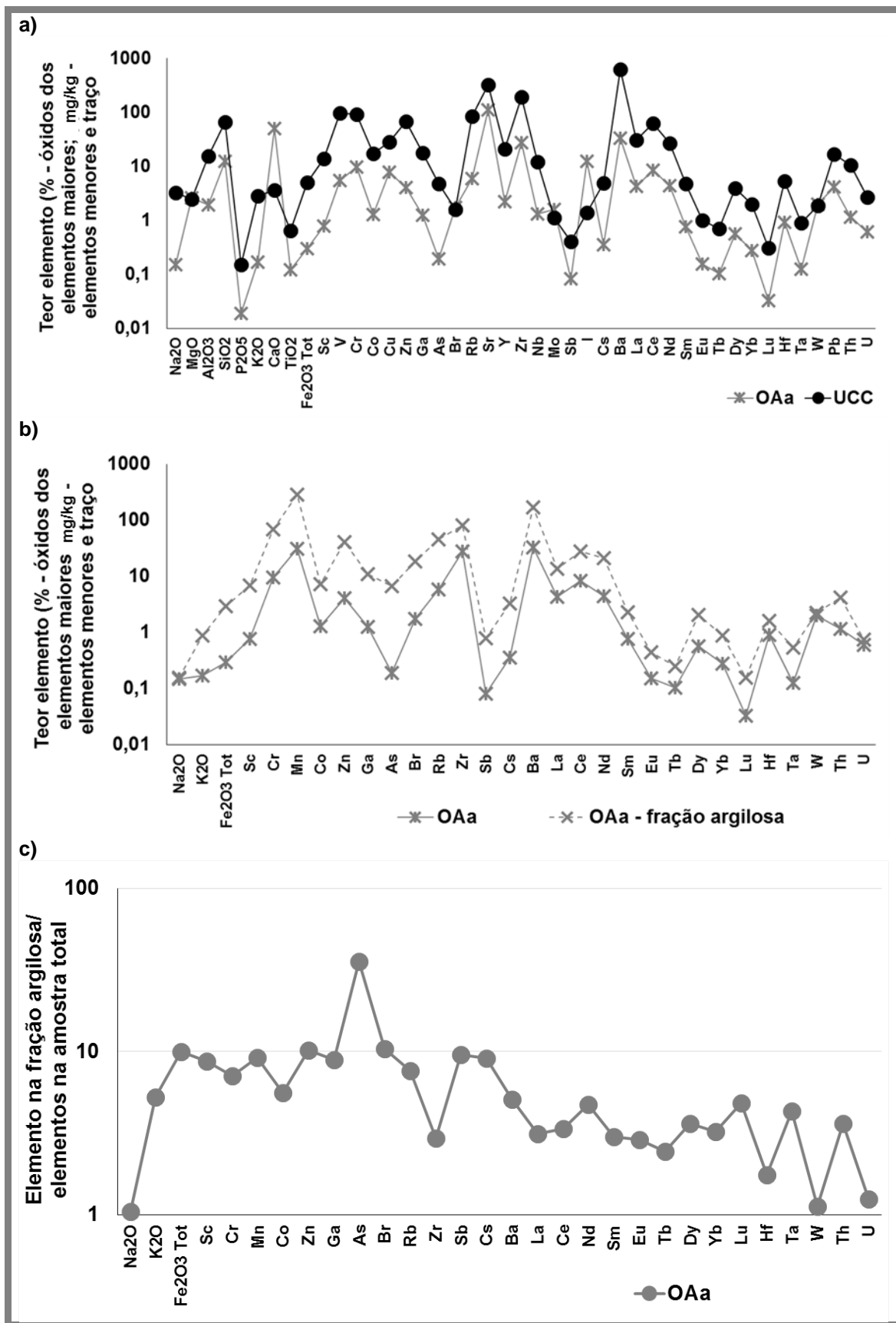


Figura 5.106 a) Composição química da amostra total do calcetre e dos valores médios da crosta continental superior; b) composição química da amostra total e da fração argilosa do calcetre; c) Composição química da fração argilosa em relação à amostra total de calcetre recolhido no Outeiro Alto.

5.4.3.1.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição na fração <2 mm da amostra de calcreto OAa apresenta um valor de 37% que está de acordo com o esperado para este tipo de material carbonatado (Kaplan et al, 2013). No que respeita à razão de calcificação ($RC = MgO+CaO/Al_2O_3$) observa-se um valor de 28 e de a razão de dolomitização ($RD=MgO/CaO$) apresenta um valor de 0,05 que reflete a presença de uma pequena proporção de dolomite. No que diz respeito ao índice de alteração química (CIA) este assume um valor baixo de cerca de 7% mas que no contexto da amostra não será discutido, uma vez que para esta amostra de calcreto, que apresenta apenas traços de plagioclase, este índice não é aplicável e representativo do seu estado de alteração. A razão $SiO_2/CaCO_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos é de 0,2 indicando que este calcreto se encontra num estado de maturação elevado, o que está de acordo com o índice mineralógico silicatos/carbonatos (inferior à unidade), indicando que ocorreu uma substituição dos materiais silicatados por carbonatos. A razão Ca/Mg apresenta o valor de 19 sugerindo que o calcreto terá sido sujeito a meteorização intensa, precipitação e cimentação levando à substituição dos silicatos por carbonatos o que se relaciona com o índice de maturação obtido para este calcreto.

5.4.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne ao somatório dos teores absolutos em REE, na amostra total observa-se um valor mais elevado na fração argilosa ($\sum REE= 69$ mg/kg) do que na amostra total ($\sum REE= 19$ mg/kg) do calcreto OAa, o que sugere que estes elementos se fixam na fração inferior a 2 μm .

Quando normalizados aos condritos as REE apresentam um perfil onde se observam anomalias negativas de Eu e Ce, idênticas na fração argilosa e na amostra total ($Eu/Eu^*=0,62$ e $Ce/Ce^*=0,88$) e ligeiramente menos acentuadas que nos valores médios da crosta continental superior (Figura 5.107). A anomalia negativa de Eu relaciona-se com a baixa proporção de plagioclase, mineral onde o Eu pode ficar retido em detrimento das restantes REE após meteorização dos minerais primários durante a formação do calcreto (Achyuthan et al, 2012). A anomalia negativa de Ce sugere a presença de um ambiente redutor onde a fixação de Ce (IV) não é favorecida

O fracionamento entre REE é similar na amostra total ($(La/Yb)_N=10,8$ e $(La/Sm)_N=3,5$) e na fração argilosa ($(La/Yb)_N=10,5$ e $(La/Sm)_N=3,7$) da amostra de calcreto.

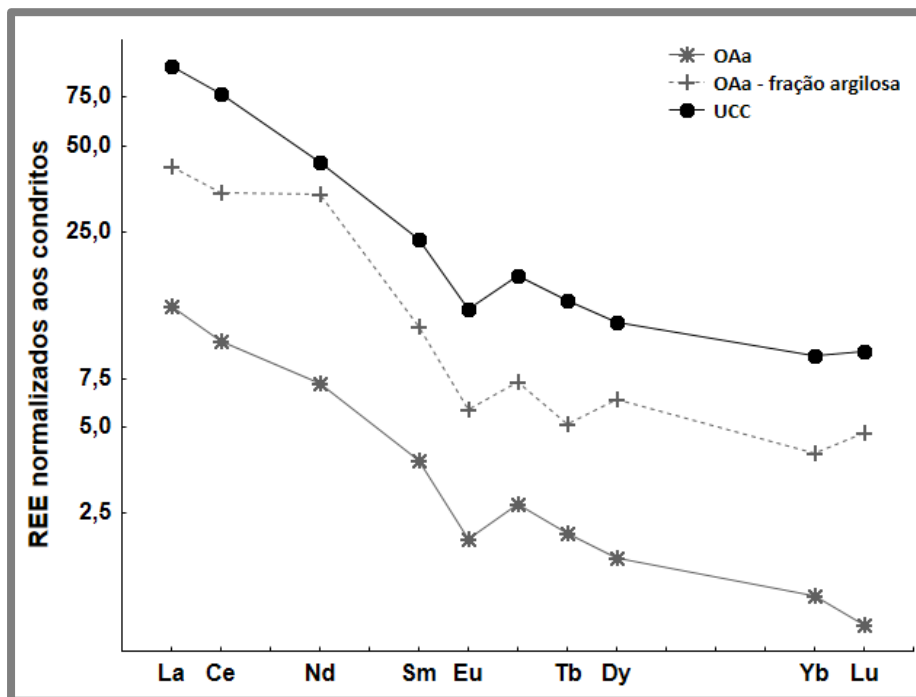


Figura 5.107 Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total e na fração argilosa da amostra de calcetre lacustre recolhida no Outeiro Alto para os valores médios da crosta continental superior (UCC).

5.4.3.2 Materiais de preenchimento das estruturas negativas – Amostra total

Os materiais recolhidos no preenchimento das estruturas negativas, apresentam uma composição química que, relativamente à amostra de calcetre OAa, se encontram enriquecidos na maioria dos elementos (efeito da menor proporção de calcite) com exceção do teor em W que é mais elevado na amostra de calcetre relativamente aos materiais de preenchimento. O solo moderno apresenta uma composição ligeiramente mais enriquecida na maioria dos elementos determinados, relativamente aos materiais de preenchimento, fruto da menor proporção de calcite no solo moderno (Figura 5.108 e Figura 5.109).

Na fossa 22 verificam-se pequenas oscilações no teor em elementos químicos determinados, sendo no preenchimento inicial que se detetaram teores mais elevados da maioria dos elementos, fruto da menor proporção de calcite nesta amostra e por conseguinte maior proporção de silicatos (Figura 5.108, a). Na fossa 30 é possível identificar diferenças mais acentuadas entre os materiais do preenchimento inicial e os materiais depositados por coluvião. No preenchimento inicial os materiais apresentam um teor ligeiramente mais elevado na maioria dos elementos com exceção para o Br, que se encontra concentrado nos materiais depositados por coluvião, eventualmente devido a maior proporção de matéria orgânica neste nível de preenchimento ou, por concentração do Br na calcite por processos de evaporação durante a precipitação da calcite (Grevenitz e Chivas, 2005). Sendo a amostra recolhida a 55 cm de profundidade, no nível de preenchimento por coluvião a que apresenta o teor mais elevado em Br, pode justificar-se a presença do Br associado à calcite (Figura 5.108, b).

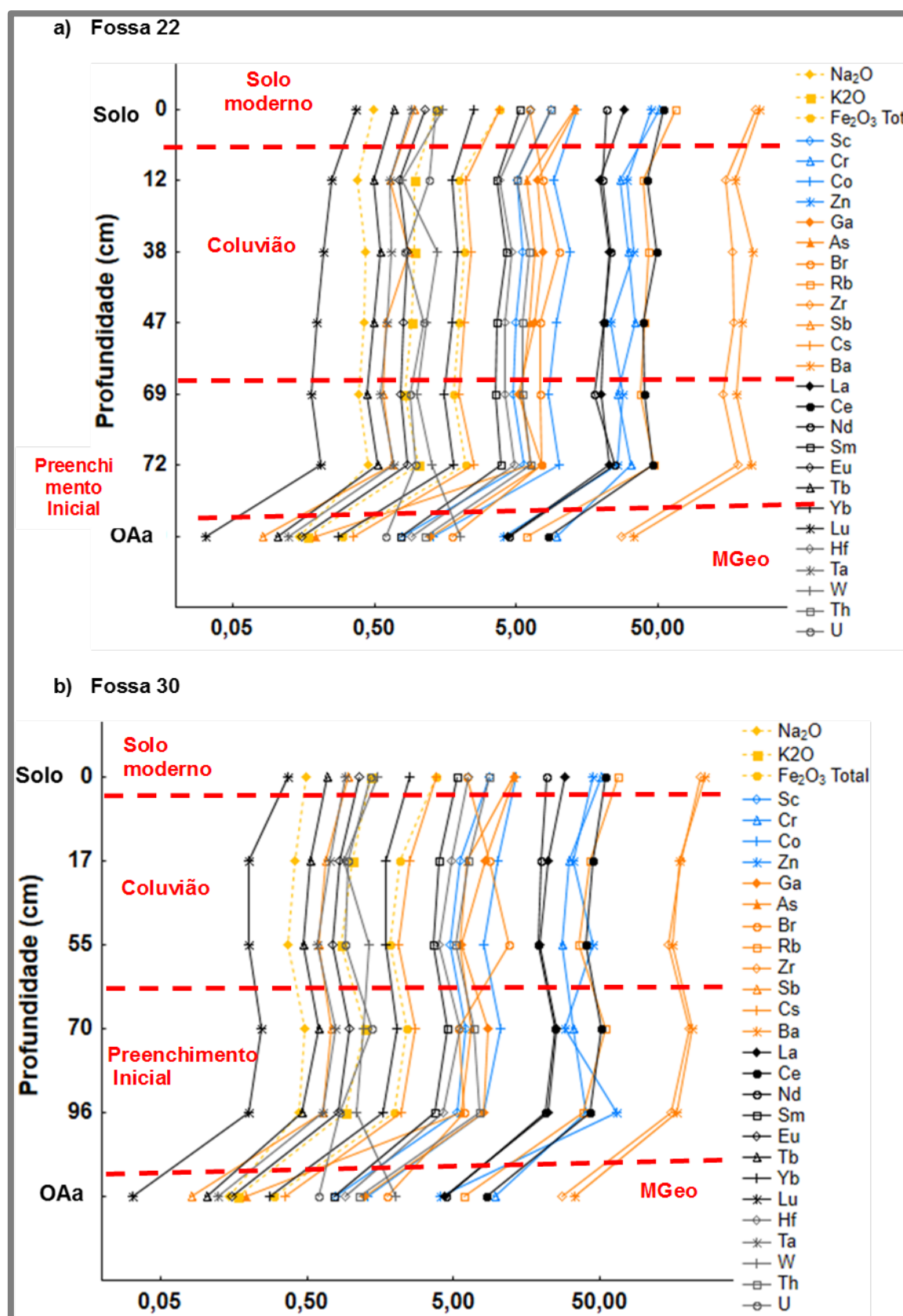


Figura 5.108 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa 22 (a), e da fossa 30 e a sua relação com a amostra de calcetreto e do solo moderno (0 cm de profundidade), recolhidos no sítio arqueológico Outeiro Alto. Os teores em óxidos dos elementos maiores em % e teores em elementos menores e traço em mg/Kg.

Na fossa 28, o comportamento é idêntico ao observado na fossa 22, com menores oscilações entre a composição química dos materiais de preenchimento iniciais e a composição química dos materiais depositados por coluvião. Também nesta fossa, a amostra recolhida a 18 cm de profundidade, apresenta um teor mais elevado em Br associado à maior proporção de calcite na amostra (Figura 5.109).

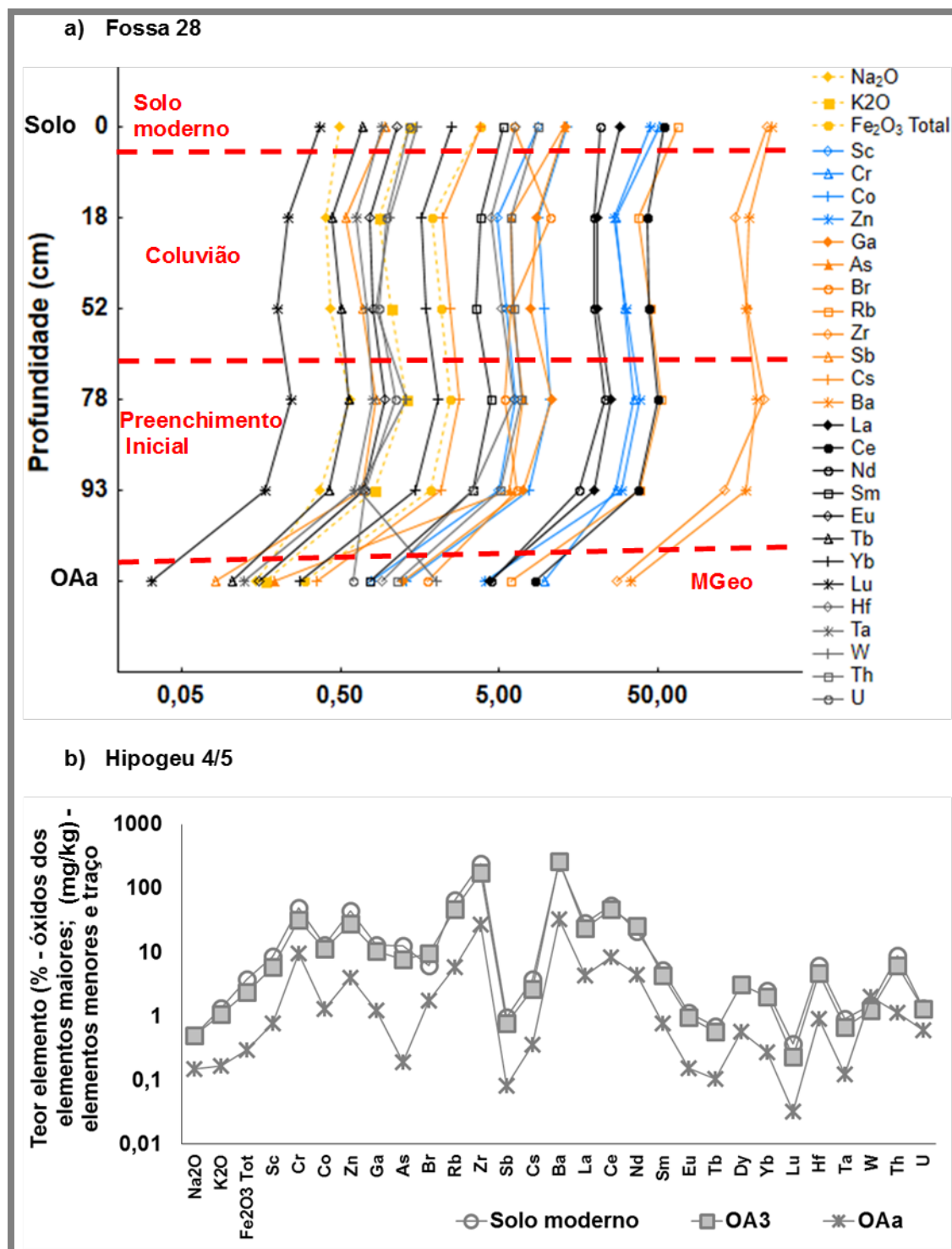


Figura 5.109 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa 28 (a), e do hipogeu 4/5 (b) e a sua relação com a amostra de calceteo e do solo moderno (0 cm de profundidade), recolhidos no sítio arqueológico Outeiro Alto. Os teores em óxidos dos elementos maiores em % e teores em elementos menores e traço em mg/Kg.

Considerando a composição química das amostras selecionadas para datação, para as quais também se efetuou análise química por FRX, salienta-se a ligeira diferença entre as amostras no teor em óxidos de MgO e P e nos elementos Sr, Mo e iodo (Figura 5.110, a).

A amostra OA1 recolhida no preenchimento inicial da fossa 22 e a amostra OA3 recolhida no hipogeu 4/5 apresentam um teor ligeiramente maior de MgO e Sr. A amostra OA3 apresenta também o teor mais elevado em iodo e a amostra OA1 apresenta o teor mais baixo em Mo.

Relativamente à amostra de calcreto OAa, todas as amostras encontram-se enriquecidas na maioria dos elementos químicos, sendo o enriquecimento em Mn e As o mais evidente. A exceção a este comportamento verifica-se para os óxidos de Mg e Ca e os elementos Sr, Mo, I e W que deverão estar associados à elevada proporção de calcite na amostra de calcreto (Figura 5.110, b).

Relativamente aos valores médios da crosta continental superior, as amostras de materiais de preenchimento das estruturas negativas encontram-se empobrecidas na maioria dos elementos, registando-se apenas enriquecimento em CaO, As, Br, Sb e I nos materiais de preenchimento (Figura 5.110, c).

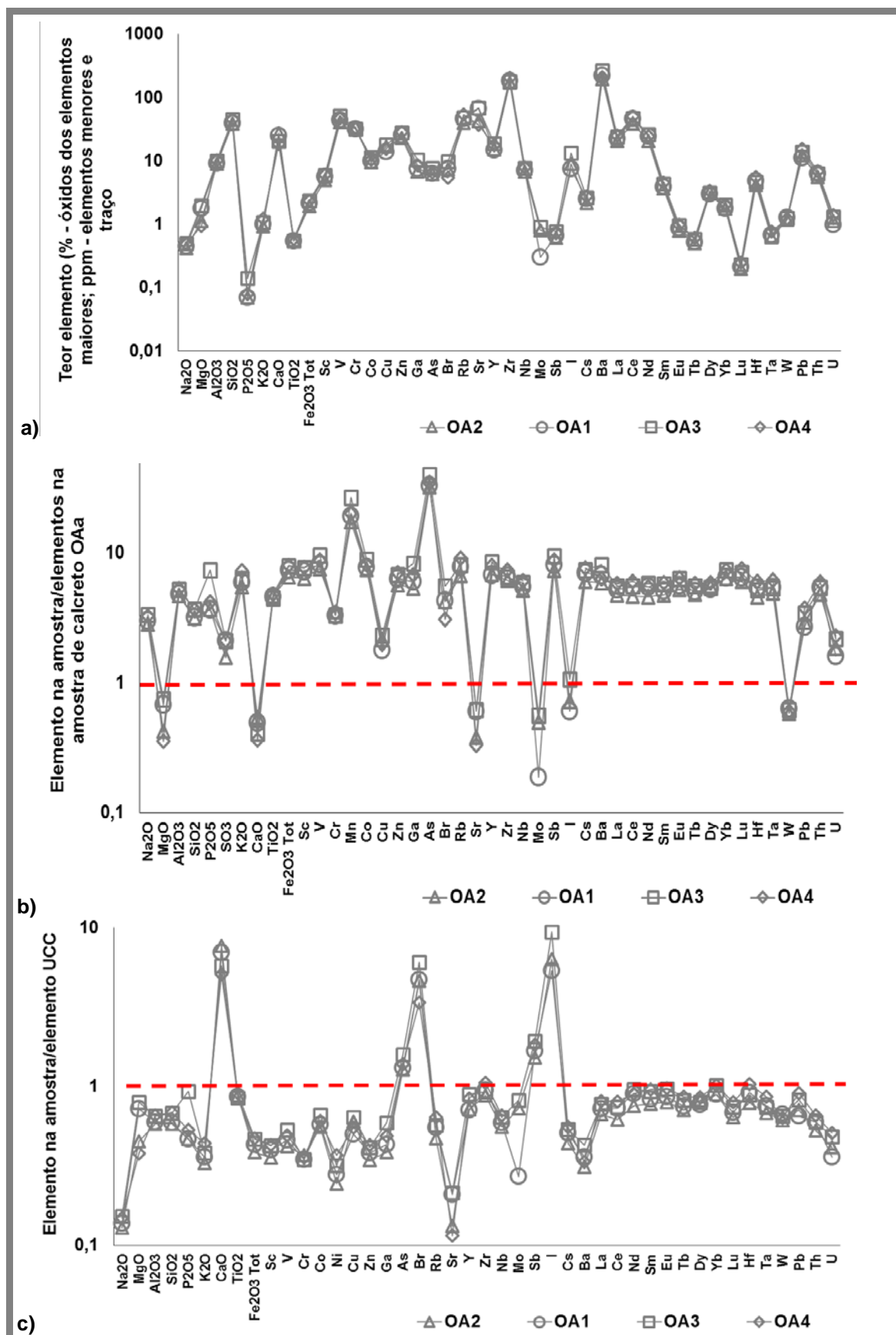


Figura 5.110 a) Composição química da amostra total dos materiais seleccionados para datação recolhidos no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto; b) Composição das amostras relativamente à amostra de calcareto OAA; c) composição das amostras relativamente aos valores médios da crosta continental superior.

5.4.3.2.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição nos materiais recolhidos no preenchimento das estruturas negativas ($17\% < LOI < 20\%$) é menor do que o registado na amostra de calcreto ($LOI=32\%$), refletindo a menor proporção de carbonatos nos materiais de preenchimento.

A razão de calcificação ($RC = MgO+CaO/Al_2O_3$) é bastante inferior nos materiais de preenchimento ($2 < RC < 3$) do que na amostra de calcreto ($RC=28$). Quanto à razão de dolomitização ($RD=MgO/CaO$), as amostras apresentam valores baixos ($0,04 < RD < 0,1$), sendo mais elevada na amostra recolhida no hipogeu 4/5, onde o teor em MgO é mais elevado. A menor razão de dolomitização é observada na amostra total recolhida no preenchimento por coluvião na fossa 22 (OA2). A amostra recolhida no preenchimento inicial da fossa 30 apresenta uma razão de dolomitização semelhante à observada no calcreto ($RD=0,05$).

O índice de alteração química nos materiais de preenchimento das estruturas negativas ($23\% < CIA < 33\%$) é muito superior ao observado no calcreto.

A razão $SiO_2/CaCO_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos, assume valores entre 0,8 e 1, sendo mais elevada nos materiais recolhidos no preenchimento inicial na fossa 30 (OA4) e no hipogeu 4/5 (OA3). Comparativamente com o calcreto, esta razão é superior indicando um menor estado de maturação dos materiais de preenchimento, como seria de esperar, pois no calcreto (maior estado de maturação) os carbonatos já terão substituído os silicatos.

A razão SiO_2/Al_2O_3 é menor nos materiais recolhidos na fossa 22 (preenchimento inicial OA1 e coluvião OA2, $SiO_2/Al_2O_3=4$) relativamente aos recolhidos no preenchimento inicial da fossa 30 e no hipogeu 4/5 (OA3 e OA4, $SiO_2/Al_2O_3=5$). Em geral, a razão é menor nos materiais de preenchimento do que na amostra de calcreto OAa, que se encontra num estado de maturação mais avançado com menor proporção de materiais finos, tal como havia sido referido aquando do estudo da granulometria. No que respeita à razão CaO/MgO , os materiais recolhidos no preenchimento por coluvião na fossa 22 (OA2) apresentam valores mais elevados ($CaO/MgO = 25$) que os materiais recolhidos no preenchimento inicial da fossa 22 ($CaO/MgO=14$). Os materiais recolhidos no hipogeu OA3 apresentam uma razão de $CaO/MgO=10$ enquanto os materiais recolhidos no preenchimento inicial da fossa 30 (OA4) apresentam uma razão $CaO/MgO=19$ semelhante à verificada na amostra de calcreto.

5.4.3.2.2 Comportamento dos elementos terras raras

De um modo geral verifica-se que o somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento das estruturas negativas ($79 \text{ mg/kg} < \sum REE < 111 \text{ mg/kg}$) é maior do que o observado na amostra do calcreto OAa. Relativamente ao solo moderno ($\sum REE=115 \text{ mg/kg}$) e aos valores médios da crosta continental superior os materiais de preenchimento apresentam um teor mais baixo em REE, verificando-se que apenas na amostra recolhida no hipogeu 4/5 existe um teor mais elevado, semelhante ao registado no solo moderno (Figura 5.111).

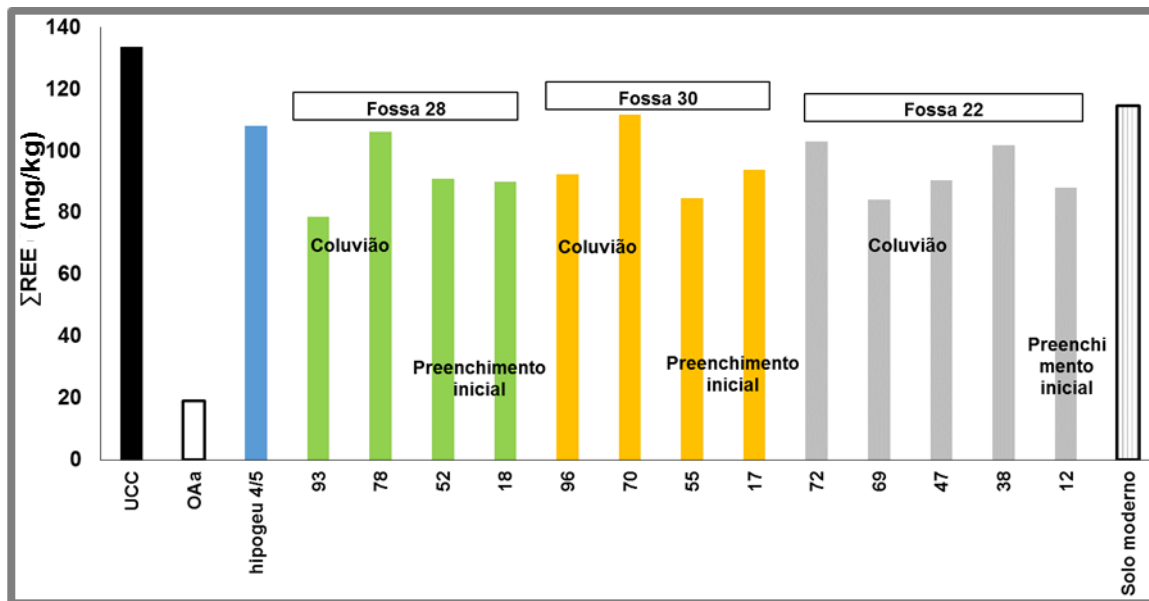


Figura 5.111 Somatório dos teores absolutos em REE na amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto.

Quando normalizados aos condritos, os teores de REE da amostra total dos materiais de preenchimento das estruturas negativas e do solo moderno apresentam um perfil homogéneo, salientando-se apenas o comportamento das REE no solo moderno onde é evidente o enriquecimento em REE intermédias e pesadas relativamente aos valores médios da crosta continental superior (Figura 5.47). A anomalia de Eu é negativa em todos os materiais de preenchimento e no solo moderno ($0,6 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,7$), sendo menos acentuadas que na amostra de calcreto (Figura 5.112, b). A anomalia de Ce é negativa ($0,88 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,99$) (Figura 5.112, b) e menos acentuada do que na amostra de calcreto. O fracionamento entre REE leves e pesadas ($8 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 9$) e entre REE leves e intermédias ($3 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 4$) nos materiais de preenchimento é em geral menor do que o fracionamento na crosta continental superior e no calcreto (Figura 5.112, c).

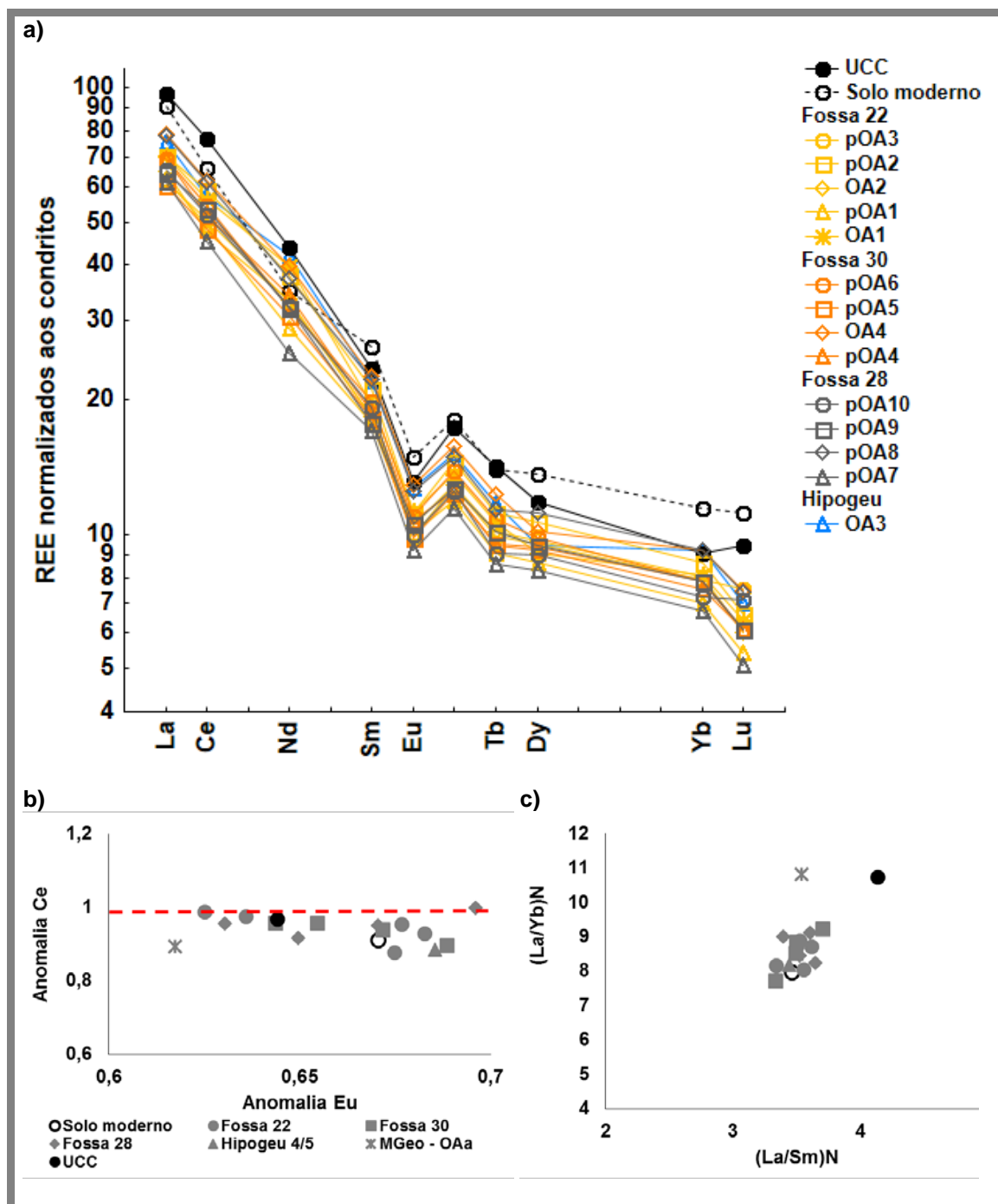


Figura 5.112 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total; b) anomalias de Eu e Ce na amostra total; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.

5.4.3.3 Materiais de preenchimento das estruturas negativas - Fração argilosa

A composição química da fração argilosa das amostras recolhidas na sequência de preenchimento das estruturas negativas do Outeiro Alto (Anexo IV) é muito semelhante, havendo apenas a realçar que para a maioria dos elementos determinados o teor nos elementos é superior nas amostras dos materiais de preenchimento relativamente ao verificado na fração argilosa da amostra de calcreto (Figura 5.113,a).

Relativamente à amostra total a fração argilosa das amostras encontra-se enriquecida na maioria dos elementos, estando apenas empobrecida em óxido de Na (perdido no processo de separação da fração por via húmida), Zr e Hf que deverão estar concentrados nos minerais detríticos pesados da fração grosseira, como o zircão e o epídoto, identificado em trabalhos anteriores por análises petrográficas nos calcretos lacustres de Moura (calcários de Moura e Arrancadas) (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970). A fração argilosa das amostras OA2 (preenchimento por coluvião na fossa 22), OA3 (hipogeu) e OA4 (preenchimento inicial da fossa 30) encontra-se também empobrecida em U relativamente à amostra total (Figura 5.113, b).

A fração argilosa da amostra OA1 recolhida no preenchimento inicial da fossa 22, cuja mineralogia é ilite>>esmectite>minerais de caulino, é a amostra com um enriquecimento maior em As, Sb e REE pesadas, e a única enriquecida em U. A fração argilosa dos materiais de preenchimento por coluvião da fossa 22 (OA2), cuja mineralogia é ilite >>minerais de caulino, é a amostra mais enriquecida em Mn e Ba.

Quanto aos materiais recolhidos no preenchimento inicial da fossa 30 (OA4), a fração argilosa cuja mineralogia é ilite> esmectite=minerais de caulino, é a menos enriquecida em K, Zn, Rb, Ce, W e Th e a mais empobrecida em Hf e Zr. Esta amostra apresenta menor proporção de ilite e esmectite que as restantes amostras, o que fundamenta o teor mais baixo em K e Rb (fixam-se preferencialmente na ilite) bem como em Zn (fixa-se preferencialmente na esmectite).

A amostra recolhida no hipogeu 4/5, OA3, cuja mineralogia é ilite>esmectite é a menos enriquecida em Mn e Ga e a mais enriquecida (a par com a amostra recolhida no preenchimento inicial da fossa 22, OA1) em Cr.

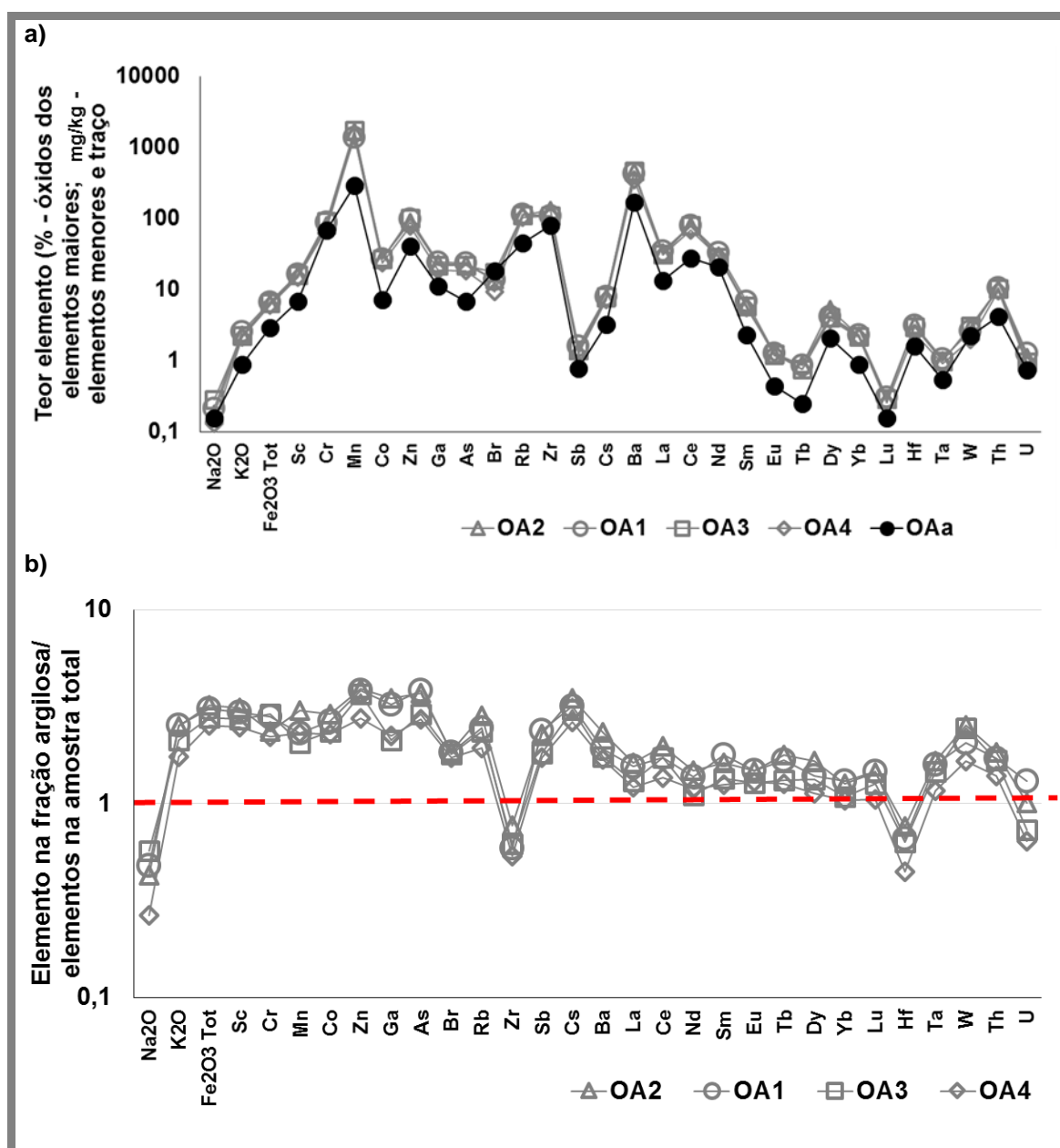


Figura 5.113 a) Composição química da fração argilosa; b) relação entre a composição química na fração argilosa e na amostra total das amostras recolhidas no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto.

5.4.3.3.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório do teor em REE na fração argilosa dos materiais de preenchimento das estruturas negativas ($142 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 164 \text{ mg/kg}$) é maior do que o verificado na amostra total das amostras de preenchimento e na fração argilosa da amostra de calcetreto (OAa) (Figura 5.114, a e b).

Normalizando os teores de REE aos condritos, observam-se anomalias negativas de Eu ($0,57 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,69$), sendo mais acentuadas as anomalias na fração argilosa dos materiais recolhidos na fossa 22, quer relativamente à fração argilosa dos restantes materiais de preenchimento, quer em relação às anomalias verificadas na amostra total correspondente, e ainda em relação à amostra de calcetreto (OAa). A fração argilosa dos

materiais recolhidos no hipogeu 4/5 e na fossa 30 apresentam anomalias de Eu da mesma magnitude da amostra total correspondente e ligeiramente menos acentuadas que na amostra de calcreto (OAa). A anomalia de Ce ($1,05 < Ce/Ce^* < 1,22$) na fração argilosa dos materiais de preenchimento é positiva e ligeiramente mais acentuada na fração argilosa da amostra recolhida no hipogeu 4/5 (OA3). Ao contrário da amostra de calcreto que apresenta anomalia negativa de Ce tanto na amostra total como na fração argilosa, os materiais de preenchimento apresentam anomalia negativa de Ce na amostra total e positiva na fração argilosa, indicando que o Ce(IV) se fixa preferencialmente na fração argilosa em detrimento das restantes REE (Figura 5.114, b e c).

O fracionamento entre REE leves e intermédias ($3,1 < (La/Sm)_N < 3,5$) é da mesma ordem de grandeza na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento, bem como em relação ao fracionamento verificados na fração argilosa de calcreto (OAa). No que respeita ao fracionamento entre REE leves e pesadas ($9,8 < (La/Yb)_N < 10,4$) é maior na fração argilosa do que na amostra total dos materiais de preenchimento, tal como ocorre na amostra de calcreto (Figura 5.114, d).

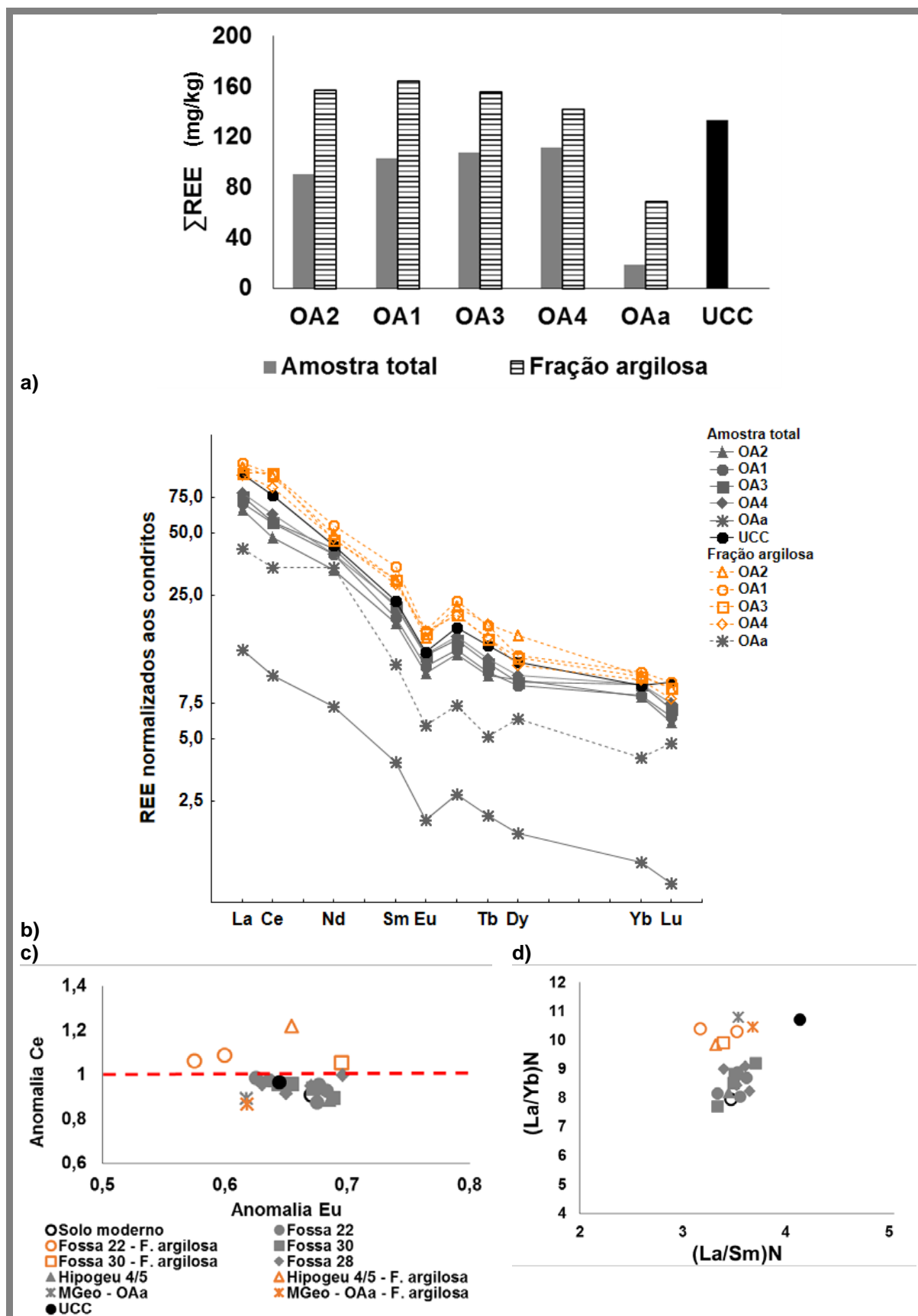


Figura 5.114 a) Somatório do teor em REE na fração argilosa e amostra total; b) Perfil de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento das estruturas negativas e representativos da geologia local (calcreto) recolhidos no Outeiro Alto.

5.4.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento

5.4.4.1 Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso

As frações de polimineriais, fina e grosseira, bem como a fração enriquecida em quartzo (PMF, PMG e EQZG) foram sujeitas ao protocolo de medida de testes iniciais, a partir do qual se obteve o comportamento dos sinais de luminescência ao longo do perfil, a sensibilidade de cada tipo de sinal à dose irradiada e a estimativa da dose absorvida aparente.

Considerando as diferentes frações mineralógicas recolhidas no perfil central da sequência de preenchimento é de notar que a sensibilidade ao IRSL é sempre inferior à sensibilidade ao OSL, que por sua vez é menor que a sensibilidade do pico 110°C do TSL, sendo estas diferenças mais evidentes nas frações grosseiras, nomeadamente na fração enriquecida em quartzo (EQZG) (Figura 5.115). No que respeita ao comportamento da sensibilidade da fração enriquecida em quartzo grosseiro verifica-se em média que o sinal de IRSL é cerca de 3 ordens de grandeza menor que o de OSL, apontando para uma grande proporção de quartzo nestas alíquotas (Figura 5.115). Verifica-se também uma boa reprodutibilidade entre alíquotas.

Considerando a sensibilização dos sinais estudados após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy (Figura 5.116), esta assume no geral valores mais dispersos para a fração de polimineriais finos, nomeadamente como resposta ao IRSL e ao pico 110°C do TSL. De um modo geral a resposta ao IRSL apresenta para todas as frações menor sensibilização que a resposta ao OSL e ao pico a 110°C TSL, o que pode indicar uma maior proporção de quartzo nas frações face a outros silicatos, em particular nas frações grosseiras. A baixa resposta à estimulação com infravermelho em relação à resposta à estimulação com luz azul, em especial na fração enriquecida em quartzo grosseiro, permite considerar que o material em estudo, apresenta boas condições para ser usado nos estudos de datação por luminescência, utilizando o protocolo SAR-OSL. Há ainda a salientar a reprodutibilidade entre alíquotas nomeadamente as que correspondem aos grãos grosseiros como resposta ao OSL, tal como já verificado no que respeita à sensibilidade à estimulação ótica e térmica.

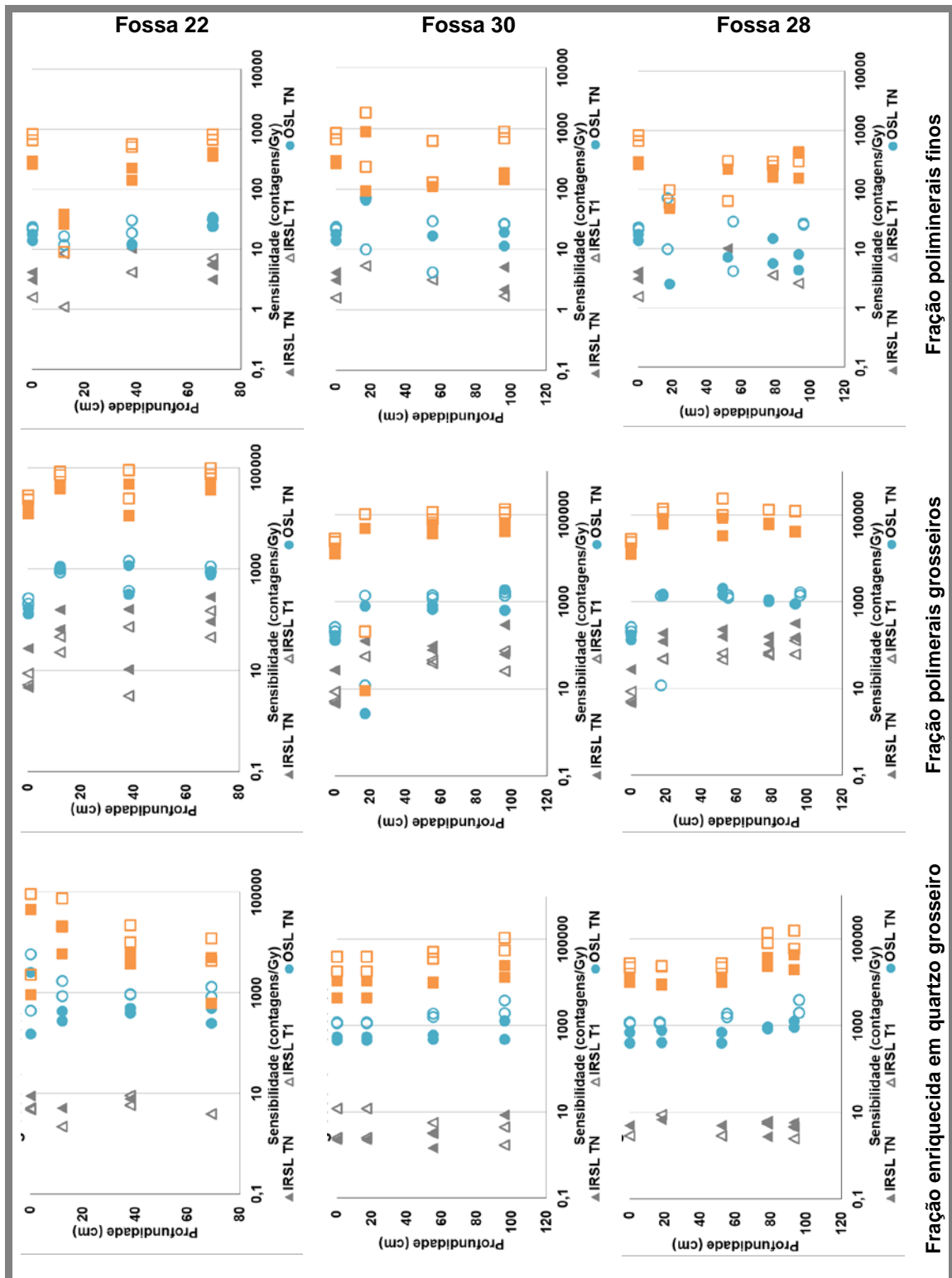


Figura 5.115 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL aos testes iniciais para as frações PMF, PMG e EQZG recolhidas para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.

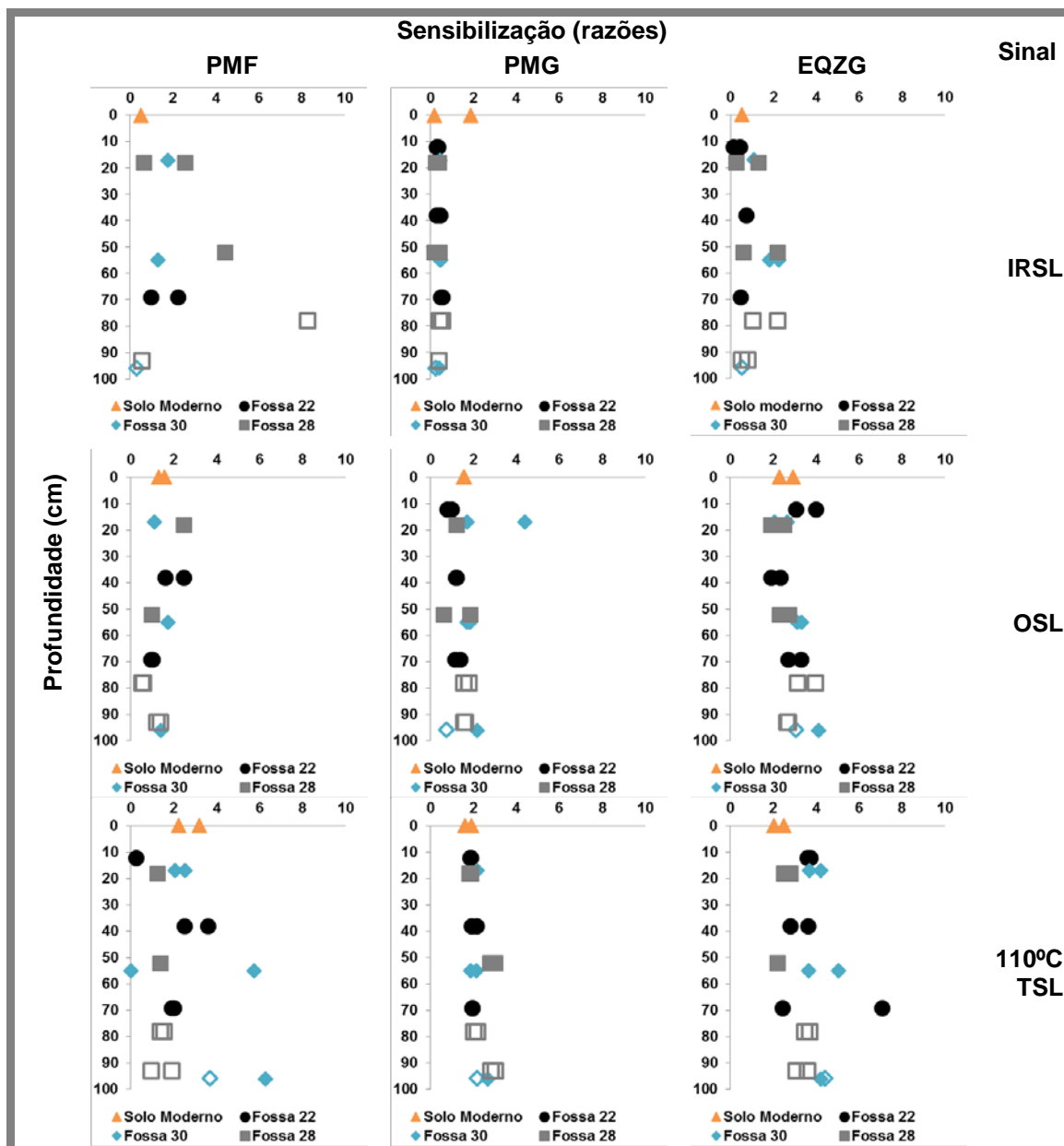


Figura 5.116 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo moderno: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e solo moderno a laranja. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no nível correspondente ao preenchimento inicial e os pontos cheios correspondem às amostras de perfil no nível correspondente ao preenchimento por coluvião.

No que respeita à razão entre os sinais de IRSL e OSL é de notar que são no geral muito baixas e inferiores à unidade (Figura 5.117). De um modo, geral a razão entre os sinais IRSL e OSL é maior na fração de poliminerais finos e grosseiros do que na fração enriquecida em quartzo, sendo mais evidente para as frações correspondentes aos materiais recolhidos no preenchimento inicial de cada fossa (pontos vazios).

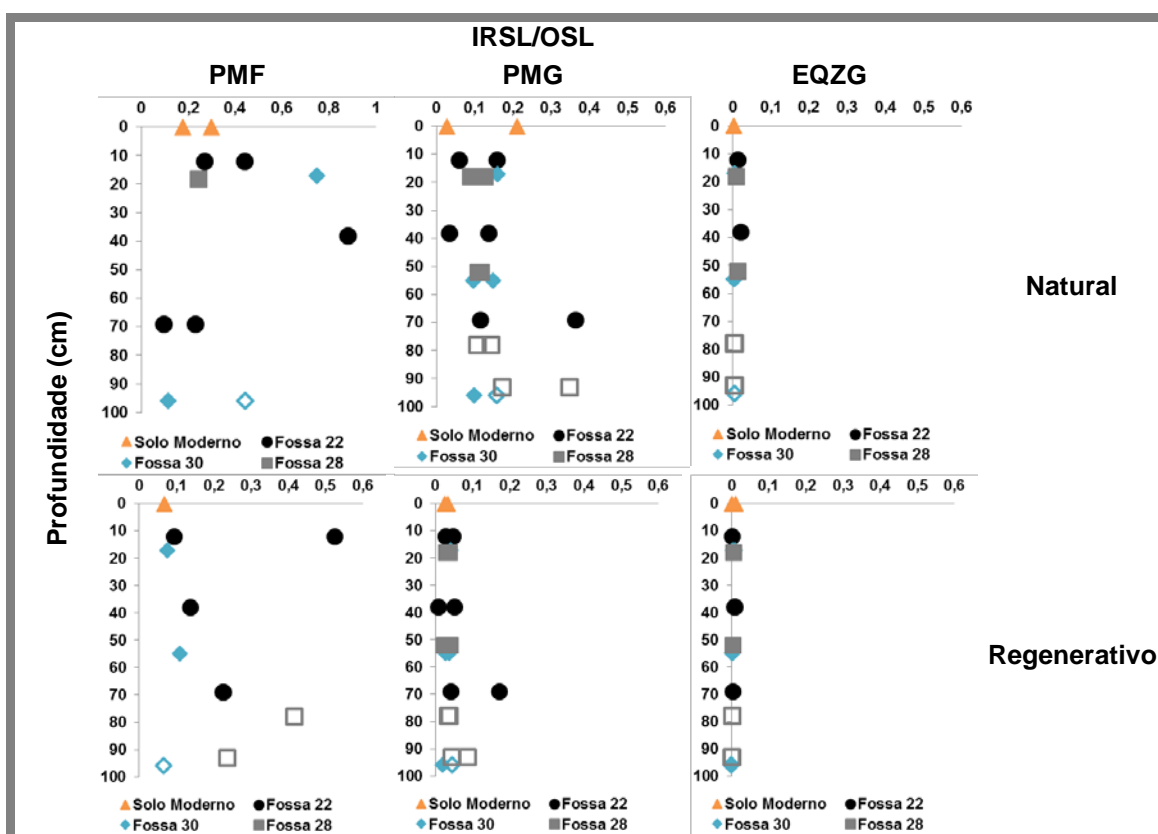


Figura 5.117 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo moderno: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e solo moderno a laranja.

Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no nível correspondente ao preenchimento inicial e os pontos cheios correspondem às amostras de perfil amostras no nível correspondente ao preenchimento por coluvião.

Observando a variação da dose absorvida aparente com a profundidade em cada uma das fossas (Figura 5.118), pode referir-se que, os materiais do topo, correspondentes ao solo moderno (pontos laranja) tendem a apresentar os menores valores de dose absorvida aparente. No geral, a partir dos dados obtidos como resposta ao OSL, em especial para as frações de poliminerais, pode considerar-se que o preenchimento das estruturas deverá ter ocorrido de forma rápida, corroborando as indicações dos arqueólogos (Filipe, 2009).

Particularizando para cada uma das fossas, verifica-se na fossa 22 (pontos pretos) uma tendência para a diminuição da dose absorvida aparente da base para o topo da fase de preenchimento por coluvião, mais evidente na fração enriquecida em quartzo grosseiro e na fração de poliminerais finos como resposta à estimulação ótica. No que respeita à fração de poliminerais grosseiros essa tendência não é observada.

No caso da fossa 30 (pontos azuis) observa-se a diminuição da dose absorvida aparente da base para o topo da sequência, de forma mais evidente como resposta ao TSL a elevada temperatura em todas as frações e ao OSL nas frações grosseiras.

Na fossa 28 (pontos cinzentos) a tendência de diminuição da dose absorvida aparente da base para o topo verifica-se apenas na fração enriquecida em quartzo como resposta ao IRSL e ao TSL de elevada temperatura.

Neste conjunto de frações recolhidas no Outeiro Alto não se verifica a correlação entre a dose absorvida aparente e o teor em calcite nas amostras, o que pode indicar um menor efeito de sobrevalorização da dose absorvida por parte da calcite presente na amostra total.

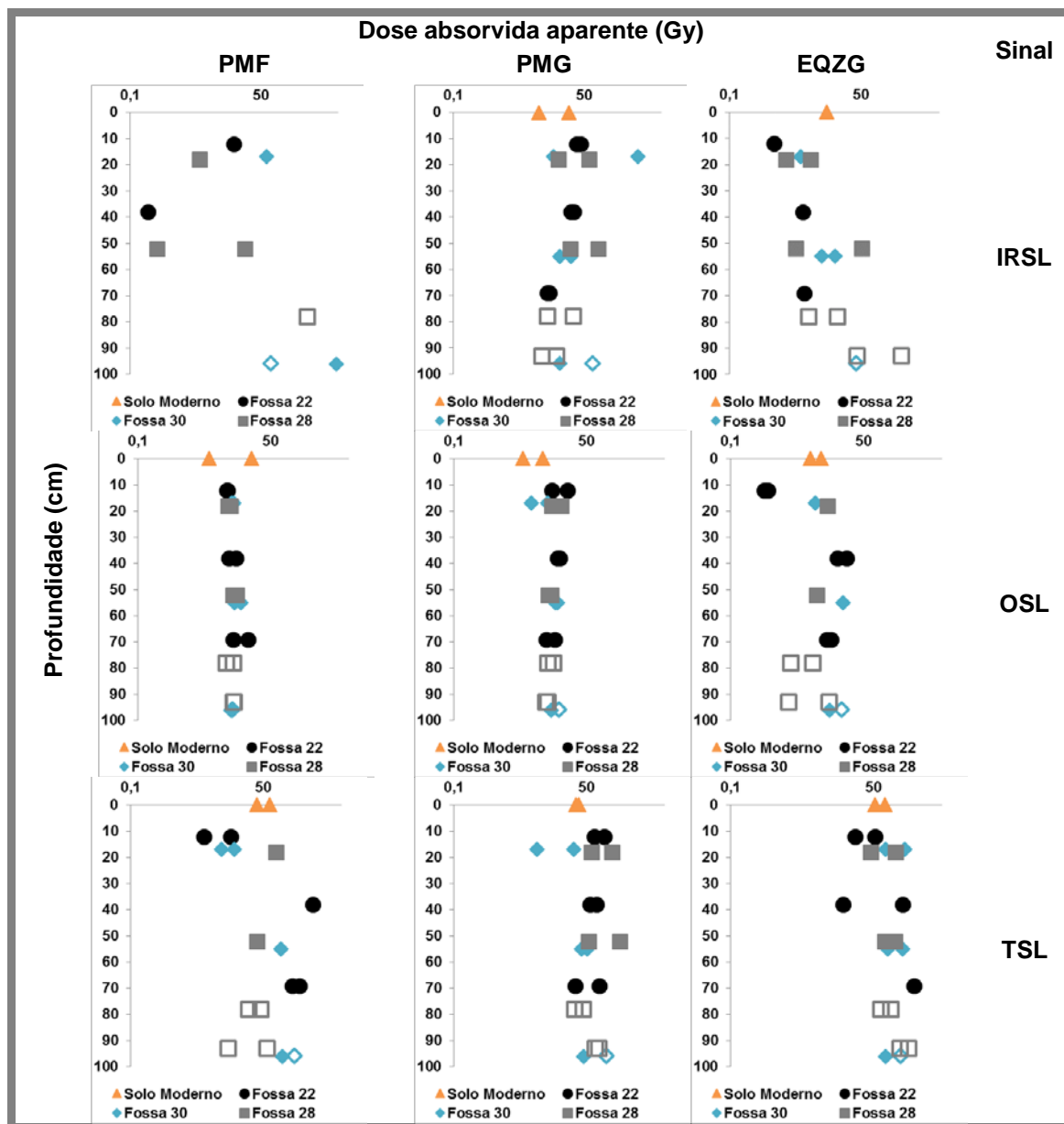


Figura 5.118 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil nas fossas do Outeiro Alto e solo moderno: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e solo moderno a laranja. Os pontos vazios correspondem às amostras de perfil recolhidas no nível correspondente ao preenchimento inicial e os pontos cheios correspondem às amostras de perfil no nível correspondente ao preenchimento por coluvião.

5.4.4.2 Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraído das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datar (OA2 – OA4) recolhidas na fossa 22, no hipogeu 4/5 e na fossa 30, foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração enriquecida em quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro ao OSL é mais elevada (355 - 452 x 10³ contagens Gy⁻¹ g⁻¹) que a observada para pico a 110°C do QZG no TSL (2,79 – 4,00 x 10³ contagens Gy⁻¹ g⁻¹). O quartzo grosseiro extraído da amostra OA4, recolhida na fossa 30 é o que apresenta uma sensibilidade maior tanto ao OSL com ao TSL (pico a 110 °C) enquanto a amostra OA2 recolhida na fossa 22 apresenta a sensibilidade mais baixa (Tabela 5.14).

Tabela 5.14 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas nas fossas 22 e 30 e no hipogeu 4/5 no Outeiro Alto.

Amostra	Contexto	Sensibilidade (contagens Gy ⁻¹ g ⁻¹) x 10 ³	
		OSL	TSL (pico a 110°C)
OA2	Preenchimento por coluvião fossa 22	355	2,79
OA3	Preenchimento no hipogeu 4/5	382	2,83
OA4	Preenchimento inicial fossa 30	452	4,00

5.4.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico Outeiro Alto foram selecionadas 4 amostras para datação por luminescência (OA1 – OA4), duas delas recolhidas no preenchimento inicial das fossas 22 e 30, OA2 e OA4, respetivamente, uma no preenchimento por coluvião da fossa 22, OA2 e uma no preenchimento do acesso ao hipogeu 4/5, OA3. De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiros e finos e a estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra.

5.4.5.1 Determinação da dose absorvida

5.4.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida, os grãos de quartzo grosseiro obtidos foram sujeitos a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na Figura 5.119. Desta forma estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação das amostras e verificou-se que a razão dos sinais IRSL/OSL era bastante baixa o que indicou que o material analisado era essencialmente composto por grãos de quartzo (com exceção da amostra OA4 recolhida no preenchimento inicial da fossa 30). Verificou-se a maior semelhança entre a sensibilidade e a dose absorvida aparente dos grãos de quartzo grosseiros nas amostras correspondentes aos níveis de preenchimento inicial da fossa 22, OA1, e a amostra de preenchimento do hipogeu, OA3. No que respeita às

amostras recolhidas na fossa 22, OA1 e OA2, verifica-se uma dose absorvida aparente mais elevada na amostra do preenchimento inicial (OA1) face à amostra recolhida no preenchimento por coluvião que terá sido depositada mais recentemente (OA2).

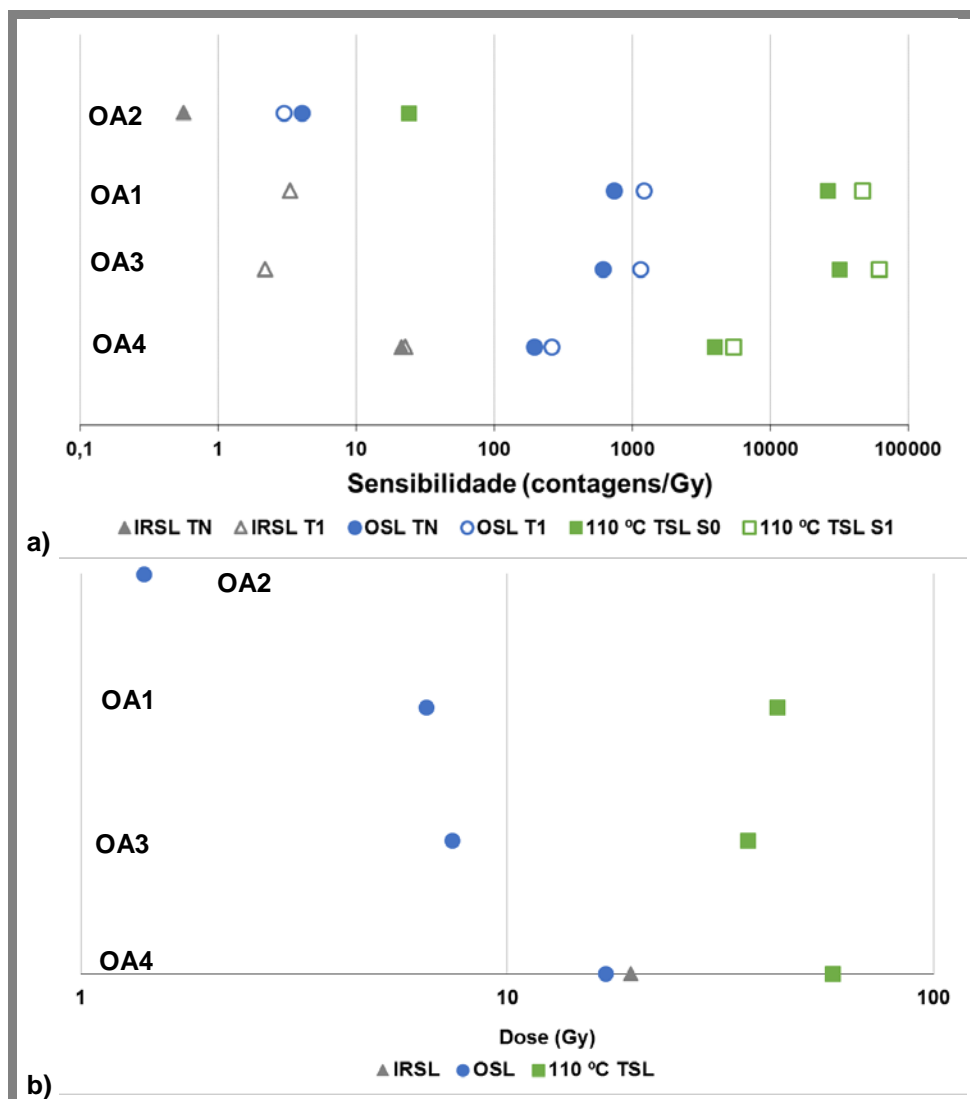


Figura 5.119 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo grosseiro nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (OA1 – OA4), recolhidas nsa fossas 22, 30 e 28 e no hipogeu 4/5 no Outeiro Alto.

5.4.5.1.2 Testes iniciais nos grãos de quartzo fino

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida os grãos de quartzo grosseiro obtido foram sujeitos a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na Figura 5.120. Verificou-se que a razão dos sinais IRSL/OSL era, no geral, baixa o que indicou que o material analisado era essencialmente composto por grãos de quartzo.

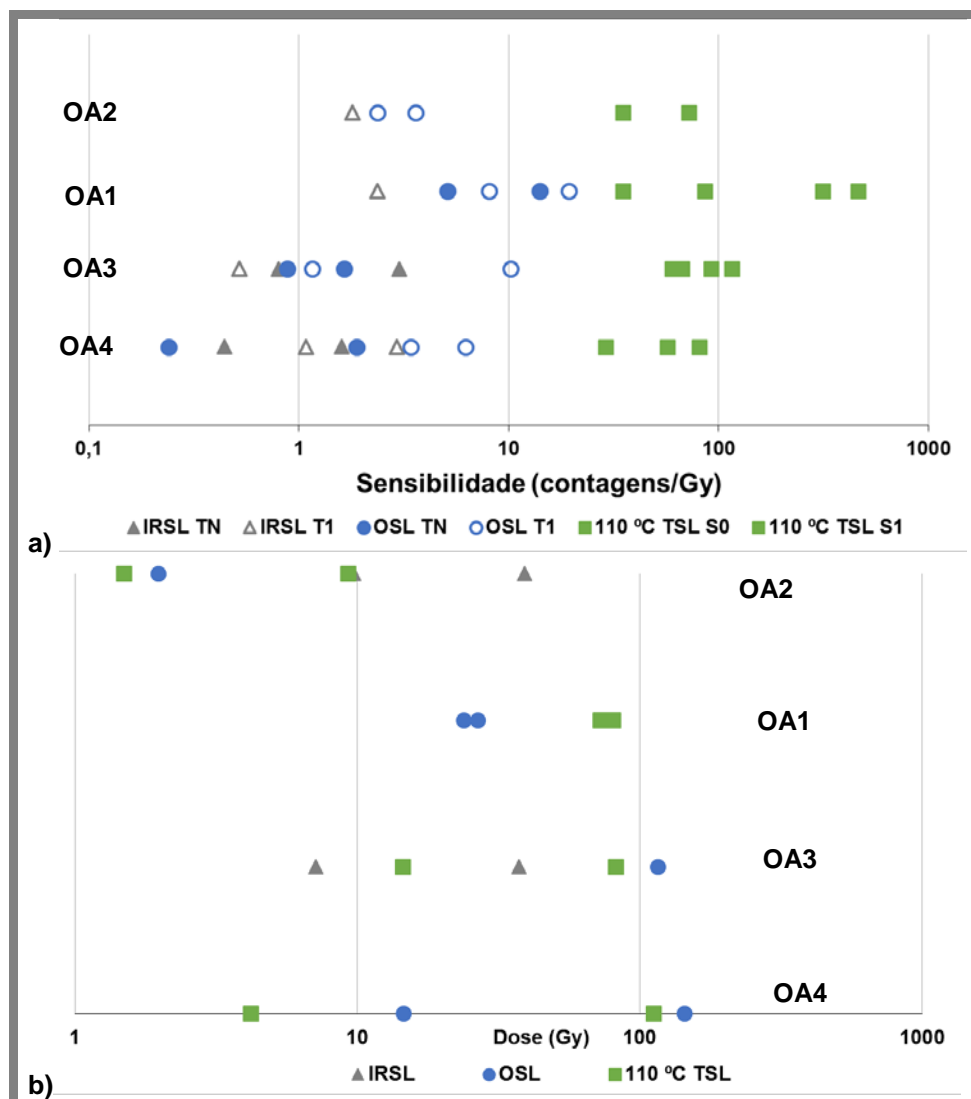


Figura 5.120 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo fino nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento selecionadas para datação (OA1 – OA4), recolhidas nsa fossas 22, 30 e 28 e no hipogeu 4/5 no Outeiro Alto.

5.4.5.1.3 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL, verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvida para as amostras é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho nos gráficos da Figura 5.121).

As amostras recolhidas na fossa 22 apresentam uma maior raiz quadrada do sinal de teste, assim como uma maior dispersão dos valores de dose absorvida, nomeadamente a amostra OA2, representativa do nível de preenchimento por coluvião. A maior dispersão de dose absorvida ocorre na amostra OA2 para as alíquotas sujeitas a temperaturas de pré-aquecimento de 200°C e 260°C (Figura 5.121). Esta maior dispersão, em especial para doses mais elevadas conduz a um valor de dose absorvida superior nesta amostra (15 ± 1 Gy) do que na amostra do nível de preenchimento inicial OA1 ($12,9 \pm 0,4$ Gy), contrariando o observado nos testes iniciais que indicava a amostra OA2 como mais recente (Tabela 5.15). Retirando dos cálculos os valores de dose mais

elevados, correspondentes às temperaturas de pré-aquecimento de 200°C e 260°C, a dose absorvida pelo quartzo grosseiro da amostra OA2 diminui para 12,8 Gy, o que estará mais de acordo com o esperado para esta amostra, visto se encontrar num nível mais superficial da sequência estratigráfica e portanto foi necessariamente depositada mais tarde. As razões de reciclagem para estas amostras centram-se em 1, havendo maior dispersão nas alíquotas sujeitas ao pré-aquecimento a 280°C. Para a amostra OA2, dada a maior dispersão, a percentagem de incerteza é superior ao verificado na amostra OA1 (Tabela 5.15).

A amostra recolhida no preenchimento inicial da fossa 30, OA4, apresenta uma dose absorvida de $12,9 \pm 0,4$ Gy com uma percentagem de incerteza de 4% (Tabela 5.15). Nesta amostra as razões de reciclagem centram-se na unidade (Figura 5.121).

A amostra recolhida no preenchimento do hipogeu, OA3, apresenta uma dose absorvida de $9,5 \pm 0,7$ Gy com uma percentagem de incerteza de 7% (Tabela 5.15), com uma maior dispersão de valores de dose absorvida nas alíquotas sujeitas a pré-aquecimento a 200 e 220°C. Tal como nas restantes amostras as razões de reciclagem centram-se na unidade (Figura 5.121).

Tabela 5.15 Dose absorvida pelo quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	OA2	OA1	OA3	OA4
Dose absorvida (Gy)	15	12,9	9,5	12,9
Incerteza	1	0,4	0,7	0,4
% Incerteza	7	3	7	4

As doses elevadas obtidas para estas amostras, nomeadamente para as amostras recolhidas nas fossas, pode indicar uma grande contribuição de sinais residuais no quartzo. Podemos assim considerar que após deposição deste material nas fossas, não houve tempo de exposição à luz que permitisse a sua remoção, tendo estes materiais sido coberto rapidamente pelo nível de preenchimento seguinte. Este facto poderá contribuir para uma sobrestimativa da idade relativamente ao esperado.

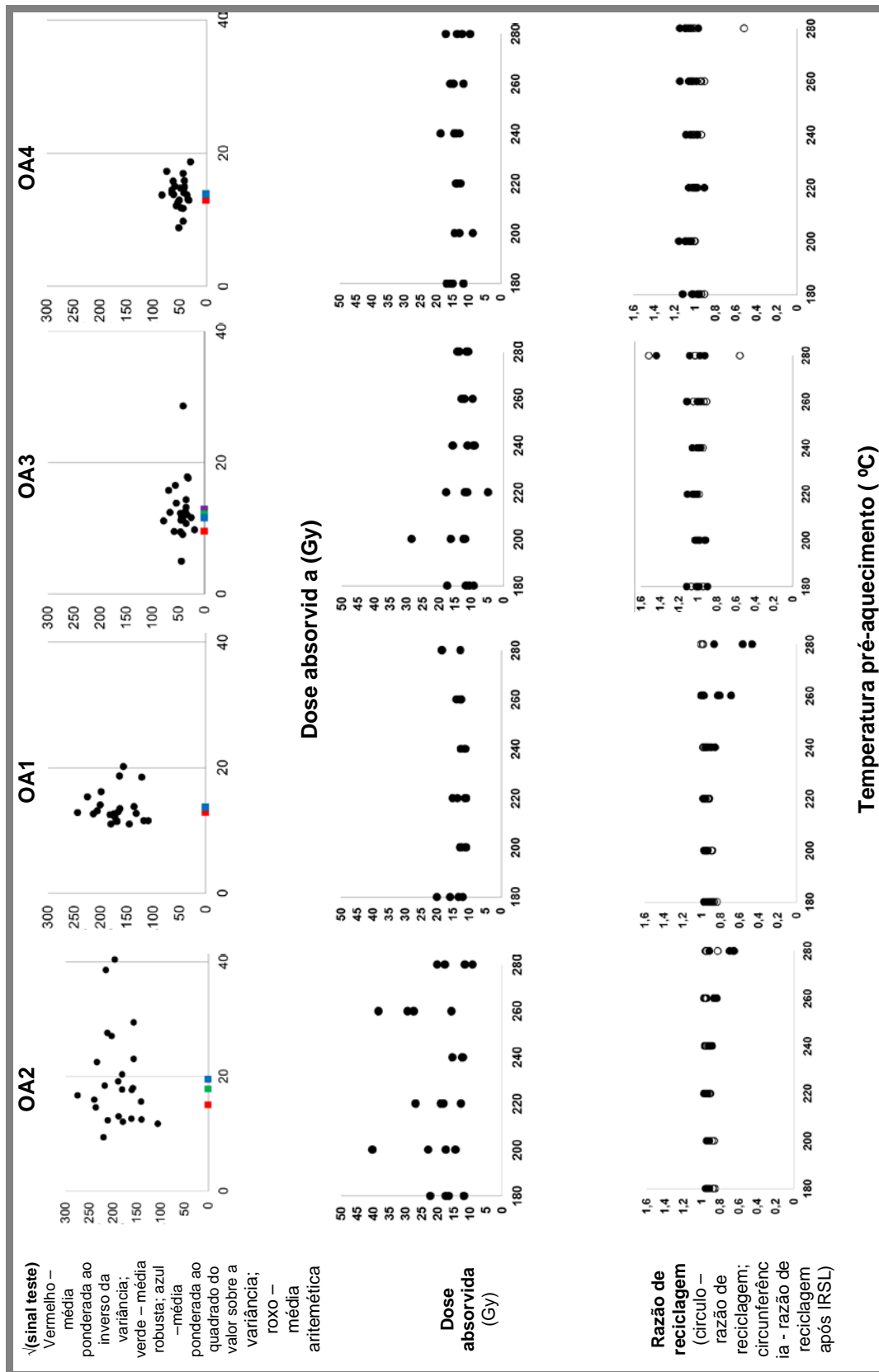


Figura 5.121 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação OA1 – OA4 recolhidas no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto.

5.4.5.1.4 SAR – OSL nos grãos de quartzo fino

Precedendo para os grãos de quartzo fino das amostras do Outeiro Alto como para as amostras de quartzo fino recolhidas em Covas utilizou-se uma gama de doses mais extensa no protocolo SAR para irradiação das amostras (sequência II aplicada após sequência I).

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL para os grãos de quartzo finos verificou-se que a média que melhor representa a distribuição de valores de doses absorvida para as amostras é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho nos gráficos da Figura 5.122, a) sendo também o cálculo de média com menores incerteza para cada uma das amostras.

Para os grãos finos de quartzo das amostras recolhida na fossa 22 obtiveram-se doses absorvida de 23 ± 1 Gy para a amostra recolhida no nível de preenchimento inicial (OA1) e de $12,5 \pm 0,6$ Gy para a amostra recolhida no preenchimento por coluvião (OA2) (Tabela 5.16), sendo maior a dispersão de valores, e portanto a incerteza, na amostra OA1. As doses absorvidas fazem sentido estratigraficamente, sendo mais elevadas que as observadas para os grãos de quartzo grosseiros. As razões de reciclagem apresentam maiores dispersões em torno da unidade do que o verificado para os grãos grosseiros, o que deverá estar relacionado com a menor sensibilidade dos grãos finos.

A amostra OA4, que corresponde ao preenchimento inicial da fossa 30 apresenta uma dose absorvida de $12,8 \pm 0,5$ Gy com uma percentagem de incerteza de 4% fruto da pequena dispersão de valores de dose absorvida.

A amostra OA3 recolhida no preenchimento do hipogeu 4/5 apresenta uma dose absorvida de $11,9 \pm 0,5$ Gy com uma incerteza de 4 % fruto da pequena dispersão de valores de dose absorvida fruto da pequena dispersão de valores de dose absorvida.

As razões de reciclagem apresentam maiores dispersões em torno da unidade do que o verificado para os grãos grosseiros, nomeadamente nas amostras recolhidas na fossa 22, OA1 e OA2.

Relativamente à dose absorvida determinada a amostra recolhida no preenchimento inicial da fossa 22, OA1, apresenta um valor mais elevado (23 Gy) utilizando os grãos finos de quartzo que o obtido usando os grãos grosseiros (12,9 Gy). Na amostra recolhida no nível de preenchimento por coluvião, OA2, a tendência é a inversa, a dose é mais elevada quando determinada a partir dos grãos grosseiros. Os grãos finos de quartzo da amostra recolhida no hipogeu, OA3, apresentam uma dose absorvida mais elevada (11,9 Gy) que os grãos grosseiros (9,5 Gy). No caso da amostra recolhida no preenchimento inicial da fossa 30, OA4, as doses obtidas a partir dos grãos finos é idêntica à determinada a partir dos grãos grosseiros.

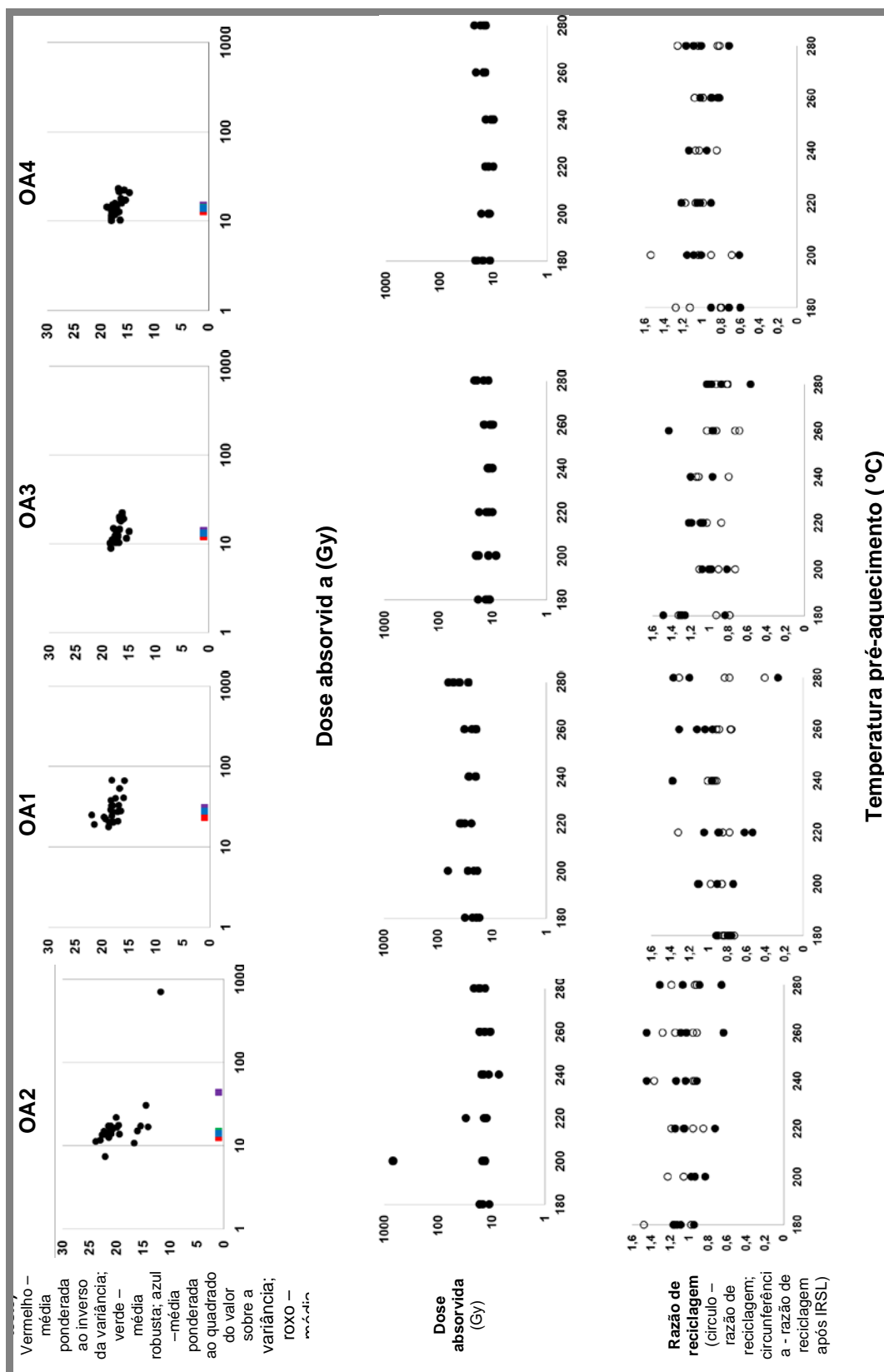


Figura 5.122 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento seleccionadas para datação OA1 – OA4 recolhidas no preenchimento das estruturas negativas no Outeiro Alto.

Tabela 5.16 Dose absorvida pelo quartzo fino das amostras de materiais de preenchimento das estruturas negativas do Outeiro Alto determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	OA2	OA1	OA3	OA4
Dose absorvida (Gy)	12,5	23	11,9	12,8
Incerteza	0,6	1	0,5	0,5
% Incerteza	5	6	4	4

5.4.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose foi determinada atendendo à utilização de grãos finos e grosseiros de quartzo para a datação. Assim, para a determinação da taxa de dose nos grãos finos considerou-se que a eficácia da radiação alfa é de $4,9 \pm 0,3\%$ Gy/ka (Anexo V). A taxa de dose determinada para as amostras oscila em torno de 1,8 Gy/ka, sendo sempre ligeiramente mais elevada quando são considerados os grãos de quartzo fino (Tabela 5.17). Apesar destas estruturas se encontrarem escavadas em calcreto, os materiais de preenchimento das estruturas não apresentam teores muito elevados de calcite e a taxa de dose não é tao baixa como nos restantes sítios arqueológicos com o mesmo tipo de substrato (Capítulo 5.1, 5.2 e 5.3).

Tabela 5.17 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas nas estruturas negativas do Outeiro Alto, atendendo às aproximações necessárias para a determinação em grãos finos e grosseiros.

		QZG				QZF			
Amostras		OA2	OA1	OA3	OA4	OA2	OA1	OA3	OA4
Taxa de dose	Gy/ka	1,5	1,7	1,6	1,8	1,6	2,0	1,9	2,2
	±	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
	% Incerteza	8	7	7	9	7	5	6	7

5.4.5.3 Estimativa da idade - interpretação

A idade estimada para o quartzo grosseiro das amostras encontra-se entre os $5,9 \pm 0,6$ ka e os 10 ± 1 ka com percentagens de incerteza entre 3% e 7%. Usando as determinações feitas com os grãos finos de quartzo, a idade estimada encontra-se entre os $6,0 \pm 0,5$ ka e os $11,5 \pm 0,9$ ka com percentagens de incerteza entre 7% e 12%.

Na fossa 22 as estimativas de idade obtidas a partir de grãos finos e grãos grosseiros são de cerca de 7.5 ka e cerca de 11 ka, respetivamente (Tabela 5.18). Porém, os valores nem são consistentes considerando a fração granulométrica nem a estratigrafia. Isto pode relacionar-se com a mistura de materiais mais antigos quando a fossa foi preenchida, não tendo decorrido tempo suficiente para que os sinais OSL residuais fossem removidos.

Note-se que este fato reforça a importância de se usarem diferentes frações granulométricas e mineralógicas do mesmo material por forma a obter resultados de datação de maior confiança.

Considerando a amostra OA4, recolhida no preenchimento inicial da fossa 30, a idade obtida é menor (6,0 ka) considerando os grãos finos face aos grosseiros de quartzo (7,3 ka).

A amostra recolhida no hipogeu, OA3 apresenta uma idade maior quando se consideram os grãos finos (6,2 ka) do que considerando os grãos grosseiros (5,9 ka), sendo esta a amostra a que apresenta uma diferença menor entre a idade estimada usando as frações de quartzo de granulometria diferente.

As diferenças obtidas usando frações de quartzo com granulometrias diferentes podem indicar diferentes processos de exposição à luz nas diferentes frações. Estas diferenças podem também relacionar-se com diferentes origens para os materiais de diferentes granulometrias. Reforça-se aqui novamente a importância de se determinarem idades em diferentes frações granulométricas e mineralógicas.

O período atribuído pelos arqueólogos para a utilização destas estruturas aponta para o Neolítico Final, entre os 5,4 ka e os 4,9 ka, e neste sentido as idades estimadas encontram-se sobrevalorizadas. Esta sobrevalorização poderá estar relacionada com as doses absorvidas elevadas, fruto da presença de sinais residuais do Quaternário que não foram removidos, mas que não deverão estar relacionados com a presença de calcite na amostra total. Este facto é fundamentado pela ausência de correlação entre a dose aparente das amostras de perfil e o teor em calcite na amostra total. A presença de sinais residuais do Quaternário deverá ser fruto do preenchimento rápido da estrutura que não proporcionou tempo de exposição à luz suficiente para a remoção do sinal.

Tabela 5.18 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas nas estruturas negativas no Outeiro Alto utilizando o protocolo SAR – OSL em grãos de quartzo finos (QZF) e grosseiros (QZG).

Amostras	QZG				QZF			
	OA2	OA1	OA3	OA4	OA2	OA1	OA3	OA4
Idade (ka)	10	7,5	5,9	7,3	7,7	11,5	6,2	6,0
±	1	0,6	0,6	0,7	0,6	0,9	0,4	0,5
% Incerteza	7	3	7	4	8	8	7	12

Para a estimativa da idade aparente, usando a dose absorvida aparente da fração enriquecida em quartzo grosseiro considerou-se a taxa de dose para os grãos grosseiros de quartzo atendendo à relação das amostras de perfil com as amostras de datação (considerando o nível de preenchimento em cada fossa). É de notar que, uma vez que as doses absorvidas observadas nas amostras de datação são entre 10 e 20 Gy, é de esperar que os valores semiquantitativos das medições nas amostras de perfil subvalorizam ligeiramente a dose absorvida (e portanto idade aparente), devido aos efeitos de saturação da resposta a dose (Figura 5.123).

Na fossa 28 as idades aparentes do preenchimento inicial apontam para materiais cuja última exposição à luz deverá ter ocorrido durante o Neolítico Médio, já na transição para o Neolítico Final. Os materiais recolhidos no topo da sequência de preenchimento (a cerca de 20 cm de profundidade) apontam para idades no período do Calcolítico. Se o preenchimento decorreu rapidamente, a idade obtida para os materiais depositados no topo da sequência representará melhor o evento de colmatação da fossa.

No caso dos materiais amostrados no encerramento do corredor de acesso ao hipogeu, OA3, a última exposição à luz parece ter ocorrido durante o Neolítico Médio.

As amostras OA1 e OA2, recolhidas na fossa 22 apresentam idades estimadas muito superiores ao expectável, tanto considerando as indicações dos arqueólogos como em relação às idades aparentes determinadas para a fração enriquecida em quartzo grosseiro recolhidas nas amostras de perfil. Em relação às amostras de perfil verifica-se que da base ao topo do preenchimento a idade aparente diminui, oscilando entre idades anteriores ao Neolítico até idades no limite do Início da Idade do Bronze.

Na fossa 30, a idade aparente aponta para que o preenchimento inicial tenha ocorrido no Calcolítico, sendo de seguida coberto com materiais expostos pela última vez à luz durante o Neolítico. A amostra do topo da sequência apresenta uma idade aparente entre o Neolítico final e o Calcolítico. Tal como na fossa 28, se o preenchimento decorreu rapidamente, a idade obtida para os materiais depositados no topo da sequência representará melhor o evento de colmatação da fossa.

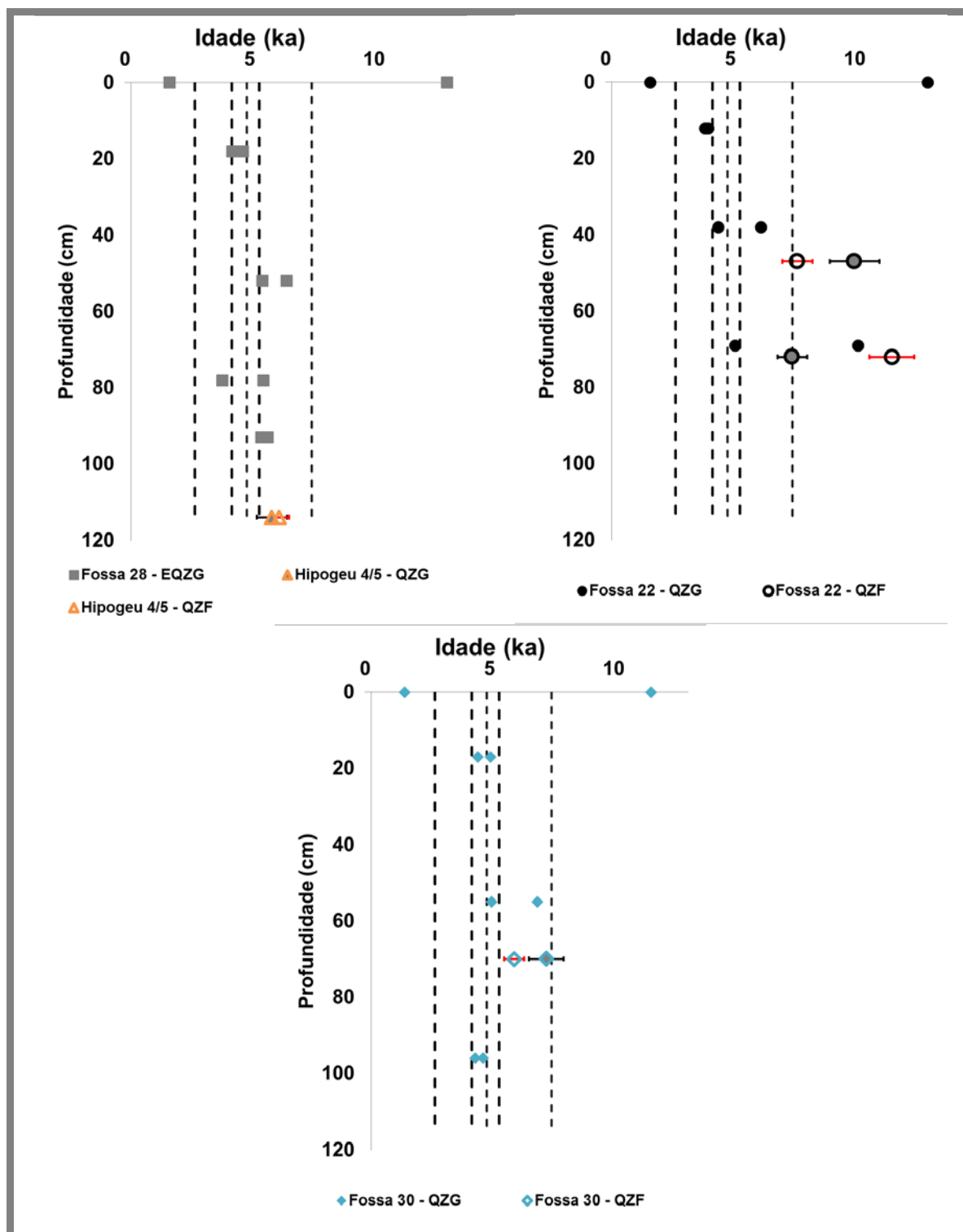


Figura 5.123. Distribuição da idade estimada com a profundidade, com indicação dos períodos entre o Neolítico e a Idade do Bronze, em cada uma das estruturas: fossa 22 a preto, fossa 30 a azul, fossa 28 a cinzento e hipogeu 4/5 a laranja. Os pontos maiores representam a idade obtida para as amostras selecionadas para datação aplicando o protocolo SAR-OSL nos grãos de quartzo grosseiros (cheios a cinzento) e os grãos de quartzo fino (vazios). A idade das amostras de perfil (pontos cheios) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em quartzo grosseiro nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade em cada estrutura foi a determinada para as amostras OA1 – OA4 sendo aplicada as amostras de perfil consideradas da mesma fase de preenchimento de cada uma das estruturas.

5.4.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

A partir das indicações obtidas pelo estudo da granulometria, mineralogia e geoquímica verifica-se não existir uma correlação entre o substrato geológico e os materiais de preenchimento. Esta evidência é mais marcada na relação do calcreto com os materiais de preenchimento inicial (menos carbonatados, menos compactos e mais finos). A presença de feldspatos, nomeadamente potássicos, nos materiais de preenchimento, bem como de pequenas proporções de micas evidenciam que os materiais de preenchimento deverão ter sido transportados para o local. O mesmo se pode verificar quanto à mineralogia da fração argilosa. A presença de paligorskite não foi detetada nos materiais de preenchimento que apresentaram associações mineralógicas onde domina a presença de illite. Contudo, a presença de dolomite nos materiais de preenchimento inicial, bem como a presença de esmectite revelam alguma contribuição do material geológico no preenchimento destas estruturas.

No que respeita à distinção entre os materiais recolhidos no preenchimento inicial e no preenchimento por coluvião destaca-se a composição mais enriquecida em Ca, Br e I na amostra total dos materiais depositados por coluvião onde a presença de um maior número de nódulos de calcreto foi identificada durante a amostragem.

As fossas estudadas fazem parte de um conjunto mais vasto de estruturas negativas utilizadas como fundação para postes de madeira sendo o seu preenchimento feito de forma intencional (Valera e Filipe, 2012). O fato de as fossas estarem preenchidas com materiais de origem externa ao local (composição química e mineralógica distinta do calcreto) pode corroborar esta interpretação de preenchimento intencional com materiais que possivelmente, por conterem uma maior proporção de material fino e argiloso promovia um melhor suporte para a base dos postes de madeira. No caso dos materiais recolhidos no acesso à cripta do hipogeu 4/5, são também mais finos e argilosos e com uma composição química e mineralógica distinta do calcreto local, confirmando a sua deposição intencional, eventualmente com o intuito de selagem da entrada para a cripta, uma vez que estes materiais se encontravam cobertos por lajes de mármore e blocos de calcreto e mármore.

Os dados estratigráficos destas três fossas indicaram que a fossa terá sido colmatada num curto espaço de tempo, indiciando uma ação antrópica intencional (Filipe, 2009). Esta informação é corroborada pelo observado na resposta ao OSL, em especial nas frações de poliminerais, não se verificando grande oscilação da dose aparente ao longo do perfil em cada uma das fossas. A colmatação rápida das estruturas terá consequências na remoção ineficiente do sinal geológico (ou do sinal arqueológico do material da superfície em torno das estruturas utilizado para o seu preenchimento), conduzindo a doses absorvidas mais elevadas. Não se tendo observado uma correlação entre as doses absorvidas aparentes, determinadas para a fração enriquecida em quartzo grosseiro, e o teor em calcite na amostra total, o fato de se obterem doses absorvidas elevadas, e por conseguinte idades mais elevadas do que o esperado, estará relacionado com a impossibilidade de remoção do sinal residual do geológico durante o processo de encerramento das estruturas, permitindo que o sinal referente à última exposição não fosse totalmente removido. Neste sentido, corroboram-se as indicações de que o preenchimento terá decorrido rapidamente, e com material exterior ao local.

Enquanto os resultados mais jovens obtidos para as amostras de datação pertencem ao Neolítico final, considerando as idades aparentes obtidas para os materiais recolhidos no topo das sequências de preenchimento das fossas pode apontar-se para que tenham ocorrido a deposição de material que cobriu o preenchimento das estruturas (eventualmente por coluvião) durante o Calcolítico.

A aplicação da abordagem efectuada para as amostras recolhidas nos sítios arqueológicos do Monte Carrascal, Monte de Cortes e Covas com o objetivo de delimitar os efeitos máximos da calcite (Capítulo 4), conduziria, nas amostras do Outeiro Alto a uma diminuição da idade das amostras que colocaria a amostra OA3, recolhida no hipogeu no período do Calcolítico com cerca de 4,7 ka, as amostras OA1 e OA2, recolhidas na fossa 22 no período entre os 9 ka e os 6 ka e a amostra OA4, recolhida na fossa 30 no período ente os 5,8 ka e os 4,6 ka. Com esta abordagem, a idade da amostra recolhida no hipogeu enquadra-se no período do Calcolítico, bem como o preenchimento da fossa 30, posterior ao expectável (Valera et al, 2010b; Valera e Filipe, 2010). O preenchimento da fossa 22 enquadrar-se-ia no Neolítico Final, o período expectável porém, com indicações de sinais OSL residuais. A projeção desta abordagem para os resultados dos perfis do topo das sequências indicava acumulação do material já na Idade do Bronze (Figura 5.124).

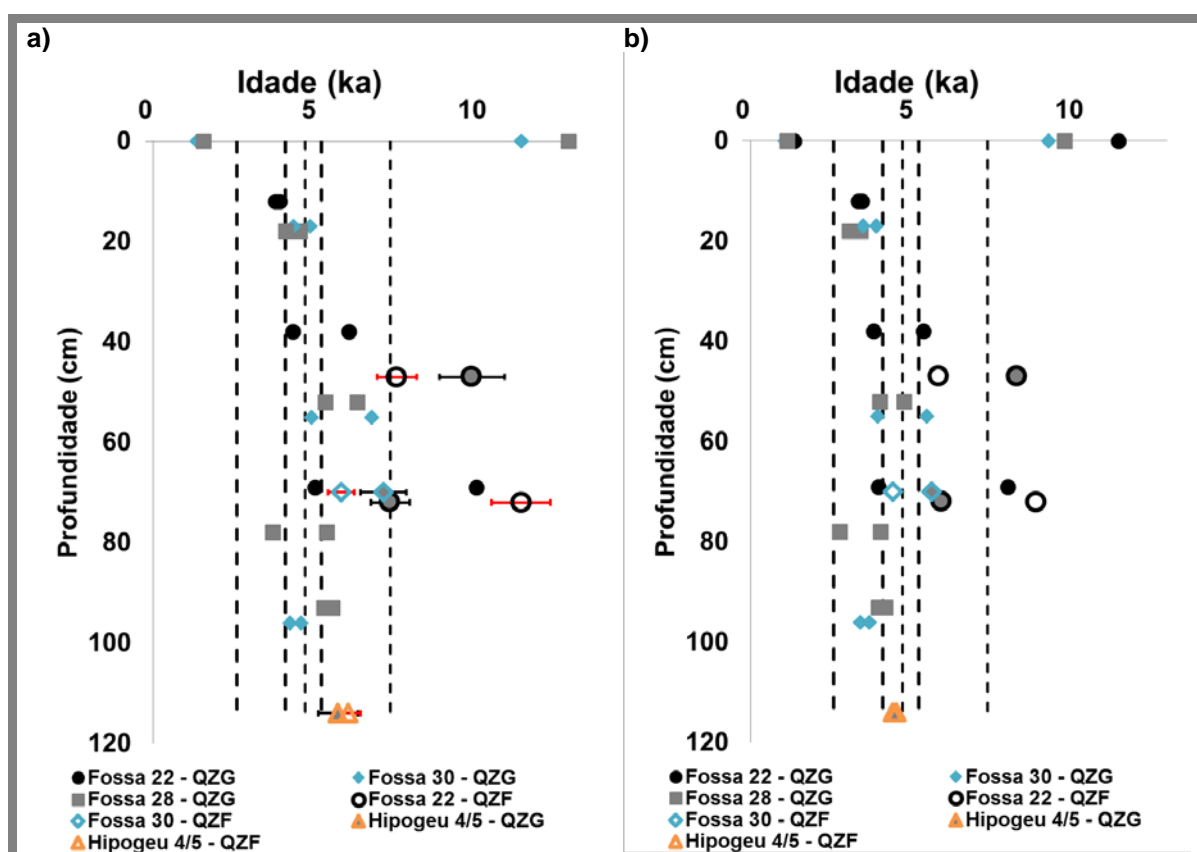


Figura 5.124 Projecção das idades aparentes e estimadas em função da profundidade e com indicação dos períodos correspondentes ao Neolítico Final, Neolítico Médio e Antigo, Calcolítico e Idade do Bronze: a) dateterminações efectuadas; b) idades especuladas a partir da hipótese de remoção total da calcite do meio.

5.5 Horta dos Quarteirões

Na Horta dos Quarteirões foram estudados os materiais de preenchimento da área de intersecção de dois fossos, que apresentavam variações macroscópicas do teor em nódulos de calcreto, coloração e grau de alteração. Estudaram-se também os materiais de dois perfis de alteração do substrato geológico (calcreto pedogénicos com material detrítico onde abundam fragmentos de xisto com diferentes níveis de alteração) e uma amostra de uma fácies mais carbonatada.

5.5.1 Granulometria

Analisando os teores em cada fração granulométrica dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões (Anexo II) observa-se que os materiais representativos da geologia local recolhidos nos perfis de calcreto (Ha – Hc no perfil Norte e Hd – Hg no perfil Sul) e na amostra da fácies mais carbonatada (Hh) são maioritariamente compostos por materiais de granulometria acima dos 2 mm que corresponde a cascalho, essencialmente constituído por fragmentos de xisto angulosos. Tanto no perfil Norte como no perfil sul verifica-se a diminuição da fração > 2 mm da base para o topo (75% < cascalho < 85% no perfil Norte e 85% < cascalho < 70% no perfil Sul).

A interpretação granulométrica terá como base a amostra total (< 2 mm) deste material detrítico. A fração granulométrica correspondente a areia (2 mm – 63 µm) tende a aumentar da base para o topo dos perfis. Na amostra Hh (fácies mais carbonatada, recolhida na superfície, junto ao solo) a granulometria das frações mais grosseiras assemelha-se ao verificado na base dos perfis Norte e Sul. Os materiais de preenchimento da fossa (H1 e H2) apresentam igualmente uma elevada proporção de material grosseiro, que aumenta da base para o topo da sequência de preenchimento (73% < cascalho < 80% e 7% < areia < 8%). Através da projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard (Figura 5.125, a), é possível classificar todos os materiais recolhidos na Horta dos quarteirões como areia. As curvas granulométricas da amostra total evidenciam que as amostras recolhidas nos níveis intermédios de cada um dos perfis (Hb no perfil Norte e He e Hf no perfil Sul) bem como a amostra da fácies mais carbonatada (Hh) apresentam-se uma melhor graduação, sendo este facto confirmado pelo valor do coeficiente de curvatura (C_c) da curva granulométrica que nesta amostra varia entre 1 e 3 (Norma ASTM International – D2487 -06 e Powrie, 2014) (Figura 5.125, b).

Os materiais finos (<63 µm) representam uma pequena proporção das amostras e, dentro destes a fração com maior expressividade é a argilosa que aumenta da base para o topo das sequências, nos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos (6% - 10%) e nos materiais recolhidos no perfil Sul (1% - 9%) e a fração de silte fino (20 µm – 2 µm) nos materiais do perfil Norte (3% - 6%) e na amostra Hh (2%) (Figura 5.125, c). As curvas granulométricas da fração <63 µm dos materiais recolhidos, (Figura 5.125, d) permitem distinguir três conjuntos de perfis de distribuição das partículas finas. O material fino recolhido no topo do perfil Norte Hc e nos materiais de preenchimento H1 e H2 apresentam uma curva em S ligeiramente mais suavizada indicando que o material fino destas amostras se encontra melhor graduado. Os materiais finos das amostras recolhidas nos materiais de transição para o calcreto lacustre Hh, na base do perfil Sul, Hd e He, e na base do perfil Norte, Ha e Hb, apresentam curvas em S mais verticalizadas

indicando que o material fino destas amostras se encontra menos graduado (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993). Os materiais finos das amostras recolhidas no tipo do perfil Sul, Hf e Hg, apesar de apresentarem curvas em S suavizadas, não se podem considerar bem graduados visto compreenderem uma grande proporção de material inferior a $0,1 \mu\text{m}$ (cerca de 40%).

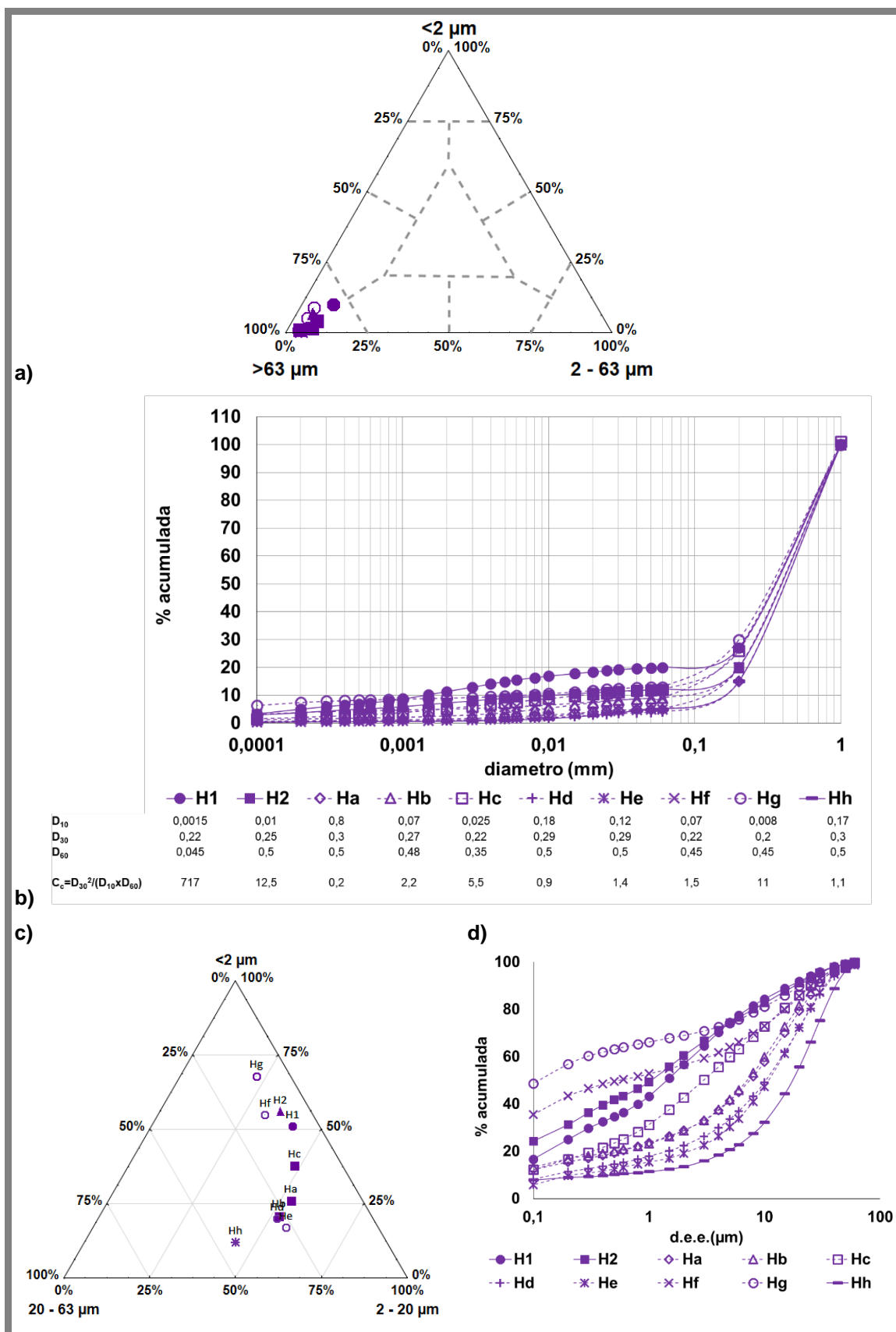


Figura 5.125 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (<math><63 \mu\text{m}</math>) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <math><63 \mu\text{m}</math> para os materiais amostrados na Horta dos Quarteirões.

5.5.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para amostra total dos materiais (fração <2 mm) e fração argilosa das amostras estudadas, assim como a semiquantificação dos teores dos minerais presentes nas amostras encontram-se no Anexo III.

5.5.2.1 Amostra total

A fração <2 mm dos materiais recolhidos no perfil Norte apresentam uma associação mineralógica dominada pela presença de calcite (55% - 59%) que diminui da base para o topo. Associada à calcite detetou-se a presença de filossilicatos (24% - 32%) com uma pequena proporção de micas que aumenta da base para o topo, evidenciando uma maior meteorização dos fragmentos de xisto no topo, relativamente à base. Detetou-se ainda a presença de plagioclase (8% - 10%, maioritariamente albite), quartzo (traços na base e no nível intermédio e ~ 6% no topo), hematite (traços na base e no nível intermédio e ~ 4% no topo) e traços de feldspatos potássicos e dolomite na base e no topo (Figura 5.126, a). A fração <2 mm dos materiais recolhidos no perfil Sul, com exceção dos materiais recolhidos a 155 cm de profundidade, apresentam uma associação mineralógica dominada pela proporção de filossilicatos (33% - 75%), maioritariamente micas, que aumenta da base para o topo, indicando um aumento da alteração dos materiais neste sentido, o que corrobora a informação obtida no campo (diminuição do tamanho e do número de fragmentos de xisto e aumento do material fino, da base para o topo do perfil) (Figura 5.126, b). A proporção de calcite nos materiais do perfil Sul diminui da base para o topo (com exceção dos materiais recolhidos a 155 cm de profundidade). A proporção de plagioclase diminui da base para o topo (31% - 8%, maioritariamente albite) refletindo também a tendência para uma maior alteração dos materiais no topo. Os feldspatos potássicos (4%) e hematite (2%) apenas são detetados nas amostras recolhidas a 65 cm e 40 cm de profundidade. A presença de hematite nos materiais do topo está de acordo com a coloração laranja mais intensa verificada nestes materiais. Os materiais recolhidos a 155 cm de profundidade (amostra He) apresentam uma composição mineralógica mais rica em calcite (65%), à qual se associam plagioclase (22%) e filossilicatos (11%, maioritariamente micas mas em menor proporção que nos restantes materiais do perfil Sul). Foram ainda detetados na amostra He, recolhida a 155 cm de profundidade, traços de feldspatos potássicos e hematite. A fração <2 mm da amostra Hh (após remoção dos fragmentos de calcreto e xisto), representativa da fácies mais carbonatada, apresenta uma mineralogia dominada pela presença de plagioclase (maioritariamente albite, 48%), associada a calcite (36%), filossilicatos (13%, não se detetaram micas) e traços de quartzo e hematite (Figura 5.126, c).

A diferença encontrada na proporção dos minerais presentes no talude Sul e no talude Norte reflete a heterogeneidade deste tipo de depósitos detríticos. A composição mineralógica identificada na fração <2 mm da fácies mais carbonatada, amostra Hh, distinta da observada nos perfis, bem como as diferenças macroscópicas identificadas no campo, permitem dizer que a amostra Hh deverá ser já um material de transição entre os materiais detríticos carbonatados e a formação carbonatada da bacia de Moura caracterizada pela predominância de calcretos lacustres.

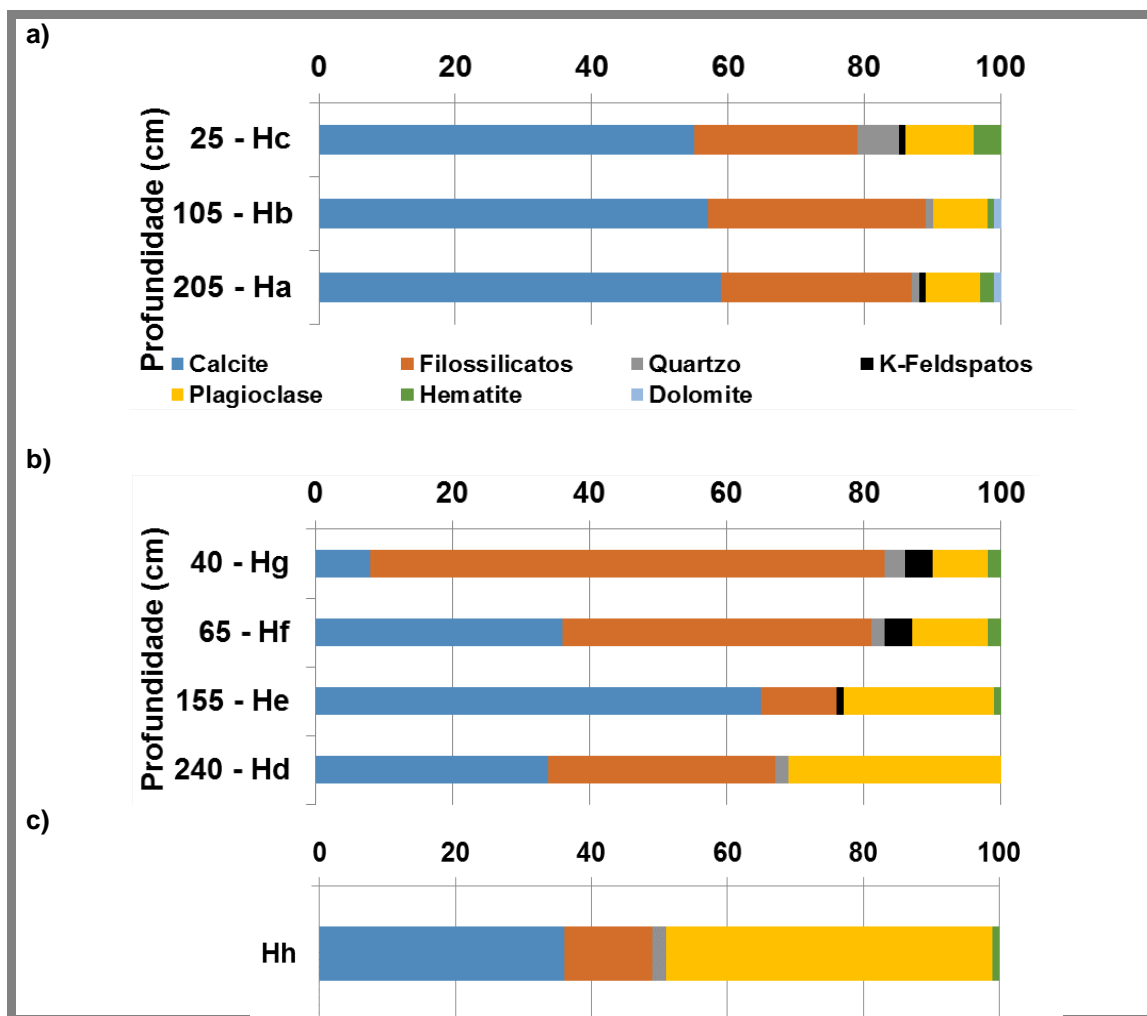


Figura 5.126 Composição mineralógica (%) da amostra total (fração <2 mm) dos materiais representativos da geologia na Horta dos Quarteirões, recolhidos no perfil Norte (a), no perfil Sul (b) e da fácies mais carbonatada (c).

A fração <2 mm da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de intersecção entre os fossos 1 e 2 na Horta dos Quarteirões, de um modo geral apresenta um conjunto de materiais mais carbonatados (65% <calcite <71%) que na sequência de preenchimento, onde alternam com materiais menos carbonatados (10% <calcite <46%) e a mineralogia é dominada pela presença de filossilicatos (39% - 64%) (Figura 5.127). Esta alternância na associação mineralógica está de acordo com a variação de cor e de teor em nódulos de calcreto identificados no campo. Os materiais recolhidos na base da sequência a 148 cm de profundidade (H1), correspondem ao preenchimento inicial do fosso 1 e apresentam uma proporção de calcite e filossilicatos (única amostra de preenchimento que apresenta micas) semelhante, pequenas proporções de quartzo e plagioclase e traços de hematite e dolomite. Os materiais recolhidos a 138 cm de profundidade, correspondentes ao preenchimento do fosso 1 por colapso de material geológico ou relacionados com a construção do fosso 2 (pH1), apresentam a maior proporção de calcite (70%), à qual se associam filossilicatos, uma pequena proporção de feldspatos potássicos e traços de quartzo. Os materiais recolhidos a 114 cm de profundidade e que correspondem à fase inicial de preenchimento simultâneo dos fossos (possivelmente por colapso de solo superficial, H2) apresentam uma mineralogia dominada pela presença de filossilicatos (50%) aos quais se associam a

calcite em menor proporção, quartzo (10%) e traços de plagioclase, hematite e dolomite. Do ponto de vista da composição mineralógica, estes materiais recolhidos a 114 cm de profundidade (H2) assemelham-se com os materiais recolhidos a 148 cm de profundidade (H1). Os materiais recolhidos a 108 cm de profundidade (pH2), que se relacionam com o colapso do substrato geológico da parede do fosso 1, apresentam uma composição mineralógica idêntica aos recolhidos a 138 cm de profundidade que possivelmente também se relacionam com colapso de material do substrato geológico. Os materiais recolhidos a 105 cm de profundidade, também relacionados com o preenchimento por colapso das paredes do fosso 1 (pH3), apresentam uma composição mineralógica distinta dos materiais recolhidos a 108 cm de profundidade, onde predominam os filossilicatos (44%), aos quais se associam a calcite e o quartzo em iguais proporções, uma pequena proporção de feldspatos potássicos e traços de hematite. Acima dos blocos de xisto recolheram-se, a 53 cm de profundidade materiais correspondentes ao preenchimento da área de intersecção dos fossos por coluvião (pH4). Na amostra total do coluvião detetou-se uma composição rica em calcite (65%) associada a uma menor proporção de filossilicatos (30%) e traços de quartzo, feldspatos potássicos e hematite. Lateralmente, relativamente ao perfil central amostrados, recolheu-se uma amostra, pH5, representativa do colapso dos materiais de preenchimento do fosso 2. Estes materiais, recolhidos a 72 cm de profundidade, apresentam uma associação mineralógica dominada pela calcite (71%) à qual se associa uma pequena proporção de filossilicatos e traços de quartzo, feldspatos potássicos e hematite. No topo do perfil, o solo moderno, pH6, apresenta uma composição mineralógica dominada pela presença de filossilicatos (64%) aos quais se associam o quartzo (22%) e a calcite (10%) e traços de feldspatos potássicos e hematite.

Há a reter que na fração <2 mm dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos se observa a alternância entre depósitos de materiais mais carbonatados e materiais menos carbonatados, e que a proporção de filossilicatos é sensivelmente igual em todos os níveis amostrados, com exceção dos materiais correspondentes ao solo moderno onde a proporção destes é superior. Nos materiais identificados no campo como menos carbonatados, apresentando menos nódulos de calcite e uma coloração mais escura, apresentam proporções ligeiramente maiores de hematite.

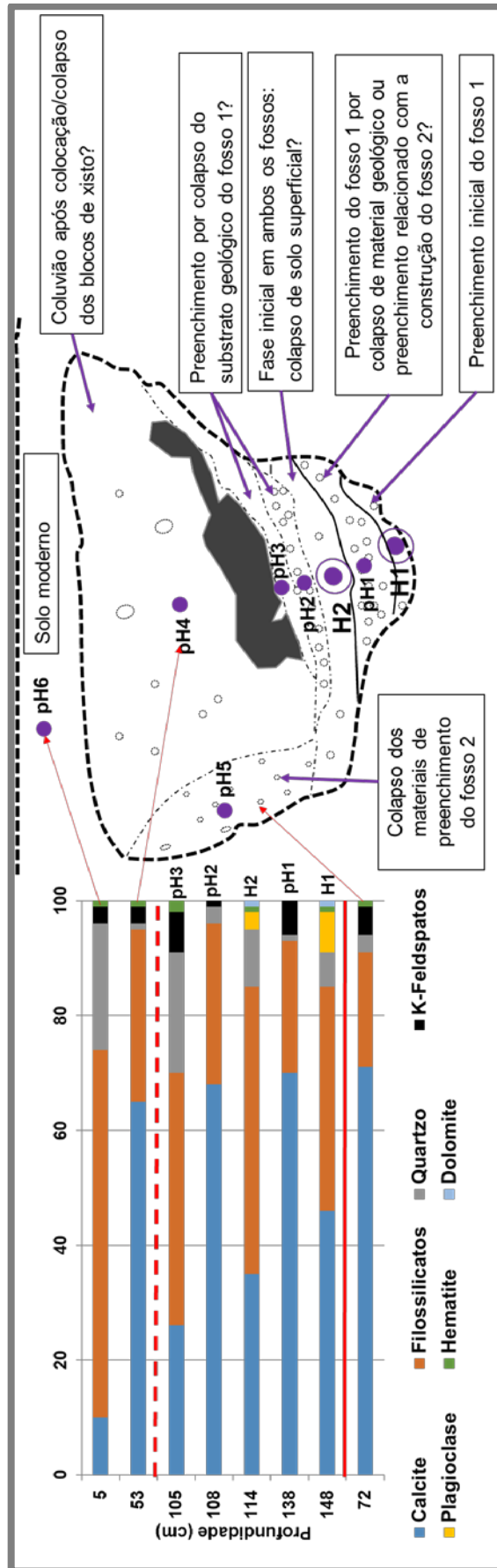


Figura 5.127 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos 1 e 2 na Horta dos Quarteirões.

5.5.2.1.1 Índices mineralógicos

O índice mineralógico de alteração (MIA) (Anexo III), no caso da fração < 2mm dos materiais recolhidos no perfil Norte e no perfil Sul (exceto amostra recolhida a 155 cm de profundidade onde não se detetou a presença de quartzo) aumenta da base para o topo do perfil (10%<MIA<35% no perfil Norte e 6%<MIA<20% no perfil Sul), indicando um maior estado de alteração nos materiais recolhidos junto ao solo, o que corrobora o já verificado quanto à granulometria destes materiais (mais grosseiros na base do perfil e mais fino no topo) e que de certa forma também se relaciona com a maior proporção de ilite na fração argilosa do topo (materiais sujeitos a meteorização mais intensa e a processos de ilitização). A amostra recolhida na fácies mais carbonatada apresenta na sua fração <2 mm um índice de alteração baixo (MIA=4%) fruto do elevado teor em plagioclase detetado nesta amostra. Nos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos o índice de alteração mineralógico é muito mais elevado que nos materiais representativos da geologia local (14%<MIA<88%), verificando-se que assume os maiores valores para as amostras menos carbonatadas (H1, H2, pH3 e pH6) e os menores valores nas amostras mais carbonatadas (pH1, pH2, pH4 e pH5) (Figura 5.128).

A razão entre o teor em silicatos (quartzo, feldspatos e filossilicatos) e o teor em carbonatos (calcite e dolomite) é inferior à unidade na fração <2 mm dos materiais recolhidos no perfil Norte, aumentando da base para o topo (0,63 – 0,75). No perfil Sul esta razão assume valores superiores à unidade na maioria das amostras (1,9 – 11,3) com exceção da amostra recolhida a 155 cm de profundidade (He) onde a razão apresenta um valor inferior à unidade (0,5) devido ao maior teor em carbonatos nesta amostra e à não deteção de quartzo. A fração <2 mm dos materiais recolhidos na fácies mais carbonatada (Hh) apresenta também uma razão silicatos/carbonatos superior à unidade. Na fração <2 mm dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos, as amostras correspondente aos materiais mais ricos em calcite apresentam razões inferiores à unidade (0,39 – 0,52) enquanto as amostras menos ricas em calcite apresentam valores superiores à unidade (1,11 – 8,90) (Figura 5.128). Esta razão com valores inferiores à unidade é também observada na maioria dos calcretos do Cabo Mondego estudados por Rocha e Ramalho (2003). Este índice será relacionado com os índices químicos na secção correspondente.

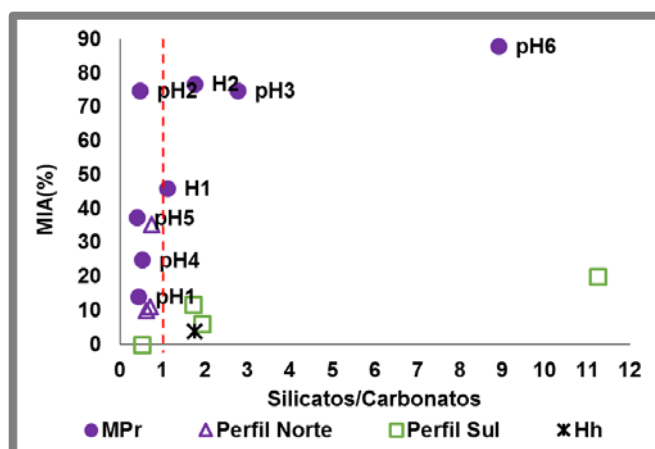


Figura 5.128 Variação do Índice Mineralógico de Alteração (MIA) em função da razão silicatos/carbonatos para a amostra total (< 2 mm) dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.

5.5.2.2 Fração Argilosa

Os difratogramas e a semiquantificação obtida para a fração argilosa das amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões encontram-se no Anexo III. A fração <2 µm dos materiais recolhidos no perfil Norte, para além de minerais argilosos apresentava calcite, cuja proporção aumenta da base para o topo. Quanto aos minerais argilosos presentes nesta fração (Figura 5.129, a) são a esmectite, como mineral predominante (49% - 66%), em especial nos materiais recolhidos a 105 cm de profundidade (amostra Hb), a ilite que aumenta da base para o topo do perfil (27% - 38%) e a minerais de caulino que diminui da base para o topo (8% - 24%).

Os materiais recolhidos no perfil Sul apresentavam na fração <2 µm uma associação mineralógica formada por esmectite, ilite e minerais de caulino (Figura 5.129, b). Detetou-se a presença de uma pequena proporção de vermiculite na fração argilosa dos materiais recolhidos a 155 cm de profundidade (He), cuja amostra total é a mais rica em calcite. Na amostra da base Hd foi ainda detetada a presença de calcite nesta fração. Da base ao topo do perfil verifica-se a diminuição da proporção de esmectite (20% - 80%), acompanhado do aumento da proporção de ilite (15% - 57%) e minerais de caulino (5% - 23%). Em regiões áridas e com chuvas sazonais, onde a precipitação de carbonatos e formação de calcretos ocorre, a alteração da esmectite em ilite é um processo comum à superfície, em ambiente alcalino (ilitização) (Wright, 1991; Üçukuysal et al, 2013). A acumulação de K oriundo da meteorização dos minerais primários, nomeadamente feldspatos, potencia esta transformação. Este facto explica o aumento da proporção de ilite na da base para o topo do perfil. A presença de vermiculite, na amostra recolhida a 155 cm de profundidade (He) pode indicar a ocorrência de um ambiente favorável à meteorização, ou alteração por via hidrotermal, de micas (biotite e flogopite), em meio moderadamente ácidos e com baixo teor em matéria orgânica, onde a perda de K é favorecida (processo de vermiculitização) (Gomes, 1988; Dill, 2010; Churchman e Lowe, 2012). A amostra total destes materiais (He) apresenta a menor proporção de micas o que pode fundamentar a ocorrência da alteração destes minerais e a formação de vermiculite.

A fração <2 µm dos materiais recolhidos na fácies mais carbonatada (amostra Hh) apresentam calcite na sua composição mineralógica. Quando aos minerais argilosos presentes verifica-se a presença de iguais proporções de ilite e esmectite (37%), paligorsquite (21%) e traços de minerais de caulino (Figura 5.129, c). Esta associação, típica da fração argilosa dos calcretos formados em clima semiárido (Krug, 1995; Chen et al, 2002; Alonso-Zarza, 2003) foi também identificada em diferentes calcretos, embora com proporções diferentes, em Portugal e no resto do mundo. (Rocha e Ramalho, 2003; Krug, 1995; Chen et al, 2002; Alonso-Zarza, 2003; Bachman, 1997; Üçukuysal et al, 2013). A paligorsquite surge nos calcretos associada a ambientes áridos e ricos em Mg, e em calcretos mais antigos/maduros (Krug, 1995; Bachman, 1997; Alonso-Zarza, 2003), associada à passagem de calcretos ricos em Mg para calcretos pobres em Mg (Churchman e Lowe, 2012). A baixa proporção de minerais de caulino na fração argilosa foi também detetada em trabalhos anteriores na região, realizados com materiais carbonatados recolhidos na Bacia de Marmelar (calcários de Arrancadas) e relacionada com condições de drenagem deficiente e fraca humidade (Alves, 1971).

A diferente associação mineralógica identificada na fração argilosa da amostra representativa da fácies mais carbonatada (Hh) vem corroborar a interpretação já anteriormente feita em relação à fração <2 mm da amostra total, indicando que esta se poderá tratar de uma formação carbonatada do tipo calcreto, semelhante ao que se verificou com o calcreto lacustre amostrado no Outeiro Alto (Capítulo 5.4) onde a presença de paligorsquite na fração argilosa foi detetada.

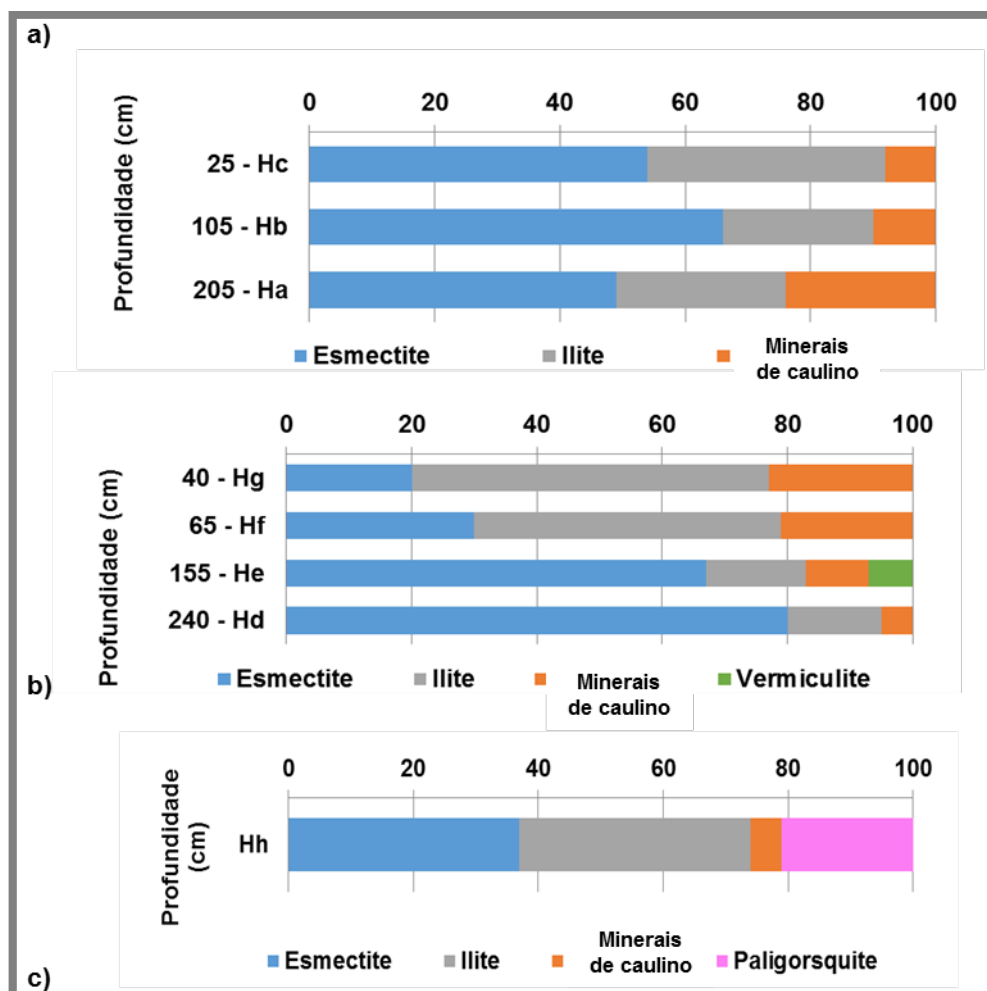


Figura 5.129 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais representativos do substrato geológico amostrados na Horta dos Quarteirões.

Dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos dois fossos, apenas se separou a fração <2 μm dos materiais menos carbonatados recolhidos a 148 cm (H1) e 114 cm (H2) de profundidade. Nesta fração detetou-se a presença de calcite e em ambas as amostras a esmectite é o mineral argiloso dominante (76% - 87%), ao qual se associa a minerais de caulino. Esta associação mineralógica é também distinta do observado na fração argilosa dos materiais de preenchimento das estruturas negativas do Outeiro Alto (Capítulo 5.2). A presença de esmectite e uma menor proporção de minerais de caulino, bem como a inexistência de minerais argilosos como a ilite (com origem no material detrítico) e a paligorsquite (com origem no calcreto lacustre) poderá indicar uma origem distinta e externa ao local para estes materiais de preenchimento menos carbonatados.

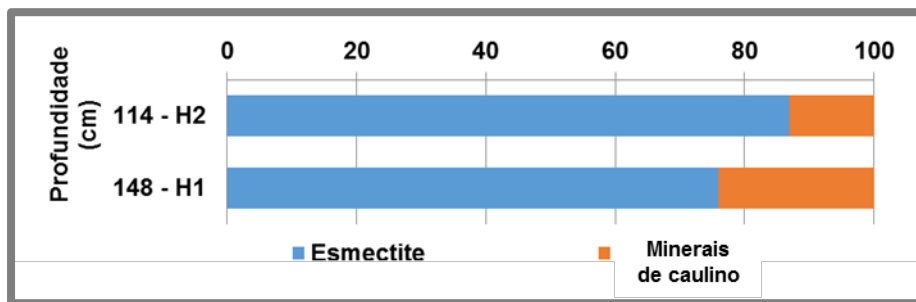


Figura 5.130 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

5.5.3 Composição química

5.5.3.1 Materiais representativos da geologia local – Amostra total

A composição química dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões, Ha – Hc no perfil Norte, Hd – Hg no perfil sul e Hh numa fácies mais carbonatada, encontra-se descrita no Anexo IV.

Os materiais recolhidos no perfil Norte, apresentam uma composição química semelhante, sendo apenas de realçar as diferenças no que respeita ao teor em óxido de S, Cu, Br, Nb, I e Th, mais baixo na amostra da base Ha (Figura 5.131, a). Na amostra da base foi ainda detetada a presença de fluor (0,2%). O teor em Br e iodo aumenta da base para o topo. O aumento de Br deverá estar relacionado com o aumento da proporção de matéria orgânica no mesmo sentido. O teor em Cu é ligeiramente mais elevado na amostra do nível intermédio Hb. Visto a proporção de calcite nas amostras diminuir da base para o topo, o teor mais elevado em iodo no topo do perfil está possivelmente relacionado, não com a permissão do iodo com o ião Ca^{2+} , mas com uma maior proporção de matéria orgânica onde o iodo se fixa na forma de ião solúvel após captura da atmosfera pelas ou relacionado com maior proporção de ilite plantas (Salminen et al, 2005). Em relação aos valores médios da crosta continental superior, verifica-se que os materiais recolhidos no perfil Norte se encontram empobrecidos na maioria dos elementos determinados, à exceção dos óxidos de Mg e Ca e dos elementos As, Br, Sb e iodo nos quais se encontram enriquecidos (Figura 5.131, b).

Os materiais recolhidos no perfil Sul, apresentam uma composição química semelhante, sendo apenas de realçar as diferenças no que respeita ao teor em óxido de P, K e Ca e nos elementos Cu, Zn, As, Rb, Nb, Mo (não detetado na base, Hd), Cd, Sn, Sb, Cs, REE leves, Ta, Tl e Th (Figura 5.132, a). De um modo geral, a amostra recolhida a 155 cm de profundidade, He, a mais rica em calcite, apresenta o teor mais baixo na maioria dos elementos com exceção do CaO, para o qual apresenta o teor mais elevado. Nesta amostra (He) foi detetada a presença de Cd e Sn. Em relação aos valores médios da crosta continental superior, verifica-se que os materiais recolhidos no perfil Sul se encontram empobrecidos nos óxidos de P (exceto a amostra da base, Hd) e K e nos elementos Ni, Cu, Zn (apenas amostra He, a mais carbonatada), As (apenas as amostras da base Hd e a mais carbonatada, He), Rb, Sr, Zr, Nb (mais evidente nas amostras da base Hd e a mais carbonatada, He), Cs (apenas amostra He, a mais carbonatada), Ba, REE (mais evidente nas leves e para a amostra mais carbonatada e menos evidente na amostra do topo, Hg), Hf, Ta, Ph, Th e U (Figura 5.132, b). Verifica-se o enriquecimento

em óxidos de Mg, Ca (menos evidente na amostra do topo, Hg), Ti e Fe e nos elementos Sc, Ga, As (apenas nas duas amostras mais superficiais, Hf e Hg), Br, Sb e W nos materiais recolhidos no perfil Sul relativamente aos valores médios da crosta continental.

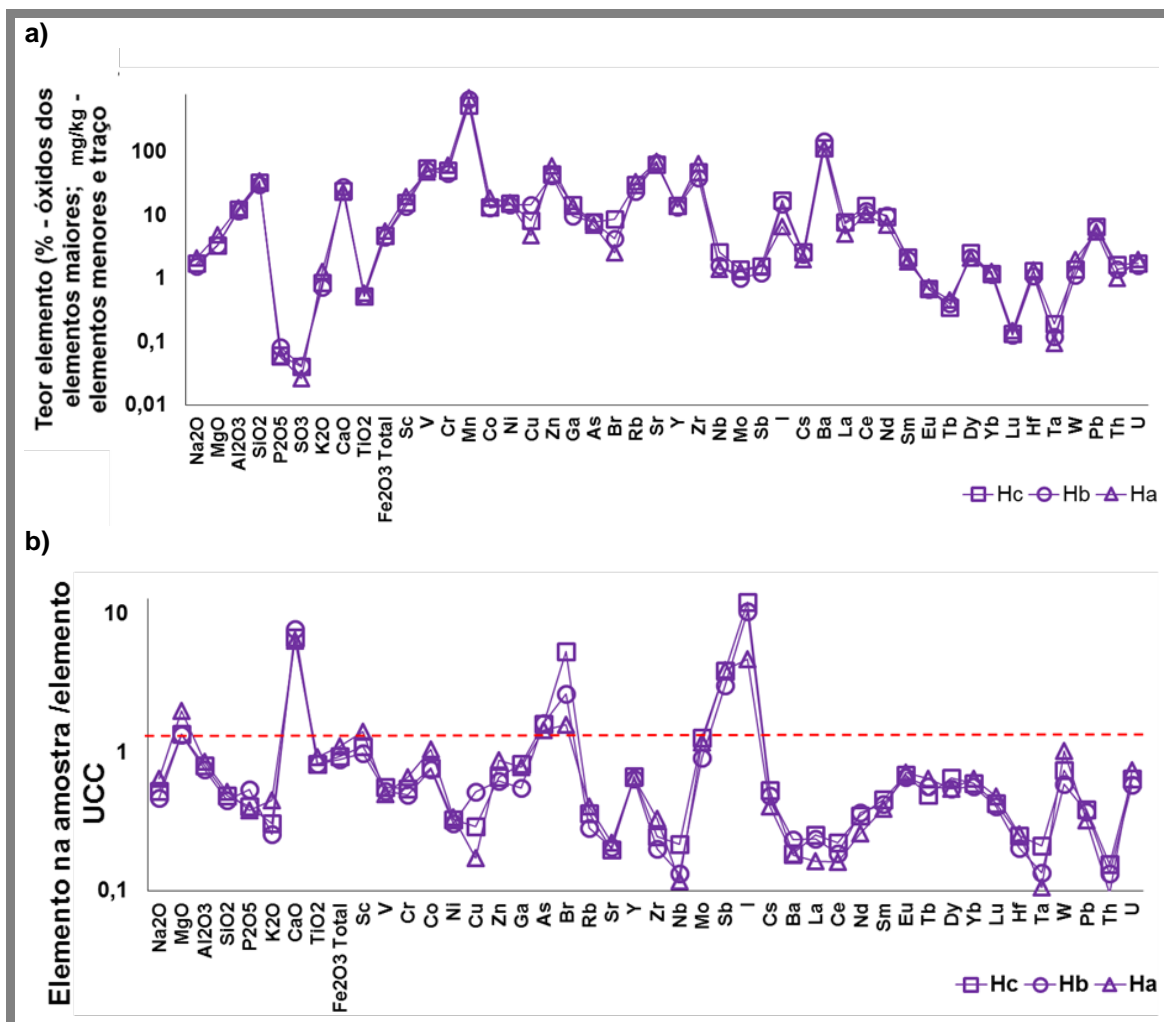


Figura 5.131 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Norte; b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Norte na Horta dos Quarteirões e os valores médios da crosta continental superior (UCC).

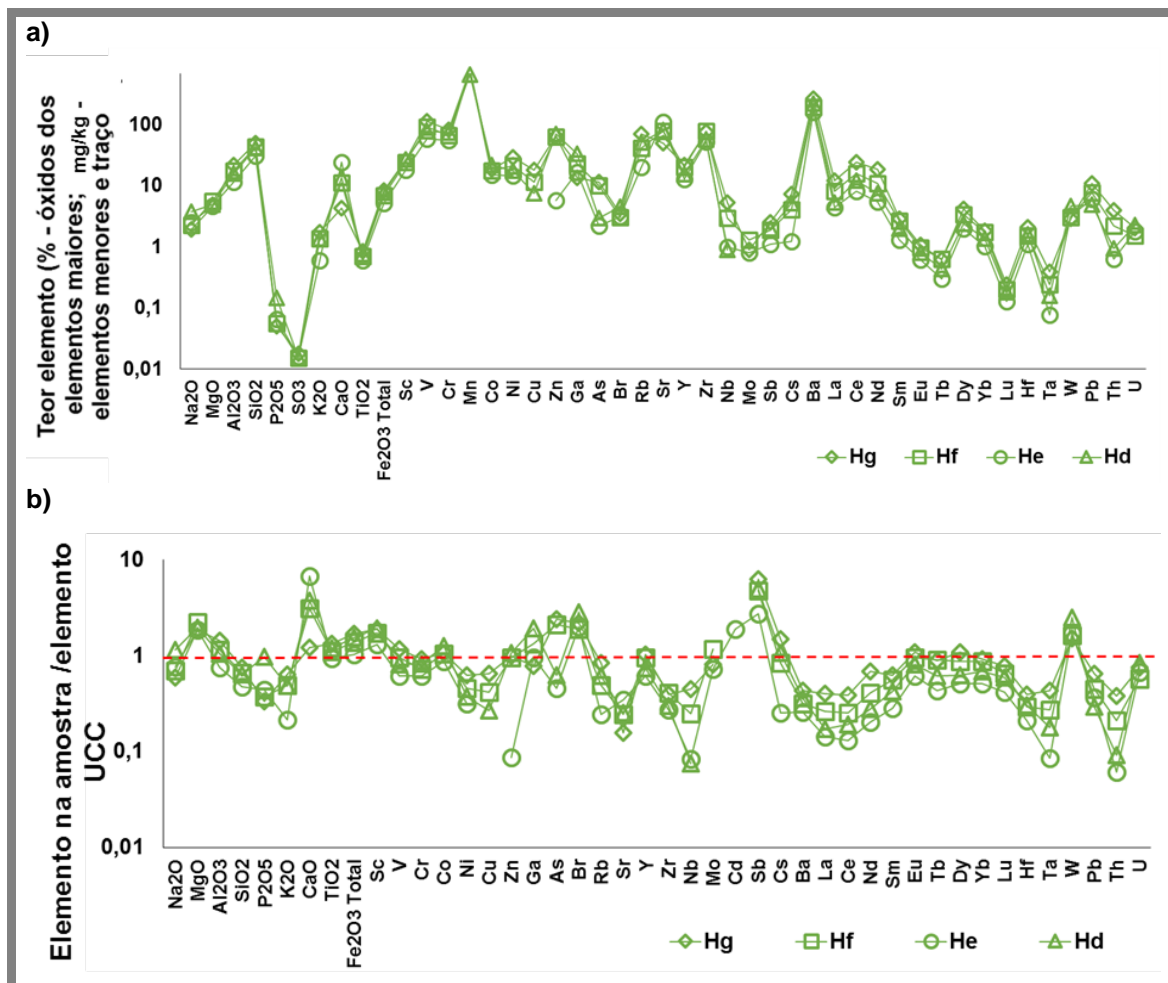


Figura 5.132 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Sul; b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil Sul na Horta dos Quarteirões e os valores médios da crosta continental superior (UCC).

Comparando a fração <2 mm dos materiais recolhidos nos dois perfis entre si e com os recolhidos na fácies mais carbonatada, amostra Hh, verifica-se que esta última apresenta teores mais baixos na maioria dos elementos com exceção do teor em CaO, Mn, Cu e REE leves. Não sendo a fração <2 mm desta amostra a mais rica em calcite do conjunto de amostras analisadas, o teor mais elevado em CaO dever-se-á à elevada proporção de plagioclase. A maior proporção de Mn poderá ter relação com a presença de nódulos de óxido de Mn nesta amostra, nódulos estes onde o Cu se pode fixar.

Entre os materiais recolhidos nos perfis há a realçar a presença de iodo nos materiais do perfil Norte e os teores mais elevados na maioria dos elementos nos materiais do perfil Sul, ambas as diferenças fruto da maior proporção de calcite nos materiais recolhidos no perfil Norte (Figura 5.133).

Relativamente aos valores médios da crosta continental, há a realçar o maior empobrecimento da amostra da fácies mais carbonatada (Hh) na maioria dos óxidos dos elementos maiores e nos elementos da primeira série de transição, Ga, Rb, Sr (Figura 342

5.133). Esta amostra mais carbonatada é a que apresenta um menor empobrecimento em REE leves. A relação entre os materiais recolhidos nos perfis e os valores médios na crosta continental superior é idêntica, notando-se apenas que quando existe enriquecimento num elemento, este é de um modo geral mais acentuado no perfil Sul. O empobrecimento relativamente à UCC da generalidade dos elementos é mais acentuado no talude Norte. A destacar há o ligeiro enriquecimento em Ga e W no perfil Sul, face ao ligeiro empobrecimento nestes elementos no perfil Norte.

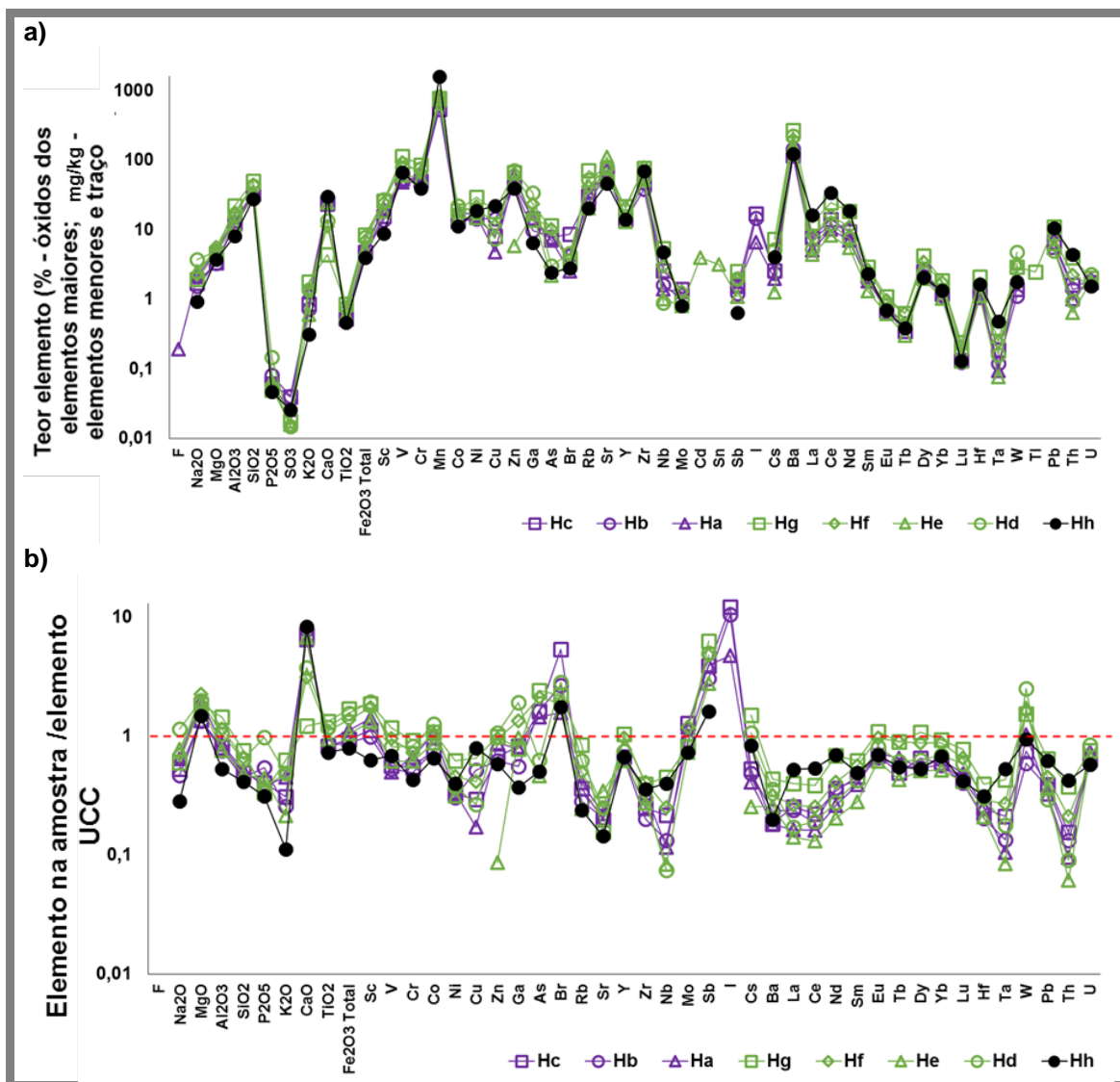


Figura 5.133 a) Composição química da fração <2 mm da amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões; b) relação entre a composição química da fração <2 mm da amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões e os valores médios da crosta continental superior (UCC).

5.5.3.1.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição (LOI – *loss on ignition*) na fração <2 mm dos materiais recolhidos no perfil Norte (17%<LOI<21%) é superior ao verificado para os materiais recolhidos no perfil Sul (8%<LOI<20%), sendo sempre mais elevado nos materiais mais ricos em calcite. A exceção é verificada para a fração <2 mm da amostra representativa

da fácies mais carbonatada, que por ter sido recolhida junto ao solo, deverá conter uma proporção maior de matéria orgânica, o que contribui para o valor de LOI mais elevado (26%).

No que respeita à razão de calcificação ($RC = \text{MgO} + \text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$), no perfil Norte ($2 < RC < 3$) verificam-se valores mais elevados que no perfil Sul ($0,4 < RC < 1,1$) com exceção da razão observada para a amostra He que corresponde à um nível do perfil sul com maior proporção de calcite ($RC=2$). No perfil Sul (excluindo a amostra mais carbonatada, He) verifica-se a diminuição da razão de calcificação da base para o topo, acompanhando a diminuição da proporção em calcite e inversamente ao comportamento da razão silicatos/carbonatos. A amostra representativa da fácies mais carbonatada Hh apresenta a razão de calcificação mais elevada ($RC=4$). Com exceção da amostra Hh, em todas as outras a razão de calcificação está de acordo com a proporção de calcite presente. Na amostra Hh, a razão obtida, apesar de estar de acordo com a realidade não permite inferir sobre o estado de calcificação do material (amostra apresentava fragmentos de calcreto >2 mm que não foram analisados), visto que o elevado teor de CaO reflete também a elevada proporção de plagioclase cálcica e não apenas a proporção de calcite.

Quanto à razão de dolomitização ($RD = \text{MgO} / \text{CaO}$), os materiais apresentam valores, entre 0,1 e 0,3, o que está de acordo com a mineralogia das amostras, nas quais se detetou apenas a presença de traços de dolomite. A amostra do topo do perfil Sul apresenta um valor de 1,1, o que se deve ao teor mais baixo em CaO nesta amostra e não reflete a presença de dolomite. No caso da amostra Hh, a baixa razão de dolomitização relaciona-se com a presença de paligorskite na fração argilosa, pois a formação deste mineral deverá ocorrer mediante a transformação de um calcreto rico em Mg num calcreto mais empobrecido neste elemento (Churchman e Lowe, 2012)

No que diz respeito ao índice de alteração química (CIA), este é de um modo geral menor no perfil Norte ($28\% < CIA < 31\%$) que no perfil Sul ($29\% < CIA < 66\%$) onde aumenta da base para o topo. O CIA atinge na amostra da fácies mais carbonatada Hh um valor menor ($CIA=25\%$) o que se relaciona com a maior proporção de plagioclase (48%). O CIA, para este conjunto de amostras correlaciona-se negativamente com a razão de calcificação ($R^2=0,74$).

A razão $\text{SiO}_2 / \text{CaCO}_3$, utilizada como índice de maturação dos calcretos é menor nos materiais do perfil Norte ($0,6 < \text{SiO}_2 / \text{CaCO}_3 < 0,9$) do que nos materiais recolhidos no perfil Sul ($0,7 < \text{SiO}_2 / \text{CaCO}_3 < 3,0$) e é a amostra Hh, interpretada como sendo a amostra representativa dos materiais de transição para o calcreto lacustre, que apresenta o valor mais baixo (0,5), como seria de esperar.

A razão $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ apresenta um valor de cerca de 2,5 para todas as amostras dos perfis e de 3 na amostra da fácies mais carbonatada. A razão Ca/Mg oscila entre 5 e 8 no perfil Norte, entre 1 e 5 no perfil Sul e apresenta o valor 8 na amostra da fácies mais carbonatada. Estas razões são consideradas como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação e surgem com valores mais elevados na amostra Hh que corresponde ao calcreto.

5.5.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne ao somatório dos teores absolutos em REE, os materiais <2 mm recolhidos no perfil Norte (29 mg/kg $\sum\text{REE}$ 38 mg/kg) apresentam no geral um teor mais baixo de REE que os materiais <2 mm recolhidos no perfil Sul (24 mg/kg $\sum\text{REE}$ 66 mg/kg). Em ambos os perfis (com exceção da amostra mais carbonatada He do perfil Sul), verifica-se o aumento do teor em REE da base para o topo, sendo o aumento mais acentuado no perfil Sul (Figura 5.134, a). Relativamente aos valores médios da crosta continental ($\sum\text{REE}=134$ mg/kg), os materiais representativos da geologia deste local apresentam teores muito inferiores em REE. O somatório de REE apresenta uma correlação negativa com a proporção de calcite nas amostras recolhidas nos perfis de materiais detríticos carbonatados ($R^2=0,78$) indiciando que estes elementos não se encontram na fração carbonatada destas amostras.

Na amostra Hh o elevado teor em REE (particularmente nas REE leves) pode estar relacionado com a maior proporção de carbonatos desta amostra, bem como com a plagioclase. Realce-se que as REE podem substituir mais facilmente o Ca na calcite e na plagioclase, minerais que dominam a composição mineralógica desta amostra (calcite – 36%, plagioclase – 48%).

Quando normalizados aos condritos as REE apresentam um perfil onde se observa novamente uma diminuição da base para o topo do teor em REE nos perfis e um maior enriquecimento em REE leves na amostra da fácies mais carbonatada Hh (Figura 5.7, b). Verificam-se anomalias de Ce negativas em todas as amostras ($0,69<\text{Ce}/\text{Ce}^*<0,98$), na sua maioria mais acentuadas que para os valores médios da crosta continental superior, em especial nos materiais recolhidos no perfil Norte. A anomalia de Eu é positiva ($1,02<\text{Eu}/\text{Eu}^*<1,25$) nos materiais recolhidos na base do perfil Norte (Ha) e na maioria dos materiais do perfil Sul (exceto na amostra Hf) sendo mais acentuada nos materiais recolhidos na base (Hd e He). Nos restantes materiais recolhidos a anomalia de Eu é negativa ($0,88<\text{Eu}/\text{Eu}^*<0,96$), sendo mais acentuada nos materiais recolhidos na fácies mais carbonatada (Hh) (Figura 5.134, c). A anomalia de Eu correlaciona-se positivamente com a proporção de plagioclase nas amostras recolhidas nos perfis de materiais detríticos carbonatados ($R^2=0,53$), observando-se anomalias positivas de Eu nas amostras com maior proporção de plagioclase, o que é fundamentado pela facilidade de incorporação do Eu(II) na plagioclase, substituindo o Ca^{2+} . O mesmo não se verifica na amostra Hh da fácies mais carbonatada que contém uma elevada proporção de plagioclase e uma anomalia de Eu negativa (a mais acentuada do conjunto). Neste sentido, pode-se inferir que na amostra Hh, os REE deverão estar fixos na calcite e não na plagioclase.

O fracionamento entre REE leves e pesadas nos materiais aumenta da base ao topo com a mesma magnitude em ambos os perfis ($2,6<(\text{La}/\text{Yb})_N<4,6$) e apresenta um valor superior na amostra Hh ($(\text{La}/\text{Yb})_N=8,4$), sempre menores que o fracionamento verificado para os valores médios da crosta continental superior. O fracionamento entre REE leves e intermédias é da mesma magnitude nos materiais recolhidos nos perfis ($1,6<(\text{La}/\text{Sm})_N<2,6$) e maior na amostra Hh ($(\text{La}/\text{Sm})_N=4,4$) onde o fracionamento é ligeiramente superior ao verificado para os valores médios da crosta continental superior (Figura 5.134, d). O comportamento das REE na Horta dos Quarteirões permite inferir que

(i) nos materiais detríticos carbonatados recolhidos nos perfis, estes elementos deverão fixar-se na fração não carbonatada, em especial nos filossilicatos, (ii) no calcetre lacustre (em especial as REE leves) deverão fixar-se na calcite.

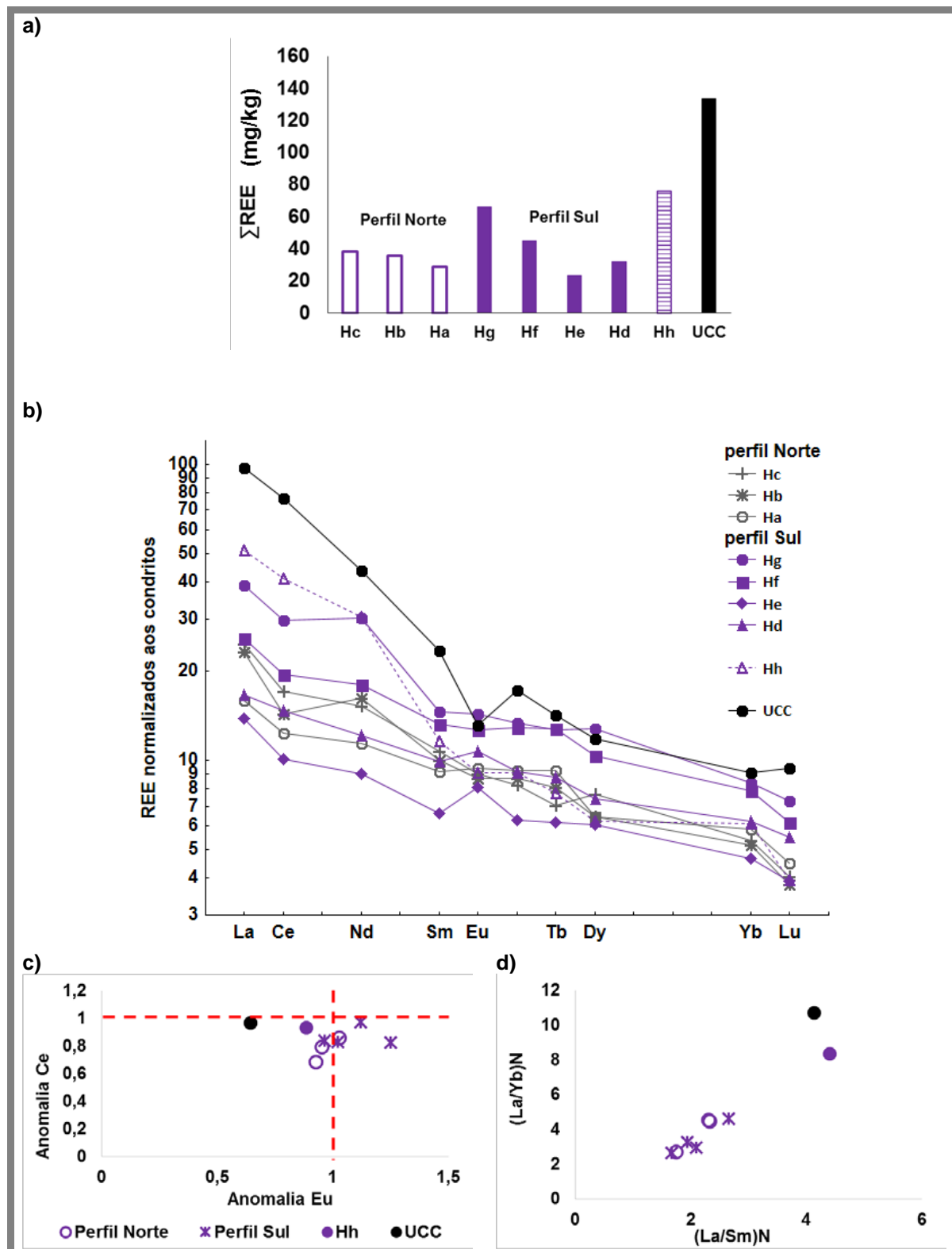


Figura 5.134 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões e valores médios da crosta continental superior.

5.5.3.2 Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa

No que respeita à fração <2 µm das amostras recolhidas nos perfis de materiais detríticos carbonatados e na amostra da fácies mais carbonatada Hh (Anexo IV) (Figura 5.135,a), verifica-se que a fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil Norte (Ha – Hc), onde se detetou um aumento da proporção de calcite e de ilite da base para o topo, bem como a diminuição da proporção de minerais de caulino, apresenta uma composição química homogénea, nos elementos determinados, havendo a realçar as ligeiras diferenças na composição em Mn (teor mais baixo no topo, Hc), Br (teor mais elevado no topo, Hc), REE (teor mais baixo na base, Ha) e U (teor mais baixo na base). O teor mais baixo em REE nos materiais na base pode fundamentar-se pela menor proporção de ilite na base do perfil Norte, uma vez que o comportamento das REE na amostra total nos materiais deste perfil indicou que estes elementos não deverão fixar-se na calcite.

No caso do perfil Sul observa-se uma diferença entre a composição da fração argilosa das amostras recolhidas nos níveis mais profundos Hd e He e as recolhidas nos níveis mais superficiais Hf e Hg, sendo esta diferença mais marcada no que respeita ao teor em Ga, As, Rb, Sb, REE, Ta e Th que surge mais elevado nos materiais recolhidos nos níveis mais superficiais Hf e Hg, onde a fração argilosa atinge maiores proporções, essencialmente constituída por ilite e minerais de caulino. Há ainda a reter o teor mais elevado em Ba na amostra da base Hd a única amostra que apresenta calcite na fração <2 µm, neste perfil. Relativamente à amostra Hh, amostra da fração mais carbonatada, verifica-se que a fração argilosa, embora tenha uma mineralogia distinta (presença de paligorskite) apresenta uma composição química idêntica à identificada na fração argilosa dos materiais detríticos carbonatados dos perfis, havendo apenas a realçar o teor ligeiramente mais baixo em óxido de Na.

Quando comparada com a composição química da amostra total, a fração argilosa de todos os materiais estudados apresenta-se empobrecida em óxido de Na (Figura 5.135, b). Este empobrecimento deve-se à perda deste elemento durante o processo de separação da fração argilosa por via húmida, dada a elevada solubilidade do elemento Na em água.

Para além do empobrecimento em Na, no perfil Norte verifica-se que a fração argilosa dos materiais se encontra enriquecida na maioria dos elementos, de forma mais evidente na amostra do nível intermédio (Hb, a mais rica em esmectite) e menos evidente na amostra da base Ha. O enriquecimento é maior nos elementos Cs, Ta e Th. Na amostra da base Ha também se observa o empobrecimento da fração argilosa em K, Mn, REE intermédias e U, relativamente à amostra total. Na amostra do topo Hc, para além do empobrecimento em Na observa-se o empobrecimento em Mn e Dy. O empobrecimento da fração argilosa em Mn, na amostra da base Ha e de forma mais evidente na amostra do topo Hc pode indicar que este elemento se encontra na fração grosseira das amostras da base e do topo, possivelmente associado à calcite ou na forma de óxidos e hidróxidos de Mn. No que respeita ao empobrecimento da fração argilosa em REE intermédias pode indicar que estes elementos se ficam melhor na fração grosseira e uma vez que se verificou que não se associam à calcite nestes materiais deverão estar associados aos óxidos de Fe e Mn ou aos feldspatos, em especial à plagioclase (Laveuf e Cornu, 2009).

No perfil Sul a fração argilosa de todas as amostras encontram-se empobrecidas em U. A amostra da base Hd também se apresenta empobrecida em K, Fe, Sc, Ga, Rb, Cs, REE e W, sugerindo que estes elementos deverão fixar-se preferencialmente na fração grosseira desta amostra, essencialmente nas micas que surgem com uma elevada proporção (K, Rb, Cs) e na plagioclase (REE), minerais que surgem com grande expressividade na amostra total destes materiais da base do perfil e que refletem o seu menor grau de alteração (amostra com o menor MIA e menor CIA). Na amostra da base do perfil Sul, Hd, observa-se o enriquecimento em Cr, Zn, As, Br, Zr, Sb (o mais evidente), Ba (amostra com o maior enriquecimento), Hf, Ta e Th.

Os materiais recolhidos no nível acima da base, amostra He, apresentam a sua fração argilosa empobrecida em Na, Ga, REE intermédias, W e U, indicando que estes elementos deverão estar fixados na fração grosseira da amostra. Sendo a proporção de plagioclase elevada na amostra total dos materiais recolhidos no nível acima da base, He, e dada a facilidade de incorporação de REE e Ga neste mineral, o empobrecimento destes elementos na fração argilosa pode ser justificado. A fração argilosa da amostra He encontra-se enriquecida em K, Cr, Co, Zn (amostra com o maior enriquecimento), As, Br, Rb, Zr, Sb (amostra com o maior enriquecimento), Cs, Ba, REE leves, Hf, Ta e Th. O ligeiro enriquecimento em REE leves poderá relacionar-se com a presença de vermiculite (unicamente detetada nesta amostra), mineral onde as REE leves tendem a concentrar-se (Laveuf e Cornu, 2009).

Os materiais recolhidos no nível abaixo do topo, Hf, apresentam-se empobrecidos em Na, Mn e U e enriquecidos na maioria dos restantes elementos, sendo o enriquecimento mais evidente em Cr, Ga, As, Br, Rb, Zr, Cs, Ba, REE (em especial leves e pesadas), Hf, Ta e Th, relativamente à amostra total. A amostra do topo Hg encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados (com exceção do Na e U) sendo o enriquecimento mais evidente no teor em Ga, As, Br, Rb, Zr, Sb, Cs, Ba, REE, Hf, Ta, W e Th. O enriquecimento da fração argilosa dos materiais recolhidos mais superficialmente, Hf e Hg, em REE e em Ga, Rb e Cs deverá estar relacionado com a proporção de ilite na fração argilosa destas amostras (muito superior ao verificado nas amostras recolhidas nos níveis inferiores), mineral argiloso onde o Ga pode substituir o Al, os elementos Rb e Cs podem ser adsorvidos e onde as REE, em especial as leves se fixam facilmente.

A amostra da fácies mais carbonatada Hh, apresenta a fração argilosa enriquecida na maioria dos elementos determinados, com maior evidência para o K, Ga, As, Br, Rb, Sb, Cs e Ba e mais ligeiro no que respeita às REE. A fração argilosa desta amostra encontra-se empobrecida em Na, Mn e U. O empobrecimento em Mn indica que este elemento deverá estar associado a óxidos de Fe e Mn ou à calcite na fração grosseira da amostra. Em relação às restantes amostras, recolhidas nos perfis, a fração argilosa desta amostra é a mais enriquecida em K, Ga, As.

De um modo geral verifica-se que nos materiais detríticos carbonatados amostrados nos perfis, para os quais a presença de ilite na fração argilosa é mais acentuada (materiais recolhidos no topo dos perfis e onde a alteração química e mineralógica é mais evidente) os elementos REE, K, Ga, Rb, Cs, Ta e Th surgem associados a este mineral verificando-se correlações positivas com elevado coeficiente

de correlação ($R^2 > 0,7$). Quando a ilite não é o mineral argiloso preponderante (materiais com evidências de menor alteração, recolhidos na base dos perfis) as REE parecem estar fixos na fração grosseira das amostras, maioritariamente associados à plagioclase.

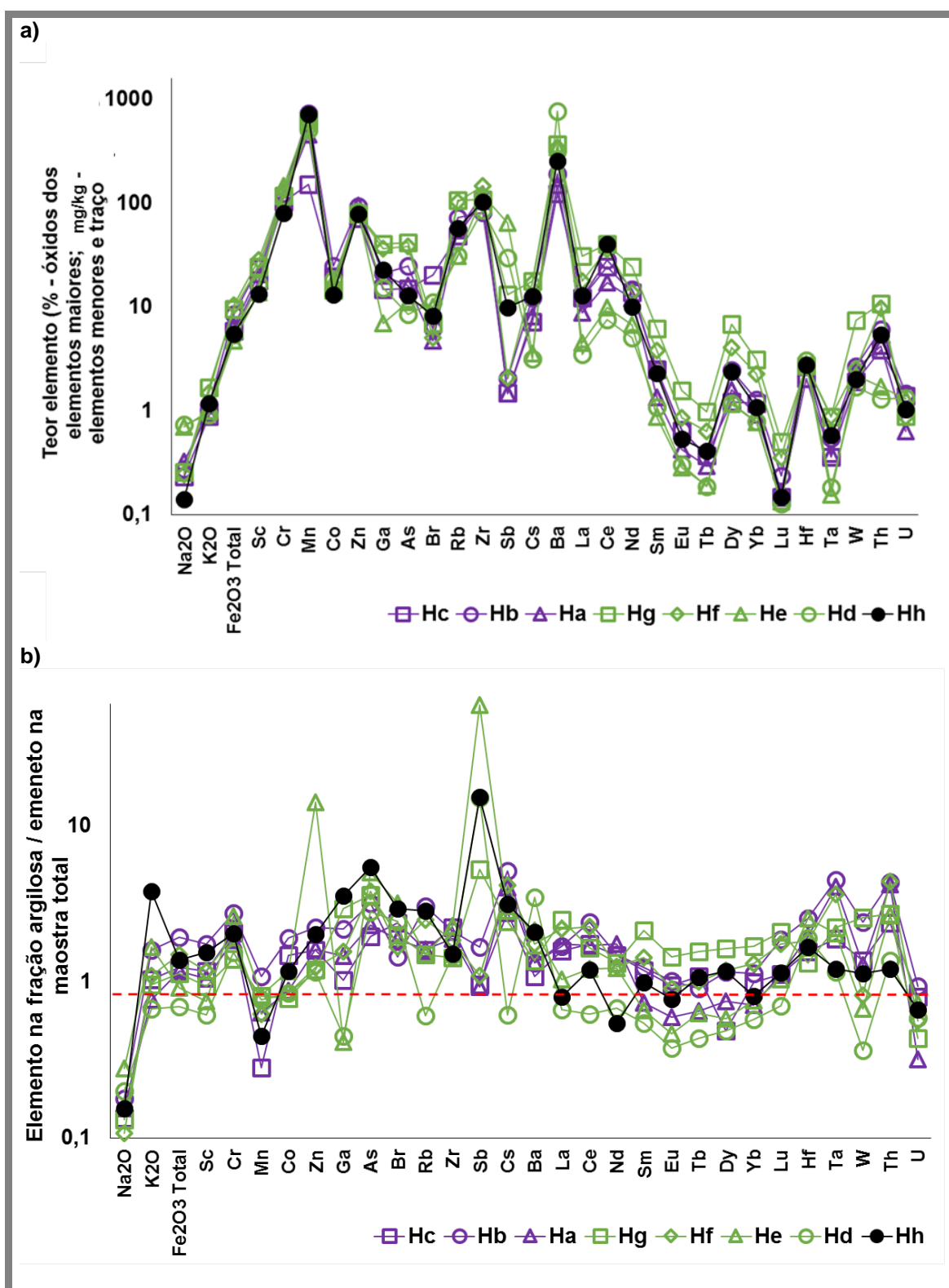


Figura 5.135. Composição química da fração argilosa dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões.

5.5.3.2.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório dos teores absolutos de REE na fração argilosa das amostras recolhida na Horta dos Quarteirões é de um modo geral mais elevado na fração argilosa do que na amostra total (Figura 5.134, a). Na fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil Sul, verifica-se o aumento do somatório dos valores absolutos de REE da base para o topo ($20 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 115 \text{ mg/kg}$), acompanhando o aumento da proporção de ilite, mineral onde estes elementos se podem fixar preferencialmente, nomeadamente as REE leves (Laveuf e Cornu, 2009). No perfil Norte os valores são no geral menores e oscilam entre 43 mg/kg e 63 mg/kg . Na amostra de calcreto Hh o teor em REE assume o valor de 70 mg/kg .

Quando normalizados aos condritos as REE apresentam perfis de distribuição onde são evidentes anomalias negativas de Eu na fração argilosa, mais acentuadas nos materiais do perfil Sul e na amostra Hh ($0,68 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,89$) (Figura 5.44, c). Na fração argilosa as anomalias são menos acentuadas que na amostra total dos materiais estudados. A anomalia de Ce é negativa na fração argilosa das amostras recolhidos no perfil de material detrítico carbonatado Sul ($0,63 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,91$). Da base para o topo do perfil a anomalia vai sendo mais acentuada, relacionando-se com o aumento da proporção de ilite, mineral ao qual se associam anomalias de Ce negativas (Laveuf e Cornu, 2009). No perfil Norte a anomalia de Ce é negativa na base Ha e no topo Hb onde a proporção de ilite é maior ($\text{Ce}/\text{Ce}^*=0,84$ e $\text{Ce}/\text{Ce}^*=0,89$, respetivamente), não sendo detetada no nível intermédio (amostra Hb, $\text{Ce}/\text{Ce}^*=1,01$). Na amostra Hh, representativa da fácies mais carbonatada a anomalia de Ce é positiva ($\text{Ce}/\text{Ce}^*=1,51$), refletindo uma mineralogia da fração argilosa mais rica em esmectite, mineral ao qual se associam anomalias positivas de Ce (Laveuf e Cornu, 2009). Estas anomalias positivas, associadas à presença de uma maior proporção de esmectite são também indicadoras de um ambiente mais oxidante onde o Ce pode precipitar na forma de óxido de Ce(IV). Para a generalidade da fração argilosa das amostras da Horta dos Quarteirões, a anomalia de Ce é negativa na mesma magnitude que na amostra total, pelo contrário, a amostra Hh, que deverá representar um material distinto, eventualmente um material de transição para um calcreto lacustre, apresenta anomalia de Ce positiva na fração argilosa e negativa na amostra total. Neste sentido, pode considerar-se que na amostra total, as condições redutoras do meio não permitiram a fixação do Ce na plagioclase (mineral com elevada proporção nesta amostra com grande capacidade de retenção de REE) substituindo o Ca. Porém a fração argilosa, formada posteriormente em condições oxidantes, encontra-se enriquecida em Ce(IV) relativamente aos restantes REE, sendo este mineral retido na paligorskite que também se forma favoravelmente neste tipo de ambiente (López-Galindo et al, 1996; Laveuf e Cornu, 2009). Este fato aponta para mudanças no ambiente, de redutor para oxidante entre a formação de minerais primários e a posterior formação/alteração da fração argilosa.

O fracionamento entre REE leves e pesadas aumenta da base ao topo nos perfis de material detrítico carbonatado, sendo maior no perfil Norte ($6,7 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 7,3$ no perfil Norte e $3,1 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 6,3$ no perfil Sul) e assume o valor mais elevado na amostra Hh, representativa da fácies mais carbonatada ($(\text{La}/\text{Yb})_N=8,3$) (Figura 5.134, d). O fracionamento entre REE leves e intermédias diminui da base para o topo do perfil Norte ($3 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 4$) e é de um modo geral menor na fração argilosa dos materiais

recolhidos no perfil Sul ($2 < (La/Sm)_N < 3$). Na amostra Hh este fracionamento é representado por uma razão $(La/Sm)_N = 3,5$. De um modo geral o fracionamento de REE é maior na fração argilosa do que na amostra total dos materiais detríticos carbonatados amostrados nos perfis e mantem-se relativamente igual nos materiais representativos da fácies mais carbonatada.

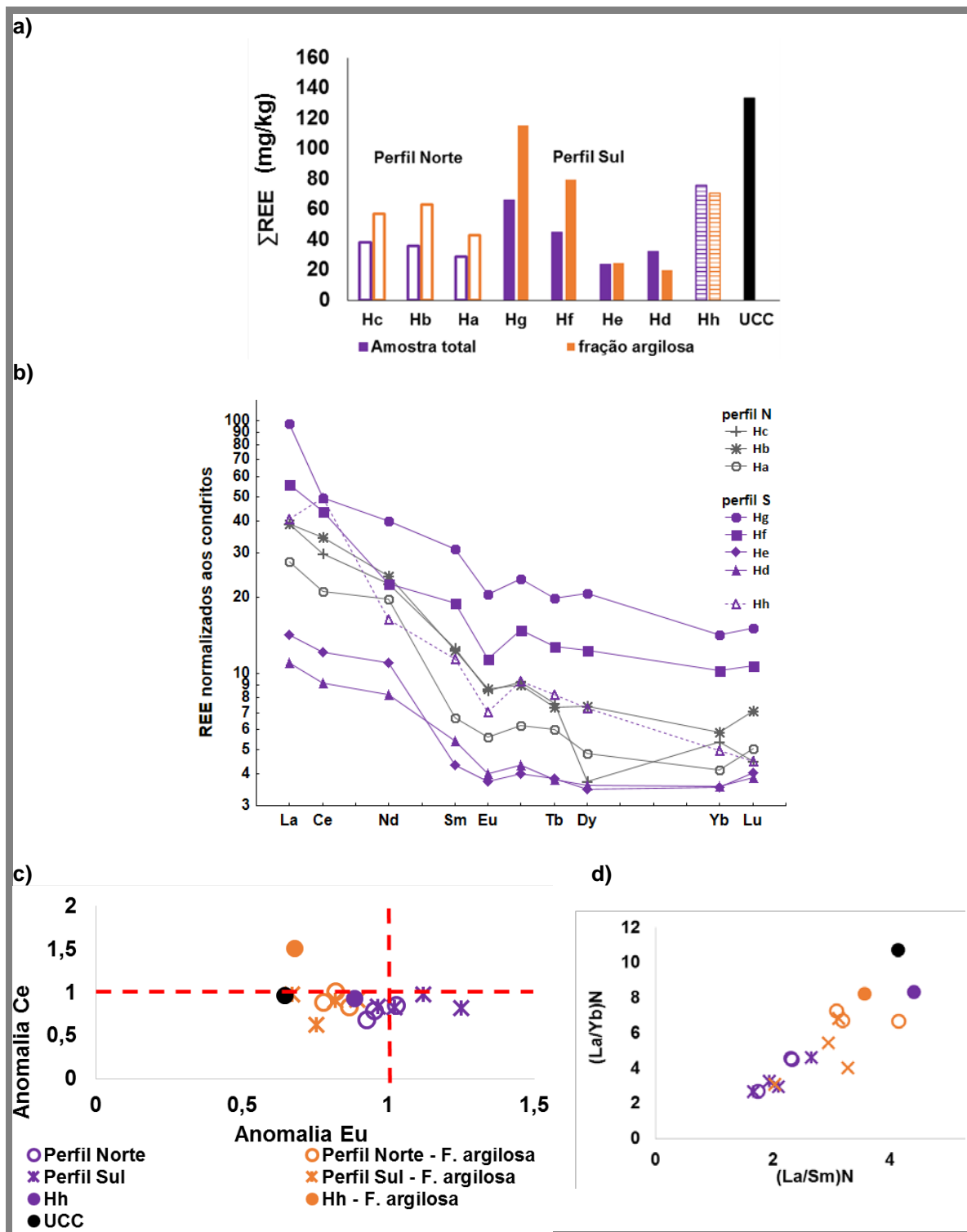


Figura 5.136 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões e valores médios da crosta continental superior.

5.5.3.3 Materiais de preenchimento – Amostra total

Os materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos, com uma composição mineralógica que oscila entre os materiais muito carbonatados (65%-71% de calcite) e os materiais menos carbonatados (10%-46% de calcite) (Anexo IV) apresentam uma composição química que, de um modo geral oscila entre níveis com teores mais baixo na maioria dos elementos e níveis com teores mais elevado (Figura 5.137). Ocorre uma alternância na proporção dos elementos da base ao topo, verificando-se que os níveis com teores mais baixos correspondem aos materiais recolhidos a 138 cm, 108 cm e 53 cm, onde a proporção de calcite é superior a 50%. Como exceção a este andamento realçam-se as amostras recolhidas a 138 cm e a 108 cm. A amostra recolhida a 138 cm de profundidade apresenta teores em Na, Fe, Cr, Ga, Sb e U semelhantes aos observados nos níveis onde a proporção de calcite é inferior e teores mais elevados em Sc, Co, Zn, As e W. No caso da amostra recolhida a 108 cm de profundidade o teor em Br é semelhante ao observado nos níveis onde a proporção de calcite é inferior. O solo moderno, dada a sua baixa proporção em calcite apresenta uma composição química mais rica na maioria dos elementos determinados.

A amostra recolhida lateralmente pH5 que corresponde ao colapso dos materiais de preenchimento do fosso 2 apresenta uma composição química semelhante aos materiais menos carbonatados.

Considerando também os elementos químicos determinados por FRX, nas amostras selecionadas para datação, H1 e H2, recolhidas nos materiais de preenchimento da área de interseção entres os fossos e que correspondem a materiais de preenchimento inicial do fosso 1 e a materiais de preenchimento em ambos os fossos (possível colapso de solo), respetivamente, verifica-se que a amostra H1 apresenta um teor ligeiramente mais elevado em CaO e U e mais baixo em Cu, Ga, As, Mo e Sb que a amostra H2 (Figura 5.138, a). O teor ligeiramente mais elevado em Ca deve-se à proporção ligeiramente maior de calcite na amostra H1 (materiais de preenchimento inicial do fosso 1).

Considerando os valores médios para a crosta continental superior (UCC), verifica-se que ambas as amostras se encontram enriquecidas em óxidos de Ca, Ti, Fe e nos elementos Sc, V, Co, As, Br, Sb e I e empobrecidas nos óxidos de Na, Al, Si, P, K e nos elementos Cr, Rb, Sr, Zr, Nb, Cs, Ba, REE leves e pesadas, Hf, Ta, Pb, Th e U, relativamente aos valores médios da crosta continental superior e sempre com maior evidencia na amostra H2 que corresponde aos materiais de preenchimento em ambos os fossos (possível colapso de solo) (Figura 5.138, b). Relativamente aos materiais representativos da geologia local estes materiais de preenchimento apresentam uma composição química mais rica em Ni, Cu, Br, Zr e Hf e mais pobre em Na. O enriquecimento em Br poderá fundamentar-se pela presença de uma maior proporção de matéria orgânica nos materiais de preenchimento, possivelmente relacionada com a construção e utilização humana das estruturas negativas. O maior teor em Zr e Hf pode relacionar-se com a maior proporção de minerais detríticos pesados nos níveis de preenchimento onde as amostras H1 e H2 foram recolhidas. O empobrecimento em Na poderá estar relacionado com a menor proporção de feldspatos nestas amostras de materiais de preenchimento.

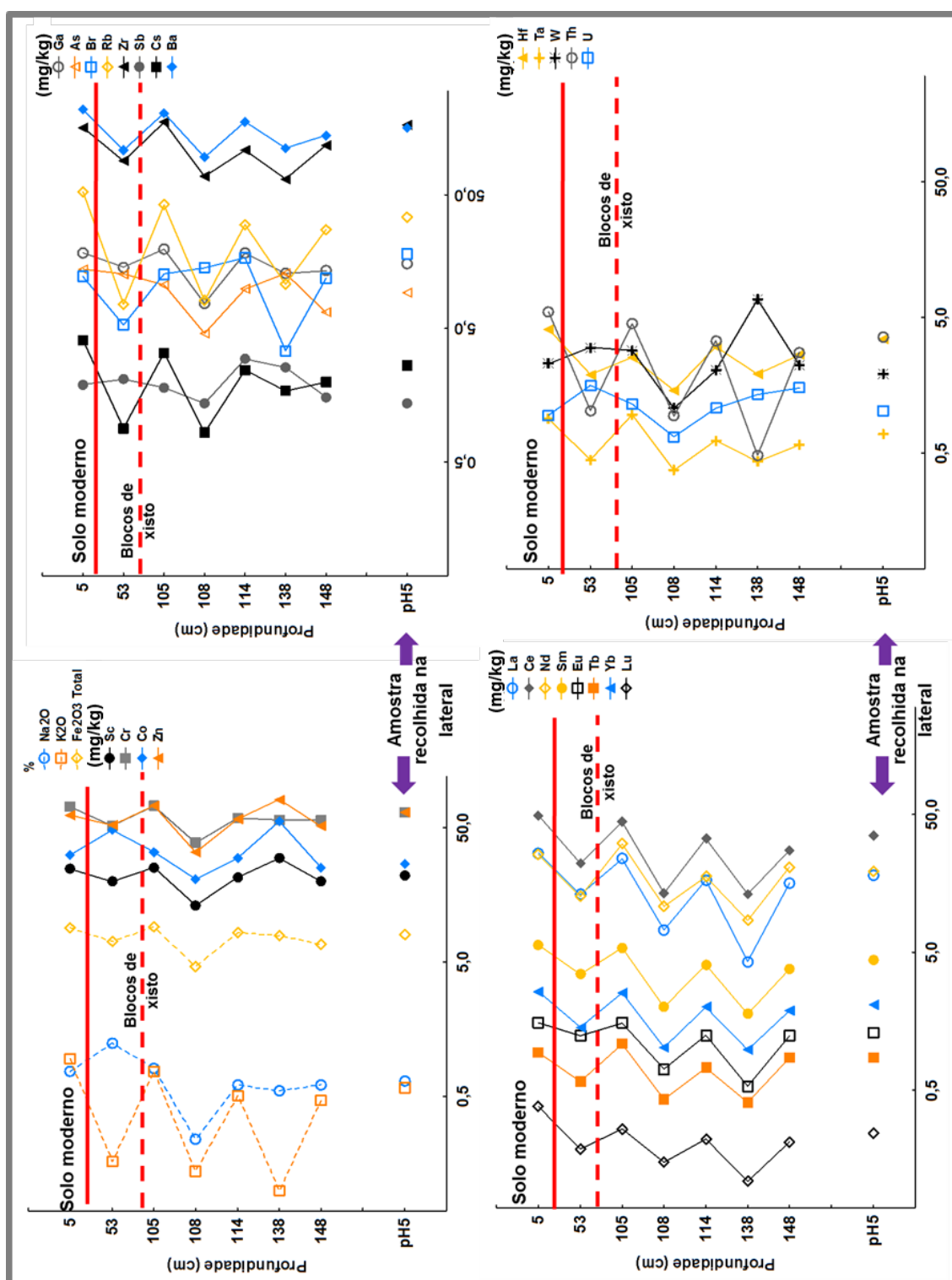


Figura 5.137 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção entre os dossos na Horta dos Quarteirões.

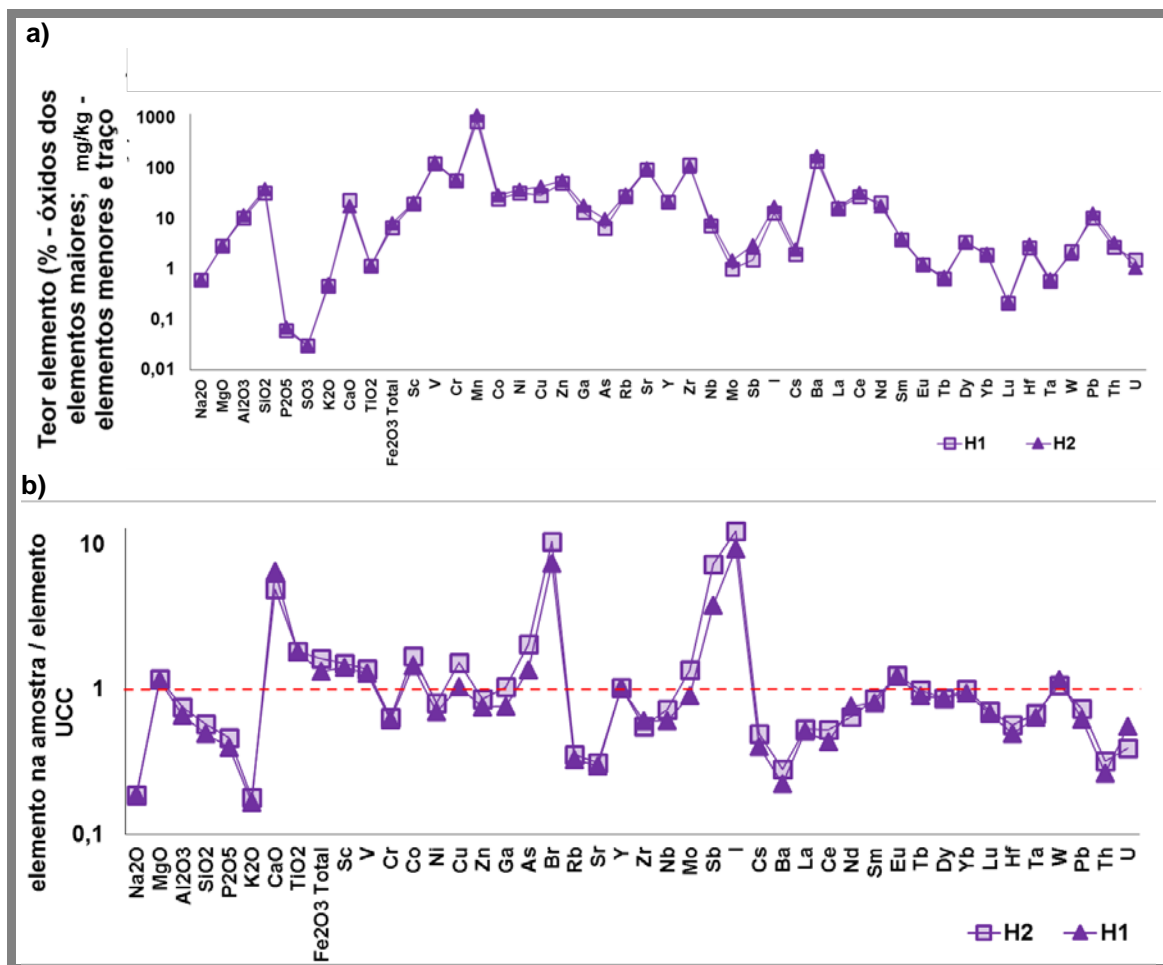


Figura 5.138 a) Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos, na Horta dos Quarteirões (amostras adjuntas das amostras selecionada para datação) b) composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos, na Horta dos Quarteirões, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.

5.5.3.3.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição nos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos é da mesma ordem de grandeza que o observado nos materiais representativos da geologia local (material detrítico carbonatado) onde se observou a presença de uma proporção elevada de calcite (Hb, Hc e He), sendo ligeiramente inferior na amostra H2 (LOI=19%), representativa do preenchimento inicial no fosso 1, face ao verificado na amostra H1 (21%), representativa do preenchimento em ambos os fossos.

A razão de calcificação ($RC = \text{MgO} + \text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$) é maior na amostra correspondente ao preenchimento inicial do fosso 1 (H1, $RC=1$) do que na amostra correspondente ao preenchimento de ambos os fossos (H2, $RC=2$). Ambas as amostras apresentam razões de calcificação da mesma ordem de grandeza dos materiais recolhidos no perfil Norte (Ha - Hc) e inferiores ao verificado nos materiais da fácies mais carbonatada (Hh).

Quanto à razão de dolomitização ($RD=MgO/CaO$), as amostras apresentam valores ($0,1 < RD < 0,2$) que se relacionam com a baixa proporção de dolomite nas amostras (traços) e dentro da mesma gama de valores obtidos para as amostras recolhidas no perfil Norte e nos materiais da fácies mais carbonatada.

O índice de alteração química (CIA) é de 30% nos materiais de preenchimento do fosso 1 (H1) e de 37% nos materiais correspondentes ao preenchimento em ambos os fossos (H2) onde a proporção de feldspatos é menor e encontra-se dentro da gama de valores observados para os materiais detríticos carbonatas recolhidos nos perfis representativos da geologia local.

A razão $SiO_2/CaCO_3$ assume um valor mais baixo na amostra correspondente aos materiais de preenchimento do fosso 1 (H1) do que na amostra correspondente aos materiais de preenchimento de ambos os fossos (H2) ($0,7 < SiO_2/CaCO_3 < 0,9$), valores semelhantes aos observados nos materiais recolhidos no perfil Norte. Esta razão correlaciona-se negativamente com a razão de calcificação, tal como ocorre nos materiais representativos da geologia local ($R^2=0,72$), uma vez que estamos na presença de materiais carbonatados mas não de calcretos (Figura 5.139, a).

A razão SiO_2/Al_2O_3 apresenta um valor de 3,2 em ambas as amostras e a razão Ca/Mg apresenta o valor 6 na amostra H2 e 8 na amostra H1, que se enquadram dentro da gama de valores observados nos materiais recolhidos no perfil Norte e na amostra Hh (material de transição para o calcreto lacustre). Estes índices são considerados como índices de meteorização intensa, precipitação e cimentação nos calcretos e permitem identificar a maior similaridade entre o estado de alteração/calcificação dos materiais de preenchimento e os recolhidos no perfil Norte e com os materiais de transição para o calcreto lacustre (Figura 5.139, b).

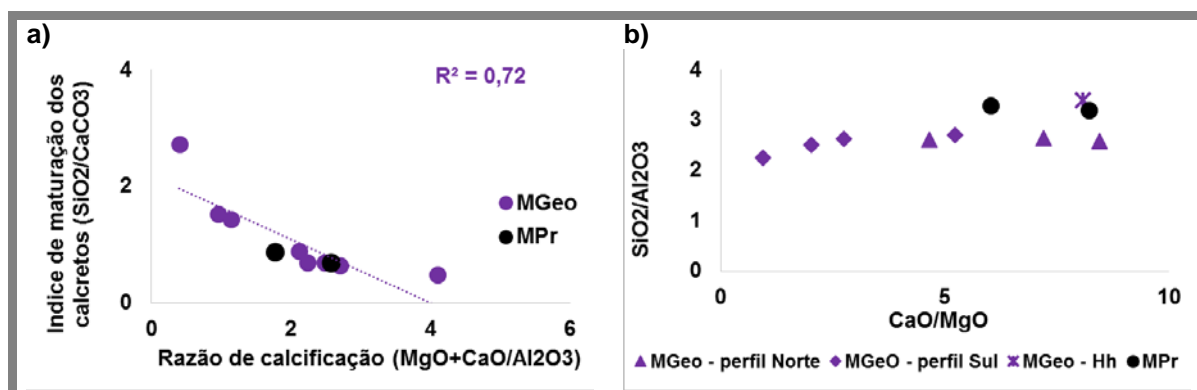


Figura 5.139 a) Variação do índice de maturação em função da razão de calcificação; c) índices de meteorização intensa, calcificação e reprecipitação na amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.

5.5.3.3.2 Comportamento dos elementos terras raras

De um modo geral verifica-se que o somatório de REE nos materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção entre os fossos ($30 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 109 \text{ mg/kg}$) é mais elevado nos materiais menos ricos em calcite, recolhidos a 148 cm, 114 cm, 105 cm e 5 cm de profundidade. O teor em REE é mais elevado no solo moderno e nos materiais recolhidos abaixo dos blocos de xisto (Figura 5.140, a). Relativamente aos materiais

representativos da geologia local, de um modo geral os materiais de preenchimento apresentam teores mais elevados em REE, nomeadamente os materiais menos carbonatados. Em relação aos valores médios da crosta continental, os materiais de preenchimento apresentam teores menores de REE. Tal como ocorre nos materiais representativos da geologia local o teor em REE correlaciona-se negativamente ($R^2=0,72$) com a proporção de calcite, indicando que estes elementos não se deverão fixar na fração carbonatada da amostra total.

As amostras menos carbonatadas apresentam enriquecimento em REE (normalizados aos condritos). Há a destacar o facto que em cada um dos conjuntos de amostras, mais carbonatadas e menos carbonatadas, se regista um aumento da base para o topo do teor em REE. Relativamente aos valores médios da crosta continental superior, os materiais menos carbonatados apresentam teores semelhantes em REE, com exceção das REE leves cujo teor é mais elevado na crosta continental superior (Figura 5.140, b).

A anomalia de Eu é negativa para a maioria dos materiais estudados ($0,80 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,98$) com exceção da amostra recolhida a 53 cm de profundidade (amostra total do coluvião depositado acima dos blocos de xisto) que apresenta uma anomalia ligeiramente positiva (Figura 5.140, c). As anomalias registadas são pouco acentuadas (relativamente aos valores médios da crosta continental superior) e mais próximas do valor observado na amostra de material da fácies mais carbonatada (Hh) do que o registado para os materiais detríticos carbonatados recolhidos nos perfis. O fato destes materiais apresentarem anomalias pouco acentuadas pode justificar-se em parte pela baixa ou inexistente proporção de plagioclase, mineral onde o Eu tende a fixar-se em detrimento das restantes REE. A anomalia de Ce é negativa na maioria dos materiais de preenchimento ($0,75 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,91$) com exceção dos recolhidos a 138 cm de profundidade que apresentam uma anomalia de Ce ligeiramente positiva (Figura 5.140, c). Neste materiais a anomalia de Ce encontra-se na gama de valores observados nos materiais representativos da geologia local e nos valores médios da crosta continental superior.

O fracionamento entre REE leves e pesadas ($3 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 7$) e entre REE leves e intermédias ($1 < (\text{La}/\text{Sm})_N = 3$) nos materiais de preenchimento é no geral menor do que o fracionamento na crosta continental superior e nos materiais da fácies mais carbonatada (Hh) e maior do que o fracionamento nos materiais detríticos carbonatados recolhidos nos perfis (Figura 5.140, d). A exceção ocorre nos materiais recolhidos a 138 cm e 108 cm de profundidade, materiais com uma elevada proporção de calcite (70%) onde o fracionamento observado é menor que nas restantes amostras de preenchimento e semelhante ao verificado nos materiais detríticos carbonatados recolhidos nos perfis. Verifica-se ainda que os materiais recolhidos entre os 105 cm e os 5 cm de profundidade e os materiais recolhidos na lateral (pH5) apresentam um maior fracionamento entre REE leves e pesadas.

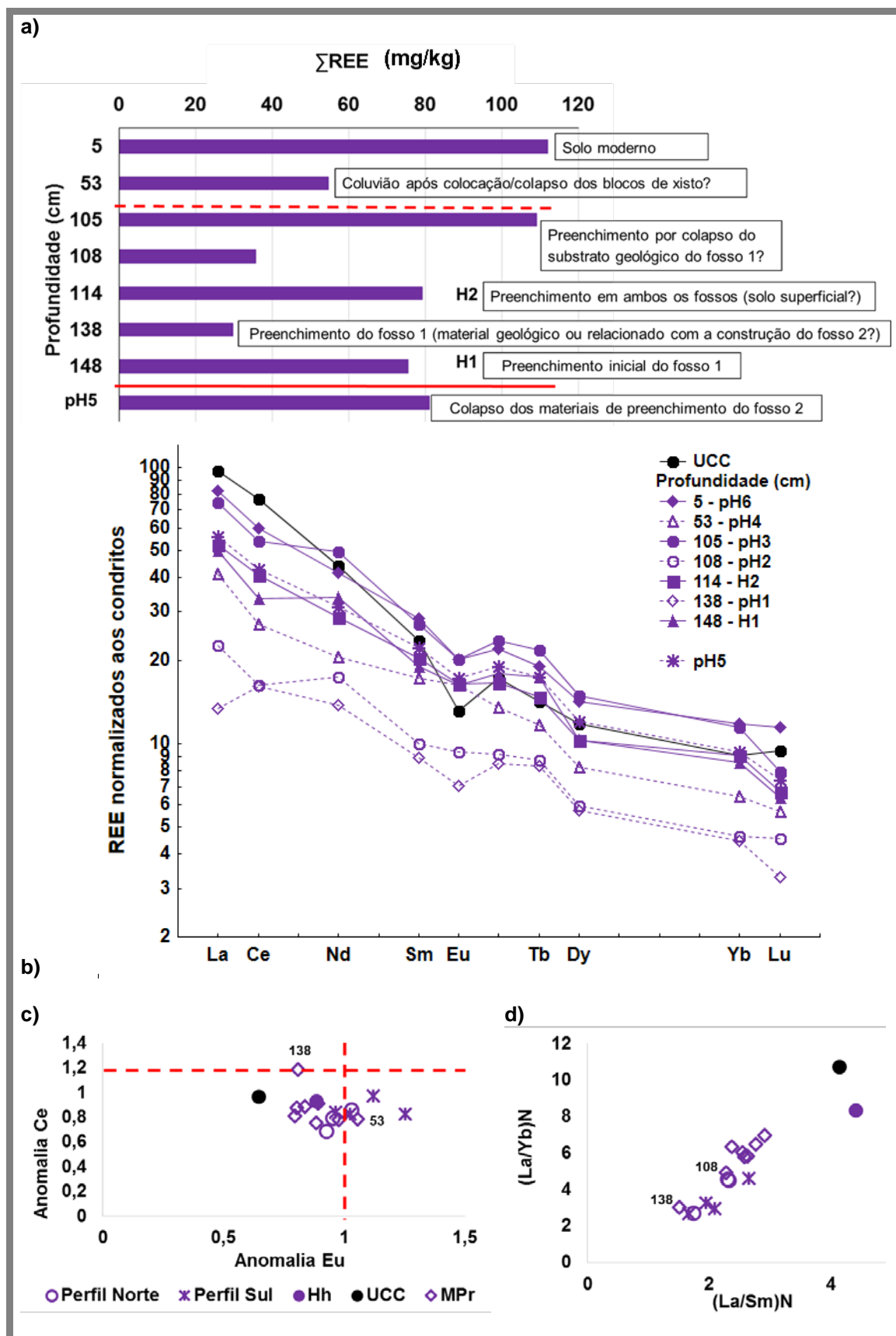


Figura 5.140 a) somatório de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da area de interseção dos fossos b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na amostra total; c) anomalias de Eu e Ce na amostra total; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.

5.5.3.4 Materiais de preenchimento - Fração argilosa

A composição química da fração argilosa das amostras recolhidas no preenchimento da área de interseção entre os fossos, H1 e H2 que correspondem aos materiais de preenchimento inicial do fosso 1 e ao preenchimento em ambos os fossos por possível colapso de solo superficial, encontra-se descrita no Anexo IV. A fração argilosa destes materiais é exclusivamente composta por esmectite e menor proporção de minerais de caulino, tendo sido observada a presença de calcite em ambas as amostras.

De um modo geral, a fração argilosa da amostra H1, que corresponde aos materiais de preenchimento do fosso 1 e que tem uma composição mineralógica menos rica em esmectite e mais rica em minerais de caulino do que a amostra H2, apresenta teores ligeiramente mais elevados na maioria dos elementos determinados (Figura 5.141,a). Relativamente à amostra total a fração argilosa das amostras encontra-se ligeiramente empobrecida na maioria dos elementos, sendo o empobrecimento mais evidente na fração argilosa da amostra H2 que corresponde aos materiais de preenchimento depositados em ambos os fossos, possivelmente por colapso de solo superficial (Figura 5.141,b). Na fração argilosa das amostras o empobrecimento é mais evidente no óxido de Na, Mn e Sb e verifica-se um ligeiro enriquecimento em Cs e W na fração argilosa da amostra H2 e em Zn, Cs e W na fração argilosa da amostra H1. Sendo o Na um elemento bastante móvel em meio aquoso, o seu empobrecimento deve-se ao processo de separação da fração argilosa por via húmida.

Em relação à fração argilosa dos materiais representativos da geologia local, a composição química da fração argilosa dos materiais de preenchimento assemelha-se mais com a composição química da fração argilosa dos materiais recolhidos no topo do perfil Norte (Hc). Esta semelhança é comprovada pelo estudo estatístico efetuado usando a composição química na fração argilosa em 30 elementos (Figura 5.142)

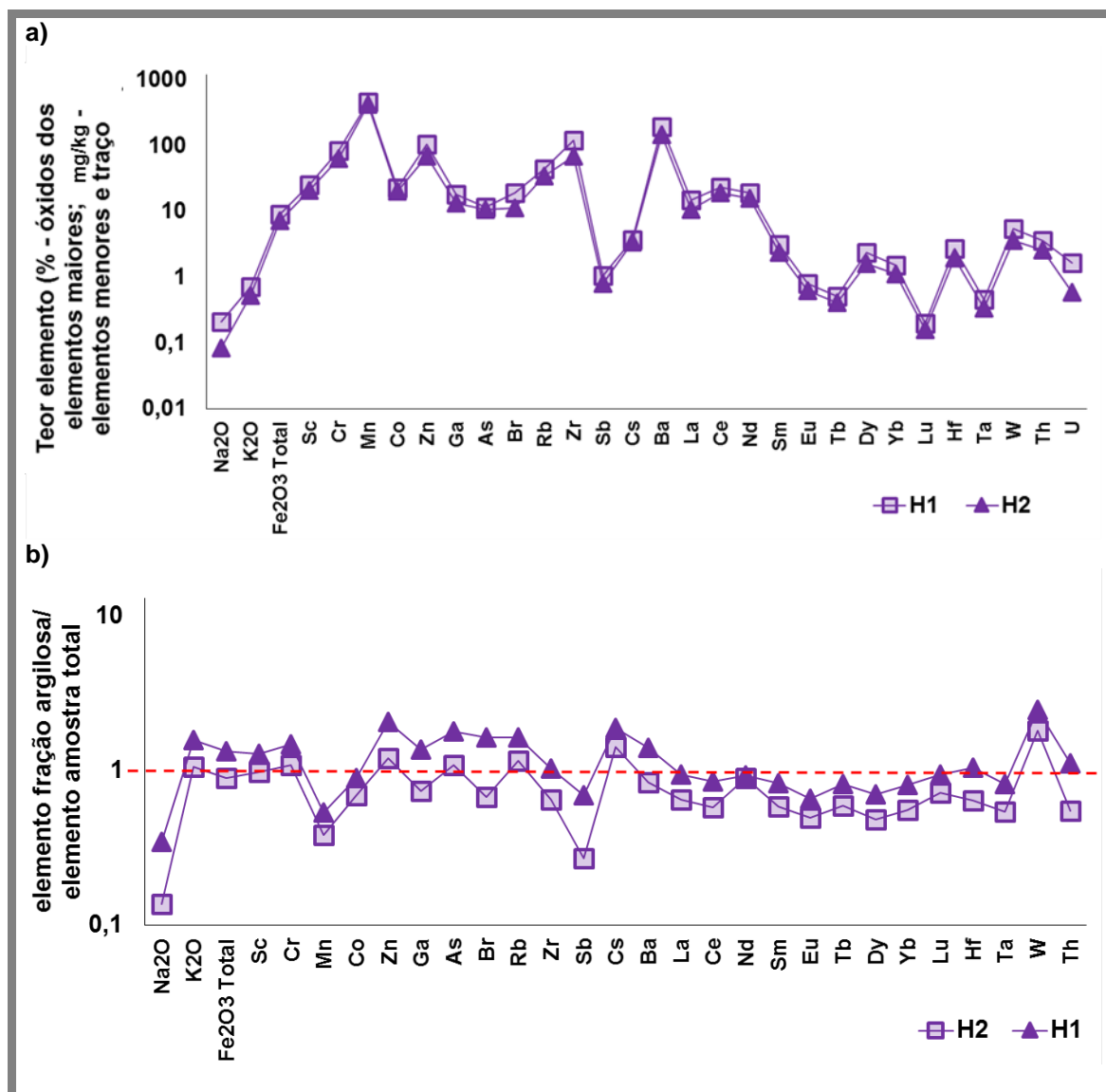


Figura 5.141 a) Composição química da fração argilosa; b) relação entre a composição química na fração argilosa e na amostra total das amostras H1 e H2 recolhidas no preenchimento da area de interseção entre os fossos na Horta dos Quarteirões.

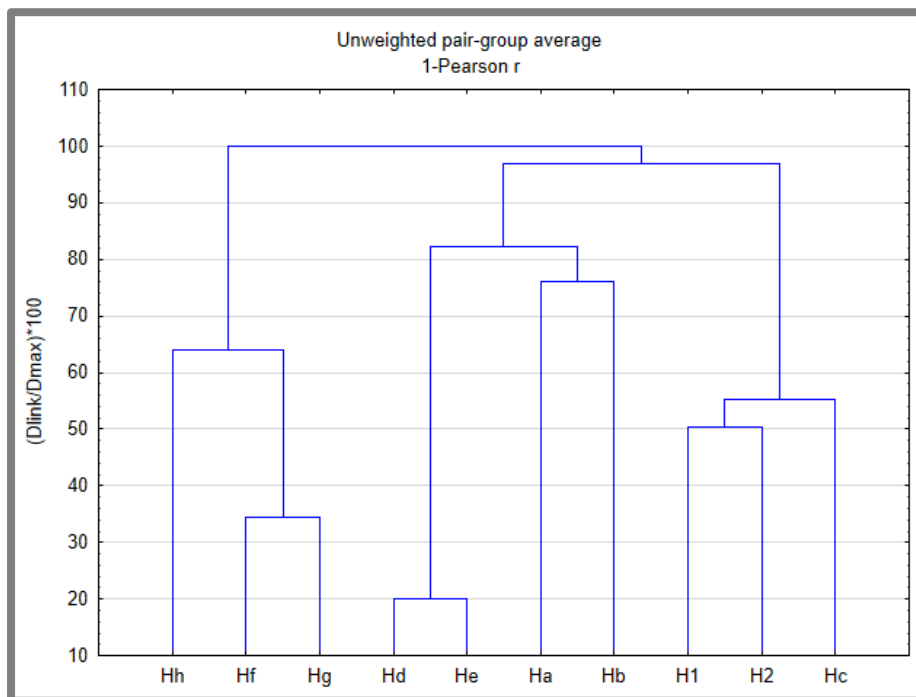


Figura 5.142 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis o teor em 30 elementos químicos determinados na fração argilosa de 10 amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões.

5.5.3.4.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório do teor em REE na fração argilosa dos materiais de preenchimento H1 e H2 (52 mg/kg <REE< 66 mg/kg) é menor do que na amostra total correspondente, sendo mais evidente na amostra H2, correspondente aos materiais de preenchimento em ambos os fossos (Figura 5.143, a e b). Na fração argilosa da amostra H1 (preenchimento o fosso 1) o teor em REE é maior do que na fração argilosa da amostra H2 (preenchimento em ambos os fossos). O teor em REE na fração argilosa dos materiais de preenchimento encontra-se dentro da gama de valores observados na fração argilosa dos materiais recolhidos no perfil Norte.

Normalizando os teores de REE aos condritos, observam-se anomalias negativas de Eu ($Eu/Eu^*=0,76$) e de Ce ($0,68 < Ce/Ce^* < 0,76$) na fração argilosa das duas amostras que são mais acentuadas do que as verificadas na amostra total correspondente (Figura 5.143, b e c). O fracionamento entre REE é maior na fração argilosa que na amostra total dos materiais de preenchimento ($(La/Sm)_N=3$ e $(La/Yb)_N=,7$, Figura 5.143, d), à semelhança do que acontece com os materiais recolhidos no perfil Norte.

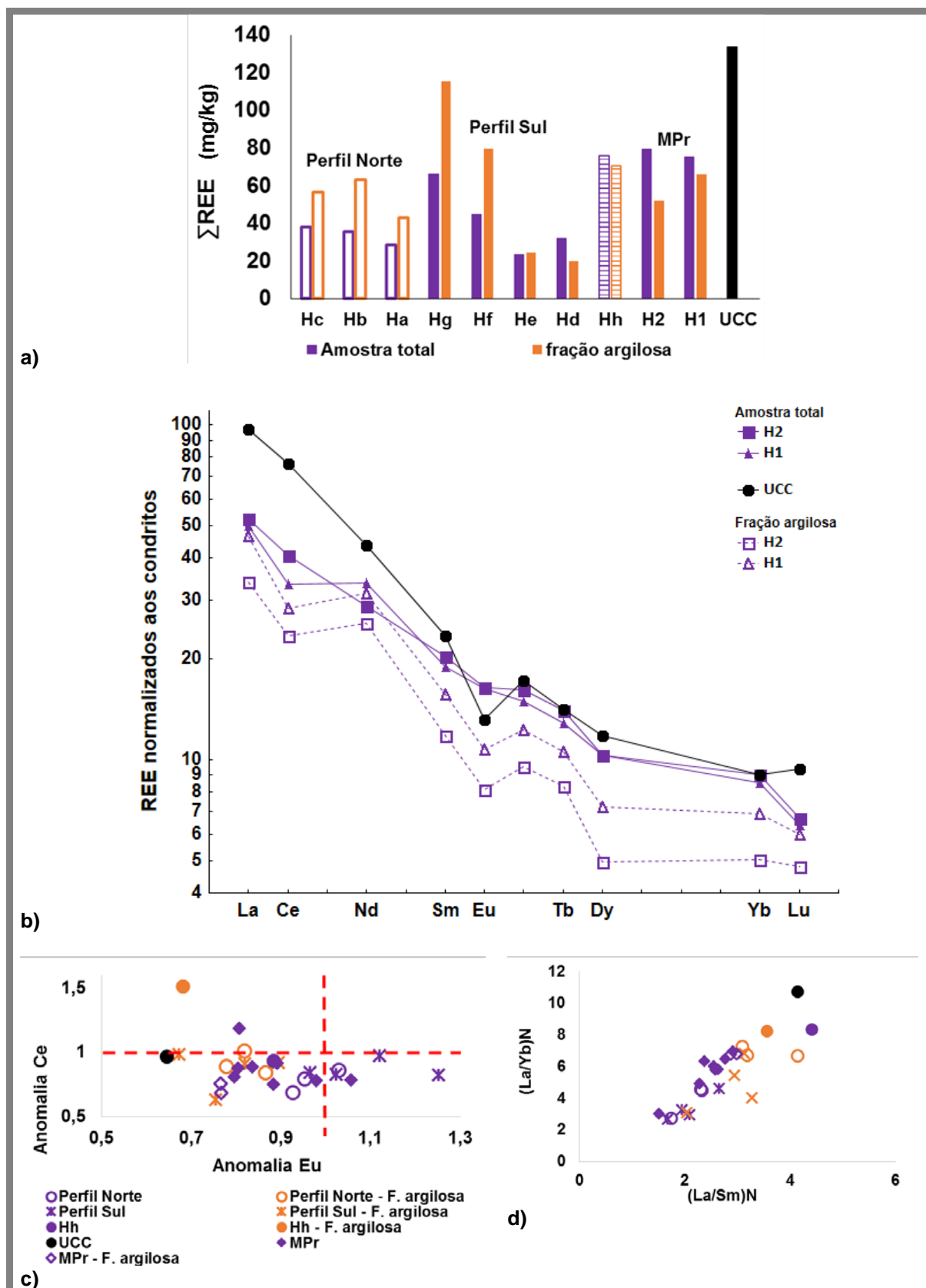


Figura 5.143 a) Somatório do teor em REE na fração argilosa e amostra total; b) Perfil de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais de preenchimento e representativos da geologia local recolhidos na Horta dos Quarteirões.

5.5.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento

5.5.4.1 Estudos em perfil – materiais de preenchimento do fosso

As frações de poliminerais, fina e grosseira, bem como a fração enriquecida em quartzo (PMF, PMG e EQZG), recolhidas nas amostras dos materiais de preenchimento do fosso, foram sujeitas ao protocolo de medida de testes iniciais, a partir do qual se obteve o comportamento dos sinais de luminescência ao longo do perfil, a sensibilidade de cada tipo de sinal à dose irradiada e a estimativa da dose absorvida aparente.

Considerando as diferentes frações mineralógicas é de notar que a sensibilidade ao IRSL é sempre inferior à sensibilidade ao OSL, que por sua vez é menor que a sensibilidade do pico 110°C do TSL, sendo estas diferenças mais evidentes na fração enriquecida em quartzo (QZG) e menos marcadas na fração de PMG (Figura 5.144). Há a realçar ainda a reprodutibilidade dos valores de sensibilidade entre as alíquotas nomeadamente de grãos poliminerais grosseiros e enriquecidos em quartzo grosseiro na resposta ao OSL e do pico a 110°C do TSL.

Considerando a sensibilização dos sinais estudados após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy (Figura 5.145), esta assume no geral uma maiores valores nas frações grosseiras e em especial como resposta ao OSL e no pico 110 °C TSL, o que pode indicar uma maior proporção de quartzo face aos restantes silicatos nas alíquotas. A reprodutibilidade entre alíquotas é mais evidente na resposta do pico 110 °C ao TSL.

No que respeita à razão entre os sinais de IRSL e OSL é de notar que são no geral muito baixas e na maioria dos casos inferiores à unidade (Figura 5.146) o que vem apontar para a maior proporção de quartzo nas alíquotas face a outros silicatos.

Observando a variação da dose absorvida aparente com a profundidade (Figura 5.147) estimada com base no comportamento dos grãos PMF, PMG e QCG, pode referir-se que da base da sequência de preenchimento para o topo há uma diminuição gradual da dose absorvida aparente, apresentando os materiais da base do fosso maior contribuição de sinais residuais do geológico (valores muito elevados de dose absorvida aparente que correspondem a grãos para os quais o sinal medido não foi levado a zero durante o evento de interesse). A diminuição da dose absorvida da base para o topo da sequência indica, de um modo geral, o preenchimento gradual da estrutura. Esta tendência é mais evidente na fração de poliminerais grosseiros como resposta ao OSL.

Observando a relação entre a dose absorvida aparente em cada uma das frações e a mineralogia das amostras de recolhidas em perfil, nomeadamente o teor em calcite (mineral dominante) apenas se verificam correlações positivas entre a dose absorvida aparente determinada nas frações grosseiras de quartzo e poliminerais como resposta ao TSL e o teor em calcite (Figura 5.148). Há a realçar que se verifica a alternância entre níveis com mais calcite e doses absorvidas aparentes mais elevadas e níveis menos carbonatados com doses absorvidas aparentes mais baixas. Poderá então esperar-se, tal como se observou para as amostras dos sítios de Monte Carrascal, Monte Cortes e Covas (Capítulos 5.1, 5.2 e 5.3), doses absorvidas pelo quartzo mais elevadas nas amostras mais ricas em calcite.

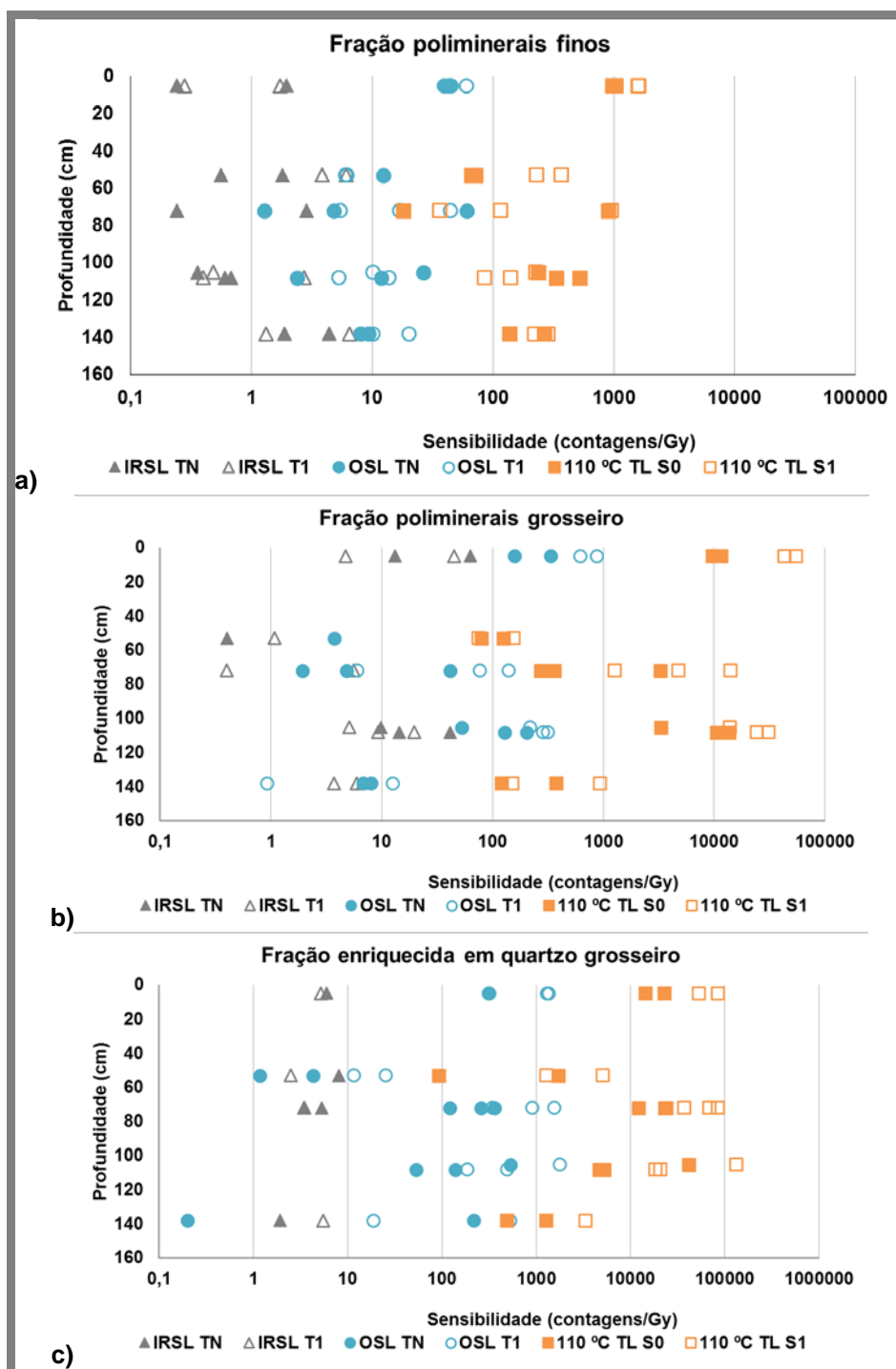


Figura 5.144 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração fina e grosseira de poliminerais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.

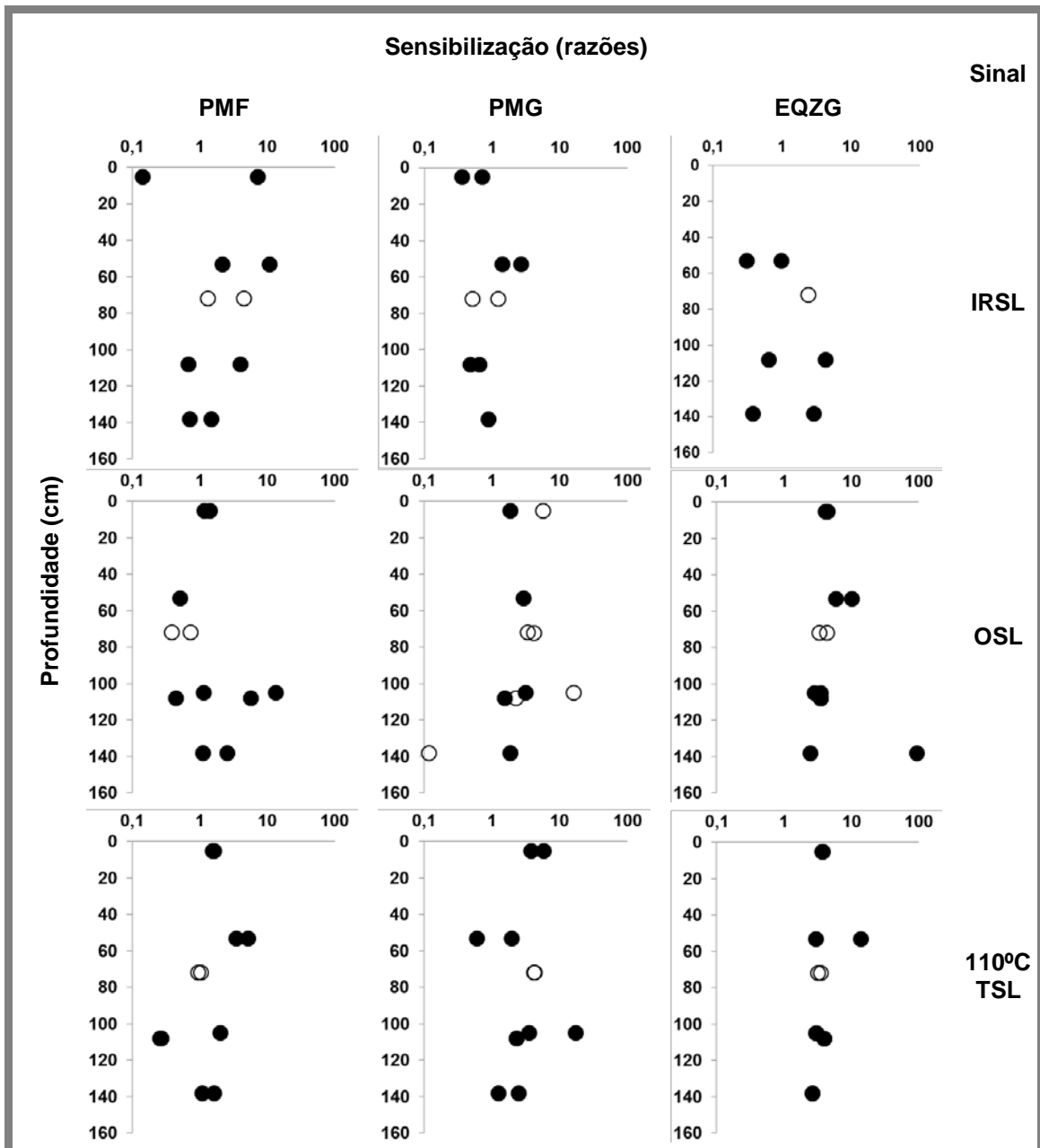


Figura 5.145 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil na area de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

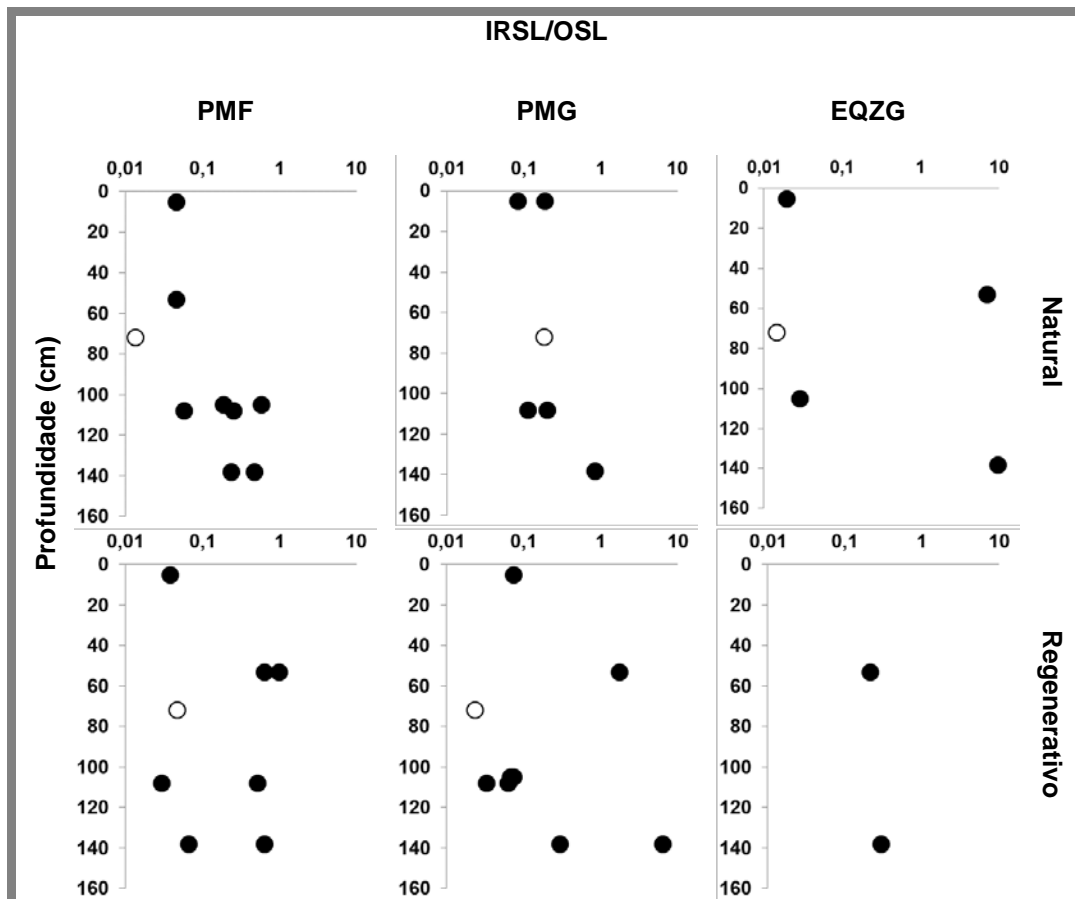


Figura 5.146 Sensibilidade do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidos em perfil na area de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

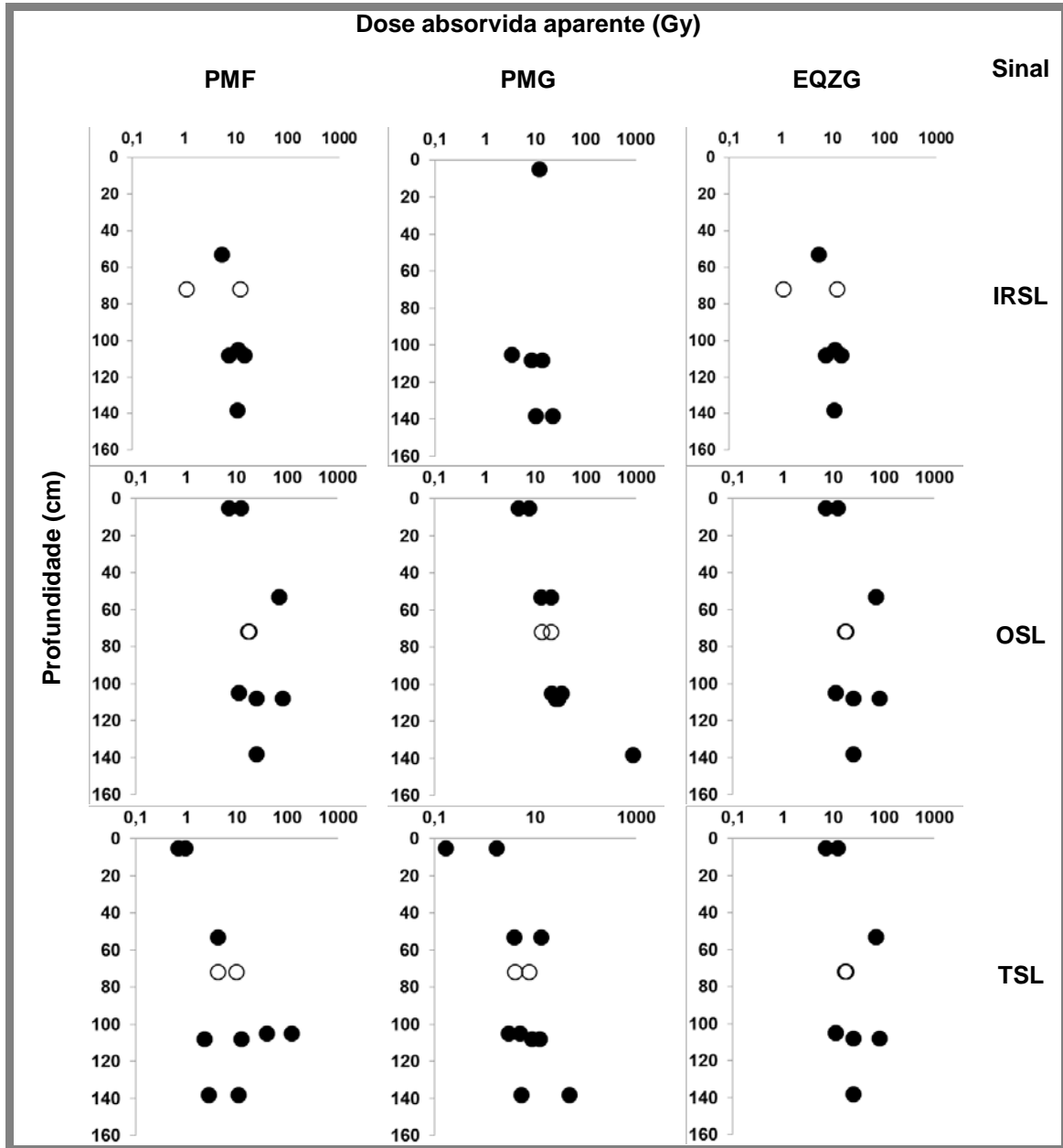


Figura 5.147 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil na area de intersecção entre os fossos na Hota dos Quarteirões.

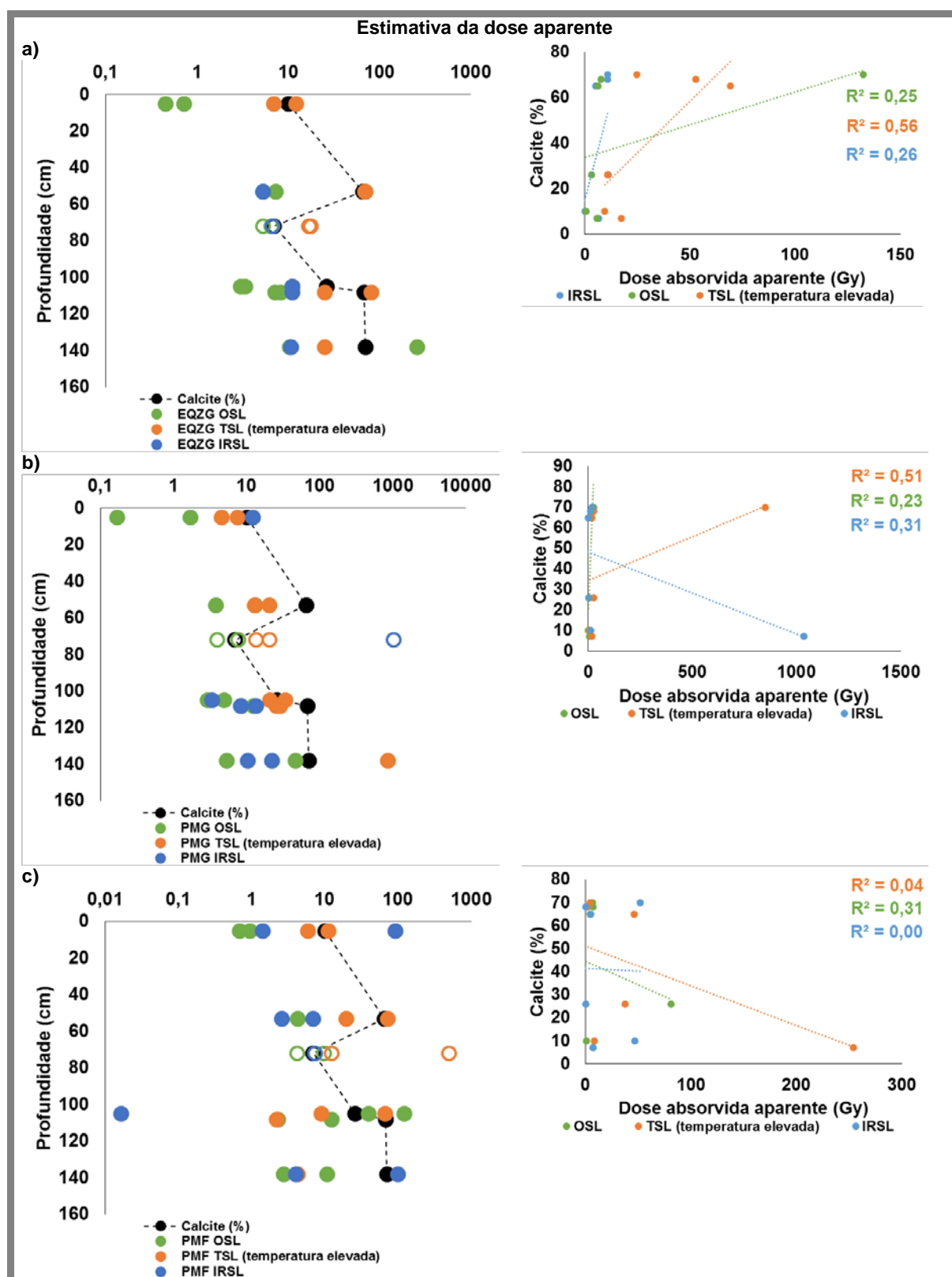


Figura 5.148 Variação do teor em calcite na amostra total e das estimativas das doses absorvidas aparentes calculadas a partir das respostas dos grãos grosseiros enriquecidos em quartzo (a) e nos grãos de poliminerais grosseiros (b) e finos (c) dos materiais de preenchimento recolhidos em perfil na area de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões, à estimulação ótica e térmica, após sujeição do material à sequência de testes iniciais, em função da profundidade, e variação da proporção de calcite em função da estimativa de dose aparente para cada uma das frações.

5.5.4.2 Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraído das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datar (H1 e H2), foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração enriquecida em quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de QZG ao OSL ($211 - 439 \times 10^{-3}$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) é mais elevada do que a observada sensibilidade para o pico a 110°C do QZG no TSL ($3,55 - 8,14 \times 10^{-3}$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$). O QZC recolhido na amostra H1 recolhida na base do preenchimento que corresponde ao preenchimento inicial do fosso 1 apresenta a maior sensibilidade ao OSL e ao TSL (Tabela 5.19).

Tabela 5.19 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas na area de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

Amostra	Sensibilidade (contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1} \times 10^{-3}$)	
	OSL	TSL (pico a 110°C)
H2	211	3,55
H1	439	8,14

5.5.4.3 Radioluminescência

Os grãos de quartzo grosseiro (160-250 μm) da amostra H2, recolhida no preenchimento inicial comum aos dois fossos, foram analisados por radioluminescência por forma a ser estudado o comportamento dos centros de emissão de luminescência entre 365 e 380 nm, medidos para a datação, e outras emissões nas bandas visíveis. Neste sentido, verificou-se que ao longo das medições efetuadas, ocorre a diminuição da intensidade do sinal de radioluminescência tanto na amostra natural como após ativação (Figura 5.26). Na amostra natural a intensidade máxima do sinal diminui de 0,08 para 0,06 durante 20 ciclos de irradiação com raios X (medição RL), enquanto após a ativação a intensidade máxima diminui de 0,2 para 0,05. Para além do aumento da intensidade do sinal, após ativação a curva da intensidade em função do comprimento de onda sofre uma alteração na sua forma, tornando-se mais simétrica e estreita (Figura 5.149).

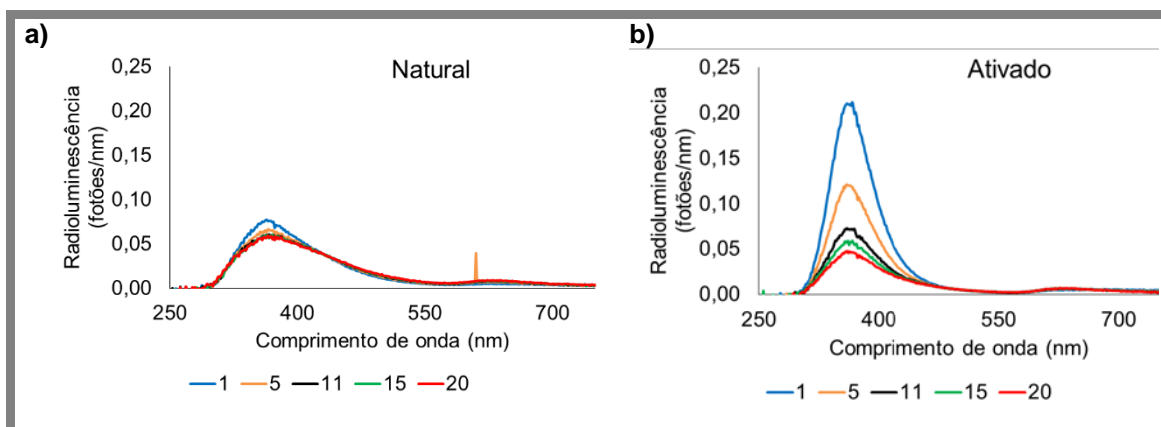


Figura 5.149 Intensidade do pico de radioluminescência entre 365 e 380 nm, do QZG da amostra H2 recolhida no preenchimento inicial comum aos dois fossos na Horta dos Quarteirões, sem (a) e com (b) ativação (aquecimento prévio até 500 °C).

5.5.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões foram selecionadas duas amostras para datação por luminescência, recolhidas no preenchimento inicial do fosso 1 (H1) e no preenchimento inicial comum aos dois fossos (H2). De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiro e a estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra.

5.5.5.1 Determinação da dose absorvida

5.5.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida, o quartzo grosseiro obtido foi sujeito a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na (Figura 5.150). Desta forma estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação da amostra e verificou-se que apesar da razão dos sinais IRSL/OSL não ser muito baixa no que respeita à dose absorvida aparente, a sensibilidade do quartzo grosseiro ao OSL é cerca de dez vezes superior.

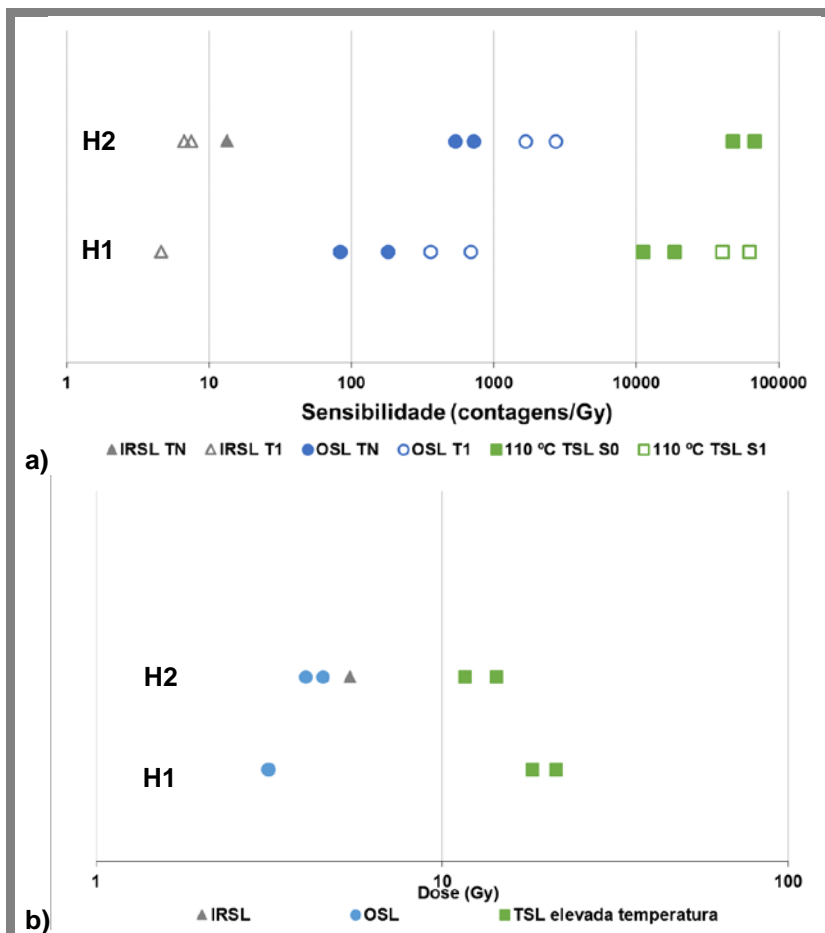


Figura 5.150 Variação da sensibilidade (a) e da dose absorvida (b) pelos grãos de quartzo grosseiro nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas na área de interseção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

5.5.5.1.2 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL, verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvida para estas amostras (H1 e H2) é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho nos gráficos da Figura 5.151, a). A dispersão dos valores de dose absorvida bem como as razões de reciclagem é maior na amostra H2 (preenchimento inicial comum aos dois fossos), conduzindo a uma maior percentagem de incerteza (Figura 5.151 e Tabela 5.20). No que respeita à dose absorvida determinou-se uma dose $3,7 \pm 0,2$ Gy para a amostra recolhida no preenchimento inicial do fosso 1 (H1) e $3,9 \pm 0,3$ Gy para a amostra recolhida no preenchimento inicial comum aos dois fossos (Tabela 5.20).

Tabela 5.20 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões, determinadas pelo protocolo SAR- OSL. A dose absorvida é resultado da média ponderada ao inverso da variância.

Amostra	H2	H1
Dose absorvida (Gy)	3,9	3,7
Incerteza	0,3	0,2
% Incerteza	8	5

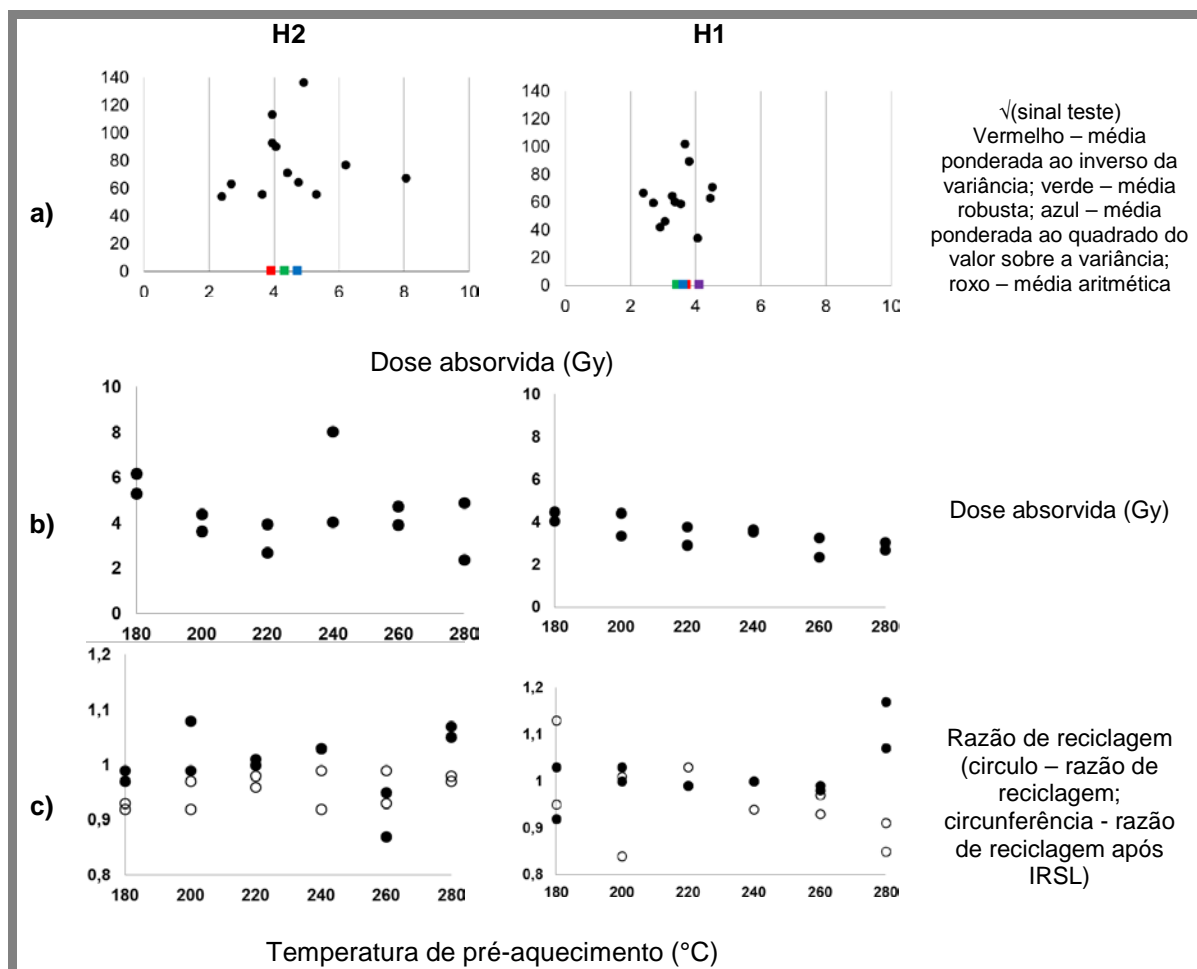


Figura 5.151 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

5.5.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose determinada para estas amostras de preenchimento é de cerca e 0,8 Gy/ka (Tabela 5.21) em ambas as amostras. Apesar das amostras terem sido recolhidas nos níveis menos carbonatados da sequência de preenchimento, o facto de o substrato geológico ser muito carbonatado leva a que a taxa de dose ainda seja considerada baixa, visto a presença de calcite promover um efeito de diluição nos elementos, em especial no K, Rb, Th e U, e a retenção de água, conduzindo a taxas de dose mais baixas.

Tabela 5.21 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

Amostras		H2	H1
	Gy/ka	0,86	0,85
Taxa de dose	±	0,08	0,05
	% Incerteza	10	6

5.5.5.3 Estimativa da idade – Interpretação

A idade estimada para as amostras recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões são $4,4 \pm 0,4$ ka para a amostra H1, recolhida no preenchimento inicial do fosso 1, e $4,5 \pm 0,6$ ka para a amostra H2, recolhida no preenchimento inicial em ambos os fossos (Tabela 5.22).

Tabela 5.22 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

Amostras	H2	H1
Idade (ka)	4,5	4,4
±	0,6	0,4
% Incerteza	12	8

A idade estimada para as amostras, quando projetada em conjunto com a idade estimada aparente, determinada com base na dose absorvida aparente das amostras de perfil (OSL na fração enriquecida em quartzo), evidencia a dependência da dose absorvida, e por conseguinte da idade estimada, com o teor de calcite (Figura 5.152). Ou seja, apesar da taxa de dose ser baseado nas medições das amostras de datação (pouco calcíticas e portanto com maiores teores em radionuclídeos), as amostras de perfil das camadas mais calcíticas (neste caso níveis de colapso) apresentam idades aparentes maiores.

As amostras recolhidas a 138 cm e 108 cm de profundidade foram descritas como pertencendo a níveis de preenchimento por colapso de materiais geológicos, e tal como já observado pela composição química e mineralógica destas amostras, a idade estimada aparente obtida é fruto da contaminação por sinais residuais geológicos que não foram removidos eficazmente. Esta informação pode apontar para que o preenchimento da estrutura após estes colapsos tenha ocorrido rapidamente impedido que os sinais do geológico fossem convenientemente removidos nestes materiais. Neste sentido, pode corroborar-se as indicações dos arqueólogos de que a deposição dos diferentes níveis deverá ter ocorrido sob uma ação hídrica forte (Santos, 2011b).

As amostras para as quais se determinou a idade, H1 e H2, assim como a amostra recolhida a 108 cm de profundidade, pelo sua menor proporção de calcite apresentam uma menor dose absorvida e por conseguinte uma estimativa de idade que corresponde a valores menores. A datação das amostras H1 e H2 permite atribuir estes dois níveis de preenchimento ao Calcolítico.

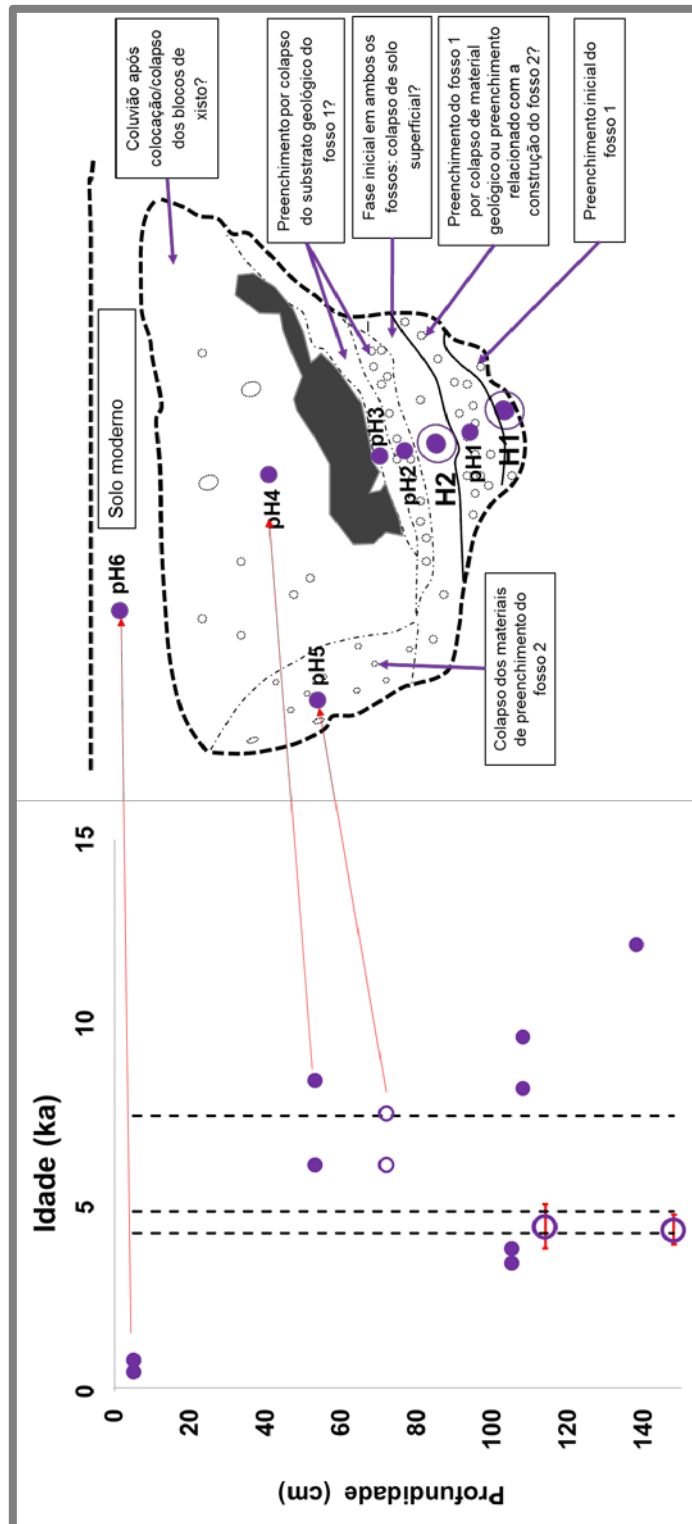


Figura 5.152. Distribuição da idade estimada com a profundidade com indicação das janelas de tempo para o Neolítico e para o Calcolítico. A idade das amostras de perfil (círculos roxos) são idades aparentes calculadas com base na dose absorvida aparente determinada a partir dos resultados do OSL na fração enriquecida em quartzo grosseiro nos testes iniciais. A taxa de dose utilizada para o cálculo da idade ao longo do perfil foi a determinada para os grãos de quartzo grosseiros das amostras H1 e H2. As circunferências pequenas a roxo identificam a amostra de perfil recolhida lateralmente. As circunferências grandes a roxo indicam a idade estimada, com a respetiva incerteza com base no protocolo SAR-OSL aplicado ao quartzo grosseiro das amostras H1 e H2, recolhidas na área de interseção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

5.5.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

O comportamento químico e mineralógico, tanto da amostra total como da fração argilosa, da amostra representativa da fácies mais carbonatada recolhida na área envolvente ao sítio arqueológico da Horta dos Quarteirões, permite distingui-la dos materiais detríticos carbonatados aí recolhidos. Esta amostra, pela proximidade geográfica e pela composição química e mineralógica, bem como pelos aspetos macroscópicos observados, deverá tratar-se de um material de transição para os calcretos lacustres da Bacia de Moura.

Considerando a mineralogia da amostra total (fração <2 mm) dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões procedeu-se ao estudo estatístico envolvendo 7 variáveis em 16 amostras e verificou-se uma maior semelhança entre os materiais recolhidos na base e no nível intermédios do perfil Norte (Ha e Hb) com os materiais menos carbonatados H1 e H2, recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos que correspondem aos materiais de preenchimento do fosso 1 e de ambos os fossos, respetivamente. Verificou-se também uma maior semelhança entre os materiais recolhidos no topo do perfil Sul (Hf e Hg) com os materiais recolhidos no solo moderno pH6 e com os materiais correspondentes ao preenchimento do fosso por derrube da parede do fosso 1 (pH3). Os materiais recolhidos no preenchimento da área de interseção dos fossos que de alguma forma se relacionam com os materiais de preenchimento do fosso 2/construção do fosso 2 (pH1 e pH5) apresentam entre si semelhança do ponto de vista da composição mineralógica da amostra total (fração <2 mm) (Figura 5.153).

Através de análise estatística, elaborada com base no teor em 28 elementos químicos determinados na amostra total dos materiais de preenchimento e dos materiais representativos da geologia local, confirmou-se o já descrito ao longo das secções anteriores. É clara a distinção entre a composição química da amostra total dos materiais representativos da geologia local e dos materiais descritos pelos arqueólogos como materiais geológicos e os materiais de preenchimentos dos dois fossos, onde a contribuição dos materiais geológicos é menor (Figura 5.154). As amostras pH5, H1 e H2 que correspondem aos materiais de preenchimento do fosso 2, do fosso 1 e de ambos os fossos, respetivamente, apresentam grande semelhança entre si.

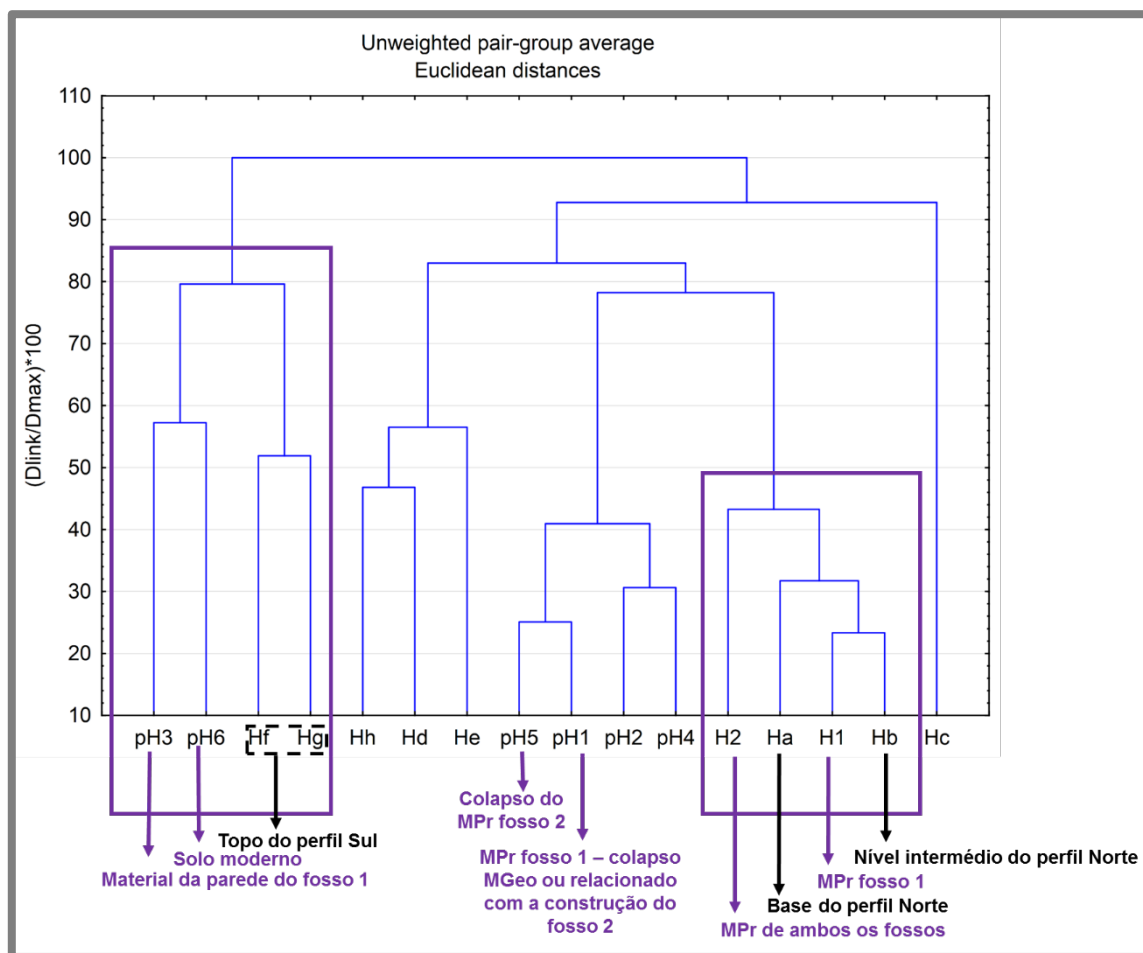


Figura 5.153 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis a proporção dos 7 minerais detetados na amostra total (fração <math><2\ \mu\text{m}</math>) dos materiais recolhidos na Horta dos Quateirões.

A amostra pH3 que tal como a pH4 foram descritas como material geológico depositado por colapso das paredes do fosso 1, distinguem-se entre si, sendo a amostra pH3, menos carbonatada e apresentando uma grande semelhança com os materiais recolhidos no solo moderno (pH6). Deste modo, a interpretação arqueológica poderá ter de ser revista, já que os materiais pH3 serão distintos dos pH4, e não corresponderão a material geológico, mas sim ao colapso do solo moderno.

Os materiais recolhidos no perfil Sul, com exceção da amostra He que apresenta uma composição mais rica em calcite, distinguem-se claramente dos materiais recolhidos do perfil Norte (mais carbonatados), uma vez que a composição dos materiais do perfil Sul é mais rica na maioria dos elementos químicos determinados com exceção do iodo que não foi detetado nos materiais do perfil Sul.

As amostras pH1 e pH2, interpretadas do ponto de vista arqueológico como estando relacionadas com o colapso de material geológico das paredes dos fossos, apresentam uma composição química que pode indicar que na realidade correspondem a material com uma maior contribuição do substrato geológico, em especial a amostra pH2.

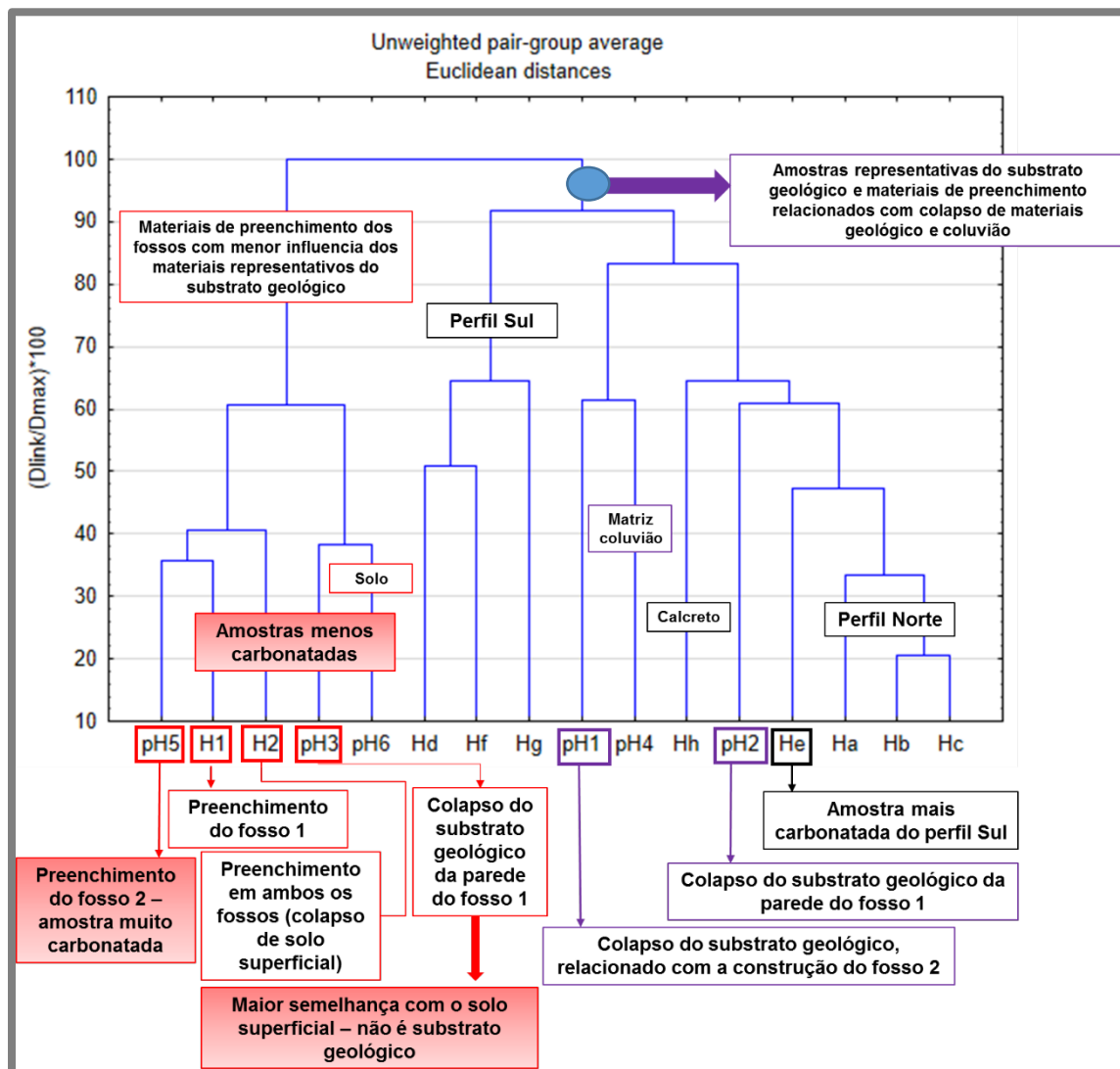


Figura 5.154 Dendrograma construído com o programa Statistica 10, usando como variáveis o teor em 28 elementos químicos determinados na amostra total das 16 amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões. Com indicação da interpretação arqueológica dada aos diferentes materiais e com indicação da interpretação obtida neste trabalho.

Os estudos de luminescência em perfil permitiram verificar a relação positiva entre o teor em calcite na amostra total e a dose absorvida aparente, como verificado nos materiais de preenchimento das estruturas negativas do Monte Carrascal e do Monte de Cortes (secção 5.1 e 5.2 do presente trabalho e Rodrigues et al, 2013), que promovem a sobrevalorização da idade das amostras mais carbonatadas com base nos sinais residuais elevados no OSL.

Uma vez que se escolheram amostras para datação com um menor teor em calcite, ou seja amostras cuja informação disponível não revelava tratarem-se de material de colapso de substrato geológico, este efeito deveria ter sido atenuado. Ambas as idades obtidas encontram-se dentro do período do Calcolítico. As amostras apresentam idades semelhantes indicando que a exposição dos materiais de preenchimento inicial do fosso 1 e dos materiais de preenchimento inicial em ambos os fossos terá ocorrido no mesmo período, o que corrobora as indicações dos arqueólogos de que os fossos estiveram abertos e expostos em simultâneo (Santos, 2011b).

Neste contexto, a aplicação da hipótese da ausência total de calcite, utilizada como forma de limitar os efeitos máximos da calcite na taxa de dose, conduziria a idades inferiores (cerca de 3 ka) dentro do período entre a Idade do Bronze e do Ferro (Figura 5.155). Atendendo ao conjunto de estruturas negativas estudadas na região o período indicado deverá ser recente para este contexto.

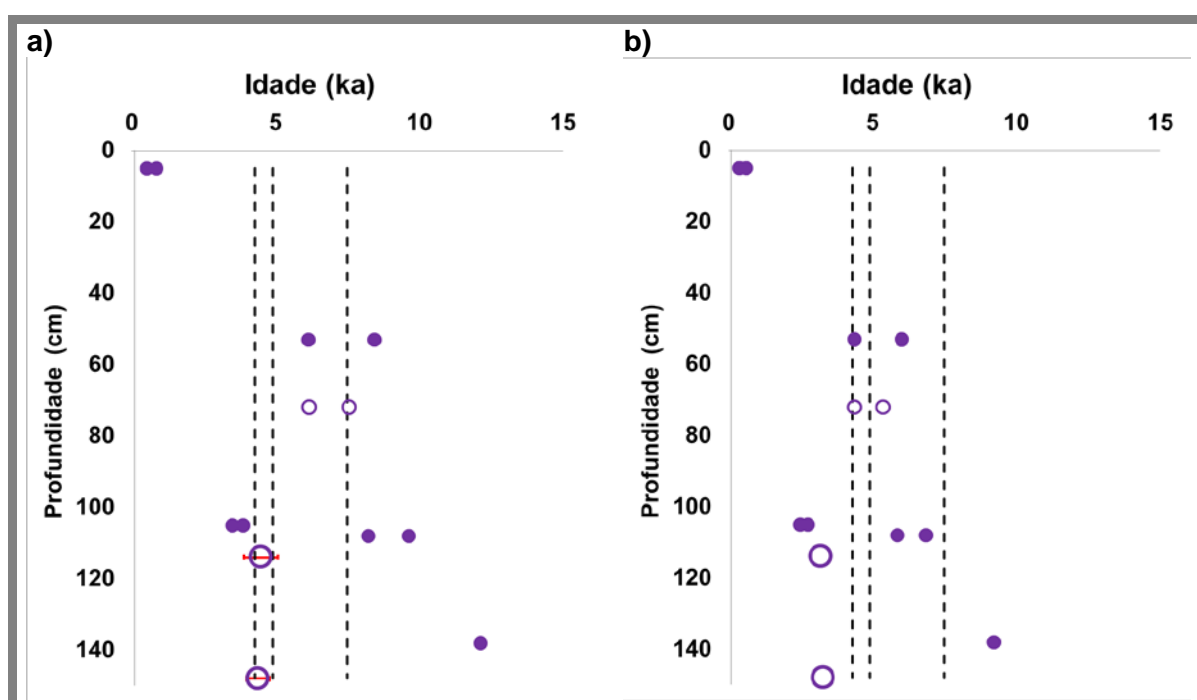


Figura 5.155 Projecção das idades aparentes e estimadas em função da profundidade e com indicação dos períodos entre o Neolítico e o Calcolítico, para as amostras recolhidas na Horta dos Quarteirões: a) daterminações efectuadas; b) idades especuladas a partir da hipótese de remoção total da calcite do meio.

5.6 Malhada da Orada

No sítio arqueológico da Malhada da Orada foram amostrados os materiais que cobriam as diversas estruturas negativas encontradas no local, amostra MO1, que correspondem a materiais de alteração do granito local. De forma a enquadrar esta amostra de materiais e preenchimento do ponto de vista composicional e granulométrico no contexto geológico local, foram recolhidas quatro amostras (MOa - MOd) representativas do Maciço granítico do Pedrogão em diferentes estados de alteração. A amostra da base do perfil de alteração MOa, por se tratar de um fragmento de granito, para ser possível a sua análise, a amostra total foi sujeita a moagem em moinho de maxilas. Para os restantes materiais, a análise composicional ocorreu sempre sobre a fração <2 mm (amostra total).

5.6.1 Granulometria

Analisando os teores em cada fração granulométrica dos materiais recolhidos na Malhada da Orada (Anexo II) observa-se que os materiais de preenchimento MO1 são essencialmente constituídos por fração arenosa (72%). Os materiais recolhidos no perfil de alteração do granito são mais grosseiros, sendo essencialmente constituídos por cascalho (>2 mm) cuja proporção diminui da base para o topo (80% - 100%) acompanhada do aumento da proporção das frações menos grosseiras.

Através da projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard, é possível classificar todos os materiais recolhidos na Malhada da Orada como areia, sendo os materiais de preenchimento MO1 os mais finos (Figura 5.156, a). Esta afirmação corrobora as indicações do campo que classificam estes materiais (à exceção do fragmento de granito) como materiais arenosos. As curvas granulométricas da amostra total evidenciam que as amostras recolhidas nos níveis intermédios do perfil de alteração do granito, MOb e MOc, apresentam-se uma melhor graduação, sendo este facto confirmado pelo valor do coeficiente de curvatura (C_c) da curva granulométrica que nestas amostras varia entre 1 e 3 (Norma ASTM International – D2487 -06; Powrie, 2014) (Figura 5.156, b).

Os materiais finos (<63 μm) representam uma pequena proporção das amostras e, a fração com maior expressividade na amostra de materiais de preenchimento MO1 é a fração de silte mais fino, enquanto nas amostras do topo do perfil de alteração, MOc e MOd é a fração argilosa a que apresenta uma maior proporção. A partir do diagrama triangular onde se projeta a granulometria da fração argilosa é notória a semelhança entre a distribuição granulométrica dos materiais finos da amostra MO1 e da amostra da base do perfil MOa (Figura 5.156, c). As curvas granulométricas da fração <63 μm dos materiais recolhidos (Figura 5.156, d) permitem distinguir dois conjuntos de perfis de distribuição das partículas finas. O material fino recolhido no preenchimento das estruturas negativas MO1 e o material fino da amostra da base do perfil de granito apresentam uma curva em S suavizada indicando que o material fino destas amostras encontra-se melhor graduado (Sugiuo, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993). Os materiais finos das amostras recolhidas nos níveis superiores do perfil de granito, MOb – MOd, apesar de apresentarem curvas em S suaves, apresentam uma grande proporção de material argiloso (>50%) não sendo por isso amostras cuja fração fina encontra-se bem graduada.

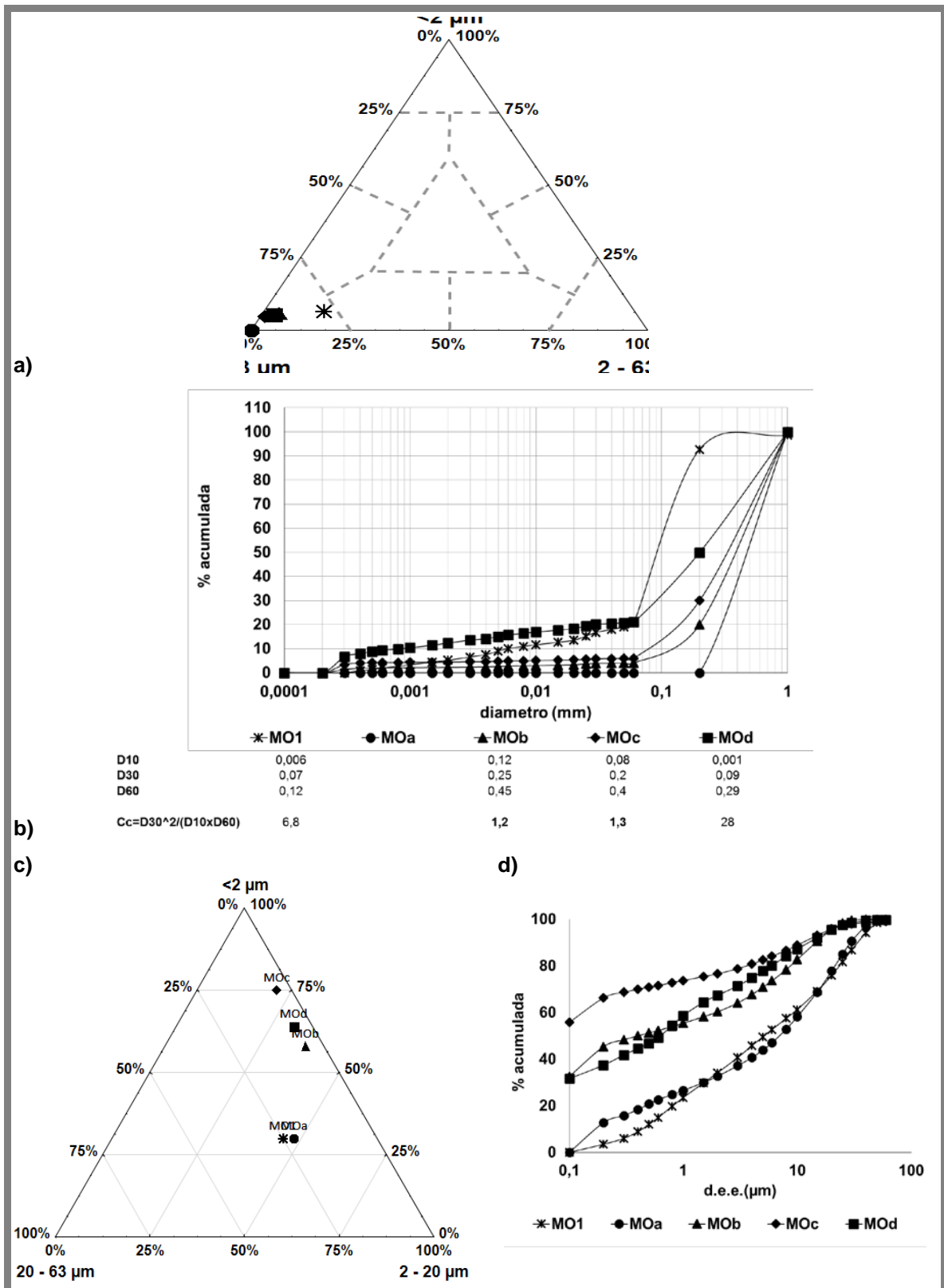


Figura 5.156 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard para a amostra total; b) curvas granulométricas e coeficiente de curvatura (C_c) para a amostra total; c) projeção dos teores em material fino (< 63 μ m) em diagrama triangular; d) curvas granulométricas da fração <63 μ m para os materiais amostrados na Malhada da Orada.

5.6.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para amostra total (fração <2 mm) e fração argilosa das amostras estudadas, assim como a semiquantificação dos teores dos minerais presentes nas amostras encontram-se no Anexo III. No caso da amostra da base do perfil de granito MOa, a mineralogia foi determinada na amostra total (após moagem do fragmento de granito).

5.6.2.1 Amostra total

A associação mineralógica dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito é dominada pela presença de plagioclase (albite) que diminui da base para o topo (14% - 42%). Associados à plagioclase surgem o quartzo (21% - 34%), os feldspatos potássicos (17% - 25%) e os filossilicatos (7% - 40%) que aumentam da base para o topo como expectável. Nos níveis da base, MOa e MOb, foram detetados traços de hematite. A diminuição da proporção de plagioclase, acompanhada do aumento dos filossilicatos, da base para o topo indica que os materiais do topo encontram-se mais meteorizados que os da base, como seria de esperar e corroborando as informações obtidas, tanto no campo como no estudo da granulometria. Em todas as amostras verificou-se a presença de micas, diminuindo a proporção da base para o topo do perfil (Figura 5.157, a).

Os materiais de preenchimento MO1 apresentam uma composição mineralógica na amostra total onde se verificam proporções idênticas de quartzo e feldspatos potássicos (30%), uma proporção ligeiramente menor de plagioclase (albite, 22%) e uma pequena proporção de filossilicatos. Foi detetada a presença de micas nesta amostra. Relativamente aos materiais representativos da geologia local, a composição mineralógica dos materiais de preenchimento é muito semelhante ao verificado na amostra total dos materiais recolhidos nos níveis intermédios do perfil de alteração (MOb e MOc) (Figura 5.157, b).

Segundo a carta geológica de Moura (1/500 000, folha 43-B), o maciço granítico calco-alcalino do Pedrogão apresenta uma composição mineralógica formada essencialmente por feldspatos alcalinos, plagioclase, quartzo e biotite aos quais se podem associar a mirmequite, moscovite, apatite, esfena, clorite, sericite, óxidos de ferro e menos frequentemente turmalina e anfíbola (Barros e Carvalhosa e Galopim de Carvalho, 1970). Em estudos petrográficos anteriores identificou-se a presença de quartzo, feldspato alcalino, plagioclase, biotite e moscovite, e apatite e zircão como minerais acessórios, bem como a sericite e a clorite como fases de alteração em materiais recolhidos no Maciço do Pedrogão (Antunes, 2006). Neste sentido pode dizer-se que os materiais amostrados na Malhada da Orada apresentam uma mineralogia de acordo com o já documentado.

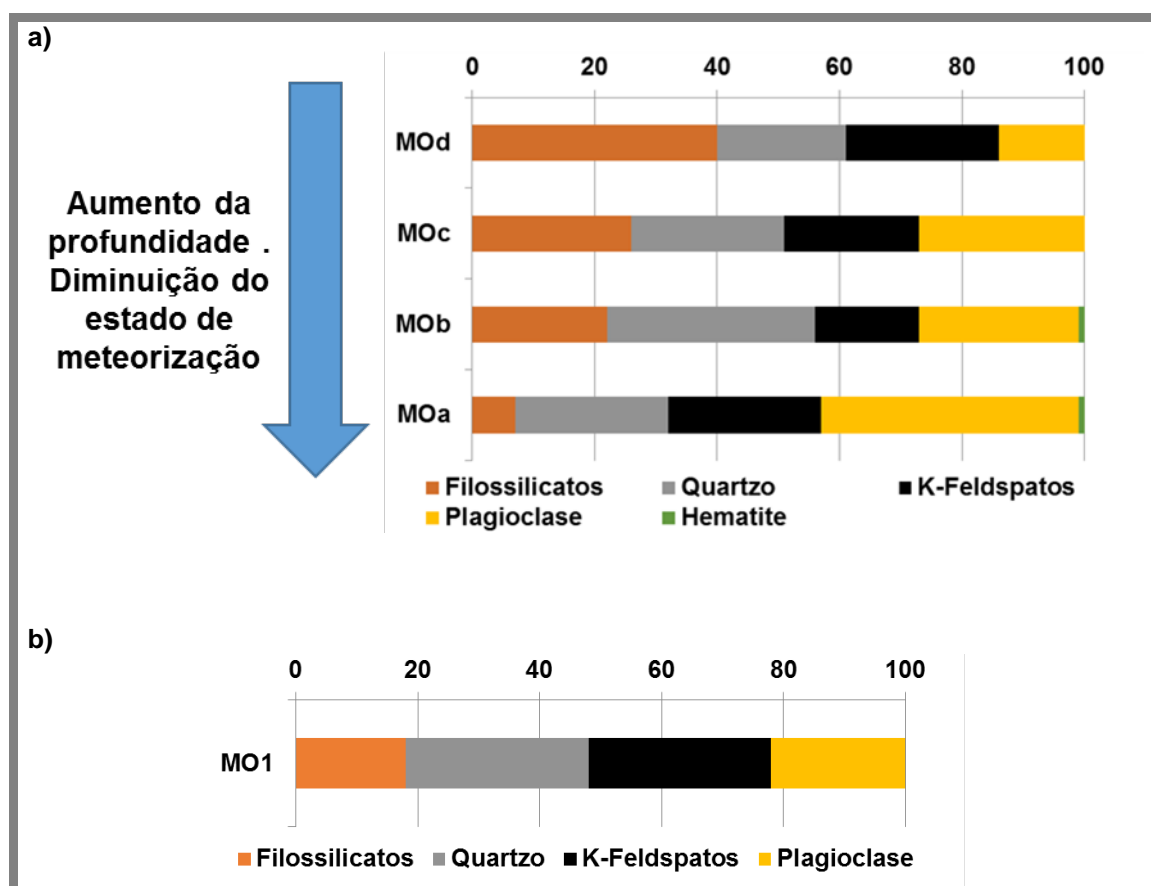


Figura 5.157 Composição mineralógica (%) da amostra total (fração <2 mm, exceto na amostra MOa, na qual se determinou a mineralogia na amostra total) dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito do Pedrogão (a) e nos materiais de preenchimento das estruturas negativas (b) recolhidos na Malhada da Orada.

5.6.2.1.1 Índices mineralógicos

O índice mineralógico de alteração (Anexo III) dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito ($27\% < MIA < 44\%$) é menor na amostra correspondente ao fragmento de granito, recolhida na base do perfil MOa, como expectável. Contudo, não se verifica o aumento do índice da base para o topo.

Na amostra de materiais de preenchimento MO1 ($MIA=37\%$), verifica-se que o índice mineralógico de alteração é semelhante ao observado na amostra total recolhida no topo do perfil MOd ($MIA=35\%$).

5.6.2.2 Fração Argilosa

Os difratogramas e a semiquantificação obtida para a fração argilosa da amostra de materiais de preenchimento MO1, e da amostra recolhida no topo do perfil de alteração do granito (MOd), na Malhada da Orada encontram-se no Anexo III. A fração <2 μm dos materiais recolhidos no topo perfil de alteração do granito MOd (solo moderno) é essencialmente constituída por esmectite (60%), associada a uma menor proporção de ilite e minerais de caulino em quantidades vestigiais (Figura 5.158,a). Os materiais de preenchimento (MO1) apresentam na sua fração argilosa uma composição dominada

pela illite (85%), associada a uma pequena porção de minerais de caulino (10%), e de esmectite (6%) (Figura 5.158, b).

A esmectite, que surge em elevada proporção no topo do perfil de alteração do granito (MOd, solo moderno) pode ser gerada em ambiente alcalino de drenagem fraca ou moderada por alteração de silicatos, em ambientes quentes e secos com períodos de chuvas curtos, favorecida em zonas aplanadas e de fraca escorrência (Gomes, 1998; Churchman e Lowe, 2002; Sheldon e Tabor, 2009). Apesar do declive mais acentuado do maciço de Pedrogão, a área envolvente é plana o que condiciona a drenagem e a lixiviação e mobilização dos elementos químico mais móveis. O ambiente quente e seco com curtos períodos de chuvas terá sido uma característica desta região do país e foi favorável à deposição de formações carbonatadas na envolvente do sítio arqueológico Malhada da Orada. O ambiente árido/semiárido, bem como as características calco-alcalinas da rocha-mãe que, após meteorização dos silicatos disponibiliza sílica e cátions básicos, deverão ter sido suficientes para a formação deste mineral a partir da meteorização dos silicatos do granito no topo do perfil. Em trabalhos anteriores, realizados em solos residuais de rochas granitóides do Alentejo, nomeadamente o solo correspondente ao Maciço granítico de Pias, formação granítica idêntica à do Pedrogão, as condições topográficas e climatéricas são usadas como fundamento para a formação de esmectite em solos residuais de rochas granitóides, mediante a disponibilidade de Ca, Mg, Si e Al (Duarte, 2002; Duarte et al, 2004).

A pequena proporção de minerais de caulino deve-se a condições de humidade e drenagem deficientes, bem como a condições de acidez reduzida que, permitiram a retenção de elementos químicos mais móveis como Ca, Mg, Si e Al, potenciando a formação de esmectite, em detrimento da formação de minerais de caulino.

A illite provém da alteração de aluminossilicatos, nomeadamente das micas presentes no granito do Pedrogão (biotite e moscovite). A presença de uma maior proporção de illite na amostra de materiais de preenchimento MO1 (amostra total do coluvião) poderá dever-se a processos de ilitização, que ocorreram posteriormente na esmectite, com a inclusão de K e Al, provenientes da alteração dos feldspatos potássicos. Este processo ocorre mais comumente à superfície e em ambiente alcalino e árido/semiárido (ilitização) (Wright, 1991; Rask et al, 1997; Üçukuysal et al, 2013). A menor proporção de esmectite nesta amostra, onde foi detetada illite, pode ser assim justificada.

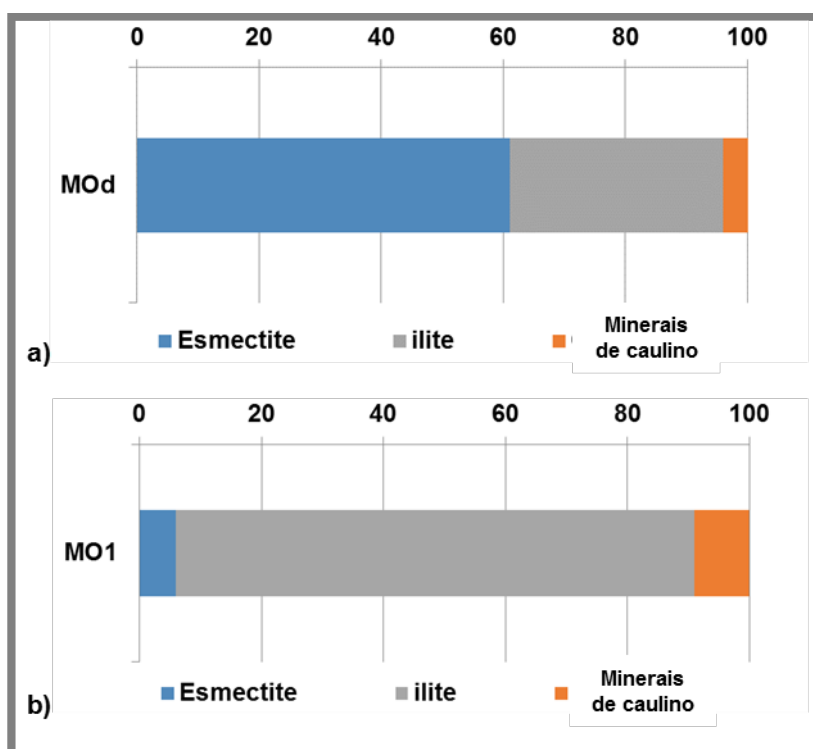


Figura 5.158 Composição mineralógica (%) da fração argilosa dos materiais recolhidos no topo do perfil de alteração do granito (MOd, solo moderno) (a) e dos materiais de preenchimento das estruturas negativas MO1, recolhidos na Malhada da Orada.

5.6.3 Composição química

5.6.3.1 Amostra total

A composição química dos materiais recolhidos na Malhada da Orada encontra-se descrita no Anexo IV, sendo bastante semelhante ao longo do perfil de alteração do granito, bem como na amostra dos materiais de preenchimento (Figura 5.159, a). Saliente-se no entanto umas pequenas diferenças.

Verifica-se que a amostra da base do perfil de granito MOa é ligeiramente mais pobre em MgO e Ni, e ligeiramente mais rica em óxidos de Na e P, e em Sr. A amostra recolhida acima do nível da base, MOb, apresenta o menor teor em óxido de S, Sb e W e o teor mais elevado em Mn. Relativamente à amostra recolhida abaixo do nível do topo, MOc, observa-se o teor mais elevado em óxido de S e em Ba e REE, e é a única amostra onde se detetou a presença de Cl e Ge. O Ba fixa-se preferencialmente nos feldspatos e micas, substituindo o K. Após meteorização dos materiais, sendo relativamente imóvel, precipita na forma de sulfato de bário ou fixa-se nas argilas ou em concreções de Mn e P. Não sendo a amostra MOc a mais rica em feldspatos e micas, por se encontrar já muito alterada, o teor mais elevado em Ba deverá estar associado ao teor mais elevado em S, precipitados na forma de sulfato de bário (barite). A presença de Ge poderá estar associada à presença de minerais de S e/ou à presença de micas, como a moscovite, em granitos (Salminen et al, 2005; Dill, 2010). A amostra recolhida no topo do perfil, MOd, apresenta o teor mais baixo em óxido de P e o teor mais elevado em óxido de Fe e Sc.

A amostra MO1, que corresponde aos materiais de preenchimento apresenta o teor mais elevado em óxido de Ti, Zr, Hf e Th. O teor mais elevado em Ti nesta amostra poderá ser fruto da presença da maior proporção de micas nesta amostra, cuja granulometria mais fina indica um maior estado de alteração e por conseguinte mais disponibilidade de micas na amostra total. O teor mais elevado em Zr, Hf e Th pode estar relacionado com uma maior proporção e minerais detríticos pesados, como o zircão (identificados por petrografia nos materiais do maciço granítico do Pedrogão (Antunes, 2006)), que por serem mais resistentes à meteorização se acumulam nesta amostra.

Em relação aos valores médios da crosta continental superior (Figura 5.159, b), verifica-se que os materiais recolhidos no perfil de granito bem como os recolhidos no preenchimento das estruturas encontram-se empobrecidos na maioria dos elementos determinados, à exceção dos óxidos de Al, K, P (enriquecimento apenas nas amostras da base do perfil, MOa e MOb) e dos elementos As (enriquecimento apenas nas amostras da base e do topo do perfil, MOa e MOd), Rb, Cs, Eu (enriquecimento em todas as amostras exceto no topo do perfil, MOd), Ta e Pb. Destaca-se ainda o menor empobrecimento em REE na amostra MOc e o maior empobrecimento nestes elementos na amostra do topo MOd. O ligeiro enriquecimento em óxido de P nas amostras da base, MOa e MOb, poderá dever-se a uma maior proporção de apatite, mineral detetado por análise petrográfica em trabalhos anteriores nos materiais do maciço granítico do Pedrogão (Antunes, 2006).

Relativamente à amostra da base do perfil, MOa, onde se verifica um menor estado de alteração, as restantes amostras (MOb – MOd e MO1) encontram-se empobrecidas em óxidos de Na e P, e em Sr (Figura 5.159, c). O empobrecimento em óxido de P deverá ser fruto da menor proporção de apatite nas amostras mais meteorizadas que a amostra da base, tendo este elemento sido solubilizado durante o processo de alteração do granito e removido em condições ácidas. O empobrecimento em Na, K e Sr nas amostras mais alteradas, relativamente à base, relaciona-se com o menor teor em feldspatos nestes materiais. A perda de Na e K deve-se à elevada mobilidade destes elementos em meio aquoso enquanto a perda de Sr pode indicar condições oxidantes e ácidas, nas quais a sua mobilidade tende a aumentar. Ainda relativamente à amostra da base (MOa) as amostras mais meteorizadas (MOb – MOd e MO1) estão enriquecidas em óxidos Mg, Al, Fe, na maioria dos elementos da primeira série de transição. Esta tendência não se verifica para o Mn, Zr e Cs. O enriquecimento em Mg, Fe e elementos da primeira série de transição pode refletir a presença de uma maior proporção de minerais ferromagnesianos. No que respeita ao enriquecimento em Zr, este poderá refletir a presença de uma maior proporção de minerais detríticos pesados, como o zircão, mineral já identificado nestes materiais por petrografia em trabalhos anteriores (Antunes, 2006).

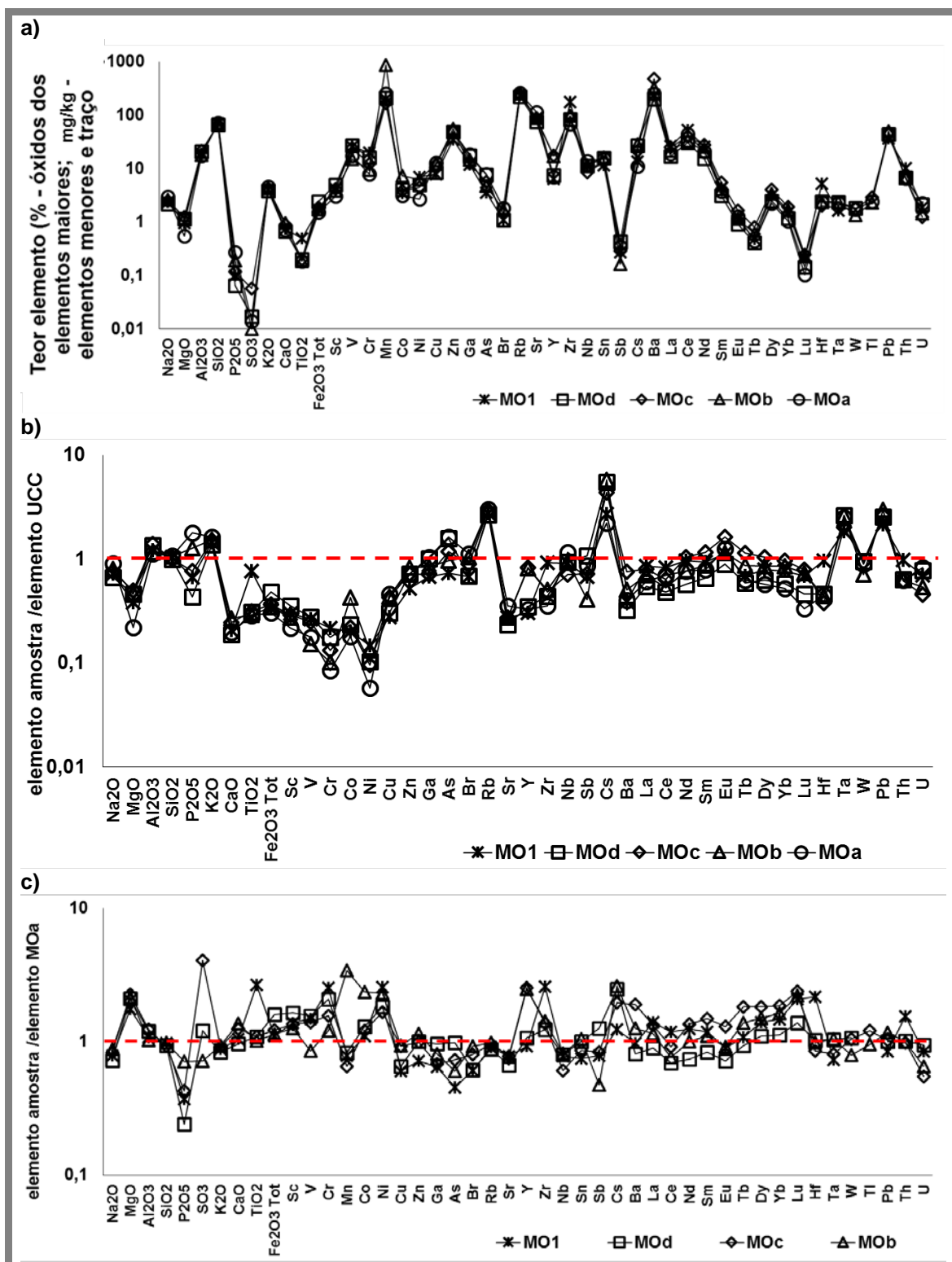


Figura 5.159 a) Composição química da amostra total, determinada por AAN e FRX, dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito (MOa - MOd) e nos materiais de preenchimento das estruturas negativas (MO1); b) relação entre a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito e nos materiais de preenchimento das estruturas negativas na Malhada da Orada e os valores médios da crosta continental superior (UCC); c) composição química dos materiais amostrados (MO1, MOb - MOd) relativamente à composição química da amostra da base do perfil de alteração do granito (MOa).

Aplicando ao teor de 46 elementos, análise estatística multivariada, é possível corroborar a maior semelhança entre a composição química da amostra total dos materiais de preenchimento MO1 com a composição química da amostra total dos materiais recolhidos no topo do perfil de alteração do granito MOd (Figura 5.160).

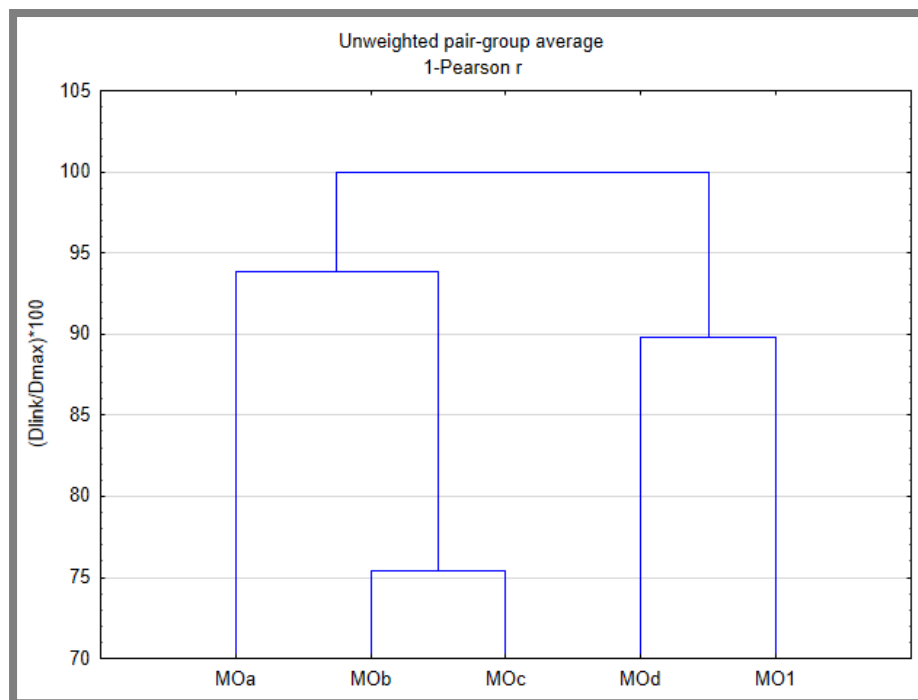


Figura 5.160 Dendrograma construído com o programa *Statistica 10*, usando como variáveis os 46 elementos detetados na amostra total dos materiais recolhidos na Malhada da Orada.

5.6.3.1.1 Índices químicos

O valor de perda por ignição dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito ($1,5\% < LOI < 3,7\%$) é baixo, refletindo a proporção de matéria orgânica presente nas amostras, aumentando da base para o topo, acompanhando o aumento do estado de alteração dos materiais. A amostra MO1, representativa dos materiais de preenchimento das estruturas negativas apresenta um LOI baixo ($LOI=1,6$).

No que diz respeito ao índice de alteração química no perfil de alteração do granito ($61\% < CIA < 70\%$) verifica-se o aumento da base para o topo acompanhando a diminuição da proporção de feldspatos e o aumento da proporção de filossilicatos nas amostras. Os materiais de preenchimento das estruturas negativas apresentam um índice químico de alteração semelhante aos materiais recolhidos nos níveis do topo do perfil ($CIA=66\%$)

O CIA, para este conjunto de amostras correlaciona-se negativamente com o teor conjunto em óxidos de Na e K ($6\% < Na_2O + K_2O < 8\%$; $R^2=0,84$) o que reflete a perda destes elementos após alteração química dos feldspatos, e com a razão entre os óxidos de Si e Al (índice de Ruxton: $3 < Si_2O/Al_2O_3 < 4$; $R^2=0,84$) que reflete a perda de Si e por conseguinte dos cátions mais móveis, em relação ao Al que se vai fixando nos filossilicatos. Progressivamente da base ao topo, este índice tende a aumentar, o que seria de esperar atendendo às indicações da mineralogia e granulometria que evidenciam o aumento do estado de alteração neste sentido. O índice de alteração da plagioclase ($78\% < PIA < 88\%$)

umenta da base para o topo acompanhando a diminuição da proporção deste mineral. Na amostra de materiais de preenchimento o índice de alteração da plagioclase é de 83%.

5.6.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne ao somatório dos teores absolutos em REE, os materiais recolhidos no perfil de alteração do granito ($71 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 107 \text{ mg/kg}$) apresentam o teor máximo na amostra recolhida abaixo do nível do topo, MOc, e o valor mínimo no topo, MOd. Excluindo a amostra MOc, que apresenta o teor mais elevado em REE, verifica-se uma diminuição do teor em REE da base ao topo do perfil de alteração, acompanhando o aumento do estado de meteorização do granito (correlação positiva muito forte entre o somatório das REE e o CIA nas amostras MOa, MOb e MOd). Esta tendência permite inferir que as REE deverão estar associados aos feldspatos, nomeadamente à plagioclase e que com a meteorização destes minerais são mobilizados, sendo exceção o comportamento da amostra MOc. Nesta amostra, as REE continuam retidos após meteorização dos feldspatos, possivelmente na fração argilosa da amostra e/ou em oxi-hidróxidos de Fe e Mn.

A amostra MO1, representativa dos materiais de preenchimento das estruturas negativas apresenta um teor em REE superior ao observado no perfil de alteração do granito ($\sum \text{REE}=115 \text{ mg/kg}$) (Figura 5.161, a). Relativamente aos valores médios da crosta continental ($\sum \text{REE}=134 \text{ mg/kg}$), os materiais recolhidos na Malhada da Orada apresentam teores inferiores em REE. Nesta amostra, a elevada proporção de feldspatos e filossilicatos, à qual se junta a evidência para a presença de uma maior proporção de minerais detriticos pesados (apresenta o teor mais elevado em Zr e Hf) poderão fundamentar o teor mais elevados em REE.

Após a normalização das REE aos condritos observam-se menores teores em REE intermédias e pesadas nos materiais da base e do topo do perfil, MOa e MOd, respetivamente. A retenção de REE leves na amostra da base (MOa) poderá dever-se à presença de maior proporção de apatite (Aubert et al, 2001; Compton et al, 2003). A amostra com maior teor em REE, recolhida no perfil de alteração do granito, MOc, apresenta o teor mais elevado em REE intermédias, deverá ser fruto da presença de minerais de S que formam complexos estáveis com as REE intermédias em meio ácido (Pérez-López et al, 2010). A amostra representativa dos materiais de preenchimento MO1 apresenta o teor em REE leves mais elevado (Figura 5.161, b).

Verificam-se anomalias negativas de Eu na maioria das amostras recolhidas ($0,83 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,90$), com exceção da amostra da base do perfil de alteração do granito, MOa, que apresenta uma anomalia positiva ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=1,07$), refletindo a retenção de Eu(II) na plagioclase (amostra que apresenta maior proporção deste mineral) substituindo o Ca, o Sr ou o Na em detrimento das restantes REE (Figura 5.161, c). As anomalias negativas de Eu são ligeiramente menos acentuadas do que para os valores médios da crosta continental superior. A anomalia de Eu correlaciona-se positivamente ($R^2=0,60$) com a proporção de plagioclase nas amostras, as amostras mais meteorizadas apresentam menor proporção de plagioclase e por conseguinte anomalias negativas de Eu mais acentuadas, reflexo da mobilização/perda deste elemento.

Quanto à anomalia de Ce, é negativa na maioria das amostras recolhidas ($0,72 < Ce/Ce^* < 0,92$), com exceção da amostra da base do perfil de alteração do granito, MOa, que apresenta uma anomalia positiva ($Ce/Ce^* = 1,05$) (Figura 5.161, c). A anomalia de Ce é mais acentuada nos materiais recolhidos na Malhada da Orada, em especial nos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito, do que para os valores médios da crosta continental superior. A anomalia positiva de Ce na amostra MOa, é indicativa da acumulação de Ce (IV) em condições oxidantes, possivelmente em óxidos de Fe e Mn (Koppi et al, 1996). A presença destes óxidos de Fe e Mn na amostra poderão também justificar o teor mais elevado em REE leves e intermédias, relativamente às pesadas (Compton et al, 2003; Laveuf e Cornu, 2009), na amostra da base.

O fracionamento entre REE leves e pesadas ($9 < (La/Yb)_N < 13$) é mais elevado na amostra da base MOa (onde há evidência para a presença de uma maior proporção de apatite e óxidos de Fe e Mn que retém preferencialmente as REE leves) e nos materiais de preenchimento MO1, que nos restantes materiais recolhidos no perfil de alteração e nos valores médios da crosta continental superior. O fracionamento entre REE leves e intermédias ($3 < (La/Sm)_N < 4$) é maior nos materiais de preenchimento relativamente aos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito, verificando-se que para todas as amostras o fracionamento é menor do que o observado para os valores médios da crosta continental (Figura 5.161, d).

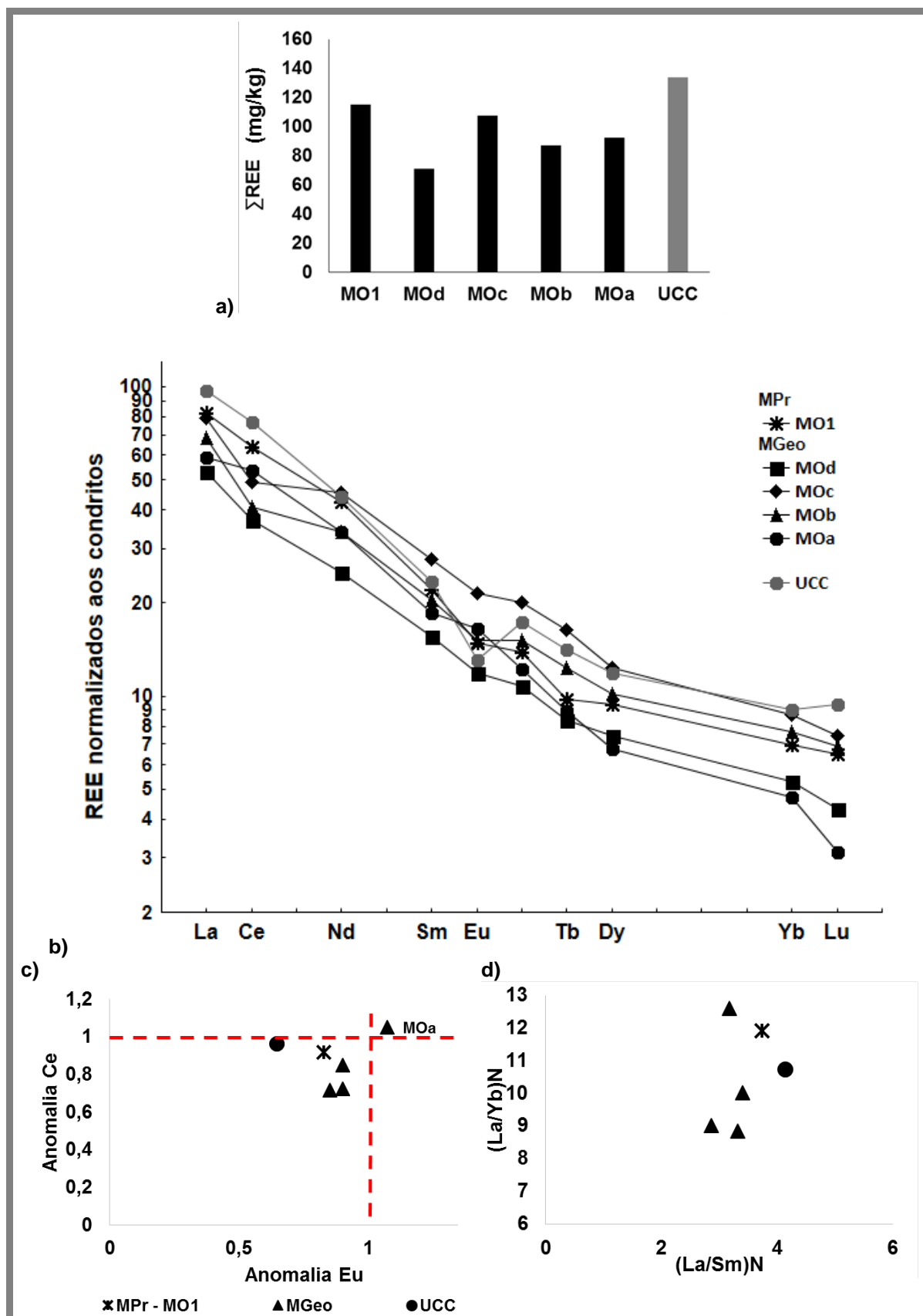


Figura 5.161 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos na Malhada da Orada e valores médios da crosta continental superior.

5.6.3.2 Fração argilosa

A composição química da fração <2 µm da amostra recolhida no topo do perfil de alteração do granito MOd e da amostra de materiais de preenchimento MO1 (Anexo IV, Figura 5.162, a) distingue-se pelo teor mais elevado da maioria dos elementos, em especial das REE, determinados na fração argilosa da amostra MO1. O enriquecimento da fração argilosa da amostra MO1 em REE, relativamente à amostra do topo do perfil, poderá dever-se à maior proporção de ilite na amostra de materiais de preenchimento. A fração argilosa da amostra MOd (essencialmente constituída por esmectite) apresenta um teor ligeiramente mais elevado em As e W.

Relativamente à amostra total, a fração argilosa da amostra MOd (topo do perfil de alteração do granito) está enriquecida na maioria dos elementos com maior evidência no Br. Esta amostra encontra-se empobrecida em óxidos de Na e K e ligeiramente empobrecida em Rb e U (Figura 5.162). O empobrecimento em K e Rb, deve-se à elevada mobilidade destes elementos em condições ácidas, após meteorização dos minerais primários (Salminen et al, 2005). O meio ácido, a pequena proporção de ilite (mineral argiloso com capacidade de fixar o K) na amostra permitiram a mobilização/perda destes elementos durante a meteorização.

A fração argilosa da amostra MO1 encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados relativamente à amostra total, com maior evidência no Br e no Sb. Esta amostra encontra-se empobrecida em óxidos de Na e K, e ligeiramente empobrecida em Hf. O empobrecimento em K deve-se à elevada mobilidade destes elementos após meteorização dos minerais primários. Sendo o Rb mais facilmente retido na ilite do que o K, a fração argilosa desta amostra rica em ilite, fixou o Rb em detrimento do K.

O empobrecimento em Na, em ambas as amostras, deve-se à elevada mobilidade deste elemento em meio aquoso, tanto durante a meteorização dos materiais como durante o processo de separação da fração argilosa por via húmida.

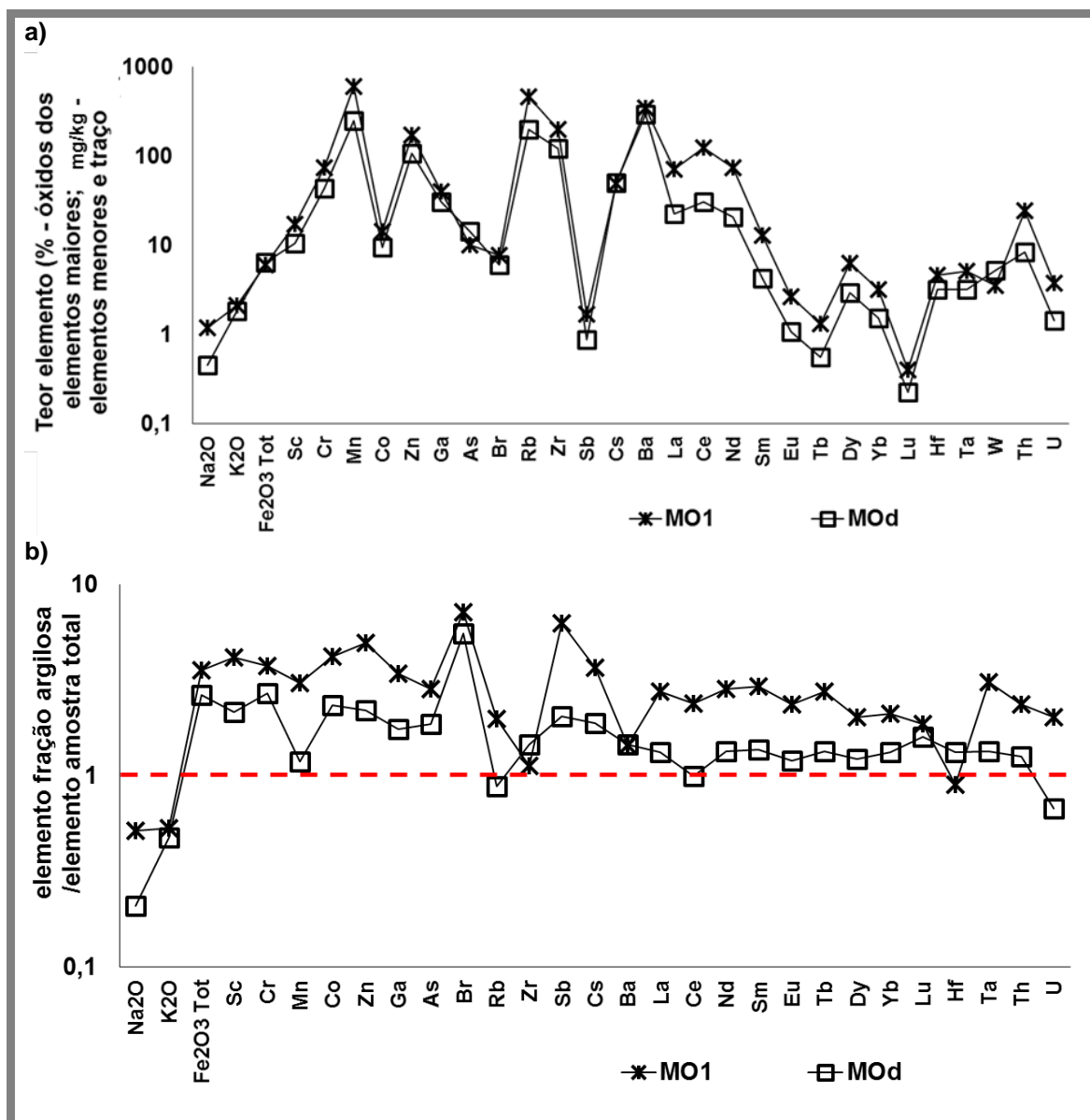


Figura 5.162. Composição química da fração argilosa dos materiais recolhidos no topo do perfil de alteração do granito (MOd) e no preenchimento das estruturas negativas (MO1), na Malhada da Orada.

5.6.3.2.1 Comportamento dos elementos terras raras

O somatório dos teores absolutos de REE na fração argilosa das amostras ($84 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 298 \text{ mg/kg}$) é de um modo geral mais elevado na fração argilosa do que na amostra total, sendo mais evidente na amostra de materiais de preenchimento MO1 (Figura 5.163, a e b). O teor mais elevado destes elementos na fração argilosa da MO1 poderá ser reflexo da maior proporção de ilite nesta amostra (85%) face à maior proporção de esmectite na amostra MOd, mineral argiloso que tende a ser empobrecido em REE (Laveuf e Cornu, 2009).

Quando normalizados aos condritos as REE apresentam perfis de distribuição onde são evidentes anomalias negativas de Eu na fração argilosa ($0,67 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,79$), mais acentuadas que na amostra total. A anomalia de Ce é também negativa na fração argilosa das amostras ($0,64 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,80$) e mais acentuada que na amostra total correspondente refletindo um ambiente redutor onde a acumulação de Ce na forma de óxido não ocorreu (Figura 5.163, c).

O fracionamento entre REE leves e pesadas ($10 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 15$) é maior na fração argilosa da amostra MO1 do que na fração argilosa da amostra MOd (Figura 5.163, d). Relativamente à amostra total a fração argilosa da amostra MO1 apresentar um maior fracionamento, enquanto a fração argilosa da amostra MOd apresenta um menor fracionamento entre REE leves e pesadas. O fracionamento entre REE leves e intermédias ($(\text{La}/\text{Sm})_N=3$) é semelhante na fração argilosa das amostras e da mesma ordem de grandeza observada na amostra total.

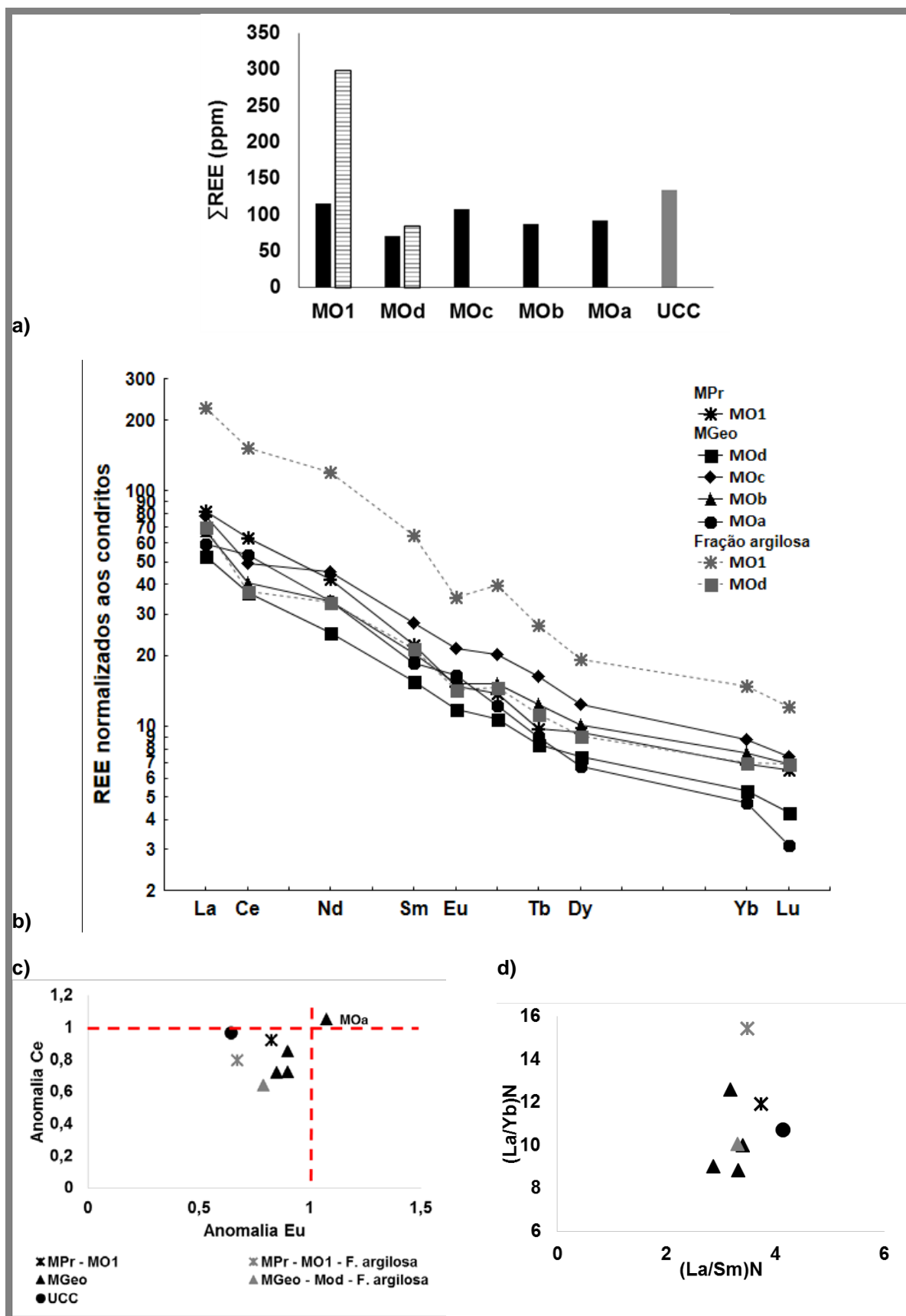


Figura 5.163 a) Somatório do teor absolutos em REE; b) perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) variação da anomalia de Ce em função da anomalia de Eu; d) fracionamento de REE na fração argilosa e na amostra total dos materiais recolhidos na Malhada da Orada e valores médios da crosta continental superior.

5.6.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento - Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiro

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraído da amostra de materiais de preenchimento recolhida no sítio arqueológico da Malhada da Orada foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração enriquecida em quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de QZG ao OSL é de 833×10^3 contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$ e no que respeita à sensibilidade do pico a 110°C do QZG no TSL é de $2,4 \times 10^3$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$.

A sensibilidade desta amostra ao OSL é elevada e reflete a génese granítica do quartzo, uma vez que se espera uma sensibilidade elevada relacionada, primeiro com os efeitos promovidos pela temperatura de cristalização elevada nestes materiais e os posteriores ciclos de meteorização como indicado por diferentes autores (Pietsch et al, 2008; Zheng et al, 2009; Fitzsimmons, 2011; Lü e Dom, 2011; Sawakuchi et al, 2011; Jeong e Choi, 2012).

5.6.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico da Malhada da Orada recolheu-se para datação uma amostra MO1 representativa dos materiais que cobriam todas as estruturas e que se relacionam com a acumulação de coluvião. De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiro e a estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra. Para este conjunto de amostras não foi possível extrair grãos de quartzo fino.

5.6.5.1 Determinação da dose absorvida

5.6.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida o quartzo grosseiro obtido foi sujeito a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na Tabela 5.23. Desta forma estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação da amostra e verificou-se que a razão dos sinais IRSL/OSL era bastante baixa o que indicou que o material analisado era essencialmente composto por grãos de quartzo.

Tabela 5.23 Sensibilidade e dose absorvida nos testes iniciais pelos grãos de quartzo grosseiro extraídos da amostra MO1, recolhida no sítio arqueológico da Malhada da Orada.

QZG Amostra MO1	IRSL		OSL		110° C TSL	
	T _N	T1	T _N	T1	S0	S1
Sensibilidade (contagens/Gy)	-2,96	-1,28	211,68	490,56	25736	53556
Dose absorvida aparente (Gy)	3,17		11,72		41,51	

5.6.5.1.2 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL, verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvida para a amostra MO1 é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelhos nos gráficos da Figura 5.164, a) sendo determinada uma dose absorvida de 30 ± 1 Gy, com uma percentagem de incerteza de 4%. A razão de reciclagem oscila em torno da unidade, mas a razão de reciclagem pós-IRSL é muito baixo e aumentou em função da temperatura de pré-aquecimento. Isto é considerado indicativo da presença de grãos ou inclusões de minerais distintos do quartzo, o que poderá conduzir a desvios na avaliação da dose absorvida. No entanto, não houve variação sistemática na dose absorvida com a razão de reciclagem pós-IRSL, e todos os pontos foram aceites para a avaliação da dose absorvida central para a amostra.

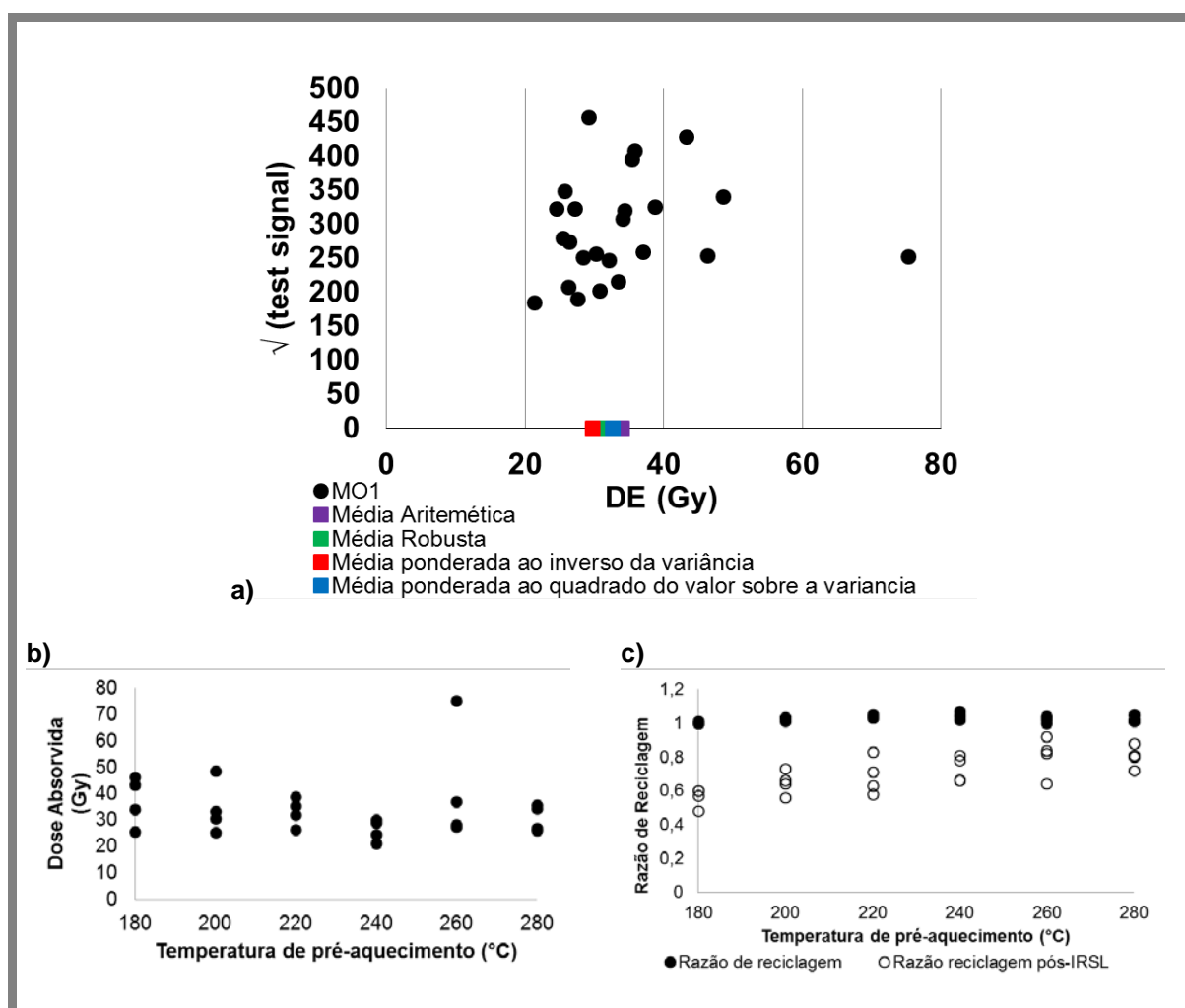


Figura 5.164 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o QZG da amostra de materiais de preenchimento recolhidas no sítio arqueológico da Malhada da Orada.

5.6.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose foi determinada seguindo os procedimentos descritos na secção 4.5.3 do capítulo 4 e os valores das determinações que conduziram ao valor final da taxa de dose, nomeadamente os teores em radionuclídeos determinados por AAN, EGIS e EGER, bem como os teores em água, encontram-se no Anexo V. A taxa de dose determinada para esta amostra é de $4,4 \pm 0,2$ Gy/ka com uma percentagem de incerteza de 4%.

5.6.5.3 Estimativa da idade – Interpretação

O período atribuído pelos arqueólogos para a última utilização destas estruturas no sítio arqueológico é o Neolítico Antigo entre os 6,5 e os 7,5 ka. Sendo os materiais analisados oriundos de uma camada com materiais depositados por coluvião neste local, após abandono, espera-se para esta amostra uma idade que corresponda ao final desse período. A idade estimada para a amostra recolhida no sítio arqueológico da Malhada da Orada é de $6,8 \pm 0,4$ ka com uma percentagem de incerteza de 6%, o que está de acordo com a idade indicada para estes materiais.

5.6.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

Ao longo do perfil de alteração do granito, da base para o topo, observa-se um aumento da proporção de material fino, acompanhada do aumento da proporção de filossilicatos e diminuição da proporção de feldspatos. Esta alteração é acompanhada pelo aumento dos índices de alteração (CIA, Ruxton e PIA) que confirmam a degradação dos minerais primários. Neste perfil identifica-se ainda evidência da presença de barite num dos níveis intermédios e evidências da diminuição de apatite da base para o topo do perfil. As amostras mais meteorizadas apresentam também indicações de uma maior proporção de minerais detríticos pesados, mais resistentes à meteorização face aos silicatos.

Foi possível verificar, quer a nível da granulometria das amostras, quer em termos de composição mineralógica e química uma maior semelhança entre a amostra de materiais de preenchimento e as amostras do topo do perfil de alteração do granito. Estas semelhanças verificam-se também nos índices de alteração observados e corroboram as indicações de semelhança macroscópica identificadas no campo.

A idade estimada para a amostra de materiais de preenchimento que cobria as estruturas está dentro das expectativas ($6,8 \pm 0,4$ ka – Neolítico Antigo), não se verificando neste contexto situações de sobrevalorização da dose absorvida estimada nem taxas de dose baixas. Utilizando a hipótese de remoção de toda a calcite e matéria orgânica (Capítulo 4) da amostra, aplicando o mesmo procedimento que se usou para os contextos carbonatados obter-se-ia uma idade de 6,5 ka, dentro de 1 sigma do valor convencional, o que seria de esperar considerando a ausência de calcite desta amostra e a pequena proporção de matéria orgânica.

5.7 Recinto de fossos dos Perdigões

No Recinto de fossos dos Perdigões foram estudados os materiais de preenchimento de cinco estruturas negativas (fossos 5, 6, 8, 12 e estrutura circular) e os materiais de alteração do diorito e gabros associados que caracterizam a geologia local, na área de escavação de quatro destas estruturas (fosso 5, 6, 8 e 12). Os resultados dos fossos 5 e 12 são apresentados em conjunto, visto serem duas estruturas paralelas, entre as quais se pretende estabelecer qual a relação no que respeita à composição dos materiais de preenchimento e dos materiais onde foram inicialmente escavadas, tal como no que concerne ao uso e cronologia dos materiais depositados.

Sintetizando quais as amostras estudadas neste sítio, nos fossos 5 e 12 recolheram-se três amostras de materiais de preenchimento, PDG1 no fosso 5 e PDG2 e PDG3 no fosso 12, e foram recolhidos em duas fases diferentes do processo de escavação arqueológica dos fossos os materiais de alteração dos dioritos e gabros associados. Estes materiais representativos do substrato geológico (PDGa) foram amostrados antes da escavação dos fossos, juntamente com materiais do solo moderno (PDGb). Numa segunda fase após o término dos trabalhos de escavação arqueológica, efetuou-se nova amostragem, tendo-se recolhido amostras de preenchimento dos dois fossos (PDG1 no fosso 5 e PDG2 e PDG3 no fosso 12), bem como amostras num perfil de materiais de alteração do diorito na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe).

No fosso 8 recolheram-se três amostras dos materiais de preenchimento, da base ao topo da sequência de enchimento, PDG4, PDG5 e PDG6. Na área de escavação deste fosso recolheram-se uma amostra do substrato geológico (PDGg) e uma amostra do solo moderno (PDGh) que cobria a área e uma amostra do filão de material rosado que foi identificado no substrato geológico.

No fosso 6 foram amostrados materiais da sequência de preenchimento (PDG6_1 a PDG6_7) que se relacionam com os perfis de alteração dos substrato geológico identificados e amostrados nas paredes Este (PDGm - PDGp) e Oeste (PDGi - PDGj) do fosso. Para estas amostras foi estudada a composição química e a composição mineralógica.

No preenchimento da estrutura circular foram recolhidas em perfil nove amostras de materiais de preenchimento da estrutura (pPDG1 – pPDG6 e PDG7 – PDG9) para estudos de composição química e mineralógica, três das quais selecionadas para datação e para estudos de granulometria (PDG7 – PDG9).

5.7.1 Granulometria

5.7.1.1 Fossos 5 e 12 e contexto geológico envolvente

Analisando os teores em cada fração granulométrica dos materiais recolhidos no solo e substrato geológico na área de escavação dos fossos 5 e 12 (Anexo II) verifica-se que tanto no solo como no substrato predominam os materiais de dimensões entre 2 mm e 63 µm. A amostra PDGa, correspondente à alteração dos dioritos e gabros associados é quase exclusivamente composta por material arenoso, correspondendo a fração silto-

arenosa apenas a 6% da amostra. A amostra PDGb, recolhida no solo moderno, é mais fina, apresentando uma maior proporção de material silto-argiloso (Figura 5.1, b). A projeção dos teores nas diferentes frações granulométricas no diagrama de Shepard permite classificar a amostra PDGa como areia e a amostra PDGb como areia silto-argilosa (Figura 5.165, a).

As amostras recolhidas no perfil de alteração do diorito e gabros associados na parede Norte do fosso 5 apresentam uma granulometria grosseira, maioritariamente composta por material arenoso como se pode comprovar pelo diagrama de Shepard (Figura 5.165, a). Da base ao topo deste perfil de alteração verifica-se um ligeiro aumento da fração argilosa e uma ligeira diminuição da fração arenosa (Figura 5.165, a). Para a amostra da base, PDGc, não foram determinadas as proporções de material em cada uma das classes, devido à elevada proporção de material grosseiro.

No que respeita aos materiais de preenchimento do fosso 5, a amostra PDG1 é composta essencialmente por material arenoso, embora em menor proporção do que o verificado para as amostras da parede do fosso, como seria de esperar. Segundo o diagrama de Shepard esta amostra classifica-se como areia, encontrando-se já com uma granulometria muito próxima de uma areia argilosa (Figura 5.165, a). A fração silto-argilosa da amostra PDG1 é maioritariamente composta por material de granulometria <2 μm (Figura 5.165, b).

As amostras recolhidas na sequência de preenchimento do fosso 12, PDG2 e PDG3, classificam-se como areia argilosa (Figura 5.165, a). Estas amostras apresentam uma proporção de material arenoso inferior ao registado para a maioria das amostras recolhidas com exceção da amostra de solo. A fração silto-argilosa destas amostras, dominada pela fração argilosa, apresenta um teor mais elevado em material argiloso que a amostra PDG1, recolhida no fosso 5. Relativamente às amostras de material do substrato geológico estas amostras são mais finas, apresentando menor proporção de areia e maior proporção de silte médio e fino e argila. As amostras PDG2 e PDG3, relativamente à granulometria assemelham-se mais com a amostra de solo moderno (PDGb).

A distribuição do teor em cada fração granulométrica na amostra total dos materiais recolhidos evidencia que, no geral, a fração <63 μm corresponde a uma proporção muito pequena das amostras. As curvas granulométricas da fração <63 μm em todas as amostras (Figura 5.165, c) apresentam curvas em S pouco verticalizadas indicando que os materiais, no geral se encontram bem graduados (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993). Há a realçar que as amostras PDGd e PDGa, que por apresentarem curvas ligeiramente mais verticais serão as amostras cuja fração < 63 μm se encontra menos bem graduada.

5.7.1.2 Fosso 8 e contexto geológico envolvente

Observando os teores em cada fração granulométrica dos materiais do substrato geológico e do solo recolhidos na área de escavação do fosso 8 (Anexo II) verifica-se que na amostra de solo PDGh e na amostra de substrato PDGg predominam os materiais de granulometria entre 2 mm e 63 μm , 56% na amostra de solo e 64% na amostra do substrato. A amostra de substrato apresenta maior teor em cascalho que a amostra de

solo, como expectável. A amostra de material recolhida no filão rosado PDGf apresenta uma granulometria mais grosseira que as amostras anteriores, sendo a percentagem de cascalho (52%) ligeiramente superior à percentagem de areia (44%) e correspondendo à fração fina apenas uma percentagem de 4%. A fração fina da amostra de substrato geológico PDGg representa uma pequena fração da amostra, cerca de 15%, sendo o silte médio e fino e as argilas as frações mais expressivas (Figura 5.165, b). A amostra de solo PDGh é a amostra mais fina do conjunto, representando a fração fina cerca de 30%. Nesta amostra (PDGh) a fração fina é dominada pela presença de argila (22%) (Figura 5.1, a e c). Segundo a projeção no diagrama de Shepard, as amostras do filão rosado e do substrato geológico (PDGf e PDGg, respetivamente) classificam-se como areia. A amostra de solo PDGh é considerada uma areia argilosa segundo esta classificação (Figura 5.165, a).

Os materiais de preenchimento do fosso 8 (amostras PDG4, PDG5 e PDG6) apresentam a fração granulométrica entre 2 mm e 63 µm como a mais expressiva, diminuindo a proporção destes materiais de 75% na base para 56% no topo da sequência de preenchimento. A fração fina destas amostras é representada sobretudo por silte médio e fino e por argila (Figura 5.165, b). A exceção ocorre para a amostra da base PDG4 cuja fração fina apenas representa 4%. A fração argilosa das amostras de materiais de preenchimento aumenta da base para o topo da sequência de enchimento do fosso. Quando projetadas no diagrama de Shepard, as proporções das diferentes frações granulométricas permitem classificar a amostra PDG4 como areia, a amostra PDG5 como areia siltosa e a amostra PDG6 como areia argilosa, o que permite dizer que da base ao topo da sequência os materiais de preenchimento se tornam mais finos.

No que concerne às curvas granulométricas da fração fina (fração de granulometria inferior a 63 µm) identificam-se três comportamentos distintos. Os materiais recolhidos no substrato e no solo, PDGg e PDGh, respetivamente, apresentam curvas de distribuição em S pouco verticalizadas, indicando que no geral os materiais de granulometria fina se encontram bem graduados. As amostras de materiais de preenchimento do fosso PDG4 e PDG5, bem como a amostra de material recolhido no filão rosado PDGf, apresentam uma curva em S mais vertical, indicando uma menor graduação nestas amostras em relação às amostras do substrato e do solo. Observa-se, para a amostra do topo do preenchimento do fosso PDG6, uma curva em S com uma verticalidade mais pronunciada indicando que esta se trata da amostra onde os materiais de granulometria fina apresentam-se menos graduados (Suguio, 1993; Leeder, 1999; Selley, 1993).

5.7.1.3 Estrutura circular

Observando os teores em cada fração granulométrica dos materiais de preenchimento da estrutura circular, amostras PDG7, PDG8 e PDG9 (Anexo II) verifica-se que a fração granulométrica mais expressiva é a fração entre 2 mm e 63 µm (48% - 78%), cuja proporção nos materiais diminui da base para o topo da sequência de preenchimento. A proporção da fração superior a 2 mm apresenta o mesmo comportamento, diminuindo da base para o topo da sequência (14% na amostra PDG7, 6% na amostra PDG8 e 5% na amostra PDG8). A fração fina das amostras é sobretudo composta por argila, sendo esta mais abundante nos materiais do topo, face aos da base (3% na amostra PDG7 e 26% na amostra PDG9) (Figura 5.165, b). Quando projetadas no diagrama de Shepard, as proporções das diferentes frações granulométricas permitem

classificar a amostra da base PDG7 como areia, a amostra intermédia PDG8 como areia argilosa e a amostra do topo PDG9 como areia silto-argilosa (Figura 5.165, a). Esta classificação está de acordo com o verificado no campo aquando na amostragem, onde se verificou que a proporção de material grosseiro diminuía da base da sequência para o topo, onde se verificou a existência de um material mais fino e argiloso. No que concerne às curvas granulométricas da fração fina (fração de granulometria inferior a 63 μm) identifica-se que a amostra recolhida na base do preenchimento PDG7 apresenta uma curva em S mais verticalizada que os materiais recolhidos mais superficialmente (PDG8 e PDG9), o que indica que os materiais correspondentes às amostras PDG8 e PDG9 se encontram mais bem graduados (Figura 5.165, c).

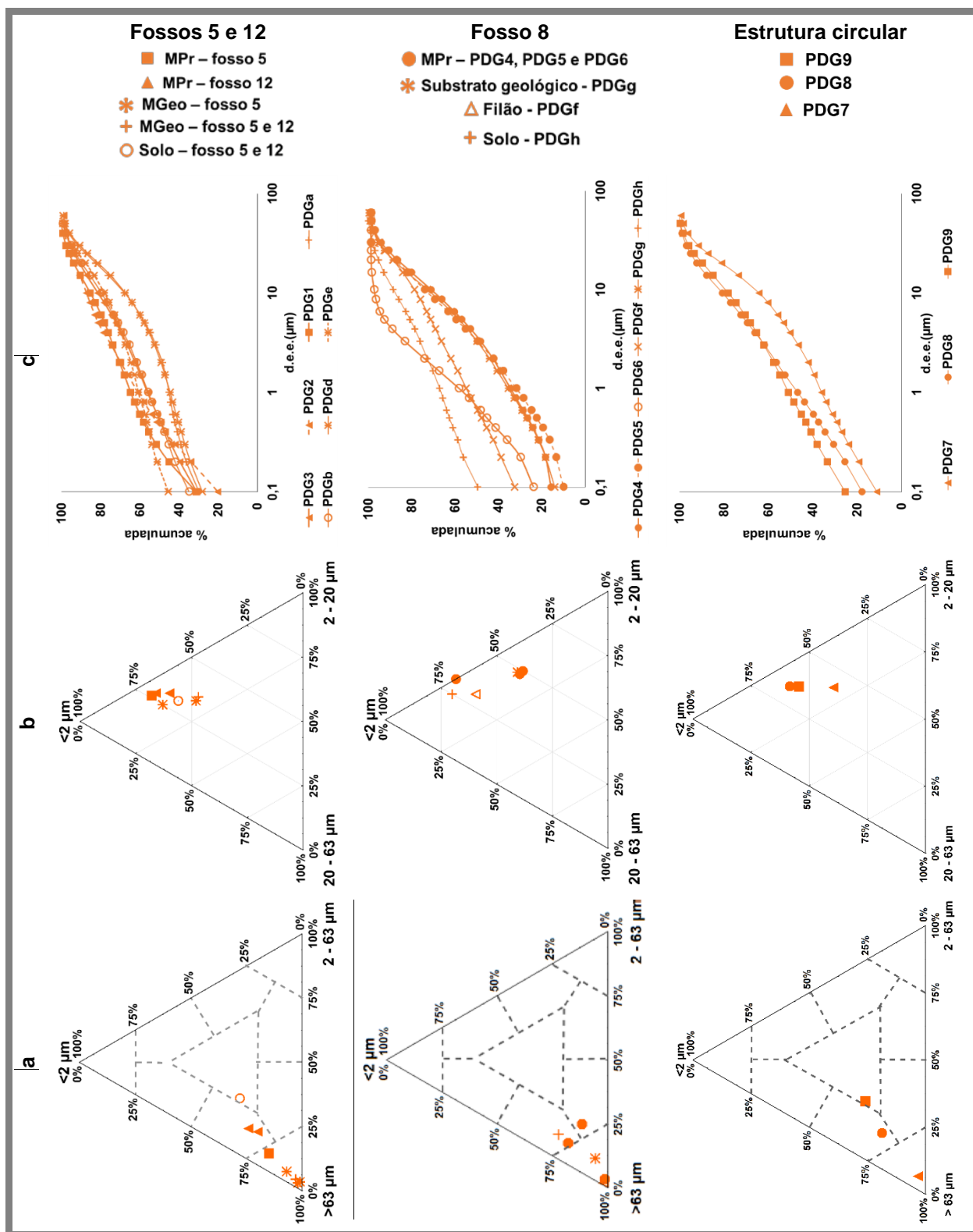


Figura 5.165 a) Projeção dos teores em cada fração granulométrica no diagrama de Shepard; b) projeção dos teores em material fino; c) Curvas granulométricas da fração <63μm para as amostras recolhidas no preenchimento dos fossos 5, 12 e 8 e para os materiais do substrato geológico e do solo na area de escavação dos fossos, bem como para os materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular, no Recinto de fossos dos Perdígões

5.7.2 Mineralogia

Os difratogramas obtidos para amostra total (não orientados) e fração argilosa (orientados ao natural, glicolados e aquecidos) das amostras estudadas, assim como as tabelas com os valores obtidos da semiquantificação dos minerais presentes nas amostras encontram-se no Anexo III.

5.7.2.1 Amostra total

5.7.2.1.1 Fossos 5 e 12 e contexto geológico envolvente

As associações mineralógicas observadas nos materiais do substrato e do solo moderno, recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12, na primeira fase de amostragem, refletem o esperado maior grau de alteração do solo face ao substrato (Figura 5.166). A amostra PDGa, correspondente ao material arenoso de alteração do diorito e gabros associados apresenta como mineral dominante a plagioclase (40%, maioritariamente albite), à qual se associam micas num teor ligeiramente inferior, anfíbola e quartzo. Nesta amostra não foi identificado o pico soma dos filossilicatos, pelo que se calculou a proporção de micas, que neste caso surgem como componente da fração grosseira da amostra. A amostra de solo moderno, PDGb, composta por areia silto-argilosa, apresenta uma mineralogia dominada pelos filossilicatos (60%), aos quais se associam o quartzo e a plagioclase (maioritariamente albite) em proporções idênticas (20%) e pequenas proporções de anfíbola. A proporção de filossilicatos inclui uma pequena porção de micas.

A composição mineralógica da amostra total dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões encontra-se de acordo com o descrito por outros autores por análises petrográficas para a formação de dioritos e gabros associados do maciço de Reguengos: materiais ricos em feldspatos, nomeadamente plagioclase, anfíbola (horneblenda), micas (maioritariamente biotite) e esfena. Surgem ainda em pequenas proporções de óxidos de Fe e Ti (magnetite e ilmenite), apatite, zircão e quartzo (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991; Antunes et al, 2010a-b). Associada aos silicatos ferromagnesianos pode ainda surgir a alanite (Antunes et al, 2010a-b).

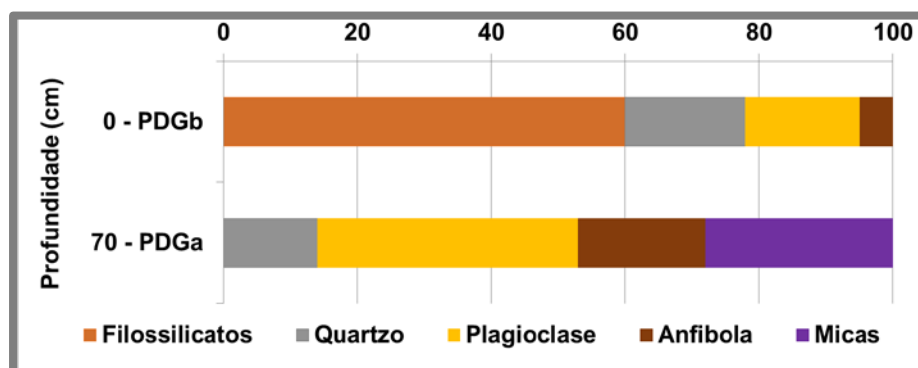


Figura 5.166 Composição mineralógica (%) da amostra total do substrato geológico e do solo moderno amostrados na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

A composição mineralógica dos materiais arenosos, recolhidos na parede Norte do fosso 5, inclui plagioclase (maioritariamente albite), quartzo, feldspatos potássicos, micas e anatase (Figura 5.167). O pico soma dos filossilicatos não foi detetado nos difratogramas das amostras de todo este perfil, o que está de acordo com os resultados granulométricos anteriormente apresentados, embora o pico das micas seja evidente, e tal como para a amostra PDGa foi calculada a proporção de micas presentes. Neste perfil salienta-se a riqueza em plagioclase. O teor em quartzo e micas aumenta da base para o topo. Na amostra da base, PDGc, a plagioclase domina a composição mineralógica, associada ao quartzo e aos feldspatos potássicos em menores proporções, seguidos das micas e traços de anatase. Na amostra do nível intermédio PDGd, a plagioclase é o mineral mais abundante (55%) e a este associam-se o quartzo, as micas e os feldspatos, em menores proporções e traços de anatase. No topo, a amostra PDGe apresenta como mineral dominante o quartzo, ao qual está associada a plagioclase e menores proporções de feldspatos potássicos e micas.

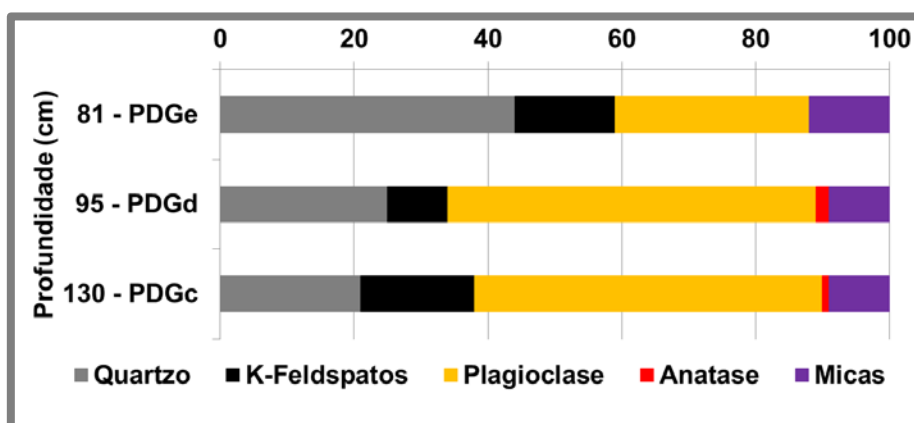


Figura 5.167 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais amostrados no perfil de alteração do diorito na parede Norte do fosso 5.

A associação mineralógica dos materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5 está de acordo com o descrito para os granodioritos e tonalitos associados do maciço de Reguengos: materiais constituídos sobretudo por quartzo, plagioclase, micas (maioritariamente biotite), anfíbola (hornblenda) e feldspatos potássicos, minerais aos quais se pode associar mirmequite, apatite, zircão e esfena e cuja alteração permite a formação de sericite, clorite e epídoto. Foi detetado em estudos petrográficos a presença de alanite em materiais desta região (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991; Antunes et al, 2010a-b)

Deste modo, pode-se dizer que o material recolhido na parede Norte do fosso 5 não se trata de material local de alteração do diorito e gabros associados, mas sim de material exógeno de alteração dos granodioritos e tonalitos do maciço de Reguengos, possivelmente transportados até ao local para revestir as paredes dos fossos e contribuir para parte do seu enchimento.

A amostra de material arenoso, recolhida no preenchimento do fosso 5, compreende uma mineralogia dominada pela presença de plagioclase (44%, maioritariamente albite), à qual se associa o quartzo e menores proporções de filossilicatos (incluindo micas), feldspatos potássicos e traços de anatase (Figura 5.168). A presença de filossilicatos nesta amostra, algo que não se verifica nos materiais de

alteração do diorito (PDGc, PDGd e PDGe) vem corroborar a informação retirada do diagrama de Shepard que permitiu classificar esta amostra como arenosa, mas já com uma granulometria mais fina (no limar da areia argilosa). Comparando a amostra do preenchimento do fosso (PDG1) com as amostras do perfil de alteração do substrato geológico (PDGc, PDGd e PDGe), verifica-se que, com a exceção dos filossilicatos que são mais expressivos nos materiais de preenchimento, os restantes minerais detetados são similares, nomeadamente com as amostras PDGc e PDGd, o que corrobora a indicação de que o material de revestimento das paredes do fosso terá sido usado para o enchimento de parte da estrutura, por ação humana.

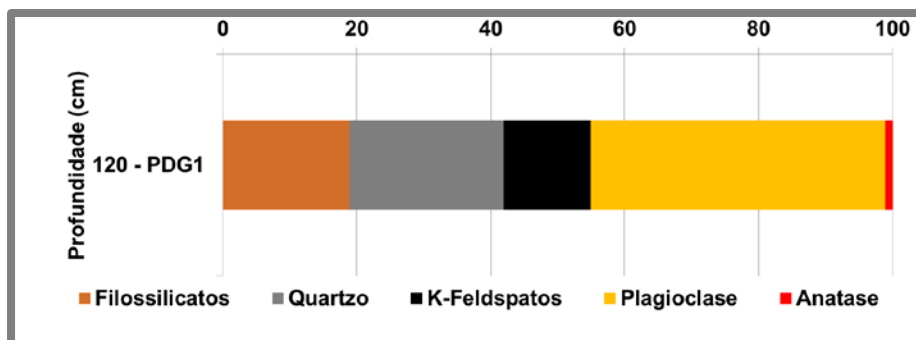


Figura 5.168 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 5 no Recinto de fossos dos Perdigões.

As amostras recolhidas na sequência de preenchimento do fosso 12, PDG2 recolhida a 120 cm de profundidade e PDG3 recolhida a 100 cm de profundidade, apresentam uma composição mineralógica composta por filossilicatos, quartzo, plagioclase (maioritariamente albite), feldspatos potássicos, calcite e anfíbola, destacando-se a amostra PDG3 pela presença de traços de anatase e micas (Figura 5.169). A presença de calcite em materiais de alteração de diorito e outras rochas granitoides ocorre no preenchimento de microfraturas, dispersa no seio da amostra total de silicatos ou substituindo a plagioclase. A presença deste mineral dever-se-á à meteorização da plagioclase que disponibiliza o cálcio. Justifica-se assim, a presença de calcite nas amostras de materiais de preenchimento do fosso 12, amostras de granulometria mais finas, onde se verifica a presença de filossilicatos e menor teor em feldspatos que nas amostras de material de alteração do diorito e, por isso, mais meteorizadas.

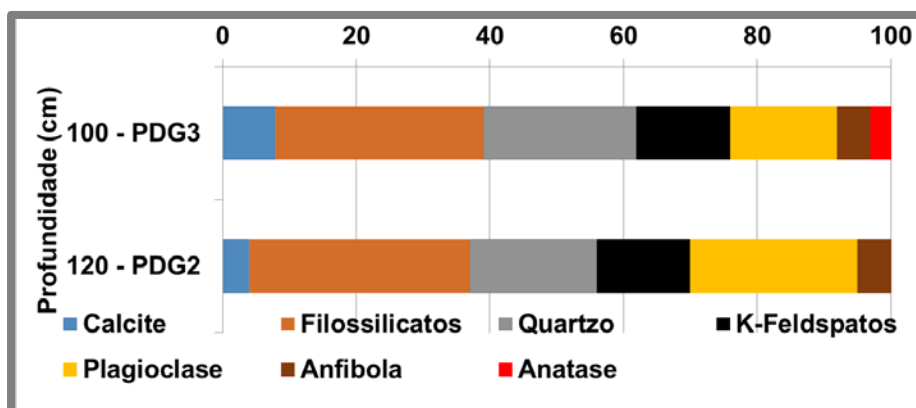


Figura 5.169 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento amostrados no fosso 12 do Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.2.1.2 Fosso 8 e contexto geológico envolvente

O substrato geológico (PDGg) amostrado na área de escavação do fosso 8, um material arenoso de coloração castanha acinzentada proveniente da alteração do diorito e gabros associados, apresenta uma associação mineralógica dominada pela presença de calcite, à qual se associam filossilicatos (incluem traços de micas) e menores proporções de anfíbola e plagioclase (maioritariamente anortite) e traços de quartzo (Figura 5.170). O solo moderno (PDGh) apresenta como minerais dominantes da associação mineralógica os filossilicatos (incluem traços de micas) o que, dado o maior grau de alteração e granulometria mais fina relativamente ao substrato, era expectável. Associados aos filossilicatos surgem na amostra de solo a calcite, o quartzo e a plagioclase (maioritariamente anortite) e menores proporções de anfíbola e anatase. O material recolhido no filão rosado que se identificou no seio do substrato geológico apresenta uma composição mineralógica dominada pelo quartzo (58%) ao qual está associada a anatase e uma pequena proporção de calcite. A presença de anatase no solo moderno é justificada pela presença de material de alteração do filão rosado, rico em anatase, no solo que cobre a área de escavação do fosso 8.

A associação mineralógica dos materiais de alteração do diorito e gabros associados recolhidos na área de escavação do fosso 8 indicam um maior estado de alteração destes materiais em relação aos materiais do substrato geológico amostrado na área de escavação dos fossos 5 e 12 (amostra PDGa). Esta indicação é dada pela maior proporção de filossilicatos e menor proporção de micas e plagioclase, assim como pela de presença de calcite, na amostra PDGg. A presença de calcite numa proporção tão elevada na amostra PDGg, aliada à presença de um filão de composição mineralógica diferente, essencialmente formado por quartzo e anatase, pode indicar a presença de fenómenos hidrotermais nesta área, tal como descrito em situação similar num estudo de materiais carbonatados de alteração de rochas granitoides (White et al, 1999).

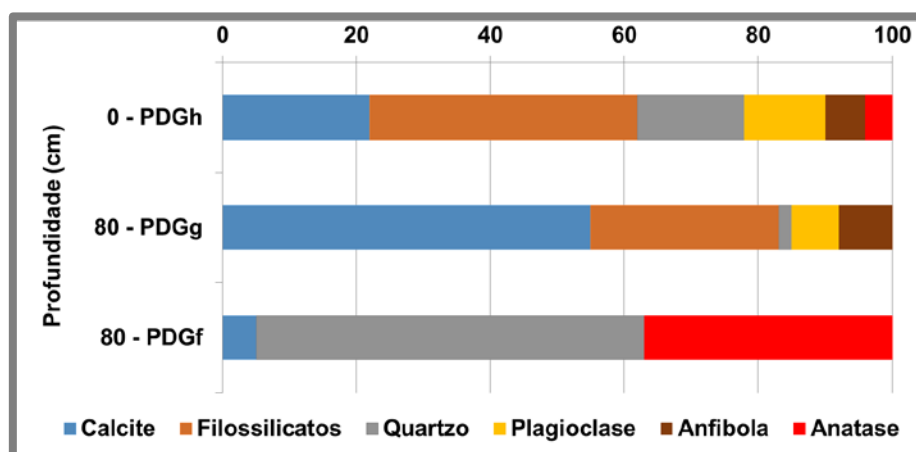


Figura 5.170 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo moderno recolhidos na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigoes.

Os materiais de preenchimento do fosso 8, PDG4, PDG5 e PDG6, apresentam como minerais dominantes da associação mineralógica os filossilicatos, cuja proporção aumenta da base para o topo, como seria de esperar tendo em vista a classificação destas amostras quanto à granulometria (areia, areia siltosa e área argilosa, respetivamente). A proporção de filossilicatos nas amostras inclui a presença de micas

cujo teor diminui da base para o topo. Associados aos filossilicatos surgem os minerais quartzo e calcite, e menores proporções de plagioclase (maioritariamente albite), anfíbola, anatase e rutilo (Figura 5.171). A proporção de calcite e anfíbola diminui da base para o topo, no mesmo sentido em que a proporção de filossilicatos e de plagioclase aumenta. A presença de rutilo apenas foi detetada nas amostras PDG4 e PDG5.

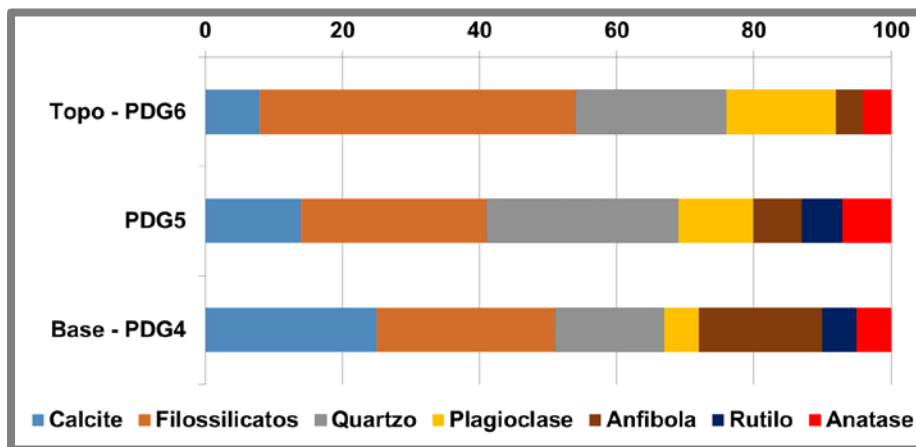


Figura 5.171 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais recolhidos na sequência de preenchimento do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.2.1.3 Fosso 6

A associação mineralógica nos materiais recolhidos no perfil da parede Oeste do fosso 6 (difratogramas e semiquantificação no Anexo III) é na base do perfil (PDGi) formada por plagioclase (albite e anortite em proporções idênticas) e anfíbola em proporções semelhantes, filossilicatos (contendo traços de micas), e pequenas proporções de quartzo e anatase. Da base para o topo deste perfil a proporção de plagioclase e anfíbola vai diminuindo, aumentando a proporção de filossilicatos e calcite (Figura 5.172). Foi ainda identificado, junto à amostra PDGj, um conjunto de materiais mais esbranquiçados e ricos em carbonatos (PDGk) que revelaram uma mineralogia quase exclusivamente composta por calcite (90%) à qual se associa uma pequena proporção de plagioclase e anatase e traços de quartzo e filossilicatos.

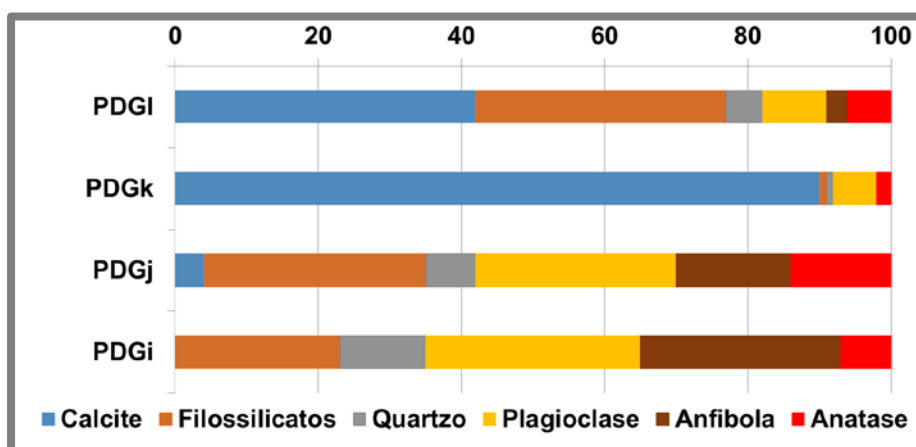


Figura 5.172 Composição mineralógica da amostra total dos materiais recolhidos na parede Oeste do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

No lado Este o perfil de materiais recolhidos (difratogramas e semiquantificação no Anexo III) apresentam uma mineralogia que reflete uma menor alteração dos materiais. À plagioclase (maioritariamente albite), mineral dominante, associam-se a anfíbola, os óxidos de Ti, o quartzo e traços de filossilicatos (Figura 5.173). Apenas na amostra da base do perfil PDGm a proporção de anfíbola é superior à proporção de plagioclase e é também nesta amostra que se detetaram maiores proporções de anatase e filossilicatos. Na amostra PDGn detetaram-se traços de calcite e nesta amostra a proporção de plagioclase assume o valor mais elevado (57%). Na amostra PDGo, para além de anatase foi detetada a presença de rutilo. A amostra do topo PDGp apresenta a proporção mais elevada de quartzo (22%). A associação mineralógica encontrada neste perfil está de acordo com o descrito noutros trabalhos para os materiais de alteração dos dioritos e gabros associados (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991)

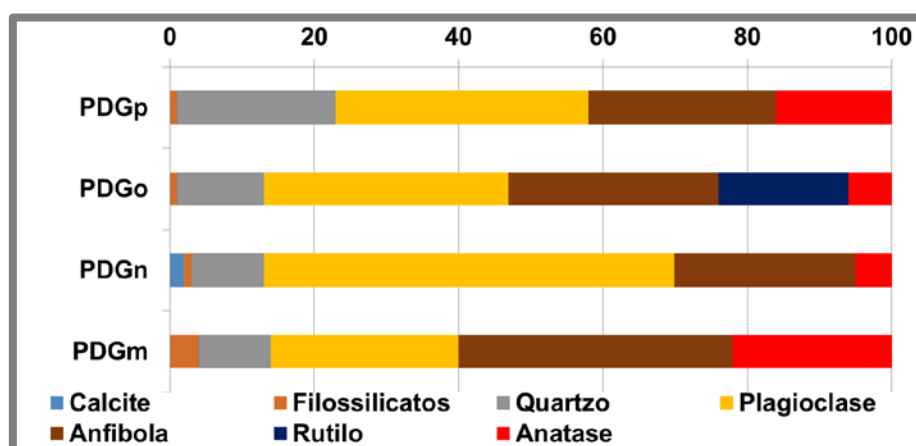


Figura 5.173 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais recolhidos na parede Este do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdígões.

Quanto aos materiais de preenchimento do fosso (difratogramas e semiquantificação nas no Anexo III) a associação mineralógica observada é dominada pela presença de filossilicatos, aos quais se associam a plagioclase, a calcite, os óxidos de Ti, o quartzo e a anfíbola em proporções muito variáveis da base ao topo (Figura 5.174). Destacam-se dos restantes, os materiais recolhidos a 23 cm de profundidade, correspondentes à amostra PDG6_6, pela menor proporção de calcite e filossilicatos e pela maior proporção de plagioclase e óxidos de Ti, nomeadamente rutilo (23%) que apenas é detetado nesta amostra. Apenas nos materiais recolhidos a 23 cm e 175 cm de profundidade, amostra PDG6_6 e PDG6_1 respetivamente, se detetou a presença de uma pequena quantidade de micas. A plagioclase presente nos materiais de preenchimento é maioritariamente albite, à exceção dos materiais recolhidos a 74 cm e 153 cm, amostras PDG6_4 e PDG6_2, que apresentam maior proporção de anortite.

Comparando os materiais de preenchimento com os níveis dos perfis que lhes poderão ter dado origem verifica-se que, a proporção de filossilicatos é sempre maior nos materiais de preenchimento, o que era expectável e que indicia um estado de alteração mais acentuado. A maior proporção de calcite nos materiais de preenchimento relativamente aos materiais dos perfis das paredes do fosso, nomeadamente nos casos em que o preenchimento se relaciona com os materiais da parede Este, onde praticamente não se detetou a presença deste mineral, poderá indicar que parte destes níveis de preenchimento contam com uma contribuição de material carbonatado

proveniente da parede Oeste, onde foi identificada uma maior proporção de calcite. A amostra PDG6_6, que se relaciona com a amostra PDGo são as únicas onde a presença de rutilo foi detetada.

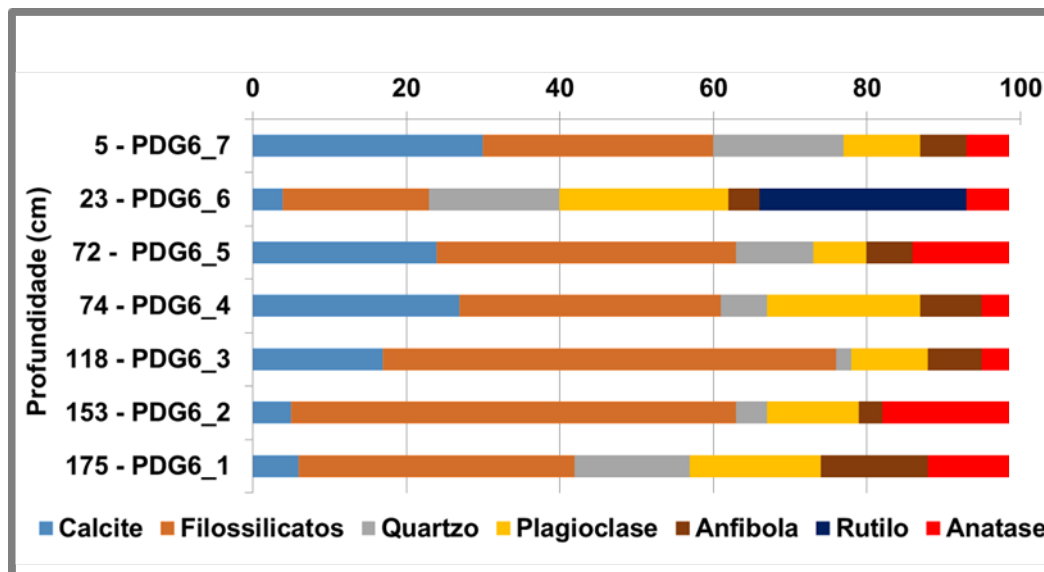


Figura 5.174 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6 e a sua relação com os materiais recolhidos nas paredes Oeste e Este do fosso 6, no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.2.1.4 Estrutura circular

A associação mineralógica da amostra total (fração <2 mm) amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular (difratogramas e semiquantificação no Anexo III) é constituída por filossilicatos (com pequenas proporções de micas) quartzo, plagioclase (maioritariamente albite), anfíbola e pequenas proporções de óxidos de Ti, e está de acordo com o observado noutros trabalhos para materiais de alteração de dioritos e gabros associados da mesma região (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991; Antunes et al, 2010a-b) (Figura 5.175). A amostra da base PDG7, recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos, contém a maior proporção de plagioclase (41%), cerca de 20% de filossilicatos e quartzo, 10% de anfíbola e traços de anatase. Nos materiais recolhidos acima do aglomerado de fragmentos rochosos a associação mineralógica permite identificar três níveis de preenchimento distintos. Um nível mais profundo entre os 73 cm e os 64 cm, identificado no campo como o nível de material que envolvia os fragmentos rochosos que formavam a estrutura, onde se verifica a diminuição da proporção de filossilicatos (de 63% para 31%), o aumento da proporção de plagioclase (11% - 24%), anfíbola (7% - 16%) e rutilo (3% - 12%). Nestes materiais, recolhidos entre 73 cm e 64 cm de profundidade não se detetou a presença de anatase.

O nível de preenchimento por coluvião, identificado durante a amostragem, pode ser dividido em dois subníveis, um entre 53 cm e os 33 cm e outro que engloba as amostra recolhidas a 23 cm e 7 cm de profundidade. No subnível entre os 53 cm e os 33 cm de profundidade verifica-se a diminuição da proporção de filossilicatos (54% - 40%) e a oscilação dos teores dos restantes minerais. Os materiais recolhidos a 23 cm e a 7 cm de profundidade apresentam também uma diminuição da proporção de filossilicatos (56% - 36%) acompanhada pelo aumento da proporção de plagioclase (9% - 37%).

No nível de preenchimento por coluvião o óxido de titânio detetado nos materiais recolhidos a 53 cm, 33 cm e 7 cm de profundidade foi o rutilo enquanto nos materiais recolhidos a 36 cm e 23 cm se detetou a presença de anatase.

Relativamente ao substrato geológico, representado pela amostra PDGa, recolhida na área de escavação dos fossos 5 e 12, estes materiais encontram-se mais meteorizados, apresentando maior proporção de filossilicatos (com uma pequena proporção de micas) e uma maior proporção de óxidos de Ti. Relativamente ao solo representado pela amostra PDGb recolhida na área de escavação dos fossos, os materiais de preenchimento da estrutura circular apresentam menor proporção de filossilicatos e maior proporção de anfíbola.

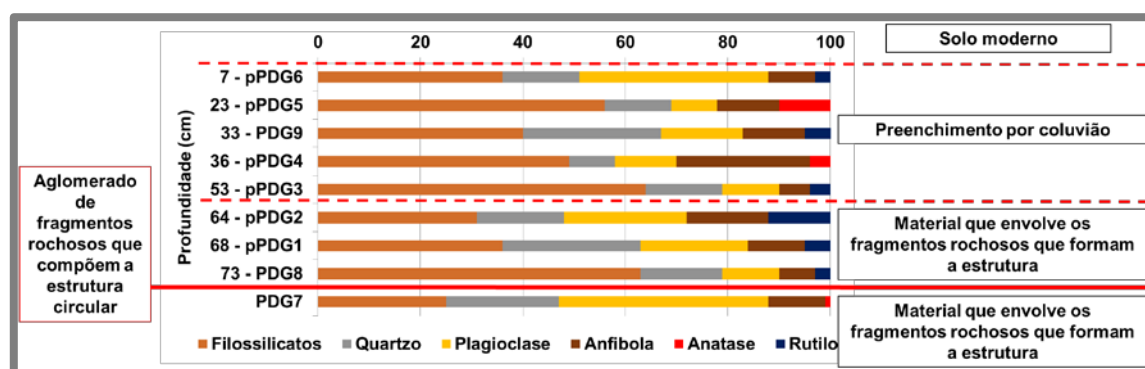


Figura 5.175 Composição mineralógica (%) da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.2.1.5 Índices mineralógicos

O índice mineralógico dos materiais estudados do Recinto de fossos dos Perdigões encontra-se descrito na Tabela 5.24.

Para as amostras do substrato geológico (PDGa: MIA = 26 %) e solo (PDGb: MIA = 51%) amostrados na área de escavação dos fossos 5 e 12, o índice determinado está de acordo com as associações mineralógicas observadas, nomeadamente a maior riqueza em filossilicatos no solo e de feldspatos / plagioclase no substrato. No conjunto de amostras recolhidas na segunda fase de amostragem, na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe) verifica-se um aumento do MIA de 23% para 50%, da base para o topo do perfil de alteração, o que corrobora a indicação dada pela composição mineralógica obtida por DRX: aumento da proporção de quartzo da base para o topo, acompanhado da diminuição de feldspatos, como reflexo da meteorização dos materiais. Comparando os resultados obtidos destas amostras com os obtidos para as amostras de substrato e solo recolhidas na primeira fase da escavação (PDGa e PDGb), verifica-se que a amostra PDGa apresenta um índice de alteração semelhante às amostras PDGc e PDGd enquanto, a amostra de solo PDGb apresenta o mesmo índice da amostra PDGe. O índice mineralógico determinado para as amostras de preenchimento do fosso 5 (PDG1) é de 29% e para os materiais de preenchimento do fosso 12 (PDG2 e PDG3) aumenta da base para o topo, de 33% para 43%. Os feldspatos dos materiais de preenchimento do fosso 12 encontram-se mais meteorizados que os feldspatos dos materiais de preenchimento do fosso 5. Esta afirmação corrobora o já verificado com os resultados granulométricos e mineralógicos para as amostras do fosso 12: amostras com

maior proporção de granulometria fina e maior teor em filossilicatos e presença de calcite. Comparando o MIA obtido para as amostras recolhidas na parede Norte do fosso 5 e os materiais de preenchimento desse mesmo fosso, verifica-se que a amostra de preenchimento (PDG1) apresenta um MIA semelhante às amostras da base do perfil de alteração do diorito e gabros associados (PDGc e PDGd).

Considerando os índices de alteração dos materiais recolhidos na área de escavação do fosso 8, verifica-se que a amostra de solo PDGh (MIA=57%) apresenta um maior índice de alteração que a amostra do substrato geológico PDGg (MIA=22%), tal como expectável. O índice mineralógico de alteração do material recolhido no filão (MIA=100%) reflete a ausência de feldspatos e a composição quase exclusiva em minerais mais resistentes, como o quartzo e o óxido de Ti (anatase), evidenciando um estado de alteração elevado. O filão encontra-se no seio de uma área de substrato, onde a mineralogia é dominada pela presença de calcite à qual se associam filossilicatos, plagioclase e anfíbola. Este filão de material meteorizado poderá ter tido origem no mesmo material que o substrato possivelmente por ação hidrotermal. Os índices mineralógicos de alteração do substrato (PDGg) e do solo (PDGh) da área de escavação do fosso 8 são da mesma ordem de grandeza dos índices determinados para as amostras recolhidas no substrato e no solo na área de escavação dos fossos 5 e 12, PDGa (MIA=26%) e PDGb (MIA=51%), respetivamente, na área de escavação dos fossos 5 e 12. Os materiais recolhidos na sequência de preenchimento do fosso 8 (PDG4 – PDG6), apresentam índices de alteração mineralógico que diminui da base para o topo (76% > MIA > 58%), fruto do aumento da proporção de plagioclase. O índice de alteração destes materiais de preenchimento, dada a maior proporção de quartzo nas amostras, é superior ao verificado nas amostras de substrato geológico (PDGg) e de solo (PDGh). Relativamente às amostras de materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12, as amostras de materiais de preenchimento do fosso 8 apresentam um índice de alteração mineralógico mais elevado devido à menor proporção de feldspatos, nomeadamente potássicos, nestas últimas.

O índice mineralógico dos materiais recolhidos na parede Oeste do fosso 6 oscila entre 14% e 36%, sendo maior no topo do perfil (PDGI) e menor no material rico em calcite (PDGk). Os materiais recolhidos no perfil da parede Este apresentam índices de alteração mineralógica que variam entre 15% e 39%, sendo o valor mais elevado registado para os materiais do topo do perfil. Os materiais de preenchimento do fosso 6 apresentam, no geral, maiores índices de alteração mineralógica que os materiais das paredes do fosso (15%<MIA<63%). Os maiores índices de alteração relacionam-se com as amostras com menores teores em plagioclase.

Os materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular apresentam índice de alteração mineralógico que varia entre 29 % e 63% (Figura 5.176). Nos materiais da base, os materiais que envolvem os fragmentos rochosos que formam a estrutura, apresentam um índice de alteração mineralógico de 35%. Os materiais recolhidos acima do aglomerado de fragmentos rochosos que forma a estrutura, apresentam da base para o topo uma diminuição do índice de alteração (49%<MIA<59%). Os materiais recolhidos no preenchimento por coluvião, apresentam uma tendência geral para a diminuição do índice de alteração mineralógico da base para o topo (29%<MIA<58%).

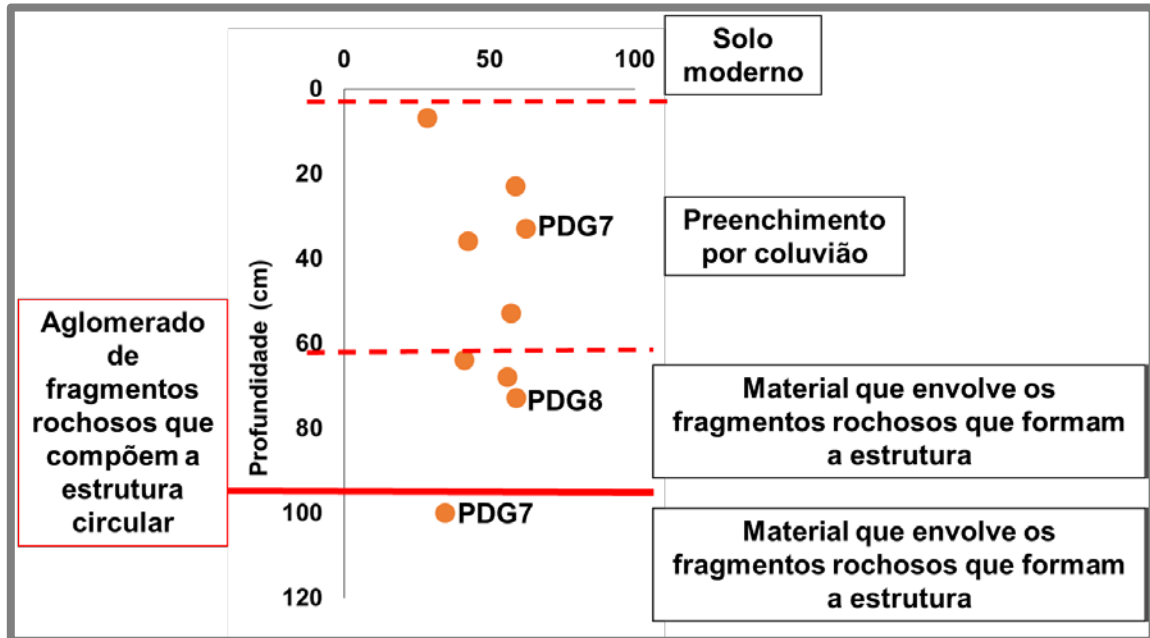


Figura 5.176 Índice mineralógico de alteração na amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.

Tabela 5.24 Índice mineralógico de alteração dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões.

Contexto	Amostra	Profundidade (cm)	MIA
Parede Norte do fosso 5	PDGe	81	50
	PDGd	95	28
	PDGc	130	23
MPr - fosso 5	PDG1	120	29
Solo - área de escavação dos fossos 5 e 12	PDGb	0	51
MGeo - área de escavação dos fossos 5 e 12	PDGa	70	26
MPr - fosso 12	PDG3	100	43
	PDG2	120	33
Parede Este do fosso 6	PDGp		39
	PDGo		26
	PDGn		15
	PDGm		28
Parede Oeste do fosso 6	PDGI		36
	PDGk	Amostra rica em calcite	14
	PDGj		20
	PDGi		29
MPr - fosso 6	PDG6_7	5	63
	PDG6_6	23	44
	PDG6_5	72	59
	PDG6_4	74	23
	PDG6_3	118	15
	PDG6_2	153	25
	PDG6_1	175	47
Solo - área de escavação do fosso 8	PDGh		57
MGeo - fosso 8	PDGg		22
Filão rosado - área de escavação do fosso 8	PDGf		100
MPr - fosso 8	PDG6	98	58
	PDG5	96	72
	PDG4	116	76
Preenchimento da estrutura circular	pPDG6	7	29
	pPDG5	23	59
	PDG9	33	63
	pPDG4	36	43
	pPDG3	53	58
	pPDG2	64	41
	pPDG1	68	56
	PDG8	73	59
Preenchimento recolhido abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos, lateralmente em relação ao perfil	PDG7	30	35

5.7.2.2 Fração argilosa

A composição mineralógica da fração argilosa foi determinada para as amostras de materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 (PDG1, PDG2 e PDG3) e para amostra de solo moderno (PDGb) recolhida na área de escavação destes (difratogramas e semiquantificação no Anexo III) A composição da fração argilosa das amostras é exclusivamente ilite e esmectite em proporções semelhantes mas, prevalecendo a ilite na amostra do solo (PDGb) e na amostra de preenchimento do fosso 5 e na amostra do topo do preenchimento do fosso 12 em três das amostras (PDG1, PDG3 e PDGb). Na amostra da base do preenchimento do fosso 12 PDG2 a proporção de esmectite é ligeiramente superior à proporção de ilite. Esta associação mineralógica é comum na fração argilosa de granodioritos alterados por ação hidrotermal (Schoen e White, 1966)

No que respeita ao fosso 8, foi apenas determinada a composição mineralógica da amostra da base do preenchimento do fosso PDG4, recolhida a 116 cm de profundidade (Anexo III). A associação mineralógica da fração argilosa da amostra PDG4 é dominada pela presença de ilite (66%) e proporções menores de esmectite (20%) e de minerais de caulino (14%).

Tal como nos materiais estudados no presente trabalho, a presença de ilite em maior proporção em relação à esmectite foi detetada por difração de raios-X em materiais de alteração dos dioritos e gabros associados desta região. Amostras de materiais de alteração onde a presença de calcite na amostra total foi identificada apresentavam a fração argilosa enriquecida em esmectite, relativamente à ilite (Dias, 2013).

5.7.3 Composição química

5.7.3.1 Materiais representativos da geologia local – Amostra total - Fossos 5 e 12

No que respeita à composição química das amostras recolhidas no substrato e no solo moderno na área de escavação dos fossos 5 e 12, cujos teores são apresentados no Anexo IV, verifica-se que a composição é muito semelhante e apenas se distinguem no teor em óxido de Na, P, S e K e no teor dos elementos Cu, Zn, As, Br, Zr, Cd, Sn, Sb, Ba, Tl e Th (Figura 5.177).

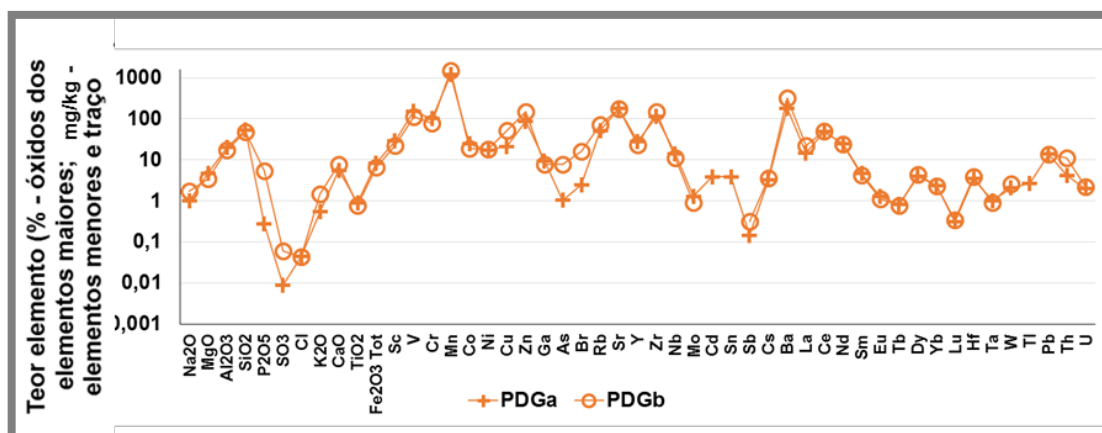


Figura 5.177 Composição química nos óxidos de elementos maiores e nos elementos menores e traço, determinados por AAN e FRX, para a amostra total dos materiais recolhidos no substrato e no solo moderno da área de escavação arqueológica dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigoes.

A amostra de solo moderno (PDGb) apresenta teores ligeiramente mais elevados na maioria dos elementos elencados, com exceção dos elementos Cd, Sn e Tl que apenas foram detectados na amostra do substrato, PDGa (Figura 5.178). A detecção do Cd nesta amostra poderá dever-se à maior proporção de micas e anfíbola, minerais nos quais o Cd surge como elemento traço, ou à presença de minerais de sulfureto (esfalerite onde substitui o Zn) (Salminen et al, 2005; Dill, 2010). Relativamente ao teor em Tl detectado na amostra PDGa poderá ser justificado pelo maior teor em plagioclase e micas nesta amostra ou sendo também um indicador da presença de minerais de sulfureto (galena e esfalerite onde substitui o Pb e o Zn, respetivamente). Em relação ao teor em Sn na amostra PDGa, este pode relacionar-se como a maior proporção de micas e a presença de anfíbola nesta amostra, visto o Sn surgir como elemento acessório na biotite, muscovite, anfíbola, esfena e rutilo (Salminen et al, 2005).

O solo moderno (PDGb) é mais rico em filossilicatos e quartzo, bem como em matéria orgânica (LOI=7) que a amostra do substrato PDGa (LOI=3). Esta diferença entre as amostras e a possibilidade de maior contaminação pela atividade agrícola na amostra do solo, justificam os teores mais elevados nos óxidos de Na e K, associados aos filossilicatos, e dos óxidos de P e S, associados à matéria orgânica e à contaminação pela atividade agrícola. Para além disso, o teor mais elevado em óxido de P poderá dever-se à presença de apatite no solo (detetada neste tipo de materiais por Antunes, 2006), o que explicará também o teor em As mais elevado na amostra PDGb. O As poderá também estar associado a minerais de S, o que justificaria também os teores mais elevados em óxido de S na amostra de solo. A semelhança química do Sb com o As poderá justificar o teor mais elevado em Sb na amostra de solo, que pode estar fixado nos minerais de sulfureto. Para além disso, o Sb apresenta geralmente valores mais elevados em solos ricos em matéria orgânica e mais argilosos que o substrato no qual tem origem, por se fixar na matéria orgânica e nos minerais argilosos. O teor mais elevado em Br no solo moderno justifica-se pelo maior teor em matéria orgânica e filossilicatos na amostra PDGb, onde este elemento se fixa comumente. O teor mais elevado em Zr no solo deverá ser fruto da presença de uma maior proporção de minerais detríticos pesados na amostra PDGb nomeadamente no zircão, mineral anteriormente identificado nos dioritos e gabros associados do maciço de Reguengos (Antunes et al, 2010 a e b). O Ba deverá surgir em maior teor no solo pois pode substituir o K nos filossilicatos e o Ca na plagioclase, na anfíbola e na apatite. O Zn pode surgir como elemento traço na anfíbola e nas micas, nomeadamente na biotite e como elementos principal em minerais de S. Por outro lado, este elemento pode substituir o Fe e o Mg em silicatos ferromagnesianos, óxidos detríticos e filossilicatos que deverão estar presentes em maior proporção no solo. O Cu surge comumente como elemento traço na biotite, na anfíbola e como elemento principal nos minerais de S, principalmente associado a mineralizações hidrotermais (Salminen et al, 2005; Dill, 2010).

Comparando as amostras recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12 (primeira fase de escavação) com as amostras recolhidas na parede Norte do fosso 5 (segunda fase) verifica-se que as maiores diferenças ocorrem no teor em alguns dos óxidos dos elementos maiores, no teor em elementos da primeira série de transição e nos elementos Ga, As e Br (Figura 5.178). As amostras recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12, PDGa e PDGb apresentam um teor menor em óxidos de Na e K e em Ga. O menor teor em óxidos de Na e K dever-se-á à menor proporção de feldspatos,

nomeadamente potássicos nestas amostras em relação às amostras recolhidas no perfil de alteração do diorito, na parede Norte do fosso 5. O maior teor em Ga nas amostras da parede Norte do fosso 5 poderá estar relacionado com a capacidade de troca deste elemento com o Zn nos minerais de S, associado a ações hidrotermais e/ou com a substituição do Fe ou Al na anfíbola, nos feldspatos e nas micas.

Os óxidos de Mg, Ca, S, Ti e Fe, bem como em Cl e os elementos da primeira série de transição apresentam maiores teores nas amostras PGDa e PDGb. Os teores mais elevados nos óxidos Mg e Fe e nos elementos da primeira série de transição dever-se-ão a uma maior proporção de minerais ferromagnesianos nestas amostras em relação às amostras recolhidas na parede Norte do fosso 5. O teor mais elevado em Cl poderá estar associado à presença de apatite nas amostras PDGa e PDGb assim como à maior proporção de anfíbola, em relação às amostras da parede do fosso. O teor mais elevado em óxidos de Ca, Ti e S poderão estar associados à presença de esfena nestes materiais de alteração do diorito e gabros associados, mineral identificado por análise petrográfica nesses materiais da região por Antunes et al (2010a-b).

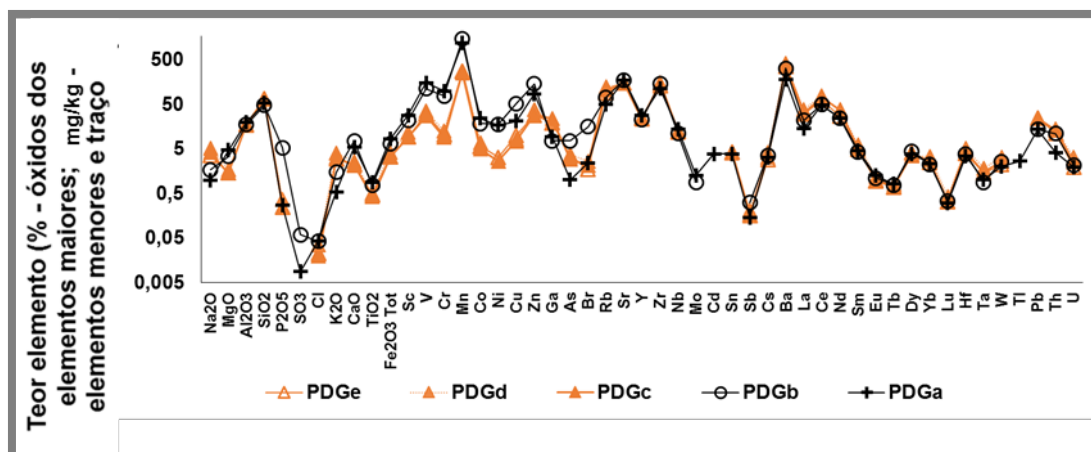


Figura 5.178 Composição química das amostras representativas da geologia local e do solo moderno recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGa e PDGb) e na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe).

Relativamente aos valores médios da crosta continental superior o comportamento das amostras recolhidas na parede Norte do fosso 5 é idêntico, sendo as amostras PDGc, PDGd e PDGe enriquecidas em óxidos de Na, P e K e nos elementos Ga, Br, Rb, Y, REE leves, Nd, Sm, REE pesadas, Ta, W, Pb e Th e empobrecidas nos restantes elementos, com maior evidência do empobrecimento em óxidos de Ca, Ti e Fe e nos elementos da primeira série de transição (Figura 5.179). A amostra PDGa, material do substrato geológico, recolhida na área dos fossos 5 e 12, no início da escavação arqueológica, encontra-se enriquecida, relativamente aos valores médios da UCC, em óxido de Mg, Al, P, Ca, Ti e Fe e nos elementos Sc, V, Co, Zn, Br, Y, Nb, Mo, Cd, eu, Tb, Yb, Ta e W. Quanto aos óxidos dos elementos Na, Si e K, bem como quanto aos elementos Ni, Cu, Ga, As, Rb, Sr, Zr, Ce, Ba, La, Ce, Hf, Pb, Th e U a amostra PDGa encontra-se empobrecida relativamente aos valores da UCC. A amostra de solo moderno, PDGb, com um comportamento semelhante à amostra PDGa relativamente aos valores médios da UCC, distinguindo-se apenas por se encontrar enriquecida em Cu, As e Cd, face ao empobrecimento nestes elementos na amostra PDGa.

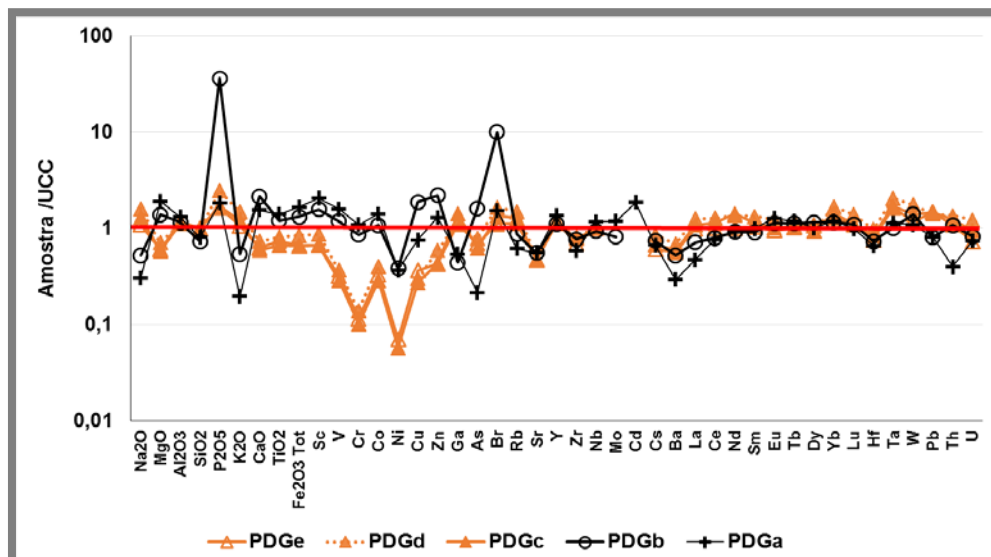


Figura 5.179 Composição química das amostras representativas da geologia local e do solo moderno recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGa e PDGb) e na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe), relativamente aos valores médios na UCC

5.7.3.1.1 Índices químicos

No que respeita ao índice químico de alteração (CIA), determinado a partir do teor nos óxidos dos elementos maiores Al, K, Ca e Na, a amostra do substrato geológico PDGa apresenta um valor de 60% enquanto a amostra do solo (PDGb) apresenta um valor menor de 50%. As amostras recolhidas no perfil da parede Norte do fosso 5, amostras PDGc, PDGd e PDGe, apresentam uma composição química muito semelhante. O índice de alteração das amostras é de 54% na base, 50% na amostra do meio e de 58% no topo, valores também encontrados noutros trabalhos (45% < CIA < 55% em granodioritos, Bahlburg e Dobrzinski, 2011).

Atendendo ao índice de Ruxton (1968; $R = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$) que considera o Al imóvel durante os processos de alteração e indica que quanto maior a razão menor a alteração dos silicatos, verifica-se que as amostras recolhidas no solo e no substrato geológico (dioritos e gabros associados) PDGa e PDGb apresenta valores menores ($R=2,7$) que as amostras recolhidas na parede do fosso 5, PDGc – PDGe, onde o índice diminui da base para o topo ($3,7 < R < 3,9$). Neste sentido verifica-se um maior estado de alteração nos materiais da base da parede do fosso 5.

Considerando o índice de alteração da plagioclase ($\text{PIA} = 100 \times (\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})$, Fedo et al, 1995) verificam-se valores de 76% para a amostra do substrato e 66% para a amostra do solo enquanto nas amostras da parede do fosso, o índice de alteração da plagioclase oscila entre 63% e 73%. Para este conjunto de amostra observa-se uma correlação positiva muito forte entre o CIA e o PIA ($R^2=0,99$).

5.7.3.1.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne às REE nas amostras de substrato (PDGa) e solo (PDGb) na área de escavação dos fossos 5 e 12, a sua variação quando normalizados aos condritos evidencia anomalias negativas de Eu ($0,76 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,78$) em ambas as amostras, anomalia positiva de Ce ($\text{Ce}/\text{Ce}^* = 1,3$) no substrato geológico e ausência de anomalia de Ce no solo (Figura 5.180). A anomalia de Ce positiva é indicativa de um ambiente oxidante, onde o Ce precipita na forma de óxido de Ce(IV) normalmente associado a oxihidróxidos de Fe e Mn. Em relação aos valores médios da crosta continental superior, UCC, ambas as amostras apresentam anomalias de Ce e Eu maiores.

O fracionamento entre REE leves e intermédias é maior na amostra do solo ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=3$) do que na amostra do substrato, PDGb ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=2$) (Figura 5.180). O fracionamento entre REE leves e pesadas é maior na amostra de solo moderno, com $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=7$, face a $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=4$ na amostra PDGa. Verifica-se, após normalização aos condritos, que a amostra do solo se encontra mais enriquecida em REE leves e pesadas em relação à amostra de substrato que, por sua vez está enriquecida em REE intermédias o que indica uma maior proporção de minerais que fixam REE leves e pesadas na amostra do solo, eventualmente na fração argilosa que surge nesta amostra em maior proporção do que na amostra de substrato. Relativamente aos valores médios da crosta continental, estas amostras apresentam perfis menos fracionados.

Nas amostras recolhidas no perfil da parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe), após normalização aos condritos, registaram-se anomalias negativas de Eu e ausência de anomalias do Ce ($0,97 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,98$) (Figura 5.180). A anomalia do Eu ronda os 0,6 para todas as amostras. Os valores verificados para as anomalias de Ce e Eu nestas amostras são iguais aos verificados para os valores médios da crosta continental superior (UCC). O fracionamento entre REE leves e pesadas é maior que entre REE leves e intermédias, com $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=4$ e $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=8$ em todas as amostras (Figura 5.180).

O fracionamento entre REE leves e pesadas, inferido neste trabalho através da razão $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$, assume nas amostra de substrato geológico do solo, PDGa e PDGb, valores semelhantes aos obtidos por Silva e Pinto (2006), através da razão $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$, para os dioritos do maciço de Reguengos de Monsaraz ($6 < (\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}} < 12$). As amostras recolhidas na parede Norte do fosso 5 apresentam um maior fracionamento $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}=8$, valor que se encontra entre a gama de valores obtidos por Silva e Pinto (2006) para os granodioritos do maciço de Reguengos de Monsaraz ($7 < (\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}} < 15$). Relativamente aos valores médios da crosta continental superior, o fracionamento entre REE leves e intermédias é ligeiramente menor enquanto, o fracionamento entre REE leves e pesadas é muito menor nos materiais recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12. De um modo geral, verifica-se ainda que a amostra intermédia do perfil de alteração da parede Norte do fosso 5, PDGd, apresenta o maior teor em REE relativamente à amostra do topo (amostra PDGe) eventualmente associadas à plagioclase que nesta amostras apresenta a maior proporção (Figura 5.180).

Os materiais recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12, amostra PDGa e PDGb, representativos da geologia de dioritos e gabros associados e do solo correspondente, apresentam um somatório de REE ($102 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 110 \text{ mg/kg}$)

inferior ao determinado para os materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5 (134 mg/kg $<\Sigma\text{REE}< 173$ mg/kg) que foram considerados como materiais de alteração do granodiorito (Figura 5.181). Este comportamento foi também verificado por Silva e Pinto (2006) para os granodioritos (118 mg/kg $<\Sigma\text{REE}< 159$ mg/kg) e dioritos (111 mg/kg $<\Sigma\text{REE}< 131$ mg/kg) recolhidos no maciço de Reguengos de Monsaraz.

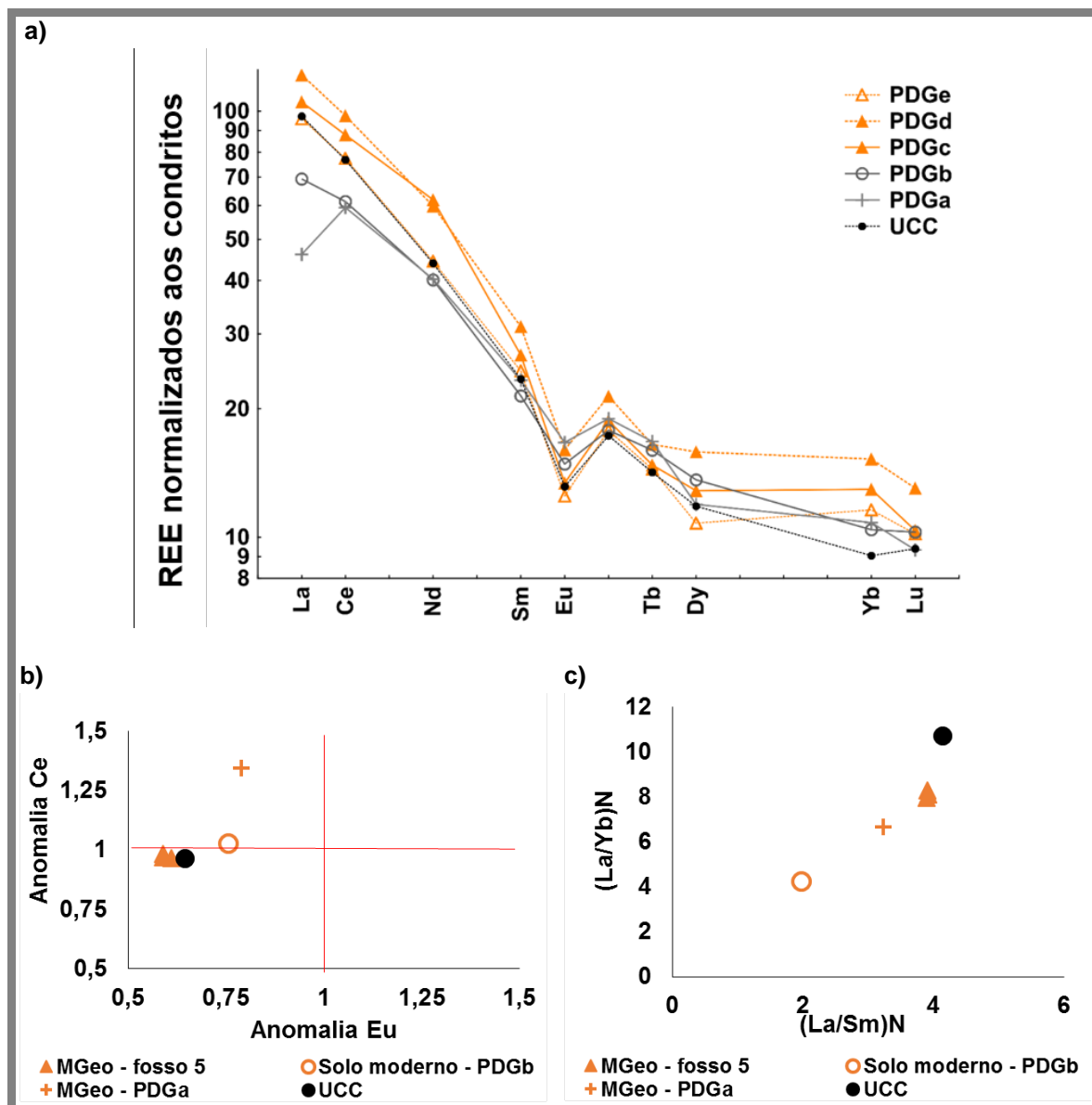


Figura 5.180 a) Perfil de distribuição de REE normalizados aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE nas amostras de substrato geológico e no solo moderno recolhidas na área da escavação dos fossos 5 e 12 e nas amostras recolhidas no perfil da parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdígões.

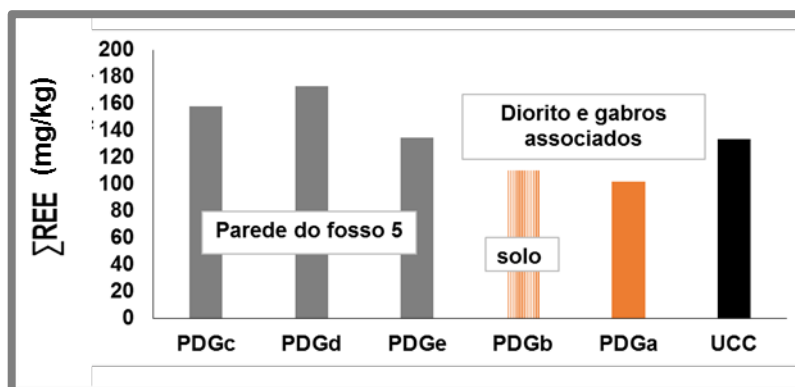


Figura 5.181 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no substrato geológico e solo na área de escavação dos fossos 5 e 12 e na parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.2 Materiais representativos da geologia local – Fração argilosa – Fossos 5 e 12

A composição química da fração argilosa da amostra de solo moderno (PDGb) (ilite > esmectite) recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 (Anexo IV), determinada por AAN, revela um empobrecimento desta fração em óxido de Na, Zr, Sb, Lu, Hf, Th e U relativamente à amostra total. O empobrecimento em óxido de Na deve-se à perda deste elemento no processo de separação da fração argilosa, por fácil dissolução deste em meio aquoso. O empobrecimento em Zr e o Hf na fração argilosa indica que estes elementos deverão estar presentes na fração grosseira da amostra associados a minerais detríticos. Os restantes elementos determinados encontram-se enriquecidos na fração argilosa relativamente à amostra total, com maior evidencia para o Zn, Ga, As, Br, Rb, Cs e La. Em materiais argilosos o Zn tem sido associado à presença de esmectite (Marques, 2007), bem como o Rb e o Cs estão geralmente associados à presença de ilite (Meunier e Velde, 2004;). O Ga esta normalmente mais enriquecido na fração argilosa dada a sua forte correlação com o Al, assim como o As que se fixa facilmente na fração argilosa na forma de ião arsenato (Figura 5.182).

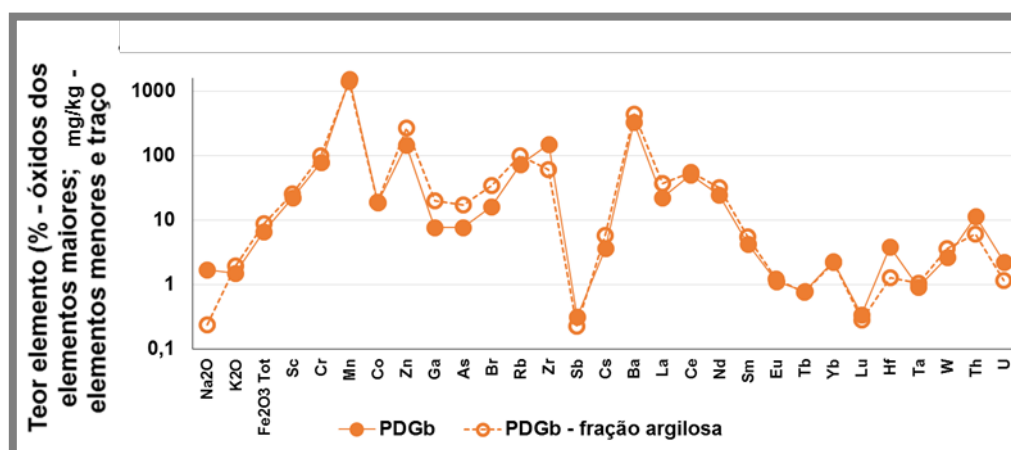


Figura 5.182. Composição química da fração argilosa da amostra de solo moderno recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões

Quando normalizados aos condritos as REE da fração argilosa da amostra PDGb apresentam um padrão de distribuição onde se identificam anomalias negativas de Ce e

Eu ($Ce/Ce^* = 0,71$ e $Eu/Eu^* = 0,70$). A anomalia de Eu na fração argilosa apresenta um valor ligeiramente inferior ao da amostra total. Enquanto na amostra total não se verifica anomalia do Ce, na fração argilosa verifica-se uma anomalia negativa, o que poderá ser justificado pela maior proporção de ilite nesta amostra, mineral que geralmente apresenta anomalia negativa de Ce (Laveuf e Cornu, 2009). No que respeita ao fracionamento de REE, a fração argilosa apresenta maior fracionamento entre REE leves e pesadas do que entre REE leves e intermédias ($(La/Yb)_N=11$ e $(La/Sm)_N=4$). Em relação à amostra total, a fração argilosa apresenta fracionamento maior entre REE leves e pesadas, bem como entre leves e intermédias. O perfil de REE (Figura 5.183) permite verificar que as REE leves e intermédias se fixam preferencialmente na fração argilosa da amostra de solo moderno formada por proporções idênticas de ilite e esmectite.

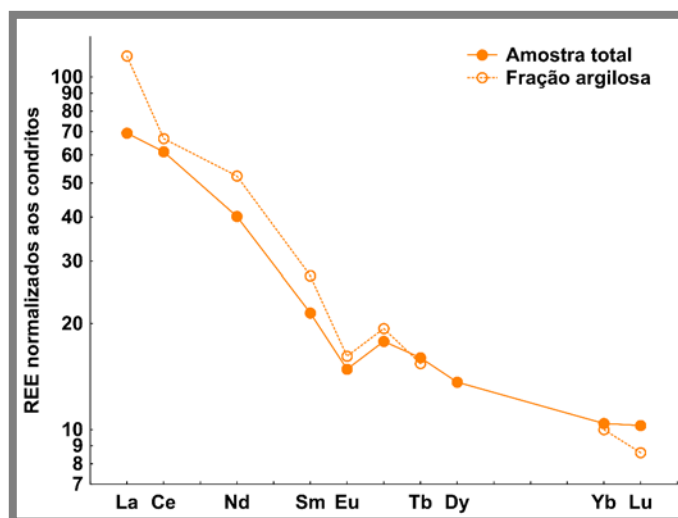


Figura 5.183 Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na fração argilosa e na amostra total do solo moderno recolhida na aérea de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.3 Materiais de preenchimento – Amostra total – Fossos 5 e 12

A amostra do material de preenchimento do fosso 5 recolhido a 120 cm de profundidade (PDG1) destaca-se das amostras de materiais de preenchimento do fosso 12 pelo menor teor de óxidos de Mg, P, S, Ca e dos elementos da primeira série de transição, bem como pelo menor teor nos elementos As, Br e Sb, e por maiores concentrações de óxidos de Na e K e dos elementos Rb, Zr, Nb, Ba, REE leves, W, Pb e Th (Figura 5.184). Detetou-se ainda nesta amostra a presença de Sn. O maior teor em óxido de Na é justificado pela maior proporção de feldspatos, nomeadamente plagioclase sódica nos materiais de preenchimento do fosso 5. Também o teor mais elevado em Ba na amostra PDG1 pode ser justificado pela maior proporção de plagioclase, mineral onde o Ba pode substituir o Ca. Os teores mais elevados de Zr e Nb poderão indicar uma proporção maior de minerais detríticos, como o zircão, ou de rutilo, biotite e esfena, minerais onde o Nb se pode fixar, nos materiais de preenchimento do fosso 5. O teor em Pb, mais elevado na amostra PDG1 que contém maior teor em plagioclase e micas, pode ser explicado pelo raio iónico semelhante entre o Pb^{2+} e os iões K^+ e o Ca^{2+} , com os quais este elemento pode permutar nas micas, plagioclase e apatite.

A amostra PDG2, recolhida no fosso 12 a 120 cm de profundidade, apresenta o teor mais elevado de óxido de S e nos elementos Mn, Cu, As e Br e o teor mais baixo em Ga,

Ta e U e é a única onde se detetou a presença de Cd. A amostra PDG3, recolhida no fosso 12 a 100 cm de profundidade, apenas se distingue da amostra PDG2 pelo menor teor em óxido de S e nos elementos Mn e W, maior teor em Ga, Ta e U e pela presença de Tl. O teor mais elevado em óxidos de Mg e Ca, nas amostras recolhidas no fosso 12, relativamente à amostra recolhida no fosso 5 é justificado pela presença de calcite nestas amostras. Os teores mais elevados em elementos da primeira série de transição poderão ser justificados pela presença de uma maior proporção de minerais ferromagnesianos (como a anfíbola e a biotite) nos materiais de preenchimento do fosso 12. O teor mais elevado em óxido de P pode indicar uma maior proporção de apatite nos materiais de preenchimento do fosso 12.

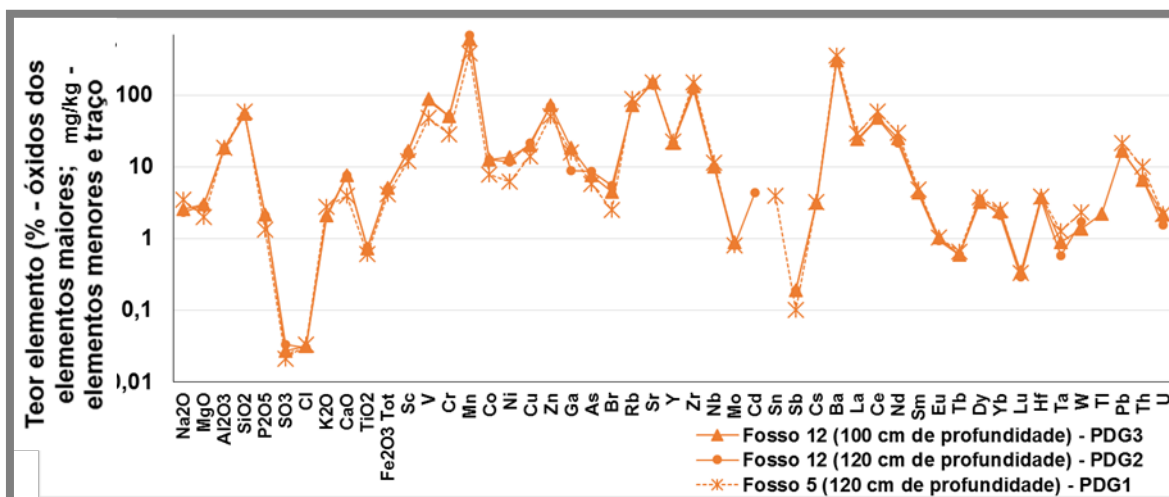


Figura 5.184 Composição química das amostras de materiais de preenchimento recolhidos nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigoões, determinada por AAN e FRX.

O valor de perdas por ignição (LOI) determinado para as amostras de materiais de preenchimento dos fossos é de 4% na amostra PDG1 recolhida no fosso 5, de 6% para a amostra PDG2 e de 3% para a amostra PDG3, recolhidas no fosso 12. Estas amostras apresentam maiores perdas por ignição, ou seja maior proporção de matéria orgânica e carbonatos do que os materiais de alteração do diorito (PDGc, PDGd e PDGe) como seria de esperar por parte dos materiais de preenchimento dos fossos onde foi registada a presença de restos faunísticos (Valera, 2013c), material mais fino e argiloso e portanto mais meteorizado, e para o caso do fosso 12, materiais com 4% a 8% de calcite.

Relativamente à crosta continental superior (UCC) os materiais de preenchimentos dos fossos 5 e 12, amostras PDG1, PDG2 e PDG3, apresentam-se empobrecidos em óxidos de Si, K e Fe e nos elementos da primeira série de transição, Ga, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Sb, Cs, Ba, REE leves e intermédias, Hf, Th e U (Figura 5.185). De um modo geral, as três amostras apresentam relativamente aos valores médios da crosta continental um enriquecimento em óxidos de Al, P e Ca e nos elementos As e Br.

A amostra PDG1 destaca-se por apresentar o maior empobrecimento nos elementos da primeira série de transição e em Sb assim como, o menor empobrecimento em REE e é a única amostra enriquecida em óxido de Na, Ta, W e Pb e empobrecida em óxido de Mg relativamente aos valores médios da crosta continental superior.

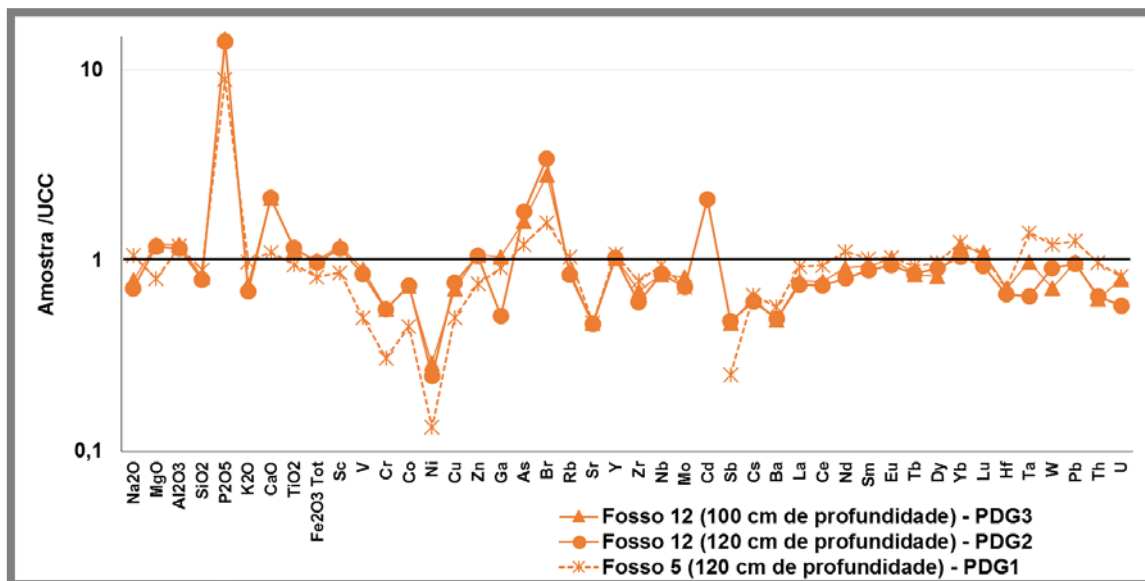


Figura 5.185 Composição química das amostras de materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 recolhida no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente à média da crosta continental superior (UCC).

Comparando os materiais de preenchimento PDG1, PDG2 e PDG3 com as amostras da geologia local recolhidas na área de escavação dos fossos (primeira fase de amostragem) e na parede Norte do fosso 5 (segunda fase de amostragem) (Figura 5.186), verifica-se que, de um modo geral, todas as amostras de materiais de preenchimento se encontram enriquecidas em óxidos de Na, Si e K e em Ga, e empobrecidas em óxidos de P, S e Fe e nos elementos da primeira série de transição e em Br, em relação ao solo moderno. O menor teor em Fe e nos elementos da primeira série de transição dever-se-á à menor proporção de minerais ferromagnesianos nas amostras de materiais de preenchimento em relação ao solo moderno. O menor teor em Br nos materiais de preenchimento reflete o menor teor em matéria orgânica nestes materiais quando comparados com o solo moderno.

Quando comparadas com a amostra do substrato geológico recolhida na área de escavação dos fossos (PDGa), os materiais de preenchimento estão, de um modo geral, enriquecidos em óxidos de Na, P, S e K e nos elementos As, Rb, Zr, Ba, La e Th e empobrecidos na maioria dos restantes elementos com maior evidência dos elementos da primeira série de transição em relação à amostra (Figura 5.186). O enriquecimento em óxidos de Na e K devem-se à maior proporção de feldspatos potássicos e plagioclase nos materiais de preenchimento dos fossos. O enriquecimento em Ba é proporcionado pela proporção de plagioclase e calcite nos materiais de preenchimento, onde o Ba pode substituir o Ca. O empobrecimento em elementos da primeira série de transição indica uma menor proporção de minerais ferromagnesianos nos materiais de preenchimento em relação à amostra de substrato geológico.

Relativamente às amostras recolhidas na parede Norte do fosso 5 (PDGc, PDGd e PDGe), os materiais de preenchimento encontram-se enriquecidos nos óxidos de Mg, P, Ca, Ti e Fe e nos elementos Cl, elementos da primeira série de transição, As e Br e empobrecidos em óxidos de Na e Si e nos elementos Ga, Rb, REE, Hf, Ta, W, Pb e Th (Figura 5.186). O teor mais elevado em óxidos de Mg, Fe e em elementos da primeira

série de transição poderá indicar uma maior proporção de minerais ferromagnesianos nos materiais de preenchimento em relação às amostras recolhida na parede Norte do fosso 5. O enriquecimento em Br nos materiais de preenchimento relativamente às amostras da parede do fosso 5 era expectável, dada a presença de matéria orgânica e de atividade humana nestes materiais.

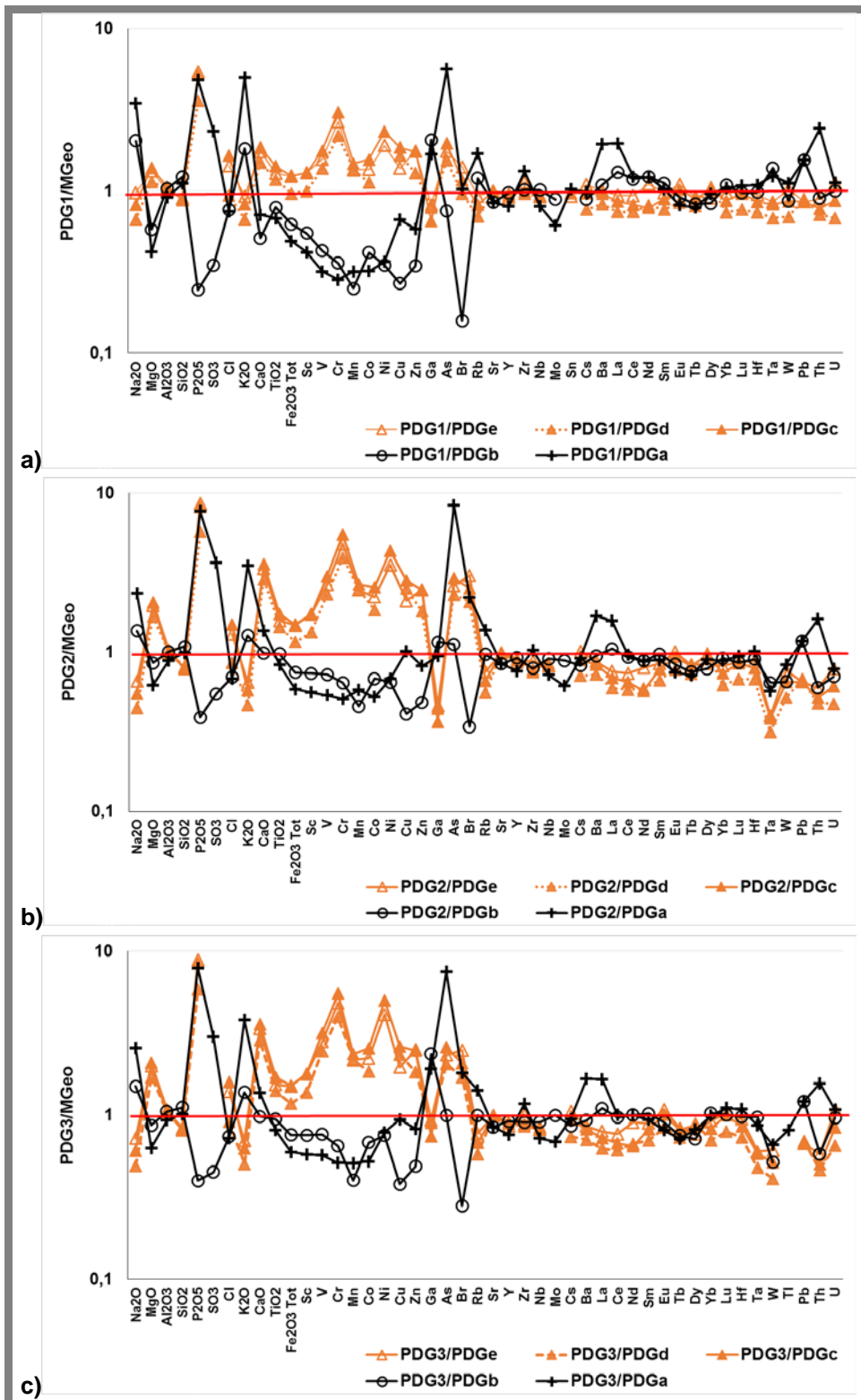


Figura 5.186 Composição química na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões com a composição química dos materiais representativos da geologia local.

5.7.3.3.1 Índices químicos

O índice químico de alteração para os materiais de preenchimento, determinado com base no teor em óxidos de Na, K, Al, Ca e nas perdas por ignição, assume na amostra PDG1 o valor de 55% e nas amostras PDG2 e PDG3 o valor de 50%. Estes valores são semelhantes ao determinado para a amostra de solo (PDGb) e as amostras da base do perfil da parede Norte do fosso 5.

Atendendo ao índice de Ruxton ($R=SiO_2/Al_2O_3$) que considera o Al imóvel durante os processos de alteração e indica que quanto maior a razão menor a alteração dos silicatos, verifica-se que as amostras recolhidas no fosso 12 ($R=2,7$) apresentam uma razão mais elevada que a amostra recolhida no fosso 5 ($R=3,3$). Assim, verifica-se que o índice de Ruxton é semelhante nas amostras recolhidas no fosso 5 (preenchimento e parede) e que para as amostras recolhidas no fosso 12 o índice se aproxima mais do verificado no solo e substrato. Confirma-se mais uma vez a maior contribuição dos materiais da parede para o preenchimento do fosso 5.

Considerando o índice de alteração da plagioclase ($PIA = 100 \times (Al_2O_3 - K_2O / Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)$) verificam-se valores de 69% para a amostra recolhida no fosso 5, dentro da gama de valores obtidos para as amostras da parede do fosso e valores de 64% para as amostras recolhidas no fosso 12. Observa-se uma correlação positiva muito forte entre o CIA e o PIA ($R^2=0,99$) dos materiais recolhidos no preenchimento e na área de escavação dos fossos 5 e 12 (Figura 5.187).

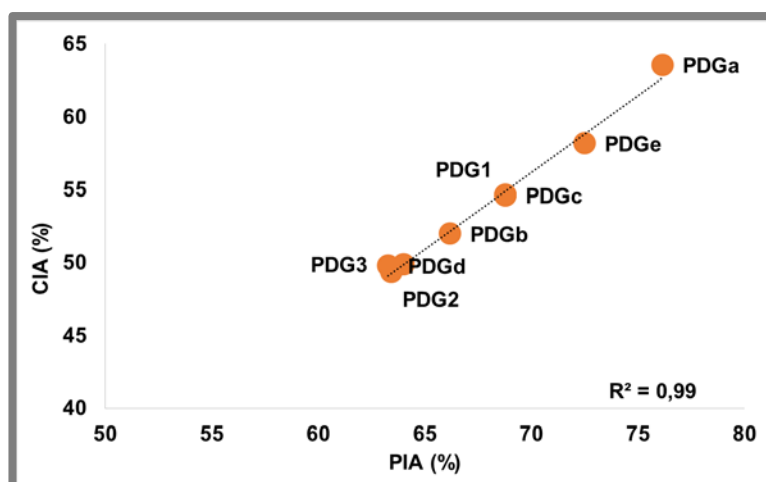


Figura 5.187. Variação do índice químico de alteração em função do índice de alteração da plagioclase para a amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento e na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.3.2 Comportamento dos elementos terras raras

As REE determinadas quando normalizadas aos condritos (Korotev, 1996a e b) apresentam um padrão de distribuição que evidenciam ligeiras anomalias negativas de Ce ($0,93 < Ce/Ce^* < 0,95$) e anomalias negativas de Eu ($0,67 < Eu/Eu^* < 0,72$) (Figura 5.189). Relativamente aos valores médios da crosta continental superior as anomalias de Ce e Eu são mais evidentes nas amostras de preenchimento dos fossos. O perfil de REE da amostra PDG1 apresenta um fracionamento maior entre REE leves e intermédias

((La/Sm)_N=4) que o perfil de REE das amostras PDG2 e PDG3 ((La/Sm)_N=3). As amostras PDG1 e PDG2 ((La/Lu)_N=8) apresentam um fracionamento maior entre REE leves e pesadas do que a amostra PDG3 ((La/Lu)_N=7). Relativamente aos valores médios da crosta continental superior o perfil de REE das amostras PDG1, PGG2 e PDG3 é menos fracionado (Figura 5.189). Relativamente aos materiais recolhidos na área de escavação dos fossos, os materiais de preenchimento apresentam anomalias de Eu ligeiramente mais acentuadas que os materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5 e menos acentuadas que o solo moderno e os materiais do substrato (PDGa). Quanto à anomalia de Ce os materiais de preenchimento apresentam pequenas anomalias negativas tal como os materiais recolhidos na parede do fosso 5 (materiais de alteração dos granodioritos) (Figura 5.189). No que concerne ao fracionamento de REE os materiais de preenchimento apresentam razões (La/Sm)_N e (La/Yb)_N próximas das obtidas tanto para os materiais de alteração dos dioritos e gabros associados (PDGa) como para os materiais de alteração do granodiorito (PDGc - PDGe) e muito inferiores ao fracionamento observado para os valores médios da crosta continental superior (Figura 5.189).

Observando o somatório de REE nos materiais de preenchimento verifica-se que a amostra recolhida no fosso 5, amostra PDG1, apresenta um maior teor em REE (Σ REE=132 mg/kg) que os materiais recolhidos no fosso 12, amostra PDG2 e PDG3, dentro da janela de valores obtidos para os materiais de alteração do granodiorito (Figura 5.189). Os materiais recolhidos no fosso 12 apresentam teores de REE semelhantes aos verificados para as amostras de solo e substratos recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 (103 mg/kg < Σ REE< 110 mg/kg).

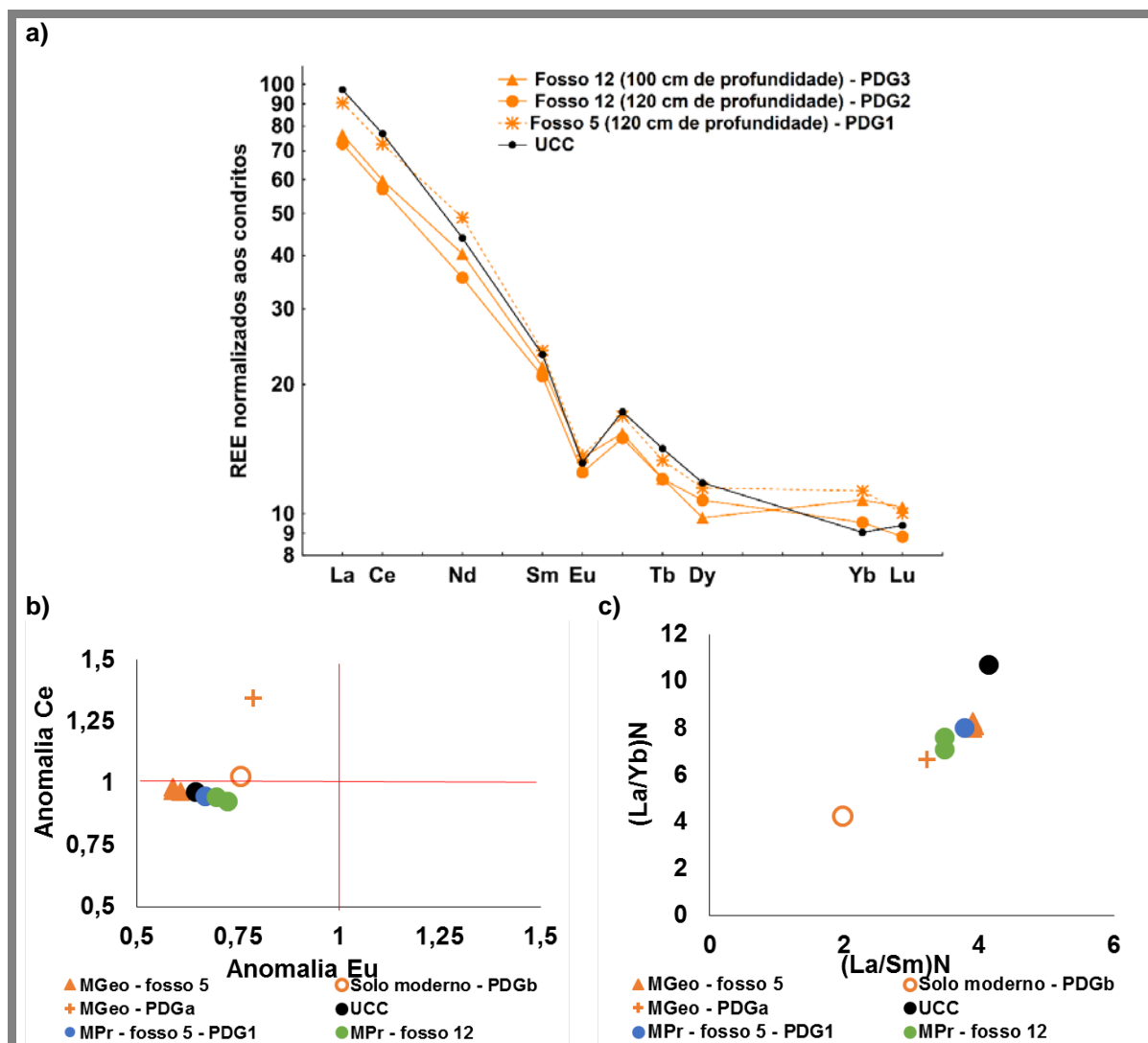


Figura 5.188 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidas nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões e para os valores médios da crosta continental superior (UCC).

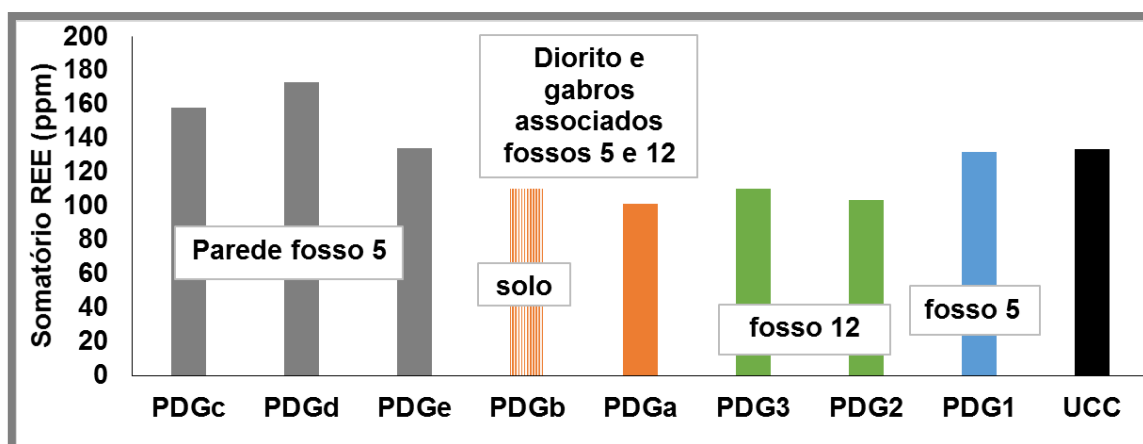


Figura 5.189 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no substrato geológico (PDGa) e no solo PDGb na área de escavação dos fossos 5 e 12, na parede Norte do fosso 5 (PDGc;d;e) e nos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 (PDG1; 2; 3), no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.4 Materiais de preenchimento - Fração argilosa – Fosso 12

A composição química da fração argilosa da amostra de preenchimento recolhida no fosso 12 é similar para os dois níveis amostrados (PDG2 e PDG3). Relativamente à amostra total a fração argilosa destas amostras encontra-se empobrecida em óxidos de Na, o que se justifica pela perda do Na durante o processo de separação por via húmida da fração argilosa. A fração argilosa encontra-se também empobrecida em Zr, REE pesadas, Hf, Th e U, elementos que se encontram associados a minerais pesados na fração grosseira e detrítica das amostras. Os elementos em que se observa um enriquecimento na fração argilosa incluem essencialmente o óxido de Fe, os da primeira série de transição, e o Ga, As, Br, Sb, Cs, Ta e W. Relativamente às REE observa-se um ligeiro enriquecimento na fração argilosa, excetuando as REE pesadas (Figura 5.190).

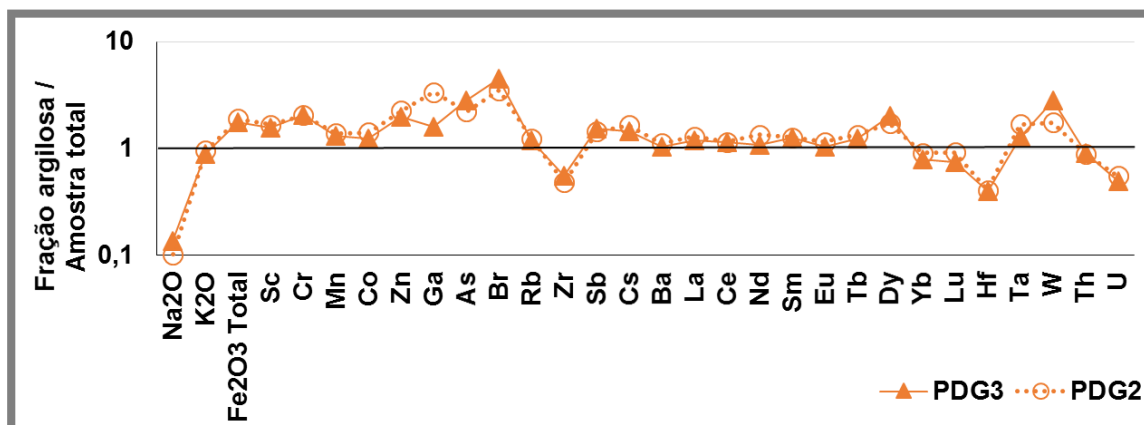


Figura 5.190 Relação entre a composição química da fração argilosa e a amostra total nos materiais de preenchimento do fosso 12, PDG2 e PDG3, no Recinto de fossos dos Perdigões.

Comparando a fração argilosa das amostras PDG2 e PDG3, recolhida no fosso 12, com a fração argilosa dos materiais recolhidos no solo moderno, que tanto nos materiais de preenchimento como no solo apresenta uma proporção idêntica de esmectite e ilite, verifica-se um ligeiro empobrecimento em Mn, Zn, Br, e um ligeiro enriquecimento em Ga e As nos materiais de preenchimento do fosso 12. Relativamente à amostra de solo, a fração argilosa da amostra PDG3 apresenta ainda um ligeiro enriquecimento em óxido de Na, não sendo tão evidente a perda deste elemento durante o processo de separação por via húmida da fração argilosa (Figura 5.191).

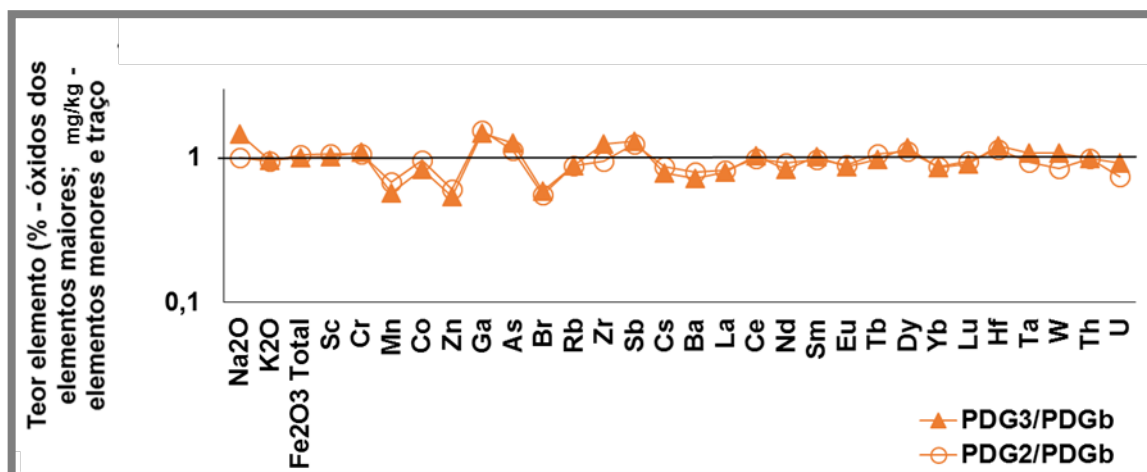


Figura 5.191 Relação entre a composição química da fração argilosa dos materiais de preenchimento do fosso 12, PDG2 e PDG3, e a fração argilosa da amostra de solo moderno, PDGb, no Recinto de fossos dos Perdígões.

5.7.3.4.1 Comportamento dos elementos terras raras

No que respeita às REE normalizados aos condritos (Korotev, 1996a e b) o perfil evidencia anomalias negativas de Eu ($0,60 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,62$) na fração argilosa de ambas as amostras (Figura 5.192). A anomalia negativa de Ce assume na fração argilosa da amostra PDG2 o valor de 0,8 enquanto na fração argilosa da amostra PDG3 a anomalia negativa de Ce é menor (0,9). Relativamente à fração argilosa da amostra de solo, PDGb, apresenta uma anomalia de Eu maior e anomalia de Ce menor. O fracionamento entre REE leves e pesadas ($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=11$) é maior do que entre leves e intermédias onde $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=3$ na fração argilosa da amostra PDG3 e $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=4$, na fração argilosa da amostra PDG2. Relativamente à amostra de solo moderno, PDGb, a fração argilosa das amostras PDG2 e PDG3 apresentam um perfil de fracionamento semelhante. Em relação à amostra total (Figura 5.192) a fração argilosa das amostras (com proporções idênticas de esmectite e ilite) é mais rica em REE leves e intermédias e mais empobrecida em REE pesadas. As anomalias negativas de Eu e Ce são menos evidentes na fração argilosa das amostras. O perfil de REE na fração argilosa apresenta-se com melhor fracionamento que o perfil de REE na amostra total, no que respeita ao fracionamento entre REE leves e pesadas e com um fracionamento idêntico entre REE leves e intermédias.

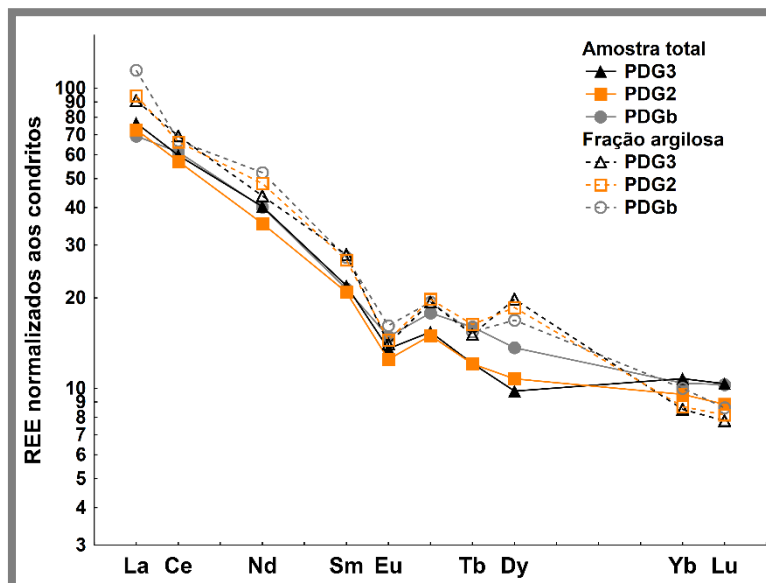


Figura 5.192 Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos na fração argilosa e na amostra total das amostras de materiais de preenchimento do fosso 12 e da amostra de solo recolhida na área de escavação dos fossos 5 e 12, no Recinto de fossos dos Perdigiões.

5.7.3.5 Materiais representativos da geologia local – Amostra total – Fosso 8

A composição química das amostras recolhidas na área de escavação do fosso 8 (Anexo IV), PDGf recolhida no filão rosado, PDGg recolhida no substrato geológico e PDGh recolhida no solo moderno é semelhante na generalidade dos elementos determinados (Figura 5.193). Relativamente ao substrato geológico PDGg a amostra do solo PDGh encontra-se enriquecida nos óxidos de P e S e em Br e Th e ligeiramente empobrecida nos óxidos de K, Ca e Fe e nos elementos Ga, As, Nb, Mo, Sb, La, Ta, Pb e U. No que respeita à amostra de material recolhido no filão rosado PDGf, verifica-se o enriquecimento em óxido de Mg e Ti, e nos elementos Cl, V, Ni, As, Zr, Sb, W e Th e um maior empobrecimento em óxidos de Na, K e Ca e nos elementos Mn, Zn, Ga, Br, Sr, Y, REE, Pb e U, relativamente à amostra do substrato geológico PDGg. Na amostra PDGf não se detetou a presença de óxido de S e de Cu.

O enriquecimento da amostra de solo moderno em P e Th pode dever-se à presença de uma maior proporção de apatite nesta amostra relativamente ao substrato geológico, mineral identificado por Antunes (2006) neste tipo de amostras desta região. Aliado ao enriquecimento em P, o enriquecimento em S pode justificar-se pela contaminação devida à atividade agrícola e pela maior proporção de matéria orgânica no solo relativamente ao substrato geológico. Esta maior proporção de matéria orgânica justifica também o teor mais elevado em Br no solo. O empobrecimento do solo em CaO deve-se à menor proporção de calcite.

No caso da amostra do filão PDGf, a composição mineralógica determinada mostra uma elevada proporção de anatase (37%) que justifica o enriquecimento em Ti. O enriquecimento em Ni, que associado ao enriquecimento em Mg e V indica uma composição mais máfica, relaciona-se com a presença de gabros na geologia local. O empobrecimento em óxidos de Na, K e Ca reflete a ausência de feldspatos, nomeadamente plagioclase, e de filossilicatos na composição mineralógica da amostra,

tal como o empobrecimento em óxidos de Ca e Sr reflete a menor proporção de calcite neste material. Não estando esta amostra enriquecida em óxidos de Al, P, S e Fe elementos associados a minerais onde o As pode surgir como elementos acessório, o enriquecimento em As na amostra PDGf poderá dever-se a ação hidrotermal (Salminen et al, 2005). O enriquecimento em Zr, bem como em Th, pode ser justificado pela capacidade do Zr substituir o Ti e o Si em óxidos como o quartzo e a anatase e do Th surgir na forma de ião Th^{4+} na estrutura desses óxidos. O W que surge como elemento acessório em óxidos de Fe e Ti o que fundamenta o enriquecimento da amostra do filão rosado neste elemento. Dada a semelhança química e geoquímica entre os elementos, o Sb pode substituir o As, justificando-se assim o enriquecimento em Sb na amostra PDGf.

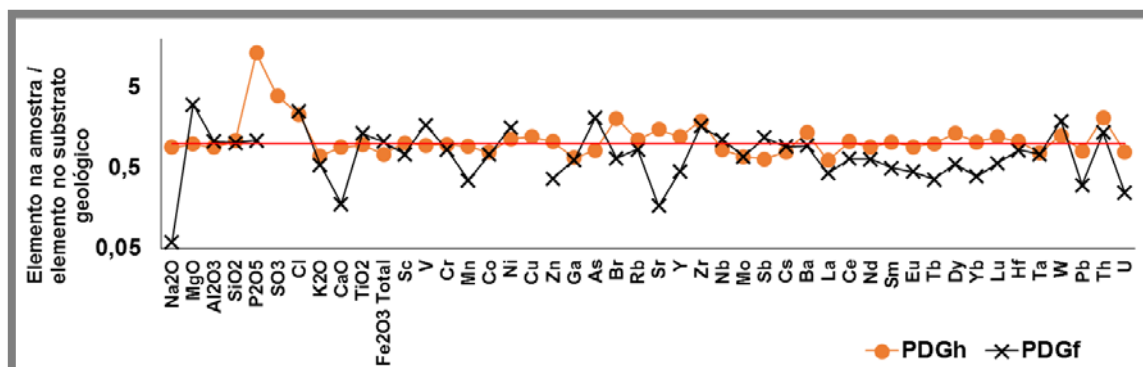


Figura 5.193 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos na área de escavação do fosso 8, no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente ao substrato geológico, determinada por AAN e FRX.

Relativamente ao substrato geológico recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12, PDGa, verificam-se que o substrato geológico na área de escavação do fosso 8 PDGg se encontra enriquecido nos óxidos de Na, S, K e Ca e nos elementos Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sb, Cs, Ba, La, e U e empobrecida em óxidos de P e nos elementos Cl, Sc, V, Cr, Sr, Y, Zr e Th (Figura 5.194). A amostra PDGg apresenta uma maior proporção de calcite e de filossilicatos (apenas traços de micas) na sua composição mineralógica face à amostra PDGa que apresenta uma composição mais rica em plagioclase, anfíbola (hornblenda) e micas (biotite). O enriquecimento em óxido de Ca e Ba deverá relacionar-se com a maior proporção de calcite na amostra PDGg bem como o enriquecimento em K, Ga, Rb e Cs dever-se-á à maior proporção de filossilicatos (maioritariamente minerais argilosos) nesta amostra relativamente à amostra PDGa.

No que respeita ao solo recolhido na área de escavação do fosso 8 PDGh, onde se detetou uma maior proporção de calcite e anatase, verifica-se o enriquecimento em óxidos de Ca e nos elementos Ga e U e o empobrecimento em óxido de P, As, Br e Th relativamente ao solo PDGb recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 (Figura 5.194). O enriquecimento em óxidos de Ca e Mg é o reflexo da maior proporção de calcite na amostra de solo PDGh. Por outro lado, o ligeiro enriquecimento em Mg, Fe e na maioria dos elementos da primeira série de transição sugerem uma maior proporção de minerais ferromagnesianos no solo que cobre a área de escavação do fosso 8. O Ti encontra-se também ligeiramente enriquecido, o que está relacionado com a maior proporção de anatase desta amostra. Realce-se que o enriquecimento em Ca, S e Ti poderá ainda ser indicador da presença de uma maior proporção de esfena nestes materiais relativamente aos recolhidos no solo da área de escavação.

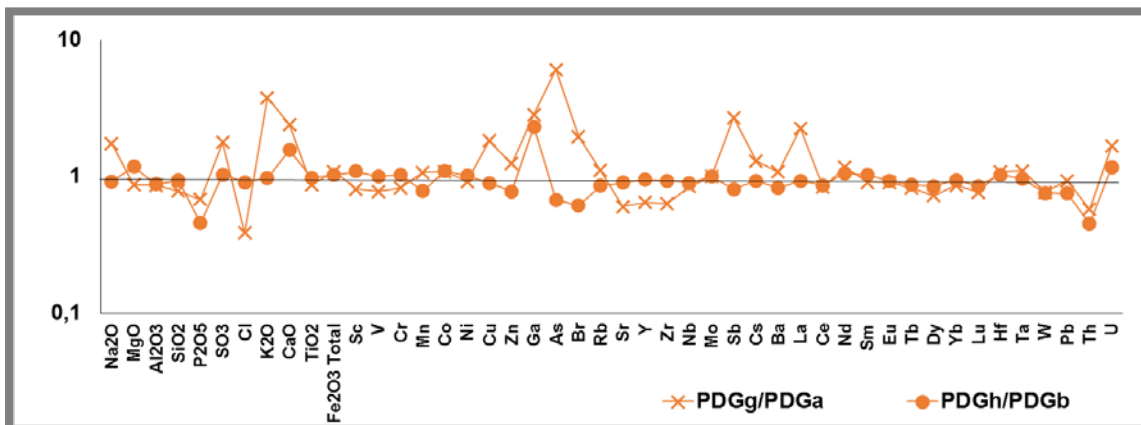


Figura 5.194 Composição química da amostra total do substrato geológico e do solo recolhidas na área de escavação do fosso 8 em relação às amostras de substrato geológico e solo recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

Relativamente aos valores médios da crosta continental superior (UCC), todas as amostras recolhidas na área de escavação do fosso 8, PDGf, PFGg e PDGh encontram-se enriquecidas nos óxidos de Mg, P (particularmente o substrato geológico), Ca (exceto amostra do filão), e nos elementos Cu, Zn e Br (a amostra do filão também se encontra enriquecida em As), e empobrecidas nos óxidos de Na (particularmente o filão), Si e K e nos elementos Ni, Rb, Sr (particularmente no filão), Zr, Ba e Th. Relativamente às REE só a amostra do filão se encontra empobrecida (Figura 5.195).

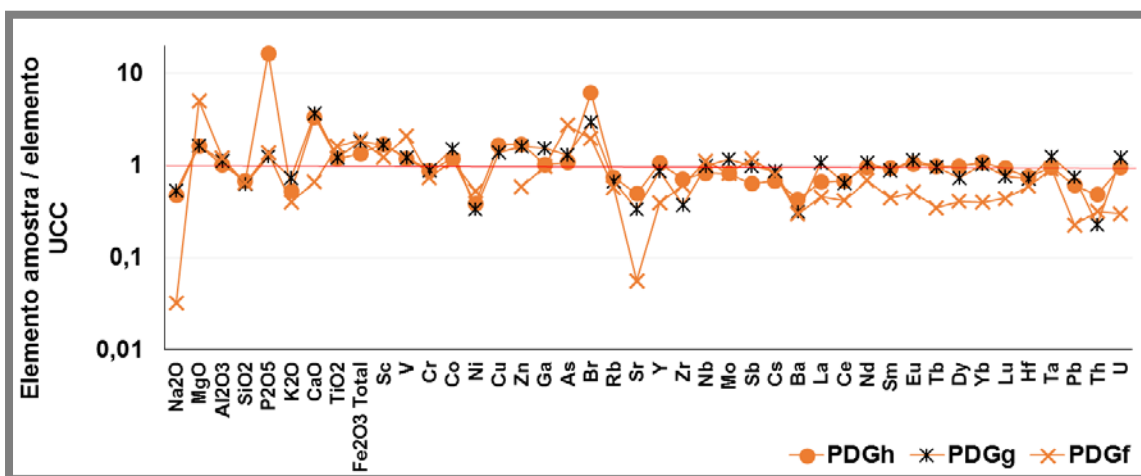


Figura 5.195 Composição química da amostra total dos materiais representativos da geologia local, recolhidos na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente aos valores médios do crosta continental superior.

5.7.3.5.1 Índices químicos

O índice químico de alteração determinado com base no teor em óxidos de Na, K, Al, Ca e nas perdas por ignição, assume na amostra do substrato geológico PDGg (CIA=44%) e na amostra de solo PDGh (CIA=43%) valores inferiores ao determinado para a amostra PDGf, recolhida no filão rosado (CIA=79%).

Atendendo ao índice de Ruxton ($R = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$) que considera o Al imóvel durante os processos de alteração e indica que quanto maior a razão menor a alteração dos

silicatos, verifica-se que a amostra recolhida no filão e no substrato ($R=2,4$) apresentam um índice ligeiramente menor que a amostra de substrato ($R=2,9$).

Considerando o índice de alteração da plagioclase ($PIA = 100 \times (Al_2O_3 - K_2O / Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)$) verificam-se valores de 90% no filão (amostra onde não se detetou a presença de plagioclase) e 58% na amostra de substrato e de solo.

5.7.3.5.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne às REE nas amostras de substrato (PDGg), do filão (PDGf) e do solo (PDGh) na área de escavação do fosso 8, a sua variação quando normalizados aos condritos evidencia anomalias negativas de Eu e de Ce (Figura 5.196). A anomalia de Eu é mais acentuada na amostra do substrato ($Eu/Eu^*=0,72$) face às anomalias de Eu no solo ($Eu/Eu^*=0,81$) e no filão ($Eu/Eu^*=0,79$). Quanto à anomalia negativa de Ce verifica-se uma maior anomalia nos materiais do substrato, amostra PDGg ($Ce/Ce^*=0,58$), face a anomalias menos evidentes na amostra do filão PDGf ($Ce/Ce^*=0,81$) e na amostra de solo PDGh ($Ce/Ce^*=0,92$). Relativamente aos valores médios da crosta continental, UCC, estes materiais apresentam anomalias mais acentuadas.

Em relação às amostras recolhidas na área de escavação dos fossos 5 e 12, os materiais do substrato geológico e o solo recolhidos na área de escavação do fosso 8 apresentam anomalias de Eu semelhantes mas, ao contrário do que acontece nas amostras PDGa e PDGb, as amostras PDGg e PDGh apresentam anomalias negativas de Ce.

O fracionamento entre REE leves e intermédias é maior na amostra do substrato PDGg onde $La/Sm_N=3$ enquanto na amostra do solo, PDGh, $(La/Sm)_N=5$ (Figura 5.196). O fracionamento entre REE leves e intermédias na amostra PDGf é menor que no solo e maior que no substrato geológico ($(La/Sm)_N=4$). O fracionamento entre REE leves e pesadas é maior na amostra de materiais do filão PDGf, com $(La/Yb)_N=12$, face a $(La/Yb)_N=11$ na amostra PDGg do substrato geológico e a $(La/Yb)_N=7$ na amostra do solo PDGh. Os materiais do substrato geológico tal como os materiais do solo, recolhidos na área de escavação do fosso 8, apresentam perfis de fracionamento maiores relativamente aos materiais do substrato geológico e do solo recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 (Figura 5.196).

O fracionamento entre REE leves e pesadas, inferido através da razão $(La/Yb)_N$, assume nas amostra recolhidas na área de escavação do fosso 8, tal como nos materiais recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12, valores semelhantes aos obtidos por Silva e Pinto (2006), através da razão $(La/Lu)_N$, para os dioritos do maciço de Reguengos de Monsaraz, formação onde o sítio arqueológico do Recinto de fossos dos Perdigões se encontra implantado ($6 < La/Lu)_N < 12$).

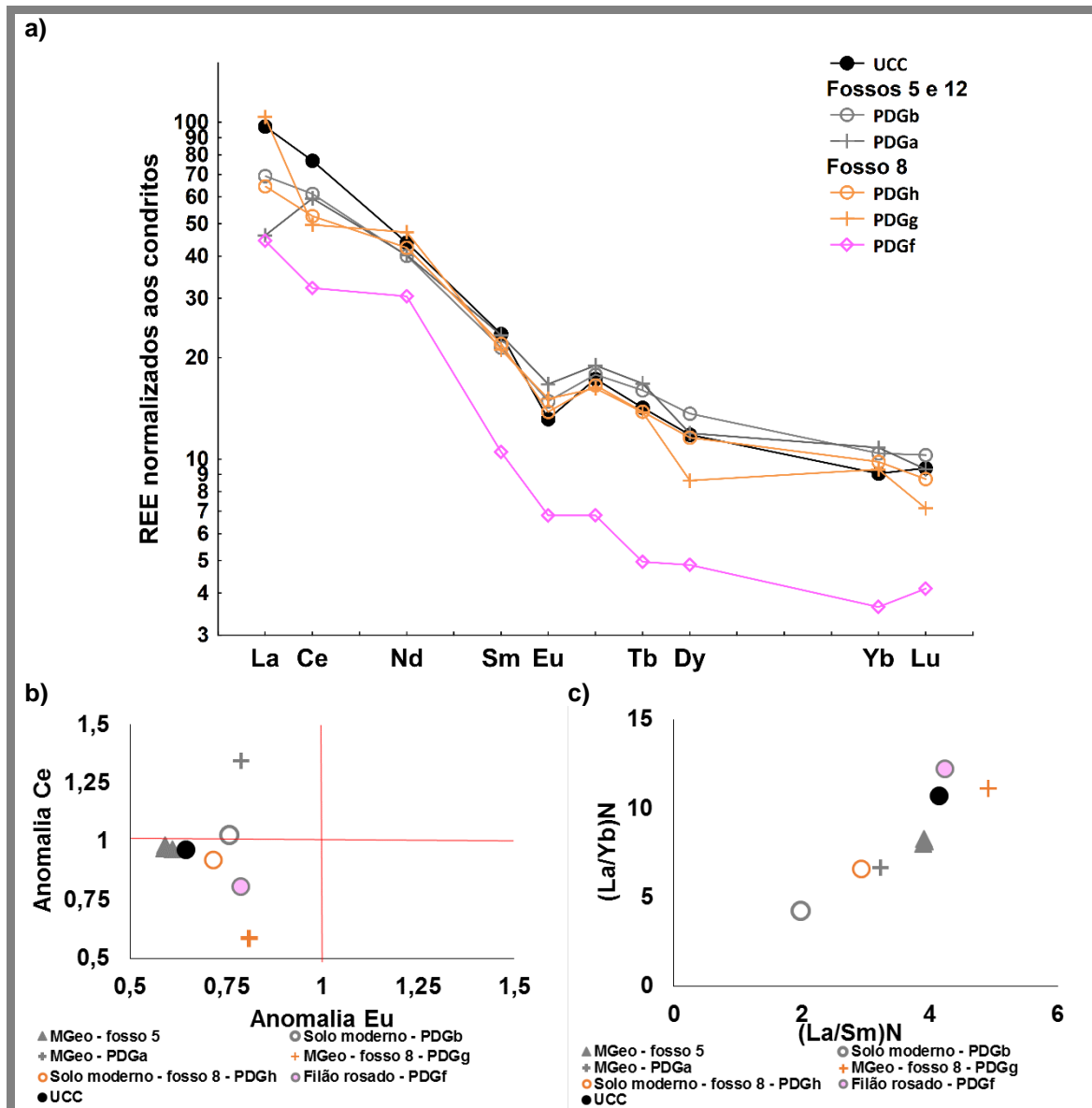


Figura 5.196 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE nas amostras de substrato geológico e no solo moderno recolhidas na área da escavação dos fossos 5, 12 e 8, no Recinto de fossos dos Perdigões,

A realçar há ainda o fato de os materiais recolhidos no filão rosado, amostra PDGf, apresentarem um teor mais baixo em REE e os materiais recolhidos no substrato geológico e no solo na área de escavação do fosso 8 apresentarem um menor teor em REE, nomeadamente intermédias e pesadas que os materiais recolhidos no substrato geológico e no solo da área de escavação dos fossos 5 e 12 (Figura 5.196 e Figura 5.197). Relativamente aos valores médios da crosta continental superior os materiais recolhidos na área de escavação do fosso 8 apresentam menores teores em REE leves e considerando os materiais do substrato geológico PDGf e PDGg verificam-se perfis de REE mais fracionados. O solo apresenta um perfil de REE menos fracionado que os valores médios da crosta continental superior (Figura 5.196).

Tal como ocorre para os materiais de alteração dos dioritos e gabros associados, recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGa e PDGb), o somatório de REE nos materiais recolhidos na área de escavação do fosso 8 (PDGg e PDGh) é menor (102

mg/kg $\langle \sum \text{REE} \rangle < 114$ mg/kg) que o dos materiais recolhidos na parede do fosso 5 (PDGc - PDGe) e dentro da janela de valores obtidos por Silva e Pinto (2006).

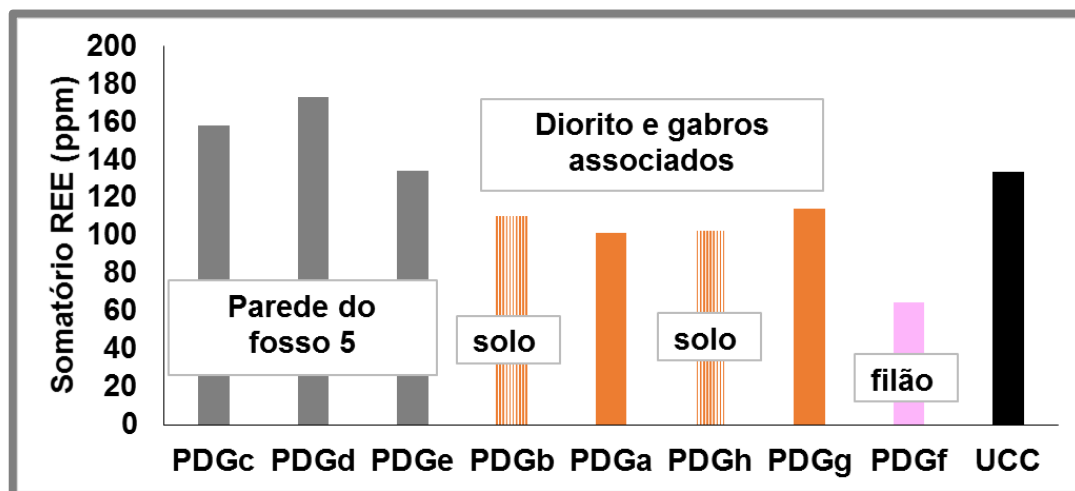


Figura 5.197 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no substrato geológico e solo na area de escavação dos fossos 5, 12 e 8 e na parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.6 Materiais de preenchimento – Amostra total – Fosso 8

A composição química das três amostras de materiais de preenchimento do fosso 8, PDG4 – PDG6, (Anexo IV) é muito homogénea, verificando-se apenas pequenas variações nos teores dos elementos determinados, que são realçadas quando se compara a composição das amostras com os valores médios para a crosta continental superior (Figura 5.198, a).

Relativamente aos valores médios da crosta continental superior, todas as amostras encontram-se enriquecidas nos óxidos de Mg, P e Ca e nos elementos Sc e Br e empobrecidas nos óxidos de Na, Si e K e nos elementos Cr, Ni, Sr, Sb, Ba, REE leves, Hf, Pb, Th e U (Figura 5.198, a). O empobrecimento em Na, Si e K diminui da base para o topo da sequência de preenchimento, assim como o empobrecimento nos elementos Hf, Pb e Th. O ligeiro aumento de elementos como o Na e o Si da base ao topo do preenchimento deve-se sobretudo ao aumento da proporção de silicatos, bem como o ligeiro aumento de K se relaciona com o aumento da proporção de filossilicatos (ilite). O enriquecimento no topo de elementos como o Hf, o Pb e o Th relaciona-se com a possibilidade de um aumento da expressividade de minerais pesados da base para o topo do preenchimento. No que respeita aos óxidos de Ca, Ti e Fe e aos elementos da primeira série de transição verifica-se que da base para o topo da sequência de preenchimento há um empobrecimento. O empobrecimento em Ca esta diretamente relacionado com a diminuição da proporção de calcite que se regista da base para o topo. A diminuição dos teores em Fe e elementos da primeira série de transição relacionam-se com a diminuição, da base para o topo da expressividade dos minerais ferromagnesianos como a biotite e a anfíbola. A diminuição do teor em Ti no topo relativamente à base justifica-se pela diminuição da proporção dos óxidos de Ti anatase e rutilo, assim como de minerais ferromagnesianos onde o Ti pode substituir o Fe. A amostra do topo PDG6 destaca-se das restantes pelo teor ligeiramente maior em Na, K, Rb, Zr, Cs, Hf, Pb, Th e U e os teores ligeiramente menores em Mg, P, Ca, Ti, Fe e elementos da primeira série

de transição e Nb. O maior teor em Na justifica-se pela presença de uma maior proporção de plagioclase sódica nos materiais do nível superior, tal como o maior teor em K, Rb e Cs pode ser justificado pela maior proporção de filossilicatos (ilite) nos materiais recolhidos mais superficialmente. Tal como já citado, a amostra do topo parece ser a que apresenta uma maior proporção de minerais pesados detríticos dado que apresenta um maior teor em Zr, Hf, Pb, Th e U. O menor teor em Mg deverá relacionar-se tanto com a menor proporção de minerais ferromagnesianos como com a menor proporção de calcite na amostra do topo. O menor teor em P no topo deverá ser indicador da presença de uma menor quantidade de apatite nesta amostra. A amostra do nível intermédio PDG5 apresenta o menor teor em Cu, Sb e Nd e o maior teor em Mo.

Quando comparadas com a amostra do substrato geológico PDGg, é possível verificar que a amostra da base do preenchimento PDG4 se encontra enriquecida em óxidos de P e S e nos elementos Cl, V, Sr, Y, Zr, Ba e Th e ligeiramente empobrecida nos óxidos de Na, K e Fe e nos elementos Mn, Co, Cu, Zn, Ga, Mo, Sb, Cs, La, Ta, Pb e U (Figura 5.198, b). O enriquecimento nesta amostra em V poderá dever-se ao fato de ser a amostra PDG4 a que apresenta a maior proporção de anfíbola relativamente ao substrato geológico, mineral onde o V pode surgir como elemento acessório. A amostra do nível intermédio PDG5, relativamente à amostra do substrato geológico PDGg está enriquecida em óxidos de P e S e nos elementos Cl, Sr, Zr, Ba e Th e empobrecida nos óxidos de K, Ti e Fe e nos elementos da primeira série de transição e em Ga, Sb, Cs, La, Nd, Ta, Pb e U. A amostra do topo PDG6 relativamente à amostra do substrato geológico PDGg está enriquecida em óxidos de Na, Si, P, S e K e nos elementos Cl, Rb, Sr, Zr, Ba, Dy, Lu, Hf, Pb e Th e empobrecida nos óxidos de Mg, Ca, Ti e Fe e nos elementos da primeira série de transição e em As, Nb, Mo, Sb, La, Nd, Ta, W e U. O enriquecimento em K e Rb são reflexo da maior proporção de filossilicatos na amostra do topo da sequência de preenchimento, relativamente ao substrato geológico. O maior teor em óxido de Na deverá ser fruto da maior proporção de plagioclase sódica na amostra PDG6. O enriquecimento dos materiais de preenchimento em óxidos de P e S e em Br, relativamente à amostra do substrato geológico PDGg, relaciona-se sobretudo com o maior conteúdo em matéria orgânica visto estes materiais terem sido recolhidos em níveis do preenchimento onde se registou a presença de artefactos, ossos, carvão e cinza. O maior teor em P poderá também dever-se à maior proporção de apatite e matéria orgânica (em especial, ossos) nos materiais de preenchimento relativamente ao substrato geológico, o que justificaria também o maior teor em Cl nas amostras PDG4 – PDG6. Por outro lado, o Cl pode surgir ainda como substituinte do ião hidróxido na biotite. Sendo os materiais de preenchimento mais ricos em micas que o substrato, este facto poderá justificar a presença de teores mais elevados de Cl nos materiais de preenchimento. O enriquecimento em Zr, relativamente à amostra do substrato geológico, poderá estar relacionado com a possibilidade do Zr substituir o Ti nos óxidos de Ti, minerais nos quais os materiais de preenchimento são mais ricos. As amostras PDG4 – PDG6 são mais ricas em Zr, Hf, e Th que os materiais recolhidos no substrato, que poderá dever-se à presença de uma maior proporção de minerais pesados detríticos nos materiais de preenchimento do fosso 8. O enriquecimento em Si na amostra PDG5 e PDG6 reflete a maior proporção de silicatos nestas amostras, (73% < silicatos < 88%) relativamente aos materiais do substrato geológico (45%).

Em relação ao solo PDGh os materiais de preenchimento apresentam semelhanças quanto à composição química, tal como já se tinha verificado quanto à composição mineralógica (Figura 5.198, c). É de realçar o maior empobrecimento de todas as amostras em óxidos de P, S e em Cl, Cu e Br. O empobrecimento em P deverá ser fruto da menor proporção de apatite nos materiais de preenchimento relativamente ao solo. Esta indicação fundamenta também o empobrecimento em S e Cl. O empobrecimento em Br deverá estar relacionado com a menor proporção de matéria orgânica nos materiais de preenchimento quando comparados com o solo. O empobrecimento em S e P para além da relação com a presença de apatite poderá também estar relacionado como com a maior proporção de matéria orgânica e uma maior contaminação proveniente da atividade agrícola no solo. Verifica-se também que da base para o topo da sequência aumenta o empobrecimento em óxidos de Ca, Ti e Fe e nos elementos da primeira série de transição. O empobrecimento em Ca e Ti da base para o topo deve-se à diminuição da proporção de calcite e de anatase, respetivamente, neste sentido. No que concerne aos elementos da primeira série de transição e ao Fe, esta tendência é justificada pelo decréscimo de minerais ferromagnesianos da base para o topo. A amostra do topo do preenchimento PDG6 apresenta um enriquecimento em óxidos de Na, Si e K e nos elementos Rb, Zr, Sb, Cs, Ba, Hf, Pb e Th. Esta amostra relativamente ao solo apresenta uma composição mais rica em plagioclase sódica, o que pode justificar o enriquecimento em Na, e em filossilicatos (nomeadamente em micas) o que pode fundamentar o enriquecimento destes materiais em K, Rb e Cs. O enriquecimento em Zr, Hf e Th é um indício da presença de uma maior proporção de minerais detríticos pesados na amostra PDG6 relativamente ao solo.

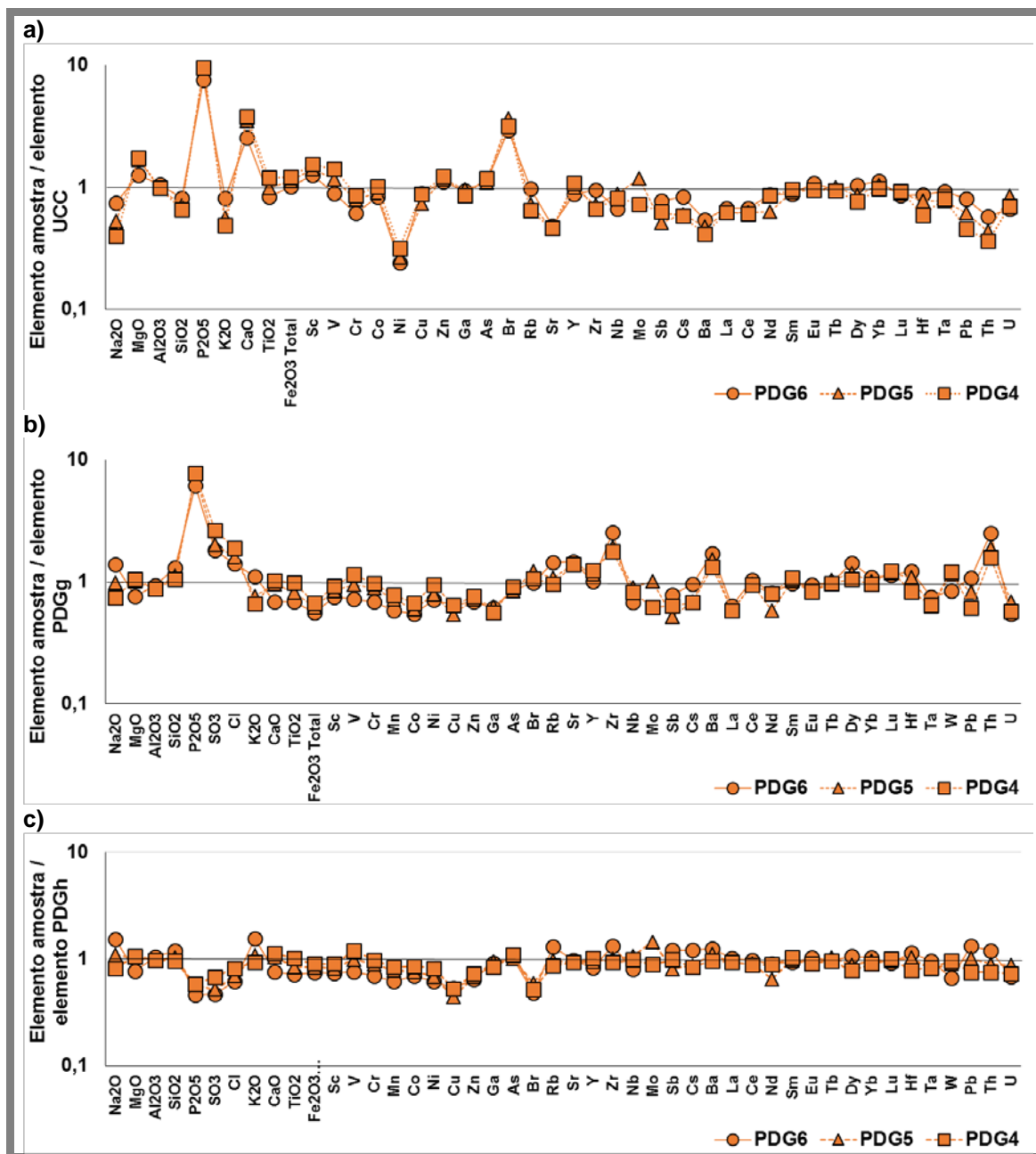


Figura 5.198 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento em relação: a) aos valores médios da crosta continental superior; b) à amostra de substrato geológico PDGg; c) à amostra de solo PDGh, recolhidas no fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdígões.

5.7.3.6.1 Índices químicos

O índice químico de alteração dos materiais de preenchimento do fosso 8 varia entre 41% e 45%, sendo que o valor máximo é registado para os materiais do topo da sequência (PDG6). Estes valores são da mesma magnitude dos determinados para o solo e o substrato na área de escavação do fosso 8 (CIA(PDGg)=44% e CIA(PDGh)=43%).

Atendendo ao índice de Ruxton ($R=SiO_2/Al_2O_3$) verifica-se que as amostras recolhidas no fosso 8 apresentam um aumento ligeiro da base para o topo da sequência de preenchimento ($2,9 < R < 3,3$), o que indica a diminuição do estado de alteração dos materiais de preenchimento nesse sentido. Relativamente aos materiais do substrato e solo, o índice é mais elevado nos materiais de preenchimento indicado um maior estado de alteração.

Considerando o índice de alteração da plagioclase ($PIA = 100 \times (Al_2O_3 - K_2O / Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)$) verificam-se valores de 55% para as amostras recolhidas nos níveis mais profundos (PDG4 e PDG5) e de 58% para a amostra recolhida no nível mais superficial (PDG6) que se encontram dentro da gama de valores obtidos para a amostra de substrato e solo na área de escavação do fosso 8. Observa-se uma correlação positiva muito forte entre o CIA e o PIA ($R^2=0,99$) dos materiais recolhidos no preenchimento e na área de escavação do fosso 8 (Figura 5.199), tal como também foi observado para os materiais geológicos.

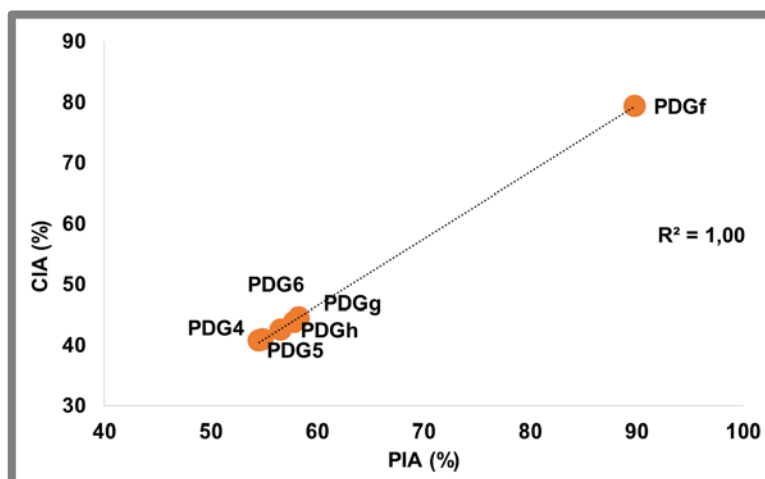


Figura 5.199. Variação do índice químico de alteração em função do índice de alteração da plagioclase para a amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento e na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.6.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne às REE nas amostras de materiais de preenchimento do fosso 8, a sua variação quando normalizados aos condritos evidencia anomalias negativas de Eu ($0,64 < Eu/Eu^* < 0,78$) e pequenas anomalias negativas de Ce ($0,88 < Ce/Ce^* < 0,97$) (Figura 5.201). A anomalia de Eu é mais acentuada nas amostras da base do preenchimento PDG4 e PDG5 que na amostra do topo. Quanto à anomalia negativa de Ce verifica-se uma maior anomalia nos materiais da base e do topo e a ausência de anomalia nos materiais recolhidos no nível intermédio (PDG5). Relativamente aos valores médios da crosta continental, UCC, os materiais recolhidos na base e no nível intermédio apresentam anomalias de Eu semelhantes (PDG4 e PDG5) enquanto a amostra do topo apresenta uma anomalia menos acentuada. No que respeita à anomalia de Ce, as amostras de materiais da base e do topo da sequência de preenchimento têm anomalias mais acentuadas que os valores médios da crosta continental superior (Figura 5.201, b). Os materiais de preenchimento do fosso apresentam anomalias de Eu mais acentuadas e anomalias de Ce menos acentuadas que os materiais do substrato geológico.

Relativamente ao solo PDGh a anomalia de Ce é semelhante nos materiais de preenchimento enquanto a anomalia de Eu é mais acentuada nos materiais da base e do topo e menos acentuada nos materiais do nível intermédio (PDG5).

O fracionamento entre REE leves e intermédias aumenta da base para o topo da sequência de preenchimento ($2,7 < (La/Sm_N) < 3,2$) enquanto o fracionamento entre REE leves e pesadas oscila em torno de 6,5 (Figura 5.201, c). Os materiais de preenchimento do fosso 8 apresentam um perfil com fracionamento semelhante aos materiais recolhidos no solo mas, em relação ao substrato geológico e aos valores médios da crosta continental superior o fracionamento entre REE é menor nos materiais de preenchimento. Estas amostras apresentam fracionamento semelhante ao registado para o substrato geológico recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12. Estes materiais de preenchimento apresentam fracionamentos entre REE leves e pesadas ligeiramente inferiores aos encontrados por Silva e Pinto (2006) para os dioritos do maciço de Reguengos de Monsaraz.

A realçar há ainda o facto de os materiais recolhidos no preenchimento do fosso 8 possuírem um menor teor em REE ($87 \text{ mg/kg} < \Sigma\text{REE} < 99 \text{ mg/kg}$), nomeadamente REE leves que os materiais do solo ($\Sigma\text{REE} = 102 \text{ mg/kg}$) e do substrato ($\Sigma\text{REE} = 114 \text{ mg/kg}$) recolhidos na área de escavação deste fosso (Figura 5.201, a e Figura 5.200).

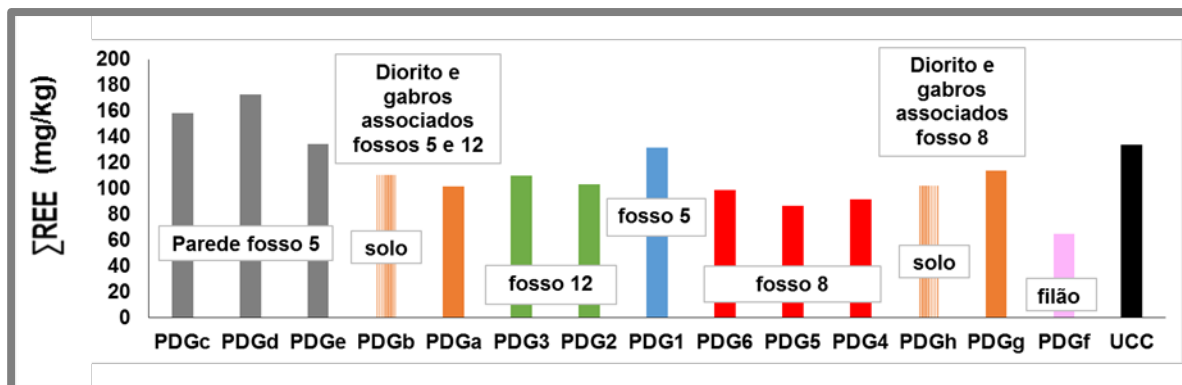


Figura 5.200 Somatório do teor em REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento, no substrato geológico e solo na área de escavação dos fossos 5, 12 e 8 e na parede Norte do fosso 5, no Recinto de fossos dos Perdigões.

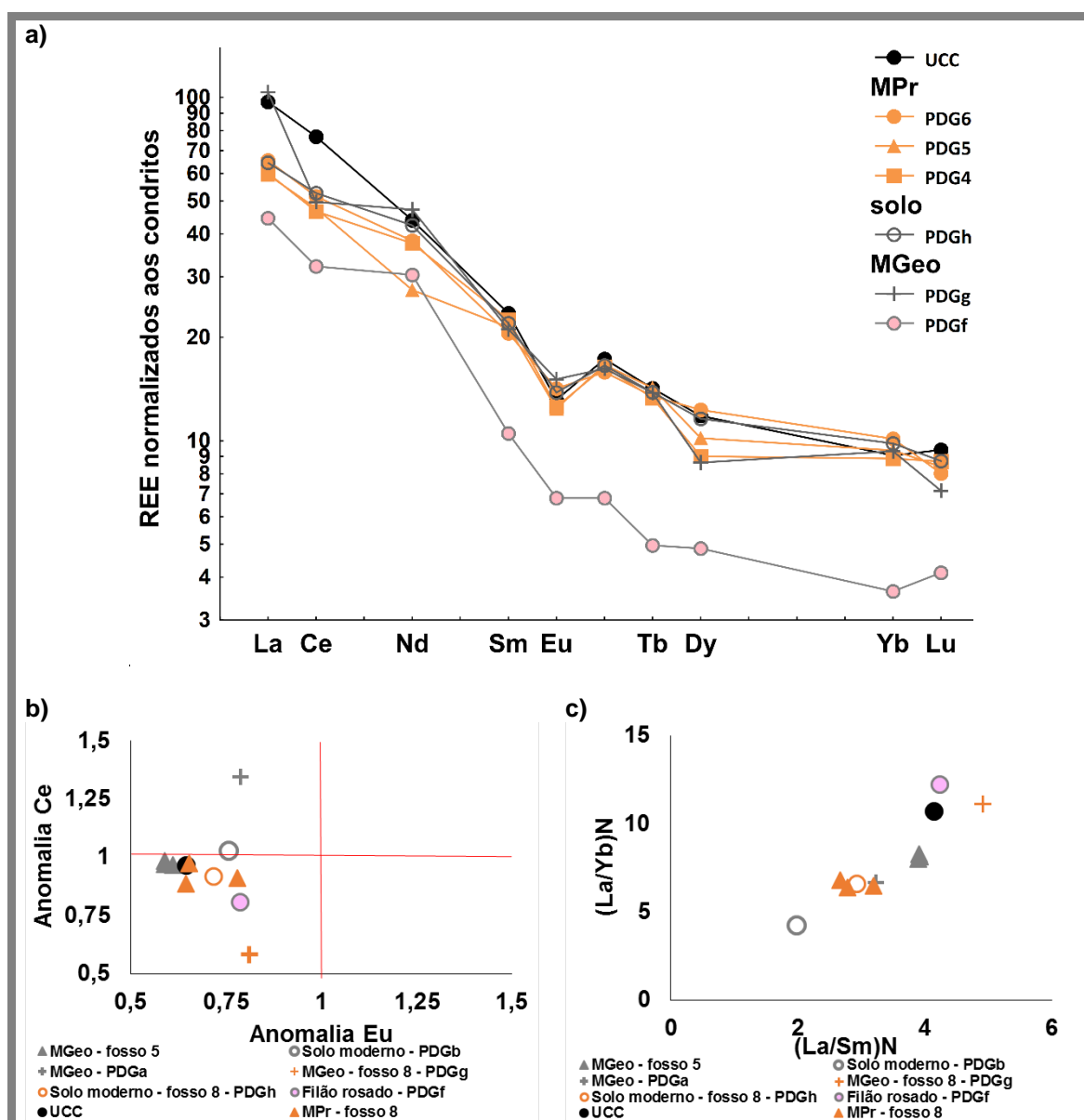


Figura 5.201 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE nas amostras de materiais de preenchimento e no substrato geológico e no solo moderno recolhidas na área da escavação do fosso 8, no Recinto de fossos dos Perdigoões.

5.7.3.7 Materiais representativos da geologia local – Amostra total – Fosso 6

Da análise da composição química das amostras recolhidas nos perfis Oeste e Este das paredes do fosso 6 (Anexo IV, Figura 5.202) há a destacar a composição da amostra PDGk recolhida sensivelmente a meio do perfil da parede Oeste, como um conjunto de materiais ricos em calcite (90%). Esta amostra apresenta os teores mais baixos na maioria dos elementos determinados como seria de esperar dada o elevado teor em calcite (Figura 5.202, a). Como exceção para o teor em óxidos de S e Ca e para os elementos As, REE (nomeadamente as leves) e Pb apresenta os teores mais elevados. Este facto pode indicar que as REE nesta amostra se fixam na calcite e o maior teor em REE leves deve-se à maior semelhança entre os raios iónicos das REE leves e do Ca^{2+} (Laveuf e Cornu, 2009). O teor mais elevado em As poderá denunciar ação hidrotermal

que se relacionará também com a precipitação de calcite e justificará o teor mais elevado em REE nesta amostra (Salminen et al, 2005; Barker, 2007). A amostra PDGk é a única onde foi detetada a presença de iodo (11 mg/kg) que deverá estar relacionado com a riqueza deste material em calcite.

Comparando as três amostras, recolhidas da base ao topo, PDGi, PDGj e PDGI, verifica-se que a amostra do topo PDGI apresenta teores, ligeiramente mais baixos na maioria dos elementos determinados relativamente às amostras do nível intermédio PDGj e da base PDGi, fruto da maior proporção de calcite no topo do perfil da parede Oeste do fosso. O teor em óxido de Ca aumenta da base ao topo como consequência do aumento da proporção de calcite. O mesmo comportamento é observado para o teor em As. O teor em Rb é mais elevado na amostra da base PDGi, a única onde foram detetadas micas, mineral no qual o Rb pode substituir o K. O teor em Zr é mais elevado nas amostras da base e do nível intermédio (PDGi e PDGj) onde existirão maiores proporções de minerais detríticos pesados, como o zircão. Verifica-se também uma diminuição do teor em óxido de Na da base para o topo, eventualmente devido à diminuição da proporção de plagioclase (nomeadamente albite).

No que concerne à composição química das amostras recolhidas no perfil da parede Este do fosso 6, verifica-se uma composição homogénea (Figura 5.202, b) que apenas se distingue da composição dos materiais recolhidos na parede Oeste pelos teores ligeiramente mais elevados em óxido de P, Ni, Ga e Th e ligeiramente inferiores em As e Pb.

Relativamente à crosta continental superior, os materiais recolhidos nos perfis das paredes Oeste e Este do fosso apresentam teores mais elevados em óxidos de Mg, P, Ca e Fe e nos elementos Sc, V, Zn, As (apenas as mais ricas em calcite PDGI e PDGk no perfil Oeste), Br, Ba, REE intermédias, Yb e Hf e teores mais baixos em óxidos de Na, Si e K e nos elementos Cr, Ni, Cu, Rb, Sr, Zr (apenas as mais ricas em calcite PDGI e PDGk no perfil Oeste), Sb, Cs, La, Tb, Lu, Ta e Th. Os materiais recolhidos no perfil da parede Este do fosso destacam-se por apresentarem um teor mais elevado em Ga, nomeadamente na amostra do topo PDGp.

Em relação aos materiais recolhidos no substrato geológico, dioritos e gabros associados, na área de escavação dos fossos 5 e 12, os materiais da parede Oeste, nomeadamente a amostra PDGk (amostra rica em calcite), apresentam maiores diferenças no que respeita à composição química do que os materiais recolhidos na parede Este (Figura 5.203). A amostra PDGk, recolhida junto à amostra representativa do nível intermédio do perfil da parede Oeste, relativamente ao substrato geológico encontra-se enriquecida em óxidos de S e Ca, e nos elementos As, Br, Sb, REE e Pb e empobrecida em óxidos de Na, Al, S, K, Ti e Fe e nos elementos da primeira série de transição, Rb, Zr, Nb, Cs, Hf, Ta, Th e U. Esta composição química reflete a composição química rica em calcite nesta amostra (90%) que promove um efeito de diluição no teor da maioria dos elementos determinados e o enriquecimento em CaO.

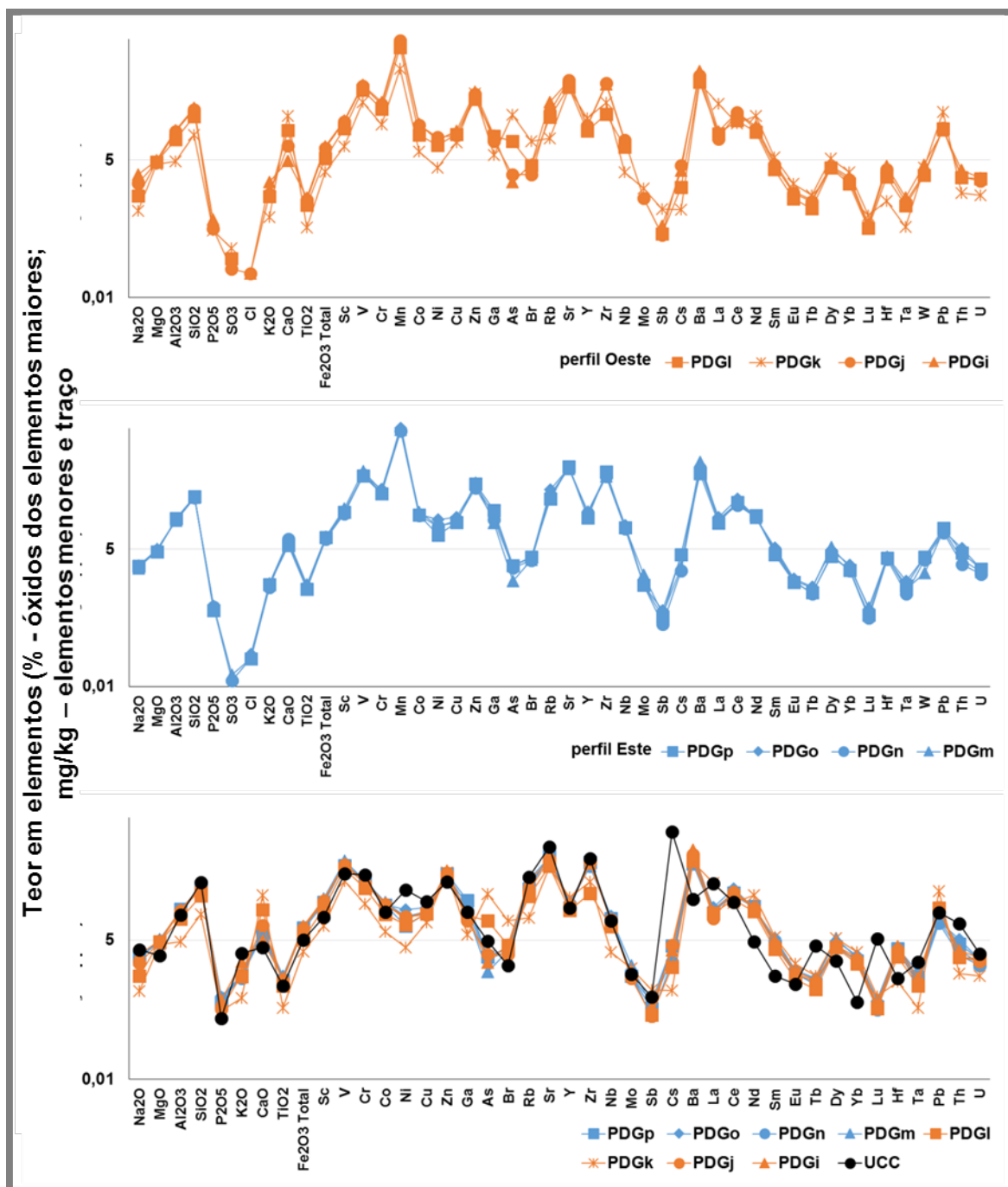


Figura 5.202 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos nos perfis nas paredes do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões: a) parede Oeste – PDGi - PDGj; b) parede Este – PDGm - PDGp; c) comparação entre os dois perfis e os valores médios para a crosta continental superior UCC.

De um modo geral, todas as amostras recolhidas nos perfis das paredes Este e Oeste encontram-se enriquecidas nos óxidos de Na, S, K, Ca (em especial as amostra recolhidas na parede Oeste) e nos elementos Ga, As, Br e Sb. O enriquecimento em óxidos de S e em As poderá ser devido à maior proporção de minerais de S nos materiais das paredes do fosso 6. O enriquecimento em As e Sb poderá ainda ter uma relação com processos hidrotermais, o que também justifica o maior enriquecimento na amostra PDGk onde a ação hidrotermal é mais evidente.

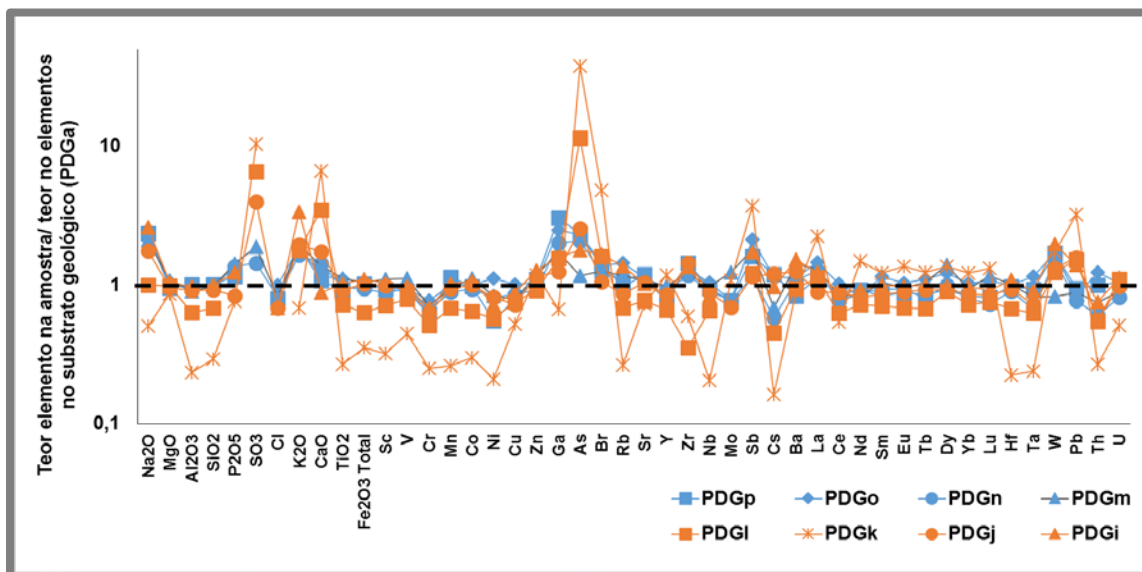


Figura 5.203 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos nas paredes Este (a azul) e Oeste (a laranja) do fosso 6 do Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente à amostra de substrato geológico PDGa, recolhida na área de escavação dos fossos 5 e 12, correspondente aos dioritos e gabros associados.

5.7.3.7.1 Índices químicos

O índice químico de alteração dos materiais recolhidos no perfil da parede Oeste oscila entre 23% e 57%, correspondendo o valor mais baixo à amostra mais carbonatada PDGk (CIA=22%; calcite=90%). Da base para o topo do perfil da parede Oeste regista-se a diminuição do índice de alteração (57% > CIA > 36%) o que indicaria que na base os materiais se encontram mais alterados que no topo do perfil. Este comportamento é reflexo do teor em calcite no topo do perfil. Os materiais recolhidos na parede Este do fosso apresentam um aumento do índice de alteração da base para o topo (51% < CIA < 57%), indicando que os materiais do topo se apresentam mais alterados que os da base. Para os materiais do perfil da parede Este regista-se ainda a correlação positiva ($R^2=0,6$) entre o índice mineralógico de alteração e o índice químico de alteração.

Considerando para o conjunto de amostras de ambos os perfis o índice de Ruxton ($R=SiO_2/Al_2O_3$) verifica-se um índice de cerca de 3 com uma correlação negativa forte ($R^2=0,82$) com o índice de alteração química (Figura 5.204, a).

O índice de alteração da plagioclase nas amostras da parede Este aumenta da base ao topo (65% < PIA < 71%) enquanto, nas amostras da parede Sul o índice diminui da base para o topo (49% < PIA < 71%). Este índice correlaciona-se de forma positiva como índice de alteração química (Figura 5.204, b).

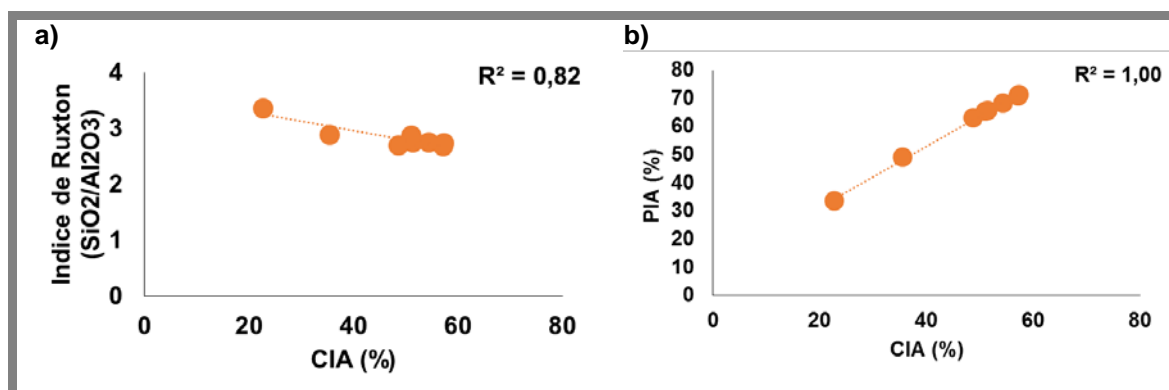


Figura 5.204 Variação do índice de Ruxton ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) (a) e do índice de alteração da plagioclase (PIA) (b) em função do índice de alteração químico (CIA), na amostra total dos materiais recolhidos nas paredes do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdígões.

5.7.3.7.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne às REE nas amostras de materiais recolhidos na parede Oeste do fosso 6, a sua variação quando normalizados aos condritos evidencia anomalias negativas de Eu ($0,76 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,88$) que são mais acentuadas nas amostras da base e do topo do perfil (PDGi e PDGk, respetivamente) (Figura 5.205). Relativamente à anomalia da crosta continental superior, nestes materiais a anomalia de Eu é menos acentuada, estando dentro da gama de valores observados nas amostras de dioritos e gabros associados e solo recolhidas na área de escavação dos restantes fossos ($0,76 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,88$). Neste materiais a anomalia de Eu é menos acentuada do que nos materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5. No que concerne à anomalia de Ce, as amostras recolhidas na base (PDGi) e no nível intermédio (PDGj) apresentam anomalias positivas ($1,04 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 1,36$), mais acentuada na amostra do nível intermédio. As anomalias positivas de Ce relacionam-se com um ambiente oxidante, onde o Ce (III) é oxidado a Ce (IV) e formam óxidos que se associam aos óxidos de Fe e Mn (Laveuf e Cornu, 2009). Há também indicação da presença de esmectite nos materiais de alteração dos dioritos e gabros associados nesta região (Dias, 2013) e sendo a esmectite um mineral argiloso onde se verificaram anomalias positivas de Ce (Laveuf e Cornu, 2009), a maior proporção de esmectite nas amostras da base e do nível intermédio (PDGi e PDGj) poderá estar na origem de anomalias positivas de Ce. A amostra do topo PDGk e a amostra rica em calcite PDGm apresentam anomalia de Ce negativa ($0,34 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,83$), mais evidente na última (PDGk). As amostras da parede Oeste do fosso 6 apresentam anomalias de Ce mais acentuadas, relativamente aos valores médios da crosta continental. A amostra recolhida no nível intermédio do perfil PDGj apresenta uma anomalia semelhante à registada nos materiais do substrato geológico, recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12.

As amostras recolhidas no perfil da parede Este do fosso 6 apresentam anomalias de Eu negativas ($0,71 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,82$) que são mais acentuadas nas amostras da base PDGm e na amostra PDGo, materiais onde a proporção de plagioclase, mineral onde o Eu (II) pode substituir o Ca na presença de condições redutoras, é menor. Relativamente à crosta continental superior e aos materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5, a

anomalia negativa de Eu nas amostras do perfil da parede Este do fosso 6 são menos acentuadas. Estas anomalias encontram-se na janela de valores das anomalias de Eu registadas nos materiais do substrato geológico e do solo recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 e do fosso 8 ($0,71 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,81$).

O fracionamento entre REE leves e pesadas nos materiais recolhidos na parede Oeste do fosso 6 ($5 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 8$) é maior que o registado entre REE leves e intermédias ($2 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 6$) (Figura 5.205). O conjunto de materiais recolhidos na parede Este do fosso 6 apresenta também maior fracionamento entre REE leves e pesadas ($6 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 7$) que entre REE leves e intermédias ($2 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3$). As amostras PDGk e PDGl, recolhidas no perfil da parede Oeste, apresentam uma maior proporção de calcite e menor proporção de plagioclase, assim como os maiores fracionamentos entre REE leves e pesadas e REE leves e intermédias. A maior proporção de calcite poderá justificar o maior enriquecimento em REE leves, dada a maior facilidade destes elementos em se fixarem na calcite substituindo o Ca^{2+} .

Os materiais recolhidos nas paredes Oeste e Este do fosso 6 apresentam perfis de REE menos fracionados que os valores médios da crosta continental superior e que os materiais do substrato geológico recolhidos na área de escavação do fosso 8. Os materiais da parede Este apresentam perfis de REE com fracionamento semelhante ao verificado no solo recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 e na área de escavação do fosso 8.

O somatório dos teores em REE é, de um modo geral mais elevado nos materiais recolhidos na parede Este do fosso 6 ($93 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 107 \text{ mg/kg}$), relativamente aos recolhidos na parede Oeste (Figura 5.206). Na parede Oeste o teor em REE diminui da base para o topo ($75 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 97 \text{ mg/kg}$), possivelmente relacionada com a diminuição de plagioclase. Como exceção a este comportamento surge a amostra PDGk ($\sum \text{REE} = 114 \text{ mg/kg}$), que apresenta uma elevada proporção de calcite e de REE. Segundo Laveuf e Cornu (2009) os materiais ricos em calcite apresentam teores baixos em REE fruto do efeito de diluição, no entanto, em materiais sujeitos a ação hidrotermal, verificam-se elevados teores em REE associados a proporções elevadas de calcite.

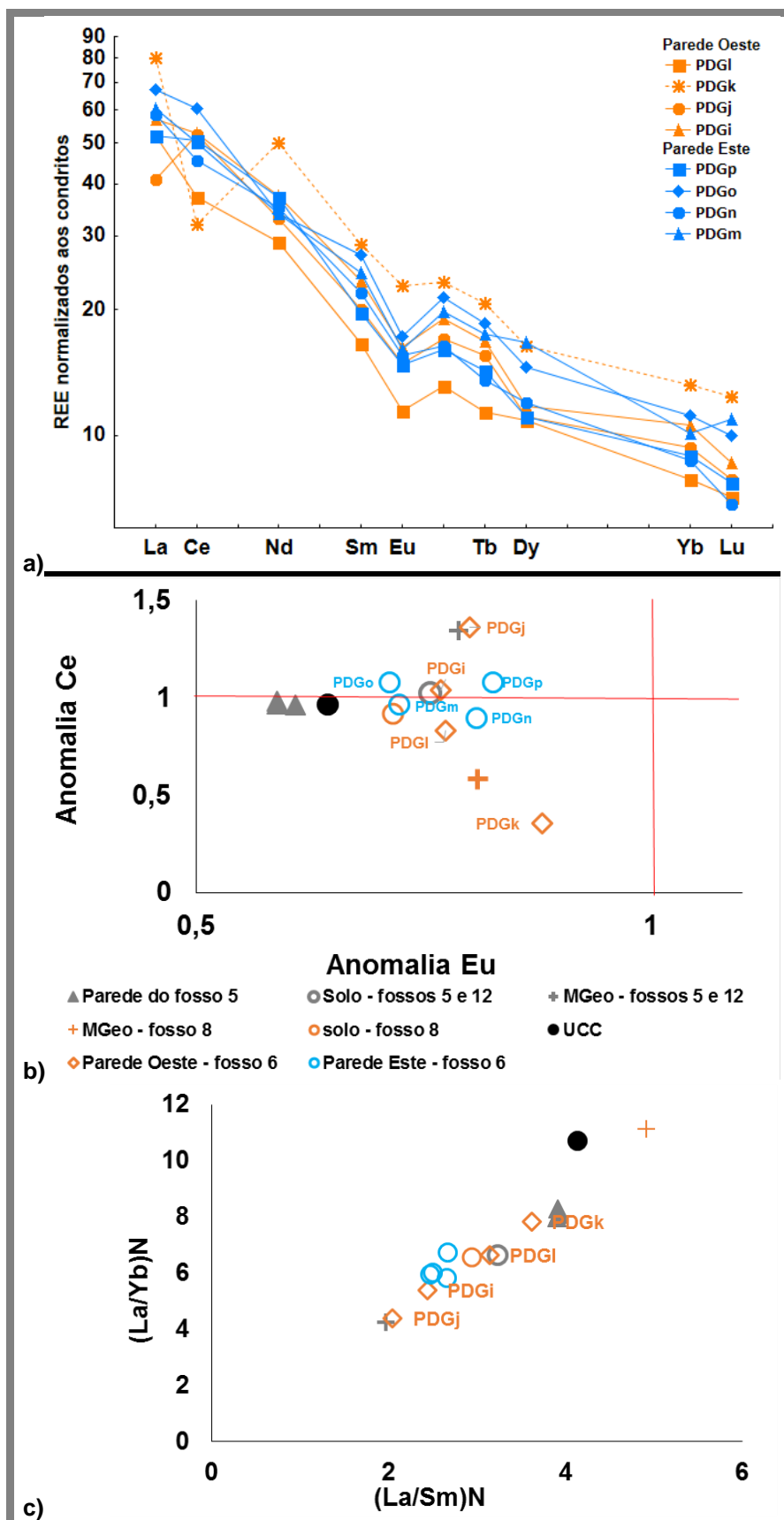


Figura 5.205 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos nas paredes Oeste (a laranja) e Este (a azul) do fosso 6, no Recinto de fossos dos Perdigões, comparados com as anomalias e fracionamentos dos restantes materiais recolhidos no sítio arqueológico.

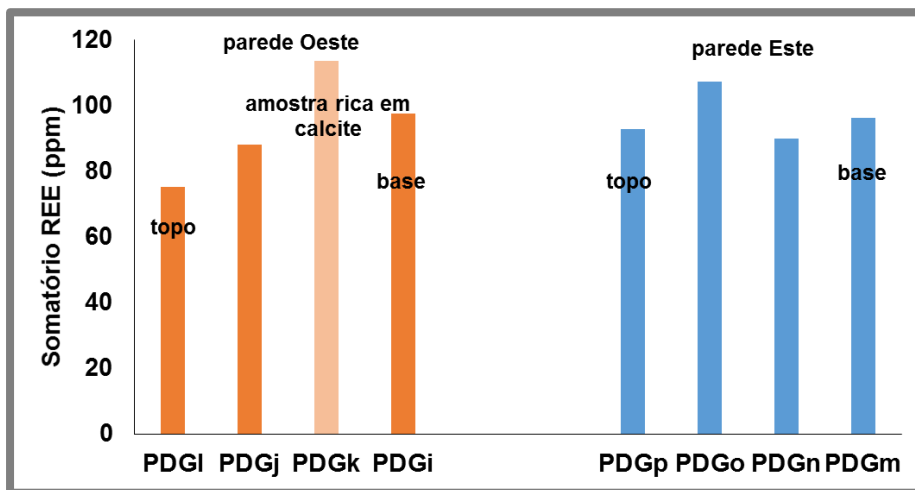


Figura 5.206 Somatório do teor em REE nas amostra total dos materiais recolhidos nos perfis das paredes Este e Oeste do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdígões.

5.7.3.8 Materiais de preenchimento – Amostra total – Fosso 6

A composição química dos materiais de preenchimento do fosso (PDG6_1 – PDG6_7) é bastante homogénea, sendo as maiores diferenças notadas no teor em Th que são ligeiramente mais elevados nas amostras de materiais que se relacionam com o perfil da parede Este (Anexo IV). É notório também o teor ligeiramente mais elevado em Hf nos materiais de preenchimento que se relacionam com o perfil da parede Este. Relativamente aos valores médios da crosta continental superior os materiais de preenchimento do fosso 6 encontram-se enriquecidos em Ba, Nd, Sm, Yb e Hf e empobrecidos em Cs, La, Tb, Lu, Ta e Th (Figura 5.207).

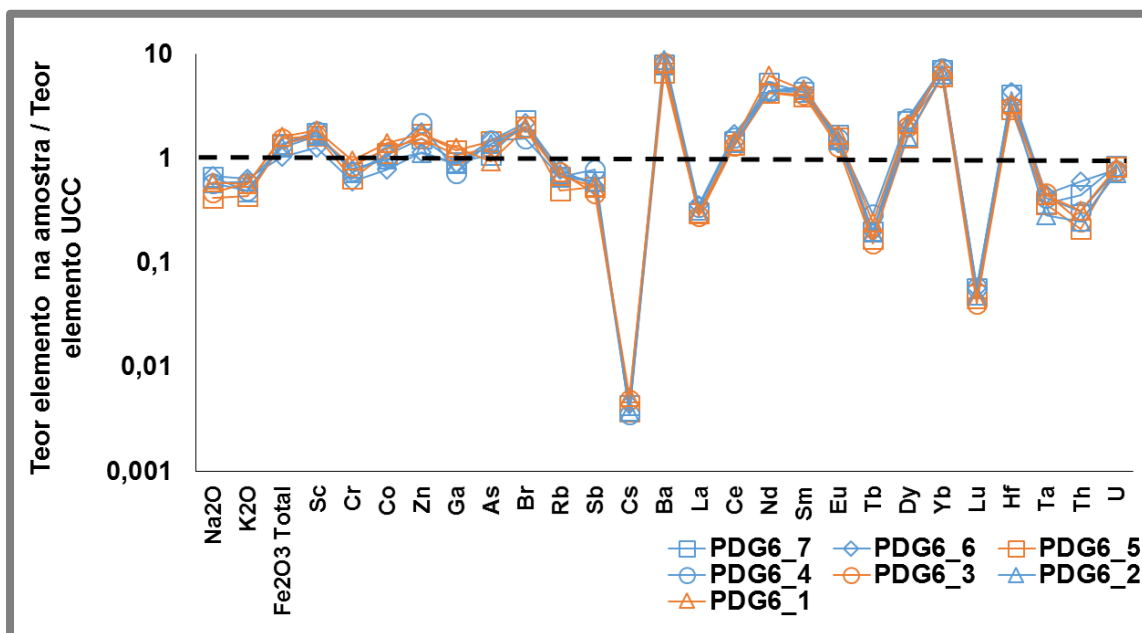


Figura 5.207 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6 do Povoados dos Perdígões, relativamente aos valores médios da crosta continental superior.

Quando comparados os materiais de preenchimento com os materiais recolhidos nos perfis das paredes do fosso com os quais se relacionam, verifica-se que todas as amostras dos materiais de preenchimento estão empobrecidas em W. Todas as amostras de materiais de preenchimento que se relacionam com o perfil da parede Este estão enriquecidas em óxido de K, As, Ba e U e empobrecidas em óxido de Fe, Ga e W (Figura 5.208, a). As amostras de materiais de preenchimento que se relacionam com os materiais do perfil da parede Oeste encontram-se todas ligeiramente enriquecidas em Cr e Ga e todas empobrecidas em W (Figura 5.208, b). O enriquecimento em K e As poderá relacionar-se com a maior proporção de filossilicatos (maioritariamente minerais argilosos) nos materiais de preenchimento relativamente aos materiais recolhidos nas paredes do fosso, em especial o K deverá estar associado a uma maior proporção de ilite nos materiais de preenchimento. O empobrecimento em Fe e, em alguns casos, em elementos da primeira série de transição, nos materiais de preenchimento, relativamente aos materiais do perfil da parede Este justifica-se pela menor proporção de minerais ferromagnesianos, em especial de anfíbola nos materiais de preenchimento do fosso.

Comparando individualmente as amostras dos materiais de preenchimento com os materiais da parede do fosso que lhes correspondem, verifica-se que os materiais da base do preenchimento PDG6_1 em relação à amostra da base do perfil da parede Oeste PDGi se encontram ligeiramente enriquecidos em Cr, Ga, As e ligeiramente empobrecidos em Na, K, Fe, Sc, Br, Rb, Zr, Sb, Hf e W. O menor teor em Zr e Hf é indicativo de uma proporção inferior em minerais detríticos pesados, como o zircão, nos materiais de preenchimento. A amostra PDG6_2 que se relaciona com a amostra da base do perfil da parede Este PDGm, encontra-se enriquecida em K e As e empobrecida em Fe, Sc, Co, Zn, Dy, Lu, Hf, Ta e Th. A amostra PDG6_3, que se relaciona com a amostra PDGj, no nível intermédio do perfil da parede Oeste, apresenta-se enriquecida em K, Ga, Br, Rb e La e empobrecida em Na, Zr, Cs, REE intermédias e pesadas, Hf e W. O enriquecimento em La e o empobrecimento em REE intermédias e pesadas poderá ser justificado pela maior proporção de calcite, que fixa preferencialmente as REE leves, bem como pela presença de uma maior quantidade de alanite, mineral que fixa preferencialmente as REE leves e que foi detetado por petrografia em materiais desta região (Antunes et al, 2010b). O menor teor em Zr e Hf é indicativo de uma proporção inferior em minerais detríticos pesados, como o zircão, nos materiais de preenchimento. No que respeita à amostra PDG6_4, que está relacionada com PDGn da parede Oeste, observa-se um enriquecimento em K, Zn, As, Sb e Tb e um empobrecimento em Fe, Co, Ga, Br e W. A amostra PDG6_5 que se relaciona com a amostra do topo do perfil da parede Este PDGl, encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados, em especial em Zr e Cs e empobrecida em As, Br e W. A amostra PDG6_6 que se relaciona com a amostra PDGo do perfil recolhido na parede este, encontra-se enriquecida em K e As e empobrecida em Fe, elementos da primeira série de transição, Ga, Sb, Ta e W. A amostra do topo do preenchimento do fosso PDG6_7, relaciona-se com a amostra do topo do perfil recolhido na parede Este PDGp e em relação a essa amostra encontra-se enriquecida em K, As e Ba e empobrecida em Fe, Co, Ga, Cs, Ta e W. O enriquecimento em Ba na amostra PDG6_7 reflete a maior proporção de calcite, enquanto o empobrecimento em Fe é reflexo da menor proporção de minerais ferromagnesianos, nomeadamente anfíbola, nesta amostra face à amostra do perfil da parede Este do fosso.

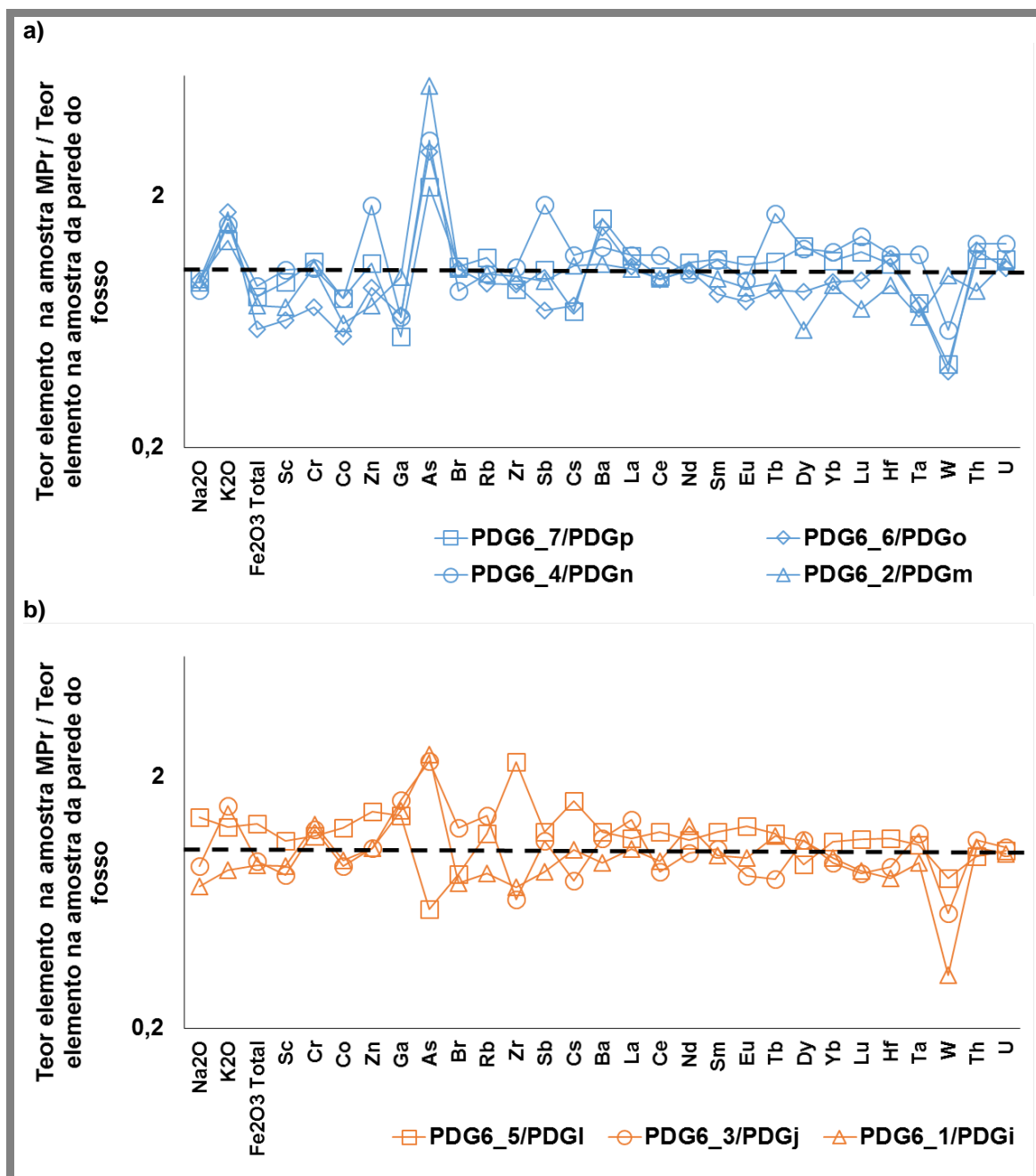


Figura 5.208 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6 do Recinto de fossos dos Perdígões em relação aos materiais recolhidos nas paredes Este e Oeste do fosso.

5.7.3.8.1 Comportamento dos elementos terras raras

Considerando os teores em REE nas amostras de materiais de preenchimento do fosso 6, a sua variação quando normalizados aos condritos evidencia anomalias negativas de Eu ($0,60 < \text{Eu}/\text{EU}^* < 0,82$) e anomalias negativas de Ce pouco acentuadas ($0,88 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,98$) (Figura 5.209). A anomalia de Eu é mais acentuada nas amostras com menor proporção de plagioclase.

O fracionamento entre REE leves e intermédias ($(La/Sm)_N=3$) e entre leves e pesadas ($6 < (La/Yb)_N < 7$) apresentam-se semelhantes em todas as amostras e dentro da janela de valores já determinados para os materiais recolhidos nas paredes do fosso.

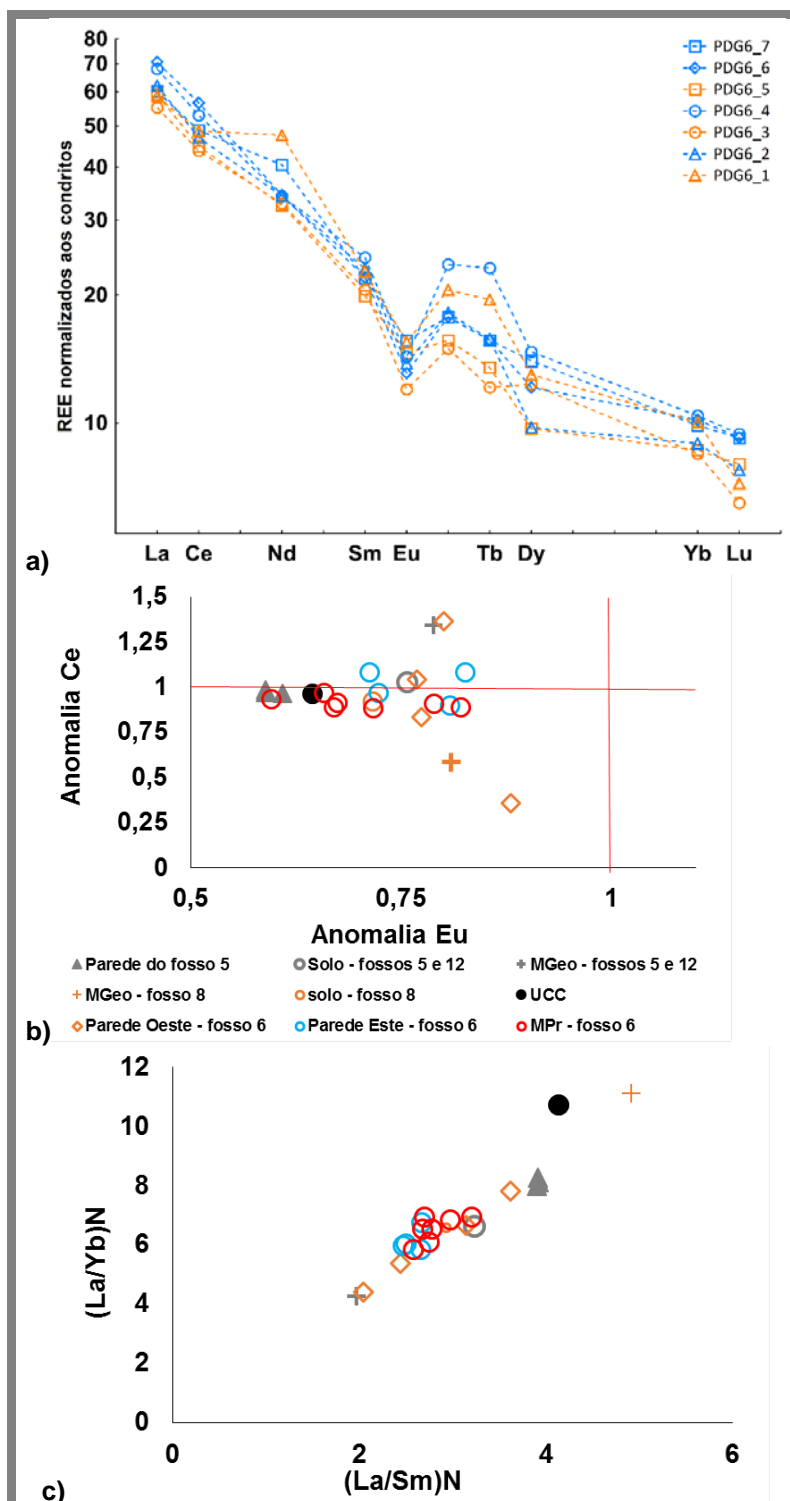


Figura 5.209 a) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; b) anomalias de Ce e Eu; c) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento do fosso 6, no Recinto de fossos dos Perdígões, comparados com as anomalias e fracionamentos dos restantes materiais recolhidos no sítio arqueológico.

De um modo geral os materiais de preenchimento que se relacionam com os materiais recolhidos na parede este apresentam um maior teor em REE (91 mg/kg $<\Sigma\text{REE}< 103$ mg/kg) que os materiais que se relacionam com os materiais da parede oeste (85 mg/kg $<\Sigma\text{REE}< 101$ mg/kg), o que está de acordo com o já verificado para os materiais que formam cada uma das paredes do fosso (ΣREE maior nos materiais da parede este) (Figura 5.210). Os materiais com menores teores em REE são os que apresentam menores proporções de plagioclase e eventualmente menor proporção de alanite (mineral identificado por petrografia nos materiais da região por Antunes et al, 2010b).

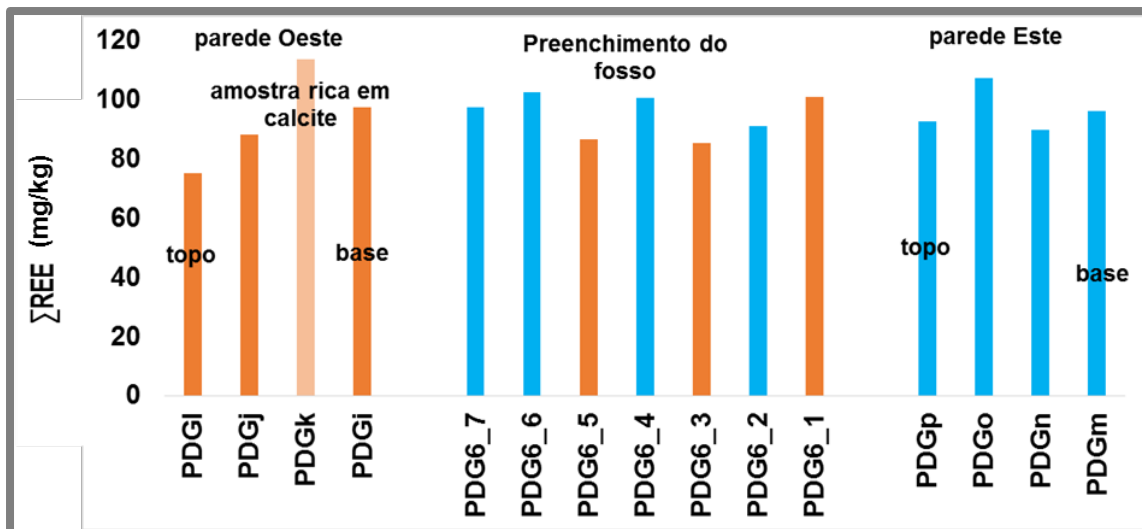


Figura 5.210 Somatório do teor em REE nas amostra total dos materiais recolhidos nos perfis das paredes Este e Oeste e nos materiais de preenchimento do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.3.9 Materiais de preenchimento – Amostra total – Estrutura circular

Os materiais de preenchimento da estrutura circular foram na sua maioria, analisados por AAN. Apenas se determinou os elementos maiores, menores e traço por FRX, para as amostras selecionadas para datação PDG7, PDG8 e PDG9. A composição química destes materiais encontra-se no Anexo IV.

Considerando os elementos maiores determinados verifica-se que a amostra recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos que compunham a estrutura (PDG7) apresenta os menores teores em óxidos de S, P e K e mais elevados em Na, Mg, Al, Si e Ti (Figura 5.211, a). O teor mais baixo em óxido de K na amostra correspondente ao material abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos poderá ser reflexo da menor proporção de filossilicatos nesta amostra, nomeadamente ilite (mineral identificado na fração argilosa dos materiais deste local no presente trabalho e por Dias (2013). O teor mais baixo em P e S poderá estar relacionado com uma menor proporção de apatite e minerais de S detetados em materiais recolhidos na região (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991; Antunes et al, 2010a-b). O fato desta amostra da base da sequência apresentar maior teor em Na deverá relacionar-se com a maior proporção de plagioclase que apresenta, sendo esta maioritariamente albite. Os teores em óxido de Na, K e Fe,

determinados para todos os materiais recolhidos acima do aglomerado de fragmentos rochosos, tendem a manter-se relativamente constantes, havendo apenas a registar um teor ligeiramente mais baixo em óxido de K nos materiais recolhidos entre 73 cm e 64 cm de profundidade relativamente aos materiais de preenchimento por coluvião. Os teores em elementos maiores determinados por FRX, nas amostras PDG7, PDG8 e PDG9, recolhidas respetivamente abaixo e acima do aglomerado de fragmentos rochosos e no preenchimento por coluvião, apresentam-se relativamente constantes, sendo apenas de realçar os teores mais elevados em óxido de S, P e Ca nos materiais recolhidos acima do aglomerado de fragmentos rochosos e nos materiais de preenchimento por coluvião.

No que respeita aos elementos da primeira série de transição verifica-se que a amostra recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos PDG7 apresenta os teores mais baixos, que podem indicar uma menor proporção de minerais ferromagnesianos nesta amostra (Figura 5.211, b). Da base ao topo do preenchimento os teores nos elementos mantêm-se relativamente constantes, havendo apenas a registar o teor mais baixo em Co na amostra recolhida a 33 cm de profundidade, no conjunto de materiais depositados por coluvião, e a ligeira tendência de aumento do teor em Mn da base para o topo da sequência.

Os materiais recolhidos abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos apresentam o menor teor em As, Br, Rb, Zr, Mo, Sb e Ba e o maior teor em Sr, Y, Nb, Sn e Cs (Figura 5.211, c). Nos materiais recolhidos acima do aglomerado de fragmentos rochosos, entre os 73 cm e os 64 cm de profundidade registam-se teores mais elevados em As, Br e Sb na amostra recolhida a 68 cm de profundidade. O maior teor em Br poderá relacionar-se com uma maior proporção de matéria orgânica nesta amostra, relativamente aos materiais recolhidos a 73 cm e 64 cm de profundidade. Os teores em Rb e Cs aumentam ligeiramente da amostra recolhida a 73 cm para a amostra recolhida a 64 cm de profundidade, tal como ocorre com o teor em K, o que poderá relacionar-se com uma maior proporção de minerais onde o K se pode alojar como é o caso das micas, em especial da biotite e do mineral argiloso ilite, identificados nos materiais desta região em proporções significativas. Relativamente aos materiais recolhidos no preenchimento por coluvião, entre os 53 cm e os 7 cm de profundidade, verifica-se que o material recolhido a 53 cm de profundidade apresenta o maior teor em Ga que poderá estar relacionada com a maior proporção de filossilicatos nesta amostra e com a capacidade deste elemento substituir o Al nos minerais argilosos. A amostra recolhida no topo da sequência, a 7 cm de profundidade, apresenta o teor mais elevado em Br, o que se deverá à maior quantidade de matéria orgânica nestes materiais que se encontram mais próximos do solo moderno, e o teor mais baixo em Sb e Zr.

De um modo geral, o teor em Hf e W é maior nos materiais de preenchimento por coluvião (Figura 5.211, d) do que nos restantes materiais, o que pode refletir uma maior proporção de minerais detríticos pesados e que pode ser corroborado pelos teores ligeiramente mais elevado de Zr também nestes materiais depositados por coluvião. A natureza deste depósito, detrítico, está pois em harmonia com os resultados obtidos para a composição química de elementos traço. Os materiais recolhidos abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos apresenta o menor teor em Ta. Os materiais recolhidos no preenchimento por coluvião a 53 cm e a 36 cm de profundidade apresentam o menor teor em U, enquanto os materiais recolhidos acima do aglomerado apresentam os maiores

valores (amostra recolhidas entre 73 cm e 64 cm de profundidade). Os materiais recolhidos a 36 cm e 33 cm de profundidade apresentam o teor mais elevado de Th.

No que respeita às REE a sua variação com a profundidade é muito ligeira, sendo explorados os aspetos relevantes na secção correspondente (Figura 5.211, a).

Comparando os materiais correspondentes às amostras PDG7, PDG8 e PDG9 recolhidas abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos, acima do aglomerado de fragmentos rochosos a 73 cm de profundidade e no preenchimento por coluvião a 33 cm de profundidade, respetivamente com os valores médios da crosta continental superior (Figura 5.212, a), verifica-se que todas as amostras se encontram empobrecidas em Cs e Lu e enriquecidas em Ba, Nd, Tb e Hf. Os materiais recolhidos acima do aglomerado de fragmentos rochosos e no preenchimento por coluvião, PDG8 e PDG9, respetivamente encontram-se ligeiramente enriquecidos em Br.

Relativamente aos materiais do substrato geológico (dioritos e gabros associados), recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 (amostra PDGa), verifica-se que os materiais de preenchimento da estrutura circular se encontram enriquecidos em óxidos de Na, S, P e K e nos elementos Cu, Ga, As, Br (exceto a amostra recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos PDG7), Sb e Ba (exceto a amostra recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos PDG7) (Figura 5.212, b). Relativamente ao solo recolhido na área de escavação dos fossos 5 e 12 (amostra PDGb), que reflete a alteração dos dioritos e gabros associados, os materiais de preenchimento da estrutura circular encontram-se enriquecidos em Ga e empobrecidos em óxidos de S e P e nos elementos As e Br, em especial a amostra PDG7 recolhida nos materiais abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos que compunham a estrutura circular (Figura 5.212, c).

5.7.3.9.1 Índices químicos

O índice químico de alteração foi determinado para os materiais correspondentes às amostras PDG7, PDG8 e PDG9 recolhidas abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos, acima do aglomerado de fragmentos rochosos a 73 cm de profundidade e no preenchimento por coluvião a 33 cm de profundidade, respetivamente. O valor do índice oscila entre 49% e 53% sendo maior nos materiais recolhidos na base (PDG7) e a 33 cm de profundidade.

Atendendo ao índice de Ruxton (1968; $R = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) verifica-se uma correlação positiva muito forte ($R^2=0,96$) entre o índice de Ruxton e o índice de alteração química. Considerando o índice de alteração da plagioclase ($\text{PIA} = 100 \times (\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})$), verifica-se uma correlação positiva muito forte ($R^2=0,99$) com o índice químico de alteração

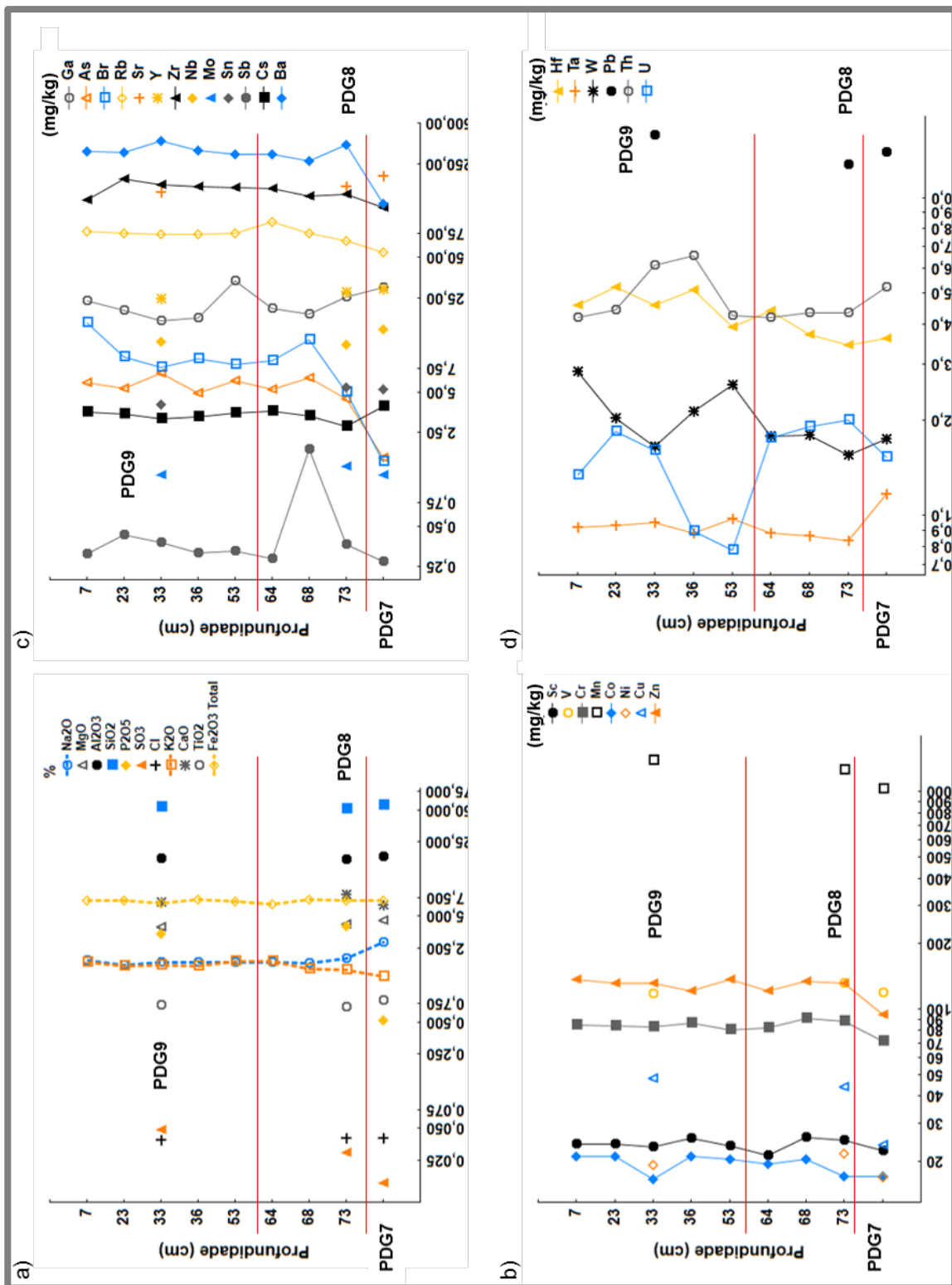


Figura 5.211 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular no Povoados Perdígões.

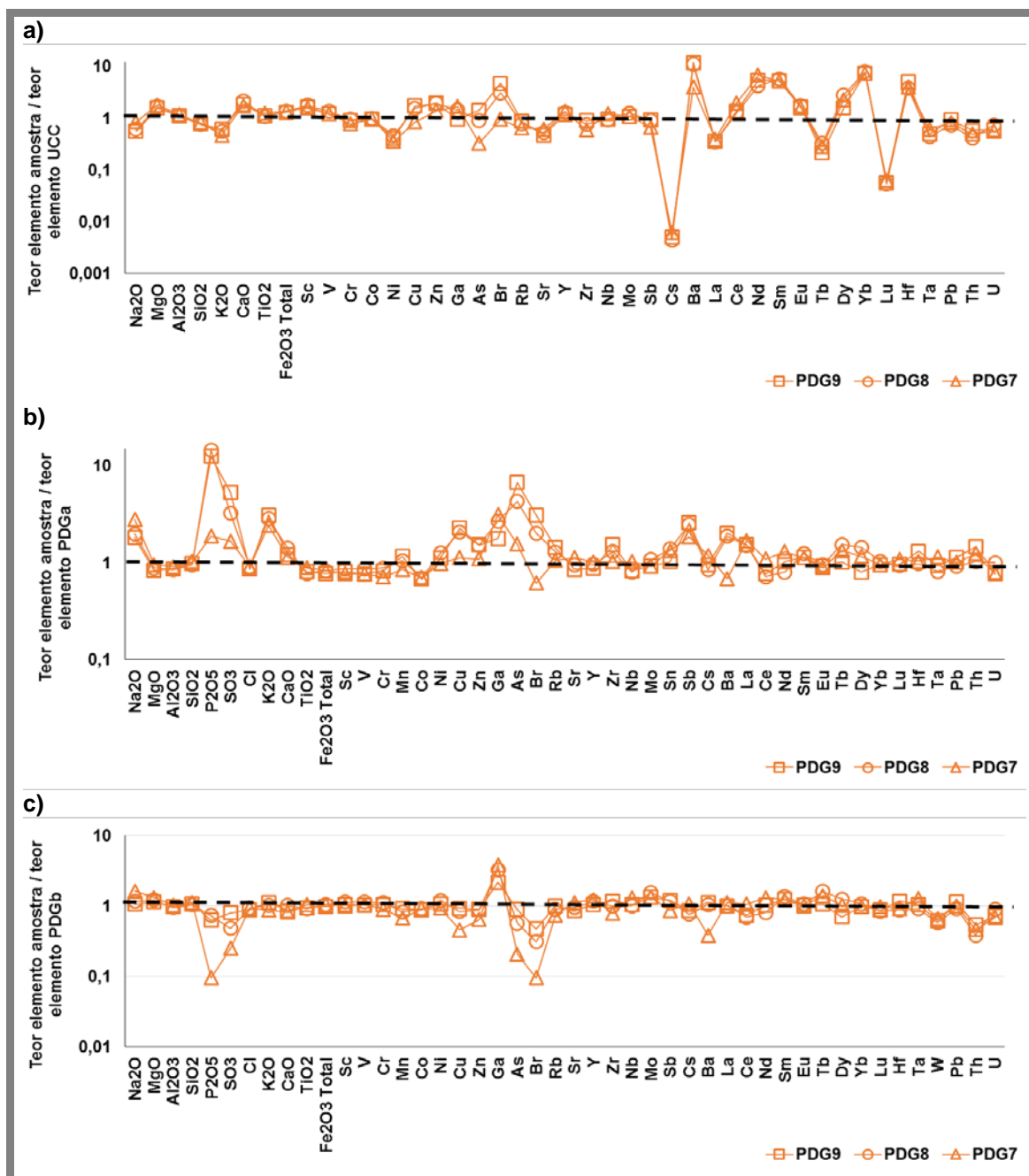


Figura 5.212 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular no Recinto de fossos dos Perdigões, relativamente a) aos valores médios da crosta continental superior; b) aos materiais do substrato geológico (dioritos e gabros associados) recolhidos na area de escavação dos fosso 5 e 12 (PDGa); c) ao solo recolhido na area de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGb).

5.7.3.9.2 Comportamento dos elementos terras raras

No que concerne às REE verifica-se que os teores absolutos oscilam pouco ao longo da sequência de preenchimento da estrutura circular, e apenas há a salientar os teores mais elevados em REE leves nos materiais abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos. Quando normalizados aos condritos, os perfis de REE evidenciam anomalias negativas de Eu ($0,57 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,72$), mais acentuadas nos materiais recolhidos abaixo (PDG7) e imediatamente acima (73 cm de profundidade, PDG8) do aglomerado de fragmentos rochosos que formam a estrutura circular (Figura 5.213). Estes materiais apresentam anomalias mais acentuadas que os materiais do substrato e do solo (PDGa e PDGb, respetivamente) recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12. A anomalia de Ce no perfil de REE dos materiais de preenchimento da estrutura circular é negativa embora menos acentuada que a anomalia de Eu ($0,74 < \text{Ce}/\text{Ce}^* < 0,94$). Os materiais recolhidos a 73 cm e 33 cm de profundidade apresentam anomalia de Ce mais acentuada que os restantes materiais de preenchimento.

O fracionamento entre REE leves e intermédias ($2 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 3$) é menor nestes materiais do que nos materiais recolhidos no substrato geológico na área de escavação dos fossos 5 e 12 (PDGa), mas maior do que o observado no solo (PDGb) recolhida na mesma área. O fracionamento entre REE leves e pesadas ($6 < (\text{La}/\text{Sm})_N < 7$) é maior do que no solo PDGb e da mesma magnitude do fracionamento registado nos materiais recolhidos no substrato geológico (PDGa). Relativamente aos valores médios da crosta continental superior o fracionamento de REE é menor nos materiais de preenchimento da estrutura circular.

O somatório dos teores absolutos de REE nos materiais recolhidos abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos (PDG7) é o mais elevado ($\sum \text{REE} = 125 \text{ mg/kg}$) (Figura 5.214). Entre os 73 cm e os 64 cm de profundidade o somatório de REE oscila entre 94 mg/kg e 104 mg/kg. Os materiais depositados por coluvião apresentam teores mais elevados de REE que oscilam entre 98 mg/kg e 112 mg/kg. O somatório de REE nestes materiais é inferior ao verificado para os valores médios da crosta continental superior (UCC) e nos materiais recolhidos na parede do fosso 5. À exceção da amostra recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos que apresenta valores mais elevados, os materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular apresentam teores em REE semelhantes aos verificados para o solo e substrato geológico recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12 ($102 \text{ mg/kg} < \sum \text{REE} < 110 \text{ mg/kg}$).

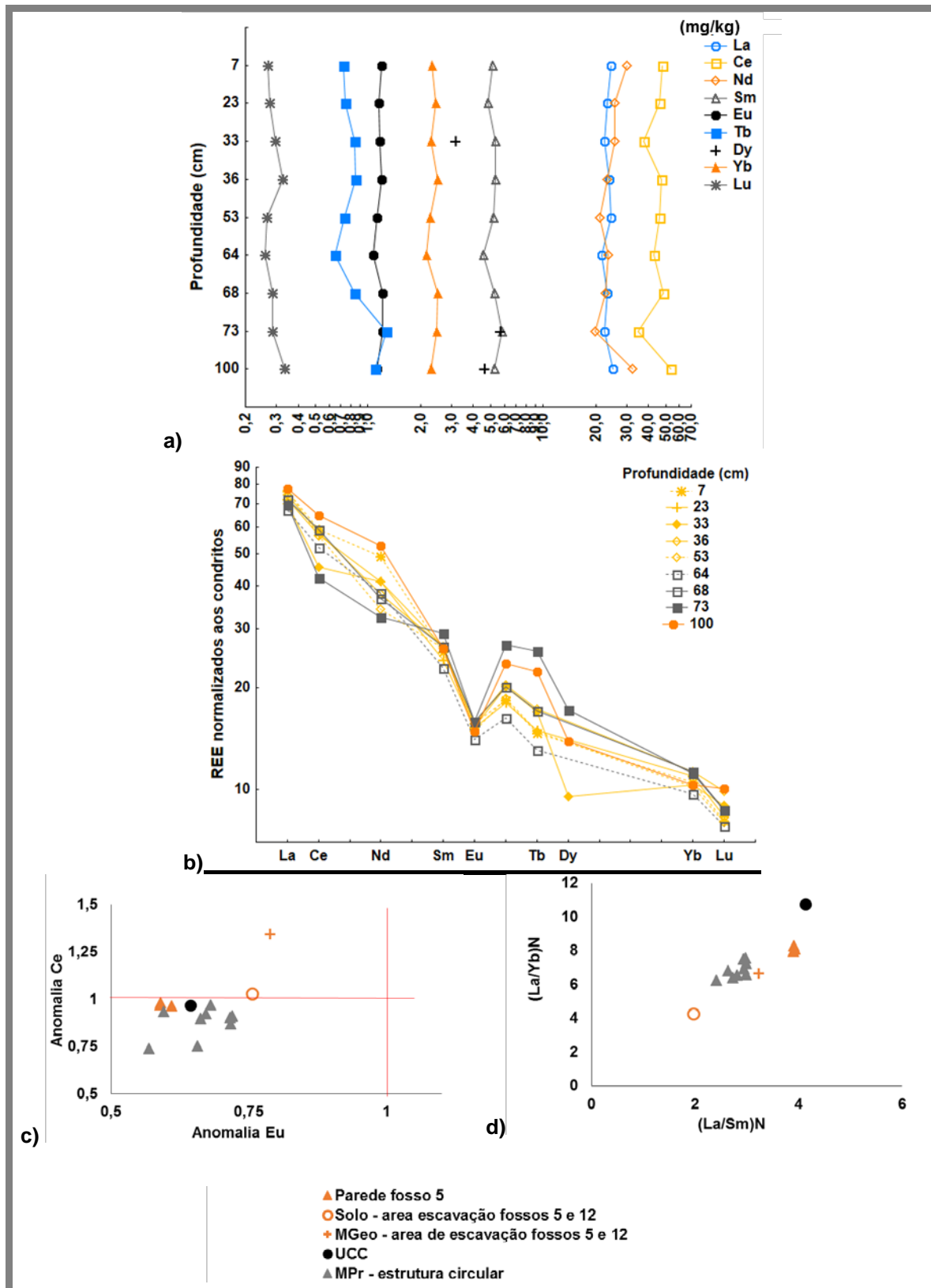


Figura 5.213 a) distribuição do teor absoluto em REE na mastra total com a profundidade; b) Perfil de distribuição de REE normalizado aos condritos; c) anomalias de Ce e Eu; d) fracionamento de REE na amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da estrutura circular, no Recinto de fossos dos Perdigões, comparados com as anomalias e fracionamentos dos retantes materiais recolhidos no sítio arqueológico e os valores médios da crosta continental superior.

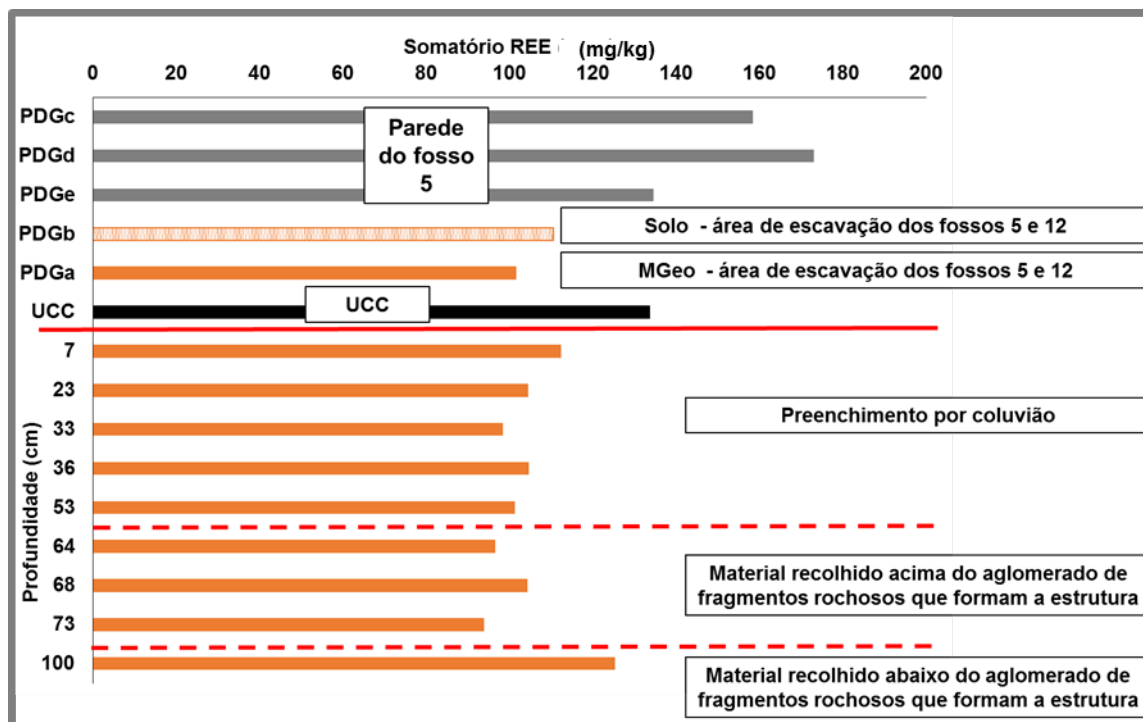


Figura 5.214 Somatório dos REE na amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura circular recolhidos no Recinto de fossos dos Perdígões em comparação com os materiais representativos dos materiais geológicos (dioritos e gabros associados), solo, materiais recolhidos na parede do fosso 5 e valores médios da crosta continental superior.

5.7.4 Comportamento dos sinais de luminescência dos materiais de preenchimento

5.7.4.1 Estudos em perfil – materiais de preenchimento da estrutura circular

As frações de poliminerais grosseira e a fração enriquecida em quartzo (PMF e EQZG), recolhidas das amostras dos materiais de preenchimento da estrutura circular, foram sujeitas ao protocolo de medida de testes iniciais, a partir do qual se obteve o comportamento dos sinais de luminescência ao longo do perfil, a sensibilidade de cada tipo de sinal à dose irradiada e a estimativa da dose absorvida aparente.

Considerando as diferentes frações mineralógicas é de notar que a sensibilidade ao IRSL é sempre inferior à sensibilidade ao OSL, que por sua vez é menor que a sensibilidade do pico 110°C do TSL (Figura 5.215), indicando uma maior proporção de quartzo face a outros silicatos nomeadamente na fração enriquecida em quartzo. Há a realçar ainda a reprodutibilidade dos valores de sensibilidade entre as alíquotas de grãos poliminerais grosseiros.

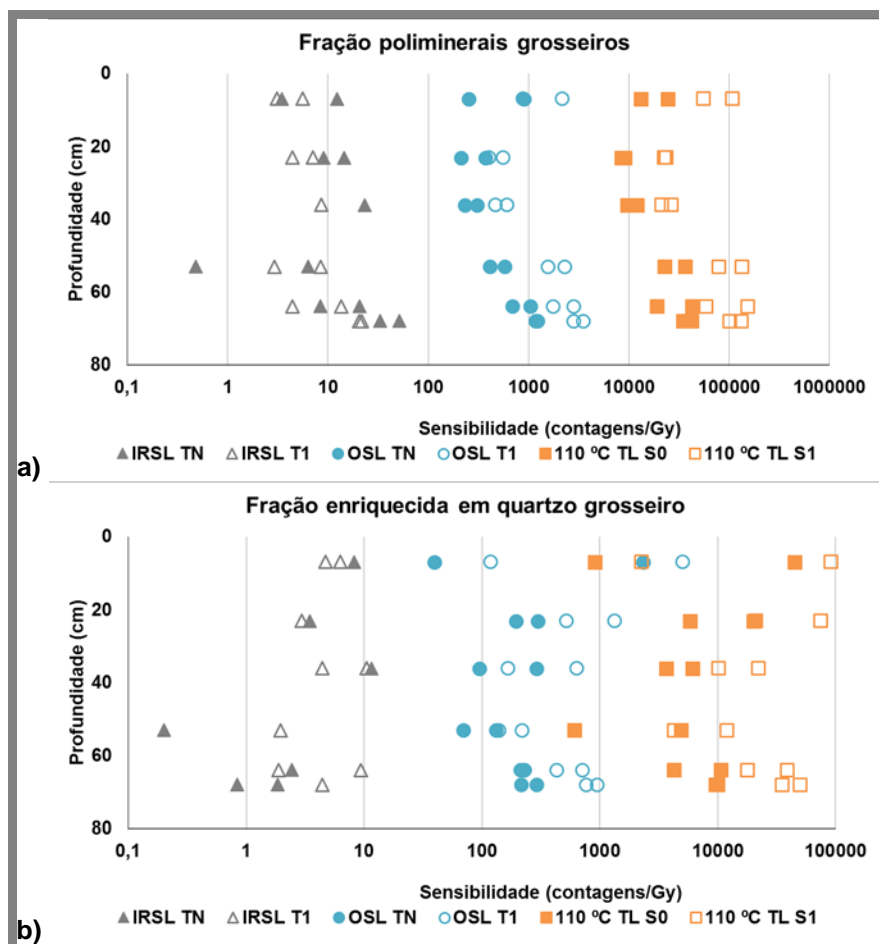


Figura 5.215 Sensibilidade dos sinais IRSL, OSL e TL para as alíquotas sujeitas aos testes iniciais com a fração grosseira de poliminerais e a fração grosseira enriquecida em quartzo dos materiais de preenchimento amostrados em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões. Os pontos cheios correspondem à sensibilidade natural e os vazios após irradiação com a dose regenerativa de 5Gy.

Considerando a sensibilização dos sinais estudados após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy (Figura 5.216), esta assume no geral valores cerca de 10 vezes menores e uma maior dispersão como resposta ao IRSL, sendo a resposta ao OSL e ao TSL maior e menos dispersa e com melhor reprodutibilidade entre as alíquotas.

No que respeita à razão entre os sinais de IRSL e OSL é de notar que são no geral muito baixas e inferiores à unidade (Figura 5.217).

Observando a variação da dose absorvida aparente com a profundidade (Figura 5.218), estimada com base no comportamento das frações de poliminerais grosseiros e enriquecida em quartzo, pode referir-se uma ligeira tendência para a diminuição da dose absorvida aparente da base para o topo, mais evidente na resposta ao OSL e TSL a elevada temperatura na fração enriquecida em quartzo grosseiro, o que pode indicar um preenchimento gradual da estrutura. A amostra recolhida a 64 cm de profundidade apresenta de um modo geral doses absorvidas aparentes mais elevadas, revelando uma maior contribuição de sinais residuais do geológico. As doses absorvidas aparentes são mais elevadas, cerca de dez vezes, como resposta ao TSL do que em resposta ao OSL.

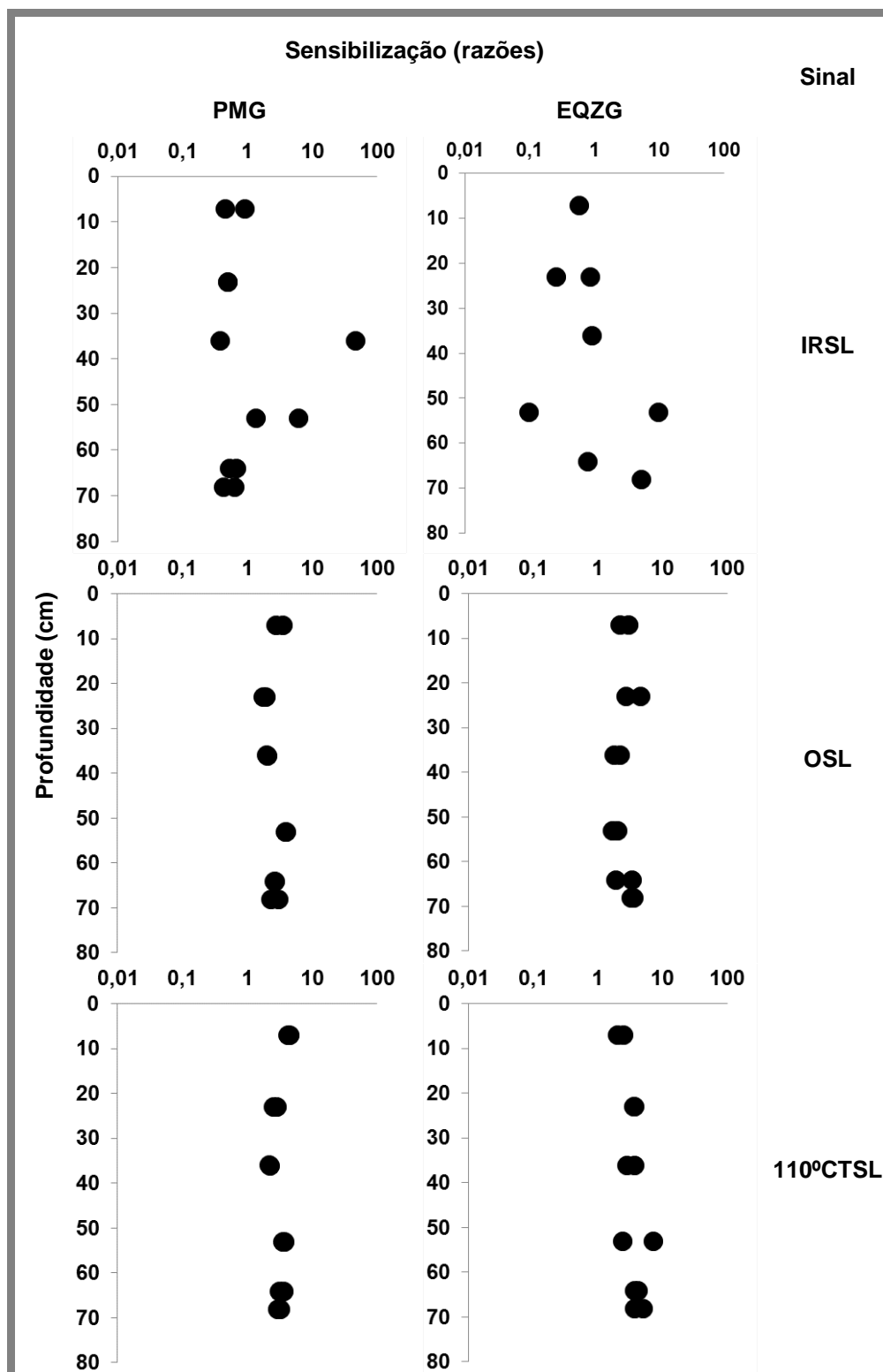


Figura 5.216 Sensibilização dos sinais IRSL, OSL e do pico TSL a 110°C após irradiação com a dose regenerativa de 5 Gy, para os materiais de preenchimento recolhidos em perfil na estrutura circula do Recinto de fossos dos Perdigões.

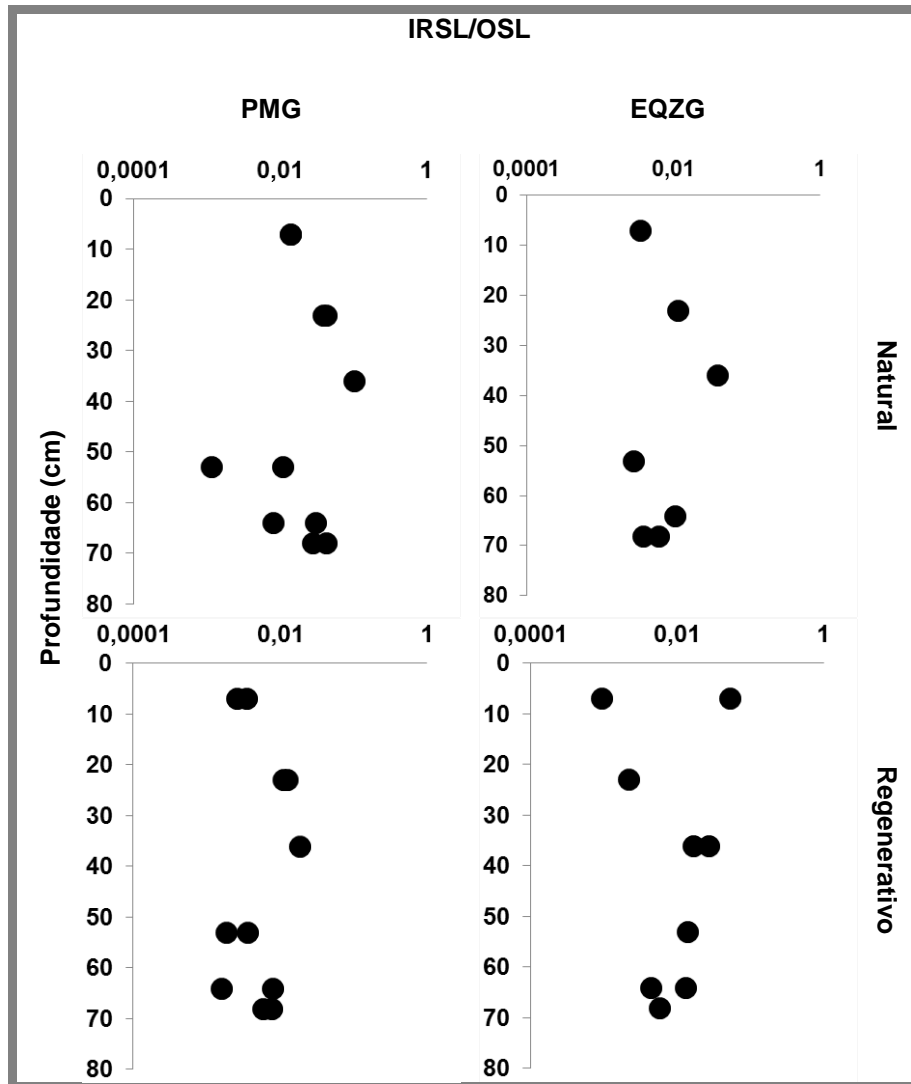


Figura 5.217 Sensibilização do sinal de IRSL em relação ao sinal de OSL para sinais naturais e regenerativos para as amostras de materiais de preenchimento recolhidos em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.

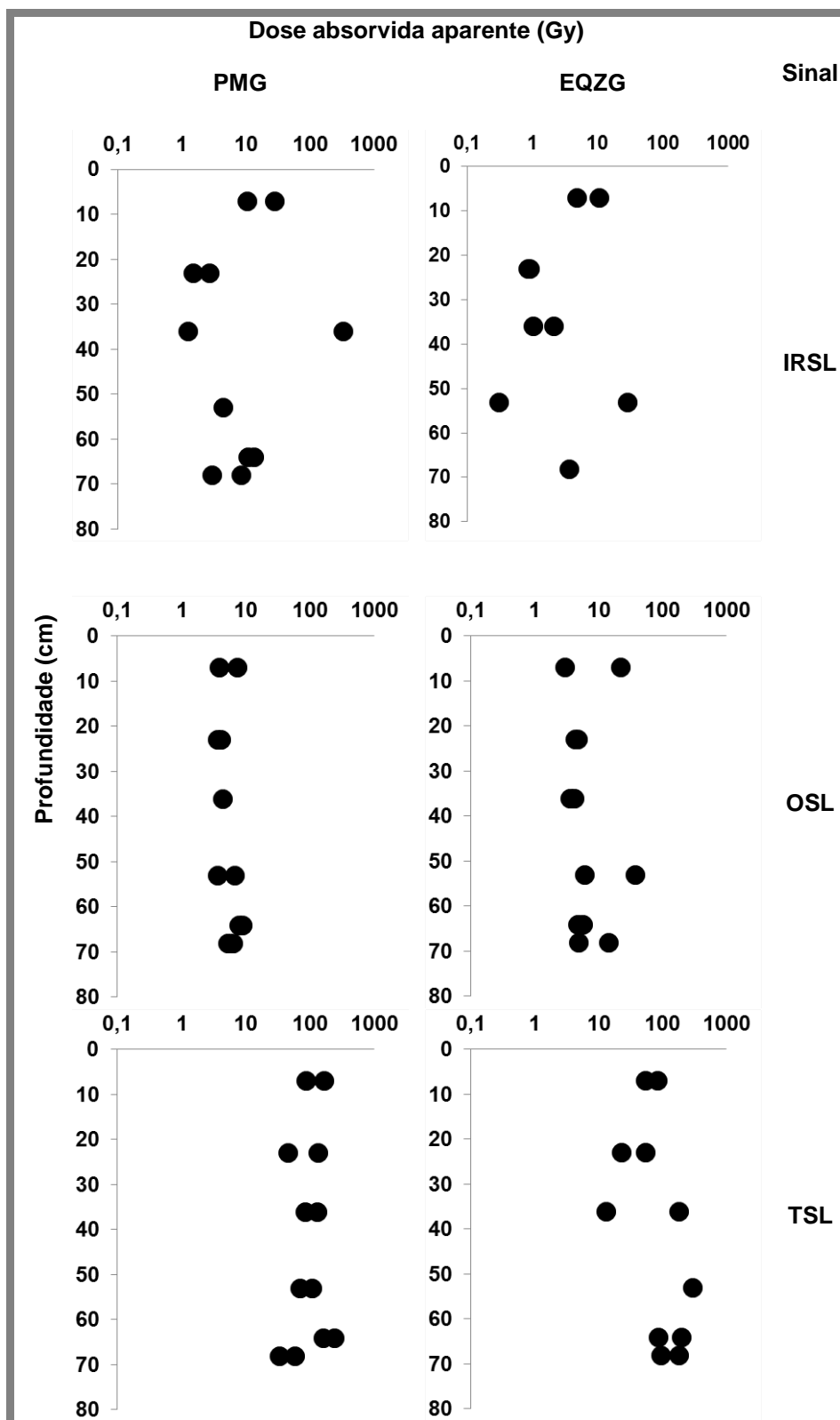


Figura 5.218 Dose absorvida aparente determinada a partir dos sinais de IRSL, OSL e TSL a temperatura elevada (300-400°C) para as amostras recolhidas em perfil na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.4.2 Sensibilidade dos grãos de quartzo grosseiros

A sensibilidade dos grãos grosseiros de quartzo extraídos das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datar (PDG2, PDG4 – PDG6 e PDG7), foi determinada usando as contagens por segundo, por cada grama da fração enriquecida em quartzo, na resposta ao IRSL, OSL e do pico a 110°C do TSL. A sensibilidade dos grãos de QZG ao OSL ($1 - 13 \times 10^{-3}$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$) é mais elevada do que a observada sensibilidade para o pico a 110°C do QZG no TSL ($0,4 - 1,5 \times 10^{-3}$ contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1}$). O QZC recolhido na amostra COR1 recolhida no preenchimento da fossa apresenta a maior sensibilidade ao OSL e a menor ao TSL (Tabela 5.25). A amostra recolhida na base da estrutura circular apresenta o quartzo com maior sensibilidade ao OSL

Tabela 5.25 Sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL e do pico a 110°C do TSL, das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdígões.

Estrutura negativa	Amostra	Sensibilidade (contagens $\text{Gy}^{-1} \text{g}^{-1} \times 10^{-3}$)	
		OSL	TSL (pico a 110°C)
Estrutura circular	PDG7	13	0,4
Fosso 12	PDG2	6	0,5
Fosso 8	PDG4	1	1,5
	PDG5	3	0,5
	PDG6	2	0,5

A sensibilidade do quartzo correlaciona-se positivamente ($R^2 > 0,7$) com o teor em Al, Sr, Nb, Ta, W e REE, bem como com a proporção de plagioclase nas amostras. Verifica-se também uma correlação positiva da sensibilidade do quartzo grosseiro ao OSL com o índice de alteração químico (CIA, $R^2 = 0,78$) e com o índice de alteração da plagioclase (PIA, $R^2 = 0,81$) e uma correlação negativa com o índice mineralógico de alteração (MIA, $R^2 = 0,71$). A correlação positiva da sensibilidade ao OSL com os índices químicos de alteração (CIA e PIA) está de acordo com o esperado, uma vez que a repetição de ciclo de meteorização conduz ao aumento da sensibilidade dos grãos de quartzo à estimulação (Pietsch et al, 2008; Zheng et al, 2009; Fitzsimmons, 2011; Lü e Sun, 2011; Sawakuchi et al; 2011; Jeong e Choi, 2012)

5.7.5 Datação dos materiais de preenchimento

No sítio arqueológico do Recinto de fossos dos Perdígões foram selecionadas 9 amostras para datação por luminescência, a amostra PDG1, recolhida no fosso 5 e as amostras PDG2 e PDG3 recolhidas no fosso 12, as amostras PDG4 – PDG6 recolhidas no fosso 8 e as amostras PDG7 – PDG9 recolhidas na estrutura circular. De seguida são apresentados os resultados para estes materiais de preenchimento, obtidos a partir da dose absorvida do protocolo SAR-OSL aplicado aos grãos de quartzo grosseiro e a

estimativa da taxa de dose para estes grãos dentro de cada amostra. Para este conjunto de amostras não foi possível extrair grãos de quartzo fino.

5.7.5.1 Determinação da dose absorvida

5.7.5.1.1 Testes iniciais nos grãos de quartzo grosseiro

Por forma a verificar o comportamento do material em estudo antes da determinação da dose absorvida, o quartzo obtido foi sujeito a testes iniciais cujos resultados principais são apresentados na Figura 5.219. Desta forma, estabeleceu-se a gama de doses a utilizar no protocolo SAR para irradiação da amostra e verificou-se que apesar da razão dos sinais IRSL/OSL não ser baixa para todas as amostras no que respeita à dose absorvida aparente, a sensibilidade dos grãos de quartzo ao OSL é superior ao registado para o IRSL em todas as amostras, e decidiu-se utilizar este material essencialmente composto por grãos de quartzo grosseiro para aplicar o protocolo SAR-OSL.

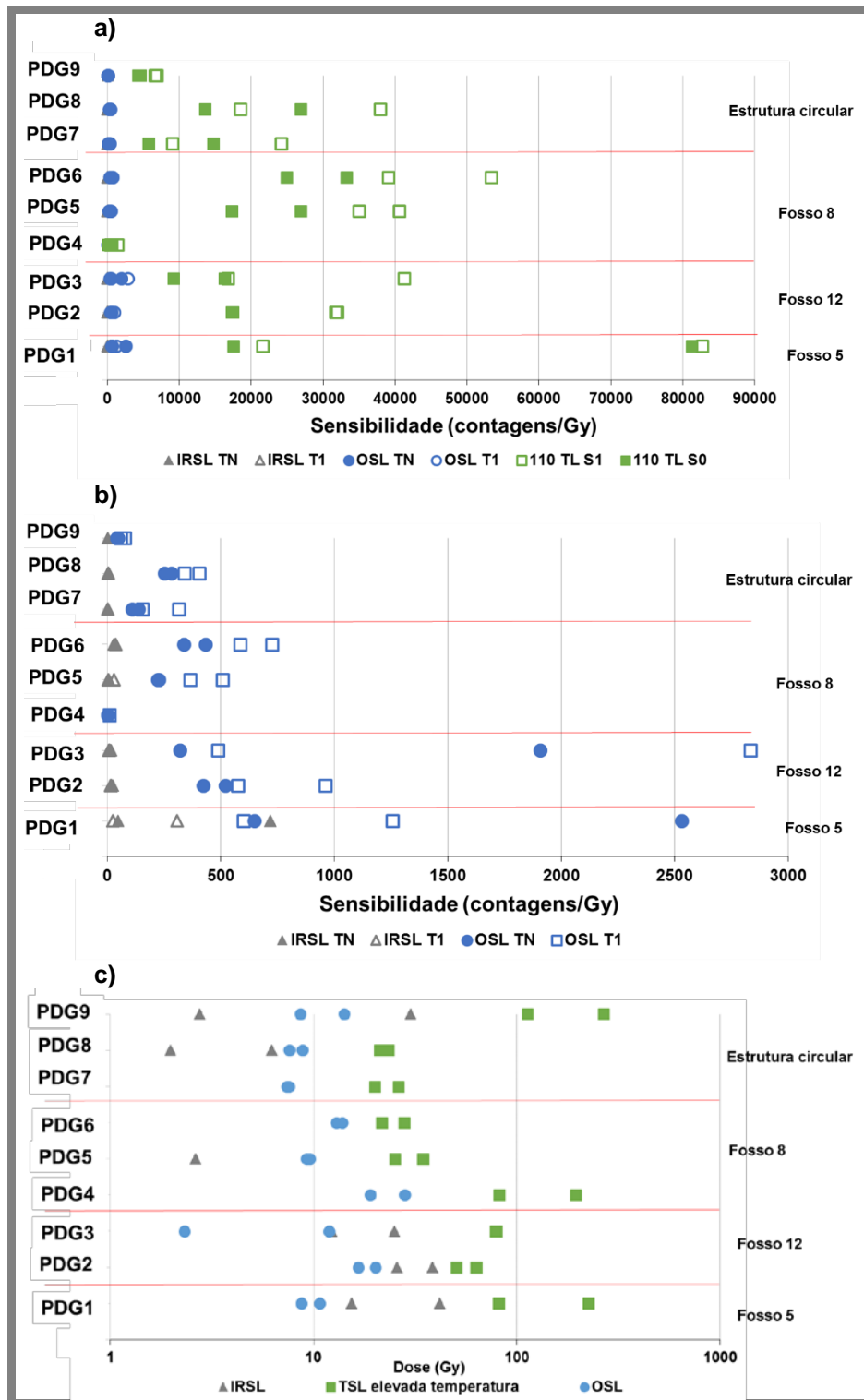


Figura 5.219 Variação da sensibilidade (a e b) e da dose absorvida (b) do QZG nos testes iniciais para as amostras dos materiais de preenchimento recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdígões.

5.7.5.1.2 SAR – OSL nos grãos de quartzo grosseiro

Após processamento dos dados obtidos no protocolo SAR-OSL (sequência I), verificou-se que a média que melhor representava a distribuição de valores de doses absorvidas para as amostras recolhidas no fosso 5 (PDG1), no fosso 12 (PDG2 e PDG3), fosso 8 (PDG4 e PDG6) e na base da estrutura circular (PDG7) é a média ponderada ao inverso da variância (representada a vermelho na Figura 5.220, Figura 5.221, Figura 5.222). Para a amostra PDG5 recolhida no fosso 8 e as amostras PDG8 e PDG9 recolhidas na estrutura circular a média ponderada ao quadrado do valor sobre a variância é a que melhor representa o conjunto dos dados obtidos (representada a azul na Figura 5.220, Figura 5.221, Figura 5.222).

A amostra recolhida no fosso 5 apresenta a menor dose absorvida determinada, 14 ± 1 Gy com uma incerteza de 9%, fruto da elevada dispersão de valores. A dose elevada deverá estar relacionada com uma maior contribuição de sinais residuais do geológico, que seria de esperar para uma amostra de preenchimento com características química e mineralógicas semelhantes às observadas nas amostras da parede do fosso 5 (Figura 5.220). A dispersão dos valores de dose absorvida verificam-se sobretudo nas alíquotas sujeitas ao pré-aquecimento a 280 °C. Uma vez que esta é a amostra que apresenta valores mais baixos para a raiz quadrada da resposta ao sinal teste poderá esta dispersão estar relacionada com a falta de sinal por parte dos grãos de quartzo. A razão de reciclagem apresentam também uma grande dispersão de valores.

As amostras recolhidas no fosso 12 apresentam doses de $17,4 \pm 0,7$ Gy na base e $15,9 \pm 0,6$ Gy no topo, com percentagens de incerteza da 4%, estando a dose absorvida de acordo com a estratigrafia do fosso (dose mais baixa na amostra do topo que terá sido depositada posteriormente) e a esperada maior contribuição de sinais do geológico na amostra da base (granulometria mais grosseira e indicação que de o nível de preenchimento foi preenchido por material resultante da escavação inicial do fosso). A amostra do topo, PDG3, apresenta uma maior dispersão de valores para doses mais elevadas. As razões de reciclagem oscilam em torno da unidade, sendo menores na amostra da base na resposta pós-IRSL.

As amostras recolhidas no fosso 8 apresentam doses absorvidas entre os $10,5 \pm 0,7$ Gy e $15,37 \pm 0,4$ Gy, com percentagens de incerteza entre os 3% e os 4%. A dose absorvida pelas amostras aumenta da base da estrutura para o topo da sequência de preenchimento, parecendo existir um maior contribuição de material do geológico nos materiais do topo, onde se verifica a dispersão da dose absorvida para valores mais elevados. A dispersão de valores de dose absorvida é maior nas amostras recolhidas mais superficialmente, nomeadamente na amostra do topo PDG6. As razões de reciclagem oscilam em torno da unidade (Figura 5.221). O facto de haverem evidências de uma maior contribuição de material geológico no topo da sequência de preenchimento pode relacionar-se com as indicações dos arqueólogos (Valera, 2013c) que verificaram que o preenchimento do topo do fosso contava com diferentes depósitos de material proveniente da alteração do substrato geológico.

As amostras recolhidas na estrutura circular apresentam doses absorvidas entre $6,7 \pm 0,4$ Gy e $9,6 \pm 0,3$ Gy, diminuindo da base para o topo da estrutura, com incertezas entre 3% e 6%. A dispersão de valores dose absorvida é maior nas amostras recolhidas na base (PDG7) e no topo (PDG9), em especial para as alíquotas pré-aquecidas a 280°C. A

dose mais elevada na amostra da base (recolhida abaixo do aglomerada de fragmentos rochosos que formavam a estrutura) dever-se-á a uma maior contribuição de material geológico nesta amostra. As razões de reciclagem oscilam em torno da unidade (Figura 5.222). A amostra da base PDG7 apresenta também valores mais elevados como resposta ao sinal teste.

Tabela 5.26 Dose absorvida pelo QZG das amostras de materiais de preenchimento recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdigões, determinadas pelos protocolos SAR- OSL I e II.

Amostra	PDG1	PDG2	PDG3	PDG4	PDG5	PDG6	PDG7	PDG8	PDG9
Estrutura	Fosso 5	Fosso 12	Fosso 8			Estrutura Circular			
Dose absorvida (Gy)	14	17,4	15,9	10,5	12,1	15,3	9,6	7,5	6,7
Incerteza	1	0,7	0,6	0,7	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
% Incerteza	9	4	4	4	4	3	3	5	6

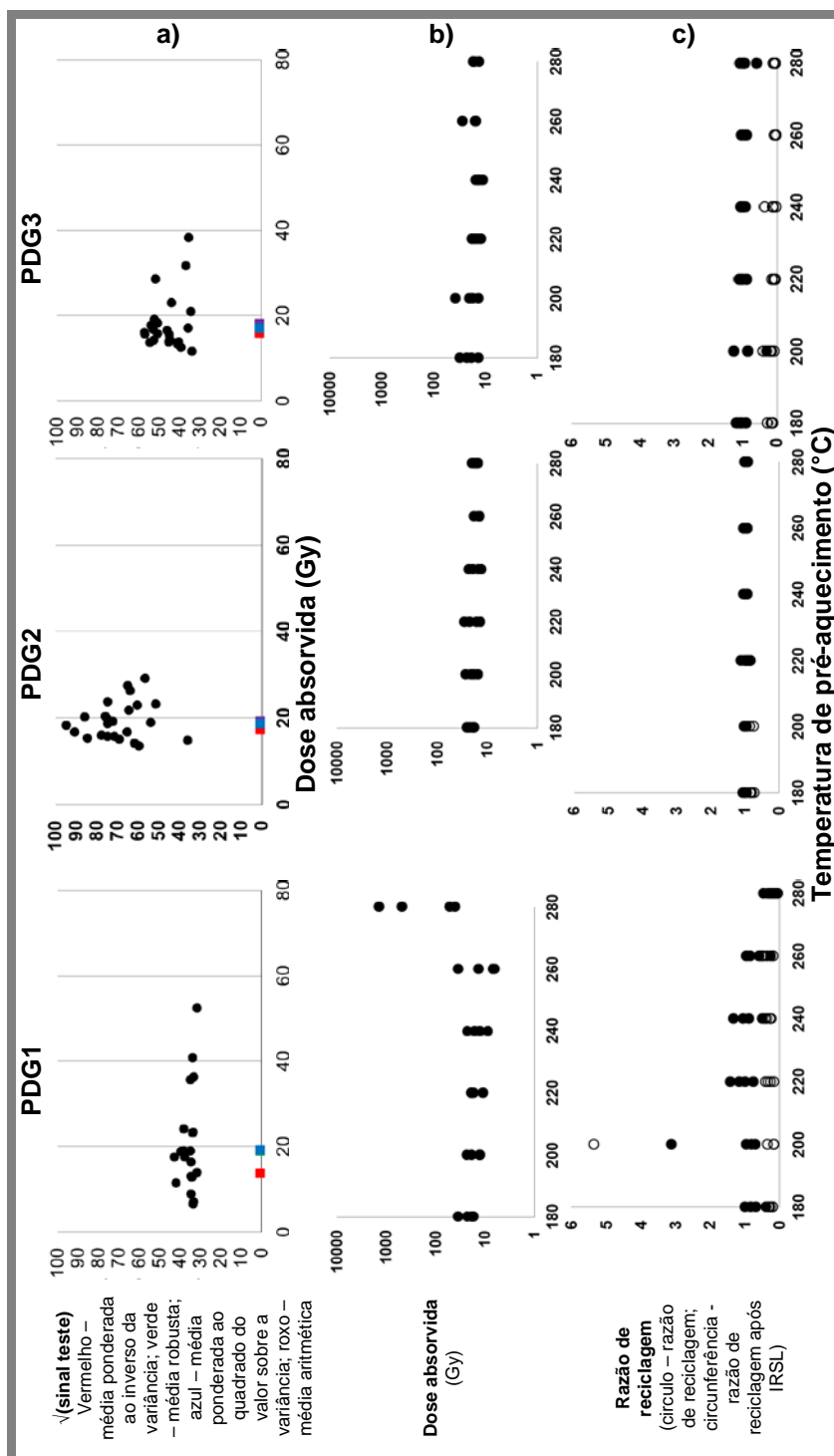


Figura 5.220 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento recolhidas nos fossos 5 (PDG1) e 12 (PDG2 e PDG3) do Recinto de fossos dos Perdígões.

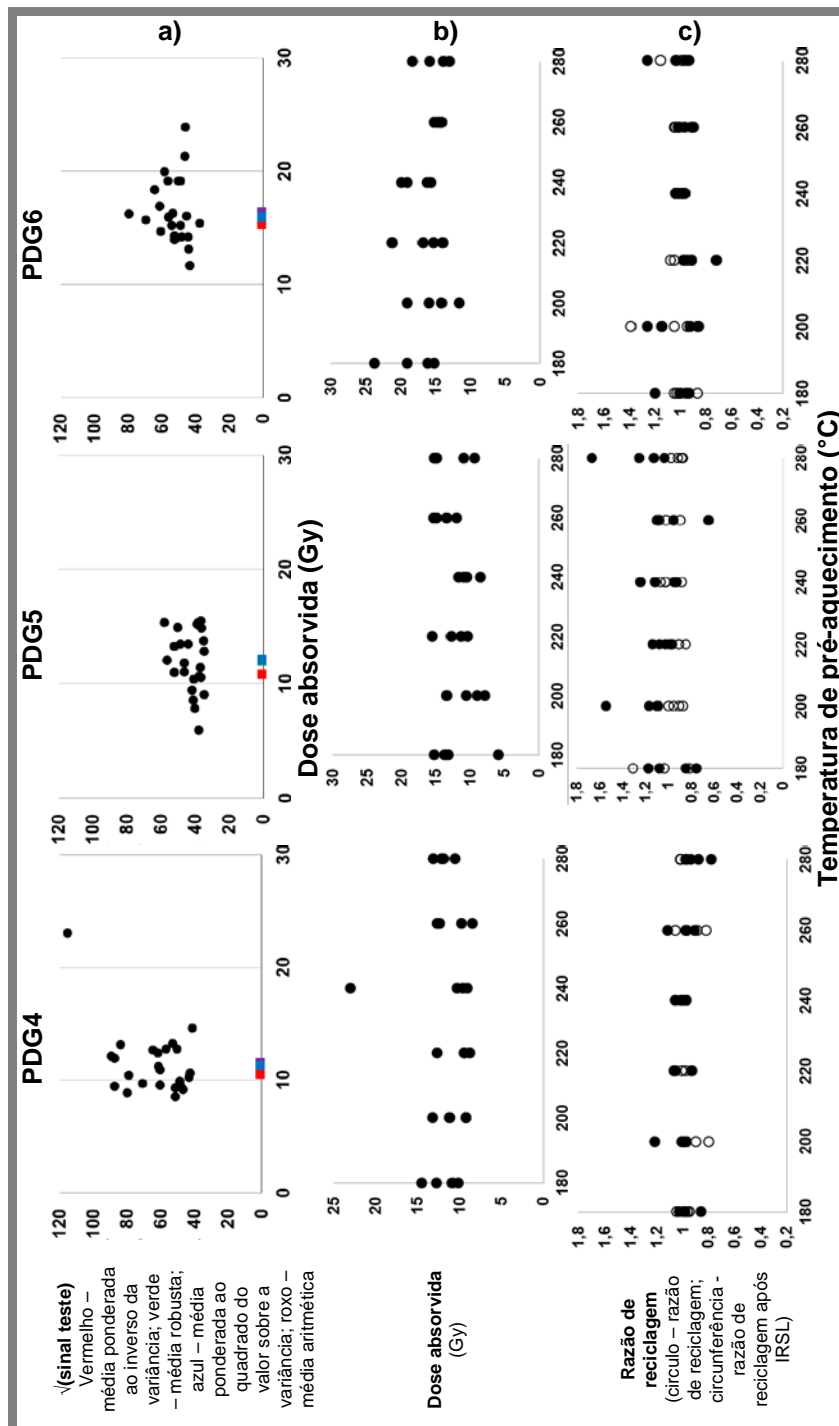


Figura 5.221 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosso das amostras de materiais de preenchimento recolhidas no fosso 8 do Recinto de fossos dos Perdígões.

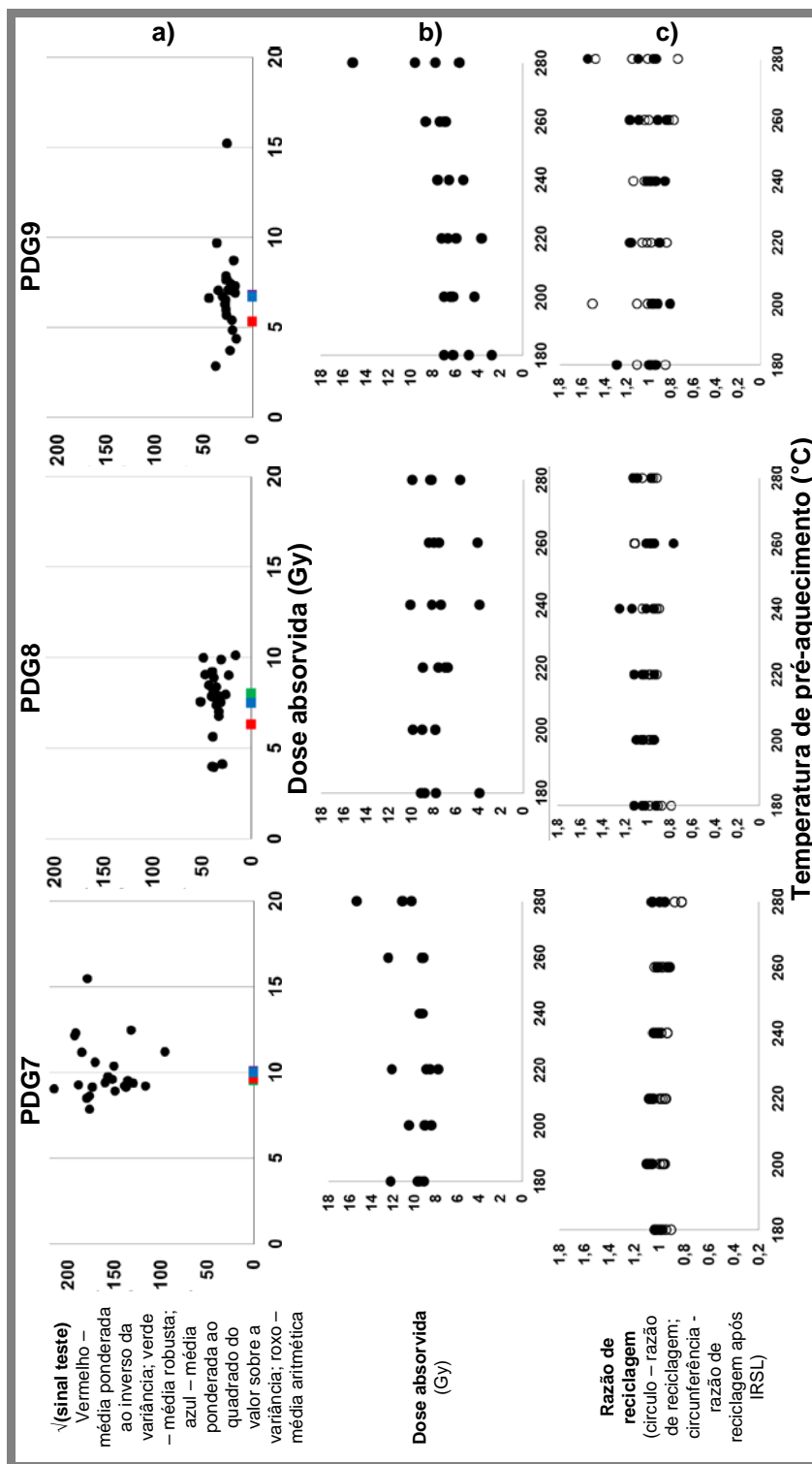


Figura 5.222 a) Variação da raiz quadrada da resposta ao sinal de teste em função da dose absorvida determinada pelo protocolo SAR; b) variação dose absorvida determinada pelo protocolo SAR-OSL em função da temperatura de pré aquecimento; c) variação razão de reciclagem em função da temperatura de pré aquecimento para o quartzo grosseiro das amostras de materiais de preenchimento recolhidas na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.5.2 Determinação da taxa de dose

A taxa de dose é mais elevada para a amostra recolhida no fosso 5, PDG1 ($TD=3,1 \pm 0,2$ Gy/ka) relativamente às restantes amostras recolhidas no Recinto de fossos dos Perdigões. As amostras do fosso 12 apresentam taxas de dose semelhantes ($2,3 \pm 0,3$ Gy/ka $<TD < 2,5 \pm 0,1$ Gy/ka) sendo ligeiramente mais elevadas na amostra do topo. Nas amostras do fosso 8 verifica-se o aumento da taxa de dose da base para o topo da sequência de preenchimento ($1,5 \pm 0,1$ Gy/ka $<TD < 2,1 \pm 0,2$ Gy/ka). Na estrutura circular determinaram-se taxas de dose de cerca de 2 Gy/ka (Tabela 5.27). As variações relacionam-se principalmente com a diferença no teor em calcite, mais elevado nas amostras do fosso 8, que promove a diminuição da taxa de dose.

Tabela 5.27 Taxa de dose determinada para as amostras recolhidas nas estruturas negativas do Recinto de fossos dos Perdigões, considerando os grãos de quartzo grosseiro.

Amostras		PDG 1	PDG 2	PDG 3	PDG 4	PDG 5	PDG 6	PDG 7	PDG 8	PDG 9
Estrutura		Fosso 5	Fosso 12			Fosso 8		Estrutura Circular		
Taxa de Dose	Gy/ka	3,1	2,3	2,5	1,5	1,86	2,1	2,1	2,0	2,19
	±	0,2	0,3	0,1	0,1	0,09	0,2	0,1	0,1	0,08
	% Incerteza	5	12	5	7	5	10	7	5	4

5.7.5.3 Estimativa da idade – Interpretação

A idade estimada para a amostra recolhida na base do fosso 5, PDG1, é de $4,4 \pm 0,5$ ka, com uma incerteza elevada de 11%. Existindo para este fosso uma datação por radiocarbono que indica uma idade entre 3093 – 2918 anos a.C (Valera et al, 2014d), ou seja entre 5,1 ka e 4,9 ka (Neolítico Final), a idade obtida para esta amostra encontra-se ligeiramente a baixo das expectativas.

Para o fosso 12 foram determinadas datas entre os 8 ± 1 ka (13% de incerteza) para a amostra da base (PDG2) e de $6,5 \pm 0,4$ ka (6% de incerteza) para a amostra mais superficial (PDG3) (Tabela 5.28). Para este fosso existe uma data determinada por radiocarbono entre os 3365-3097 anos a.C (Valera et al, 2014d), ou seja entre os 5,4 ka e os 5,1 ka. As idades obtidas indicam uma idade mais antiga para os materiais, nomeadamente para a amostra recolhida na base do fosso. As amostras PDG2 e PDG3 contam com uma grande contribuição de material do substrato geológico, em especial a amostra da base PDG2, o que pode justificar a sobreestimativa da idade, que se enquadra no limite do início do Neolítico.

As idades obtidas por luminescência concordam com as indicações arqueológicas (Valera et al, 2014d) de que o fosso 12 e o fosso 5, apesar de paralelos não terão sido utilizados simultaneamente, sendo a abertura do fosso 5 mais recente (ainda no Neolítico).

Podem-se colocar duas hipóteses para esta diferença entre as datas obtidas por luminescência e a datação por radiocarbono. Numa primeira hipótese podemos considerar que as idades obtidas por luminescência deverão ser representativas da última exposição à luz do material depositado neste fosso. Ou seja, a presença de materiais semelhantes ao material das paredes do fosso pode indicar uma colmatação intencional e rápida que não permitiu uma exposição eficaz destes materiais à luz de forma a remover totalmente os sinais mais antigos (da última exposição à luz). Numa segunda hipótese, a idade determinada por luminescência, poderá ser representativa de uma primeira fase de utilização do fosso 12, eventualmente como suporte de uma paliçada, hipótese a considerar atendendo ao citado acerca da utilização diversificada deste fosso, com diferentes intenções (Valera et al, 2014d).

As amostras recolhidas no fosso 8 apresentam idades entre os $6,5 \pm 0,4$ ka e os $7,2 \pm 0,7$ ka, com incertezas entre os 6% e os 10% (Tabela 5.28). A relação entre as idades das amostras não está de acordo com a estratigrafia de enchimento do fosso. Estas idades encontram-se dentro da janela de tempo do Neolítico Antigo, sendo a estrutura atribuída ao Neolítico Final. Uma vez que não se verifica uma grande dispersão de valores de dose absorvida como contribuição dos sinais geológicos, esta diferença poderá residir na taxa de dose mais baixa apresentada por estas amostras. A menor taxa de dose é consequência da presença de calcite na amostra total que contribui para um baixo teor de radionuclídeos e uma maior capacidade de retenção de água.

As amostras recolhidas na estrutura circular apresentam idades entre os $4,5 \pm 0,3$ ka e os $3,1 \pm 0,2$ ka, estando de acordo com a estratigrafia da estrutura. Esta estrutura é interpretada como pertencente ao Calcolítico ou Idade de Bronze (entre os 4,9 ka e os 2,8 ka). A idade da amostra recolhida abaixo do aglomerado de fragmentos rochosos que compõem a estrutura circular apresenta uma idade de $4,6 \pm 0,3$ ka (7% de incerteza) que se enquadra dentro do período do Calcolítico, o que delimita o período de construção da estrutura. As amostras recolhidas no preenchimento acima deste aglomerado delimitam o abandono da estrutura. A projeção das idades aparentes para as amostras de perfil fica abaixo das idades estimadas por datação por luminescência (Figura 5.223). A amostra PDG8 com uma idade de $3,8 \pm 0,3$ ka (7% de incerteza) e a amostra PDG9 com uma idade de $3,1 \pm 0,2$ ka (7% de incerteza) (Tabela 5.28). Estas amostras apresentam uma estimativa de idade que diminui da base para o topo e que se enquadra dentro da janela de tempo do período de transição para a Idade do Bronze. Ou seja, a construção e utilização da estrutura enquadram-se no período do Calcolítico.

Tabela 5.28 Estimativa da Idade determinada para as amostras recolhidas nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões.

Amostras	PDG1	PDG2	PDG3	PDG4	PDG5	PDG6	PDG7	PDG8	PDG9
Estrutura	Fosso 5	Fosso 12		Fosso 8			Estrutura Circular		
Idade (ka)	4,4	8	6,5	7,0	6,5	7,2	4,6	3,8	3,1
±	0,5	1	0,4	0,5	0,4	0,7	0,3	0,3	0,2
% Incerteza	11	13	6	8	6	10	7	7	7

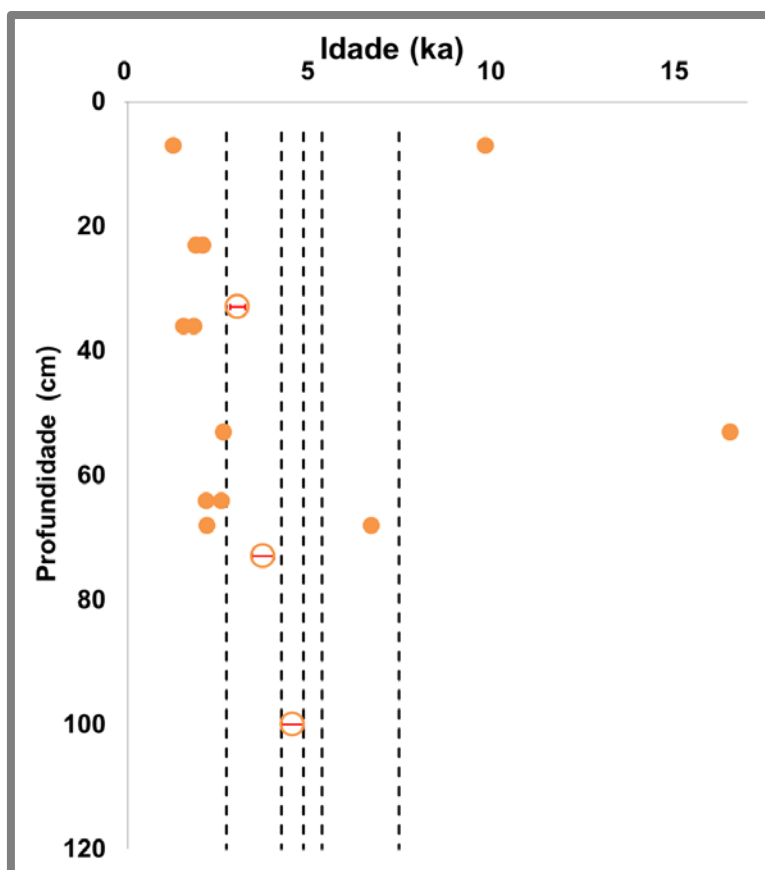


Figura 5.223. Distribuição da idade com a respetiva incerteza em função da profundidade e com indicação dos períodos Neolítico Antigo e Médio, Neolítico Final, Calcolítico e Idade do Bronze, para as amostras recolhidas na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões.

5.7.6 Síntese dos resultados obtidos vs contexto arqueológico

O fosso 5 foi interpretado como uma estrutura de suporte de paliçada. Esta interpretação assenta na divisão vertical observada nos materiais de preenchimento e na predominância de artefactos e fauna de um dos lados, o que sugere a ocorrência de uma acumulação de materiais e artefactos diferenciada em cada um dos lados da paliçada (Valera, 2013d). A amostra PDG1 compreende material semelhante aos materiais recolhidos na parede do fosso 5 no que respeita à composição mineralógica da amostra total e da fração argilosa, ao índice de alteração mineralógico e à granulometria. Esta amostra foi recolhida na sequência de preenchimento de um dos lados da paliçada, onde a acumulação de artefactos e fauna foi menos intensa (Valera, 2013d). A semelhança da composição mineralógica e da granulometria da amostra de materiais de preenchimento PDG1 e das amostras da base da parede do fosso PDGc e PDGd está de certo modo de acordo com a interpretação proposta pelos arqueólogos. Segundo a interpretação da equipa de arqueólogos o enchimento do fosso deverá ter ocorrido com material proveniente da escavação inicial do mesmo no substrato geológico. A idade estimada para a amostra de preenchimento está em concordância com o esperado, concordando com a datação obtida por radiocarbono (Valera et al, 2014d).

Contudo, a composição mineralógica da amostra total dos materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5 está de acordo com a mineralogia descrita na Carta Geológica para os granodioritos e tonalitos associados (Carvalhosa e Zbyzewski, 1991) e não de acordo com o contexto local, nomeadamente com os resultados da mineralogia e geoquímica dos dioritos e gabros associados do maciço de Reguengos. Neste sentido, coloca-se a hipótese do material recolhido na parede Norte do fosso 5 ter sido transportado para o local de escavação com um objetivo definido, como por exemplo o revestimento das paredes do fosso e para utilização como material de preenchimento do mesmo.

Os materiais recolhidos na parede do fosso, distinguem-se claramente da amostra de substrato geológico PDGa (recolhida na primeira fase de amostragem) nomeadamente no que se refere aos teores em elementos da primeira série de transição, REE leves e intermédias e nos óxidos dos elementos maiores. Esta informação aliada à diferente associação mineralógica permite comprovar que as amostras recolhidas na parede do fosso não serão representativas da geologia local, devendo tratar-se de um material de preenchimento/revestimento do fosso 5. A projeção do somatório dos REE em função do teor em SiO_2 para os materiais recolhidos na parede Norte do fosso 5 permite enquadrá-los na janela de valores obtidos por Silva e Pinto (2006) para os granodioritos do maciço de Reguengos (Figura 5.224). Este fato relaciona-se favoravelmente com os resultados obtidos para a mineralogia dos materiais da parede do fosso 5 que que assemelha mais com a associação mineralógica dos granodioritos. A proximidade da formação de granodioritos em relação ao Recinto de fossos dos Perdigões permite considerar a hipótese destas materiais terem sido transportados para o local intencionalmente.

Os materiais recolhidos no fosso 8 e na área de escavação deste apresentam teores mais baixos em óxidos de Si e REE, fruto da presença de calcite que promove um efeito de diluição na composição química das amostras estudadas. Com exceção dos materiais do fosso 8 e do fosso 5, os restantes materiais recolhidos no fosso 6, 12 e na

estrutura circular enquadram-se na gama de valores esperados para dioritos (Figura 5.224).

Utilizando os diagramas de TAS e de La Roche (Rollinson, 1993) foi possível confirmar que a composição química em elementos maiores permite enquadrar os materiais recolhidos no fosso 5 na gama de valores esperados para materiais com origem em granodioritos, enquanto os restantes materiais se enquadram na gama de valores esperados para dioritos e gabros associados. No que respeita aos materiais do fosso 8 estes encontram-se projetados no campo dos gabros (Figura 5.225).

Na área de escavação do fosso 8 a presença de um filão de quartzo e anatase com um índice de alteração elevado e uma mineralogia distinta dos materiais de alteração dos gabros e dioritos, bem como a presença de calcite nos materiais envolvente ao filão, poderá indiciar a presença de fenómenos de hidrotermalismo. O mesmo tipo de comportamento foi identificado numa amostra recolhida na parede do fosso 6 que pela sua riqueza em calcite, REE e As apontam para a existência de fenómenos hidrotermais neste local.

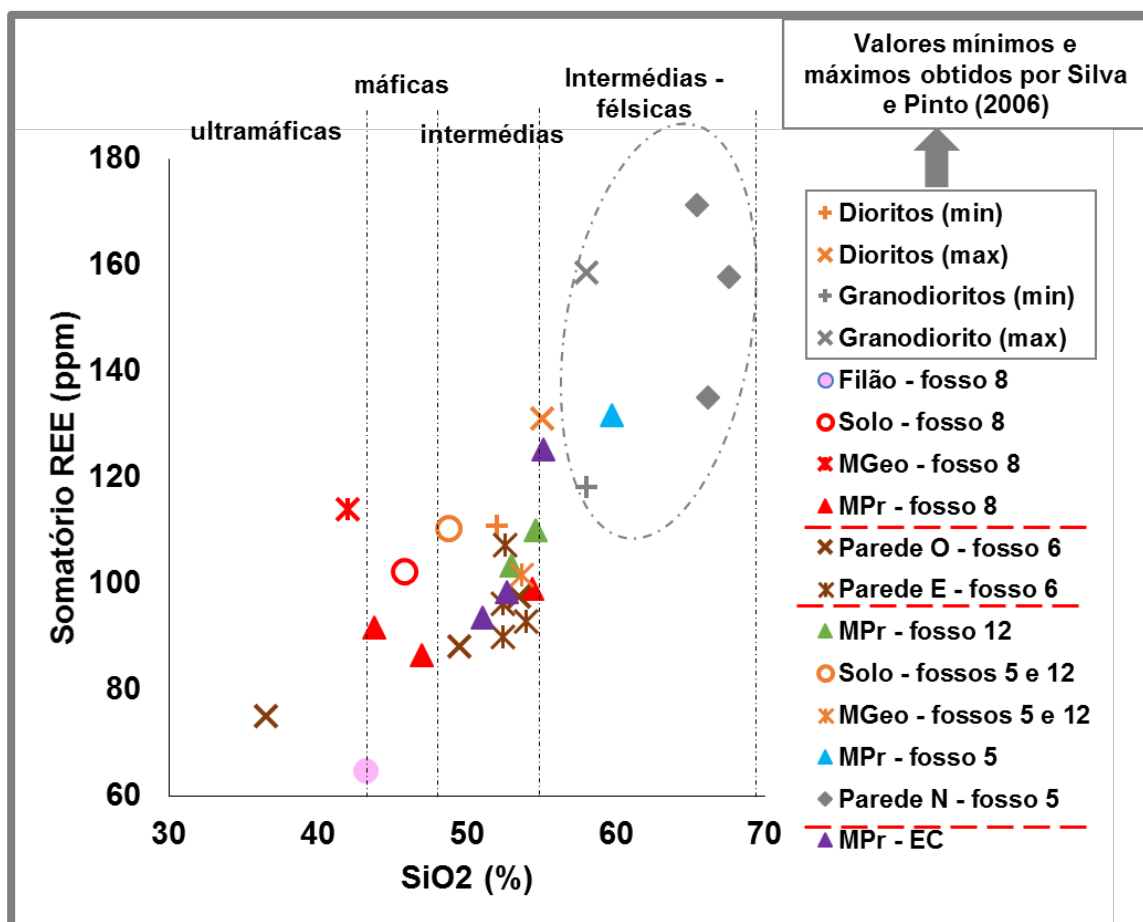


Figura 5.224 Variação do teor em REE em função do teor em SiO₂ na amostra total dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões e nos materiais do maciço de Reguengos de Monsaraz, estudados por Silva e Pinto (2006).

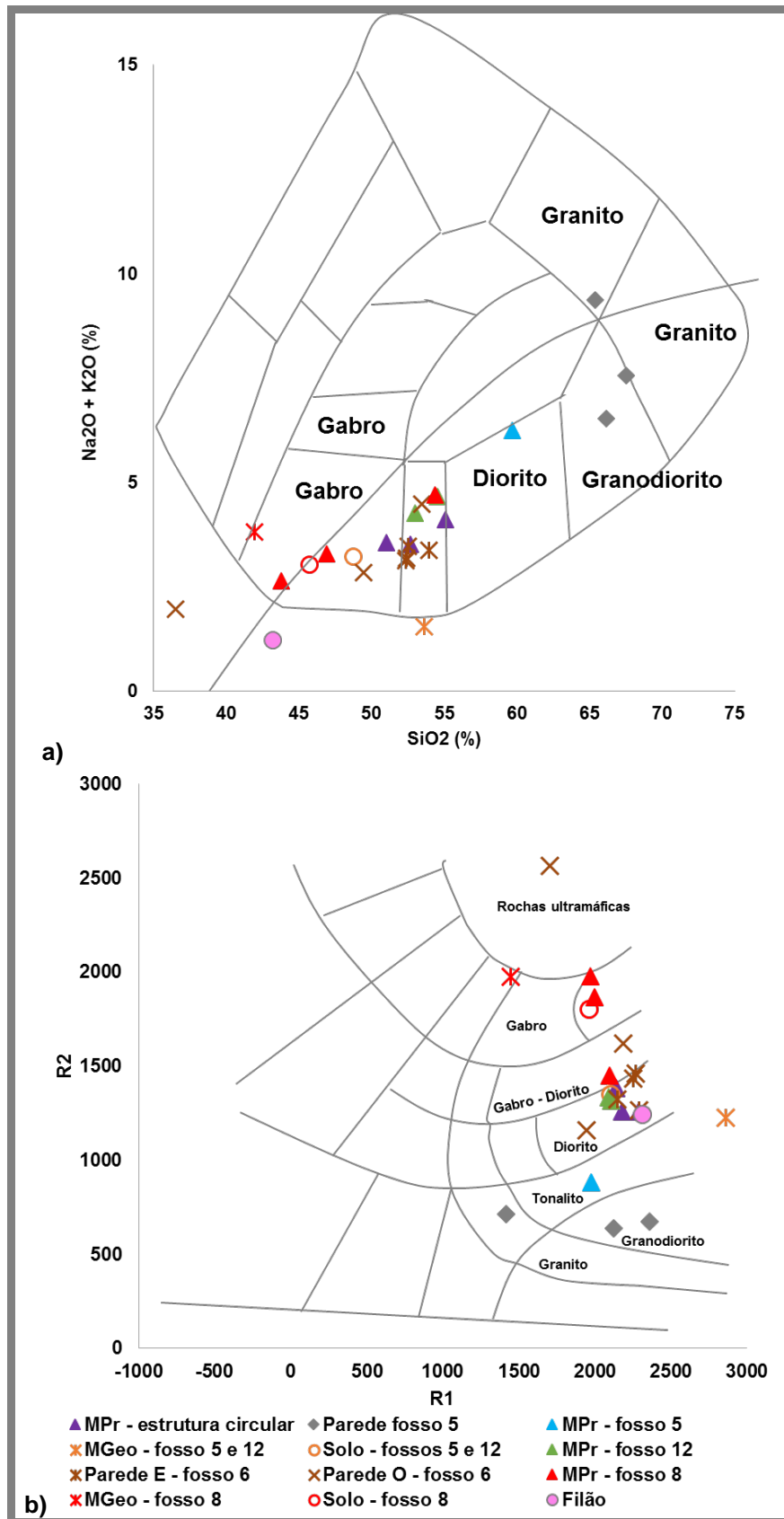


Figura 5.225 Projecção da composição dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões nos diagrama TAS (a) e de La Roche (b) (Rollinson, 1993).

A composição mais rica em calcite nos materiais recolhidos no fosso 8 pode relacionar-se com a sobrestimação das idades obtidas. A aplicação da mesma hipótese colocada para as amostras recolhidas nos contextos carbonatados descritos anteriormente neste trabalho (cálculo da taxa de dose máxima considerando a ausência da calcite; Capítulo 4) permitiria obter-se idades entre os 5,4 ka e os 5,9 ka, na janela do Neolítico Final, e de acordo com as interpretações. Aplicando para todas às restantes amostras a mesma hipótese verifica-se que a taxa de dose sofre menores alterações e esta conduz a idades muito inferiores ao determinado (Figura 5.226). No que respeita amostra do fosso 5 a idade obtida pertence ao período da Idade do Bronze e sendo esta atribuída ao Neolítico Final (Valera et al, 2014d) esta estimativa colocá-la-ia num período mais recente. As amostras recolhidas no fosso 12 apresentariam idades no período que compreende do Neolítico Antigo e Médio, o que ainda está um pouco acima da expectativa (Neolítico Final). No caso das amostras recolhidas na estrutura circular, apesar da diminuição na idade o período obtido para a fase inicial enquadra-se ainda dentro do Calcolítico e para a fase final (eventual abandono e acumulação de material) enquadra-se na janela de idades correspondente à idade do Bronze.

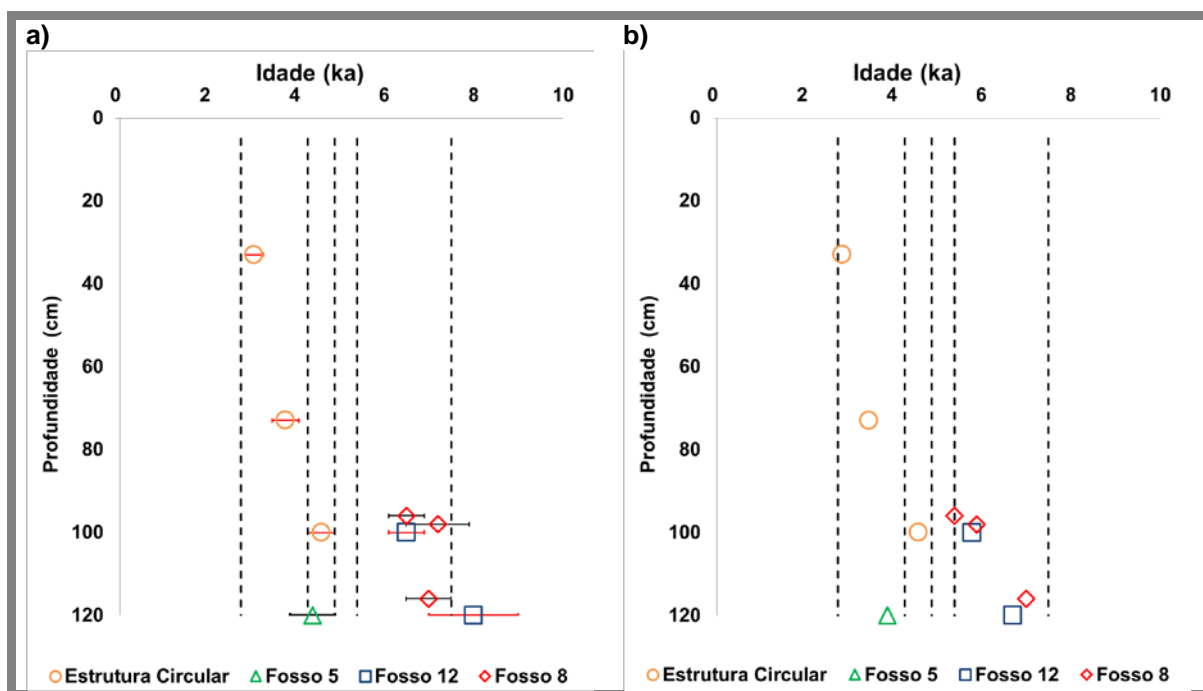


Figura 5.226 Projecção das idades aparentes e estimadas em função da profundidade e com indicação dos períodos Neolítico Médio e Antigo, Neolítico Final, Calcolítico e Idade do Bronze, para as amostras recolhidas no Recinto de fossos dos Perdígões: a) dateterminações efectuadas; b) idades especuladas a partir da hipótese de remoção total da calcite do meio.

5.8 Síntese comparativa dos resultados obtidos para os sete sítios arqueológicos

5.8.1 Mineralogia e geoquímica dos materiais estudados. Considerações paleoambientais

Neste trabalho procedeu-se ao estudo mineralógico e geoquímico de materiais de preenchimento de estruturas arqueológicas negativas e materiais do substrato geológico envolvente, com o intuito de melhor compreender a cronologia, proveniência e a dinâmica de preenchimento dessas estruturas, tendo em conta considerações paleoambientais. Para o melhor cumprimento dos objectivos, e atendendo ao predomínio de formações carbonatadas como substrato das estruturas negativas, considerou-se relevante proceder ao seu estudo detalhado, tendo também em vista a sua classificação genética.

5.8.1.1 Materiais Geológicos

Considerando os materiais carbonatados do substrato geológico amostrados nos sítios arqueológicos Monte Carrascal, Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões foi possível identificar diferenças ao nível macroscópico, na granulometria e na composição mineralógica consoante a origem e estado de alteração dos materiais. Os materiais carbonatados correspondentes ao calcreto de origem freática recolhido no Monte Carrascal e ao calcreto lacustre recolhido no Outeiro Alto, apresentavam-se na forma de blocos de calcreto compacto e cimentado pela calcite enquanto os restantes calcretos apresentavam-se pulverulentos e de fácil desagregação. O calcreto lacustre recolhido no Monte de Cortes apresentava uma pequena fração de material detrítico com dimensões superiores a 2 mm (fragmentos de xisto). Os materiais detríticos grosseiros carbonatados amostrados na Horta dos Quarteirões apresentavam também fragmentos de xisto de dimensões variáveis e uma coloração mais avermelhada, enquanto o calcreto amostrado neste local apresentava blocos de calcreto (> 2 mm).

As análises químicas e mineralógicas efetuadas à amostra total e à fração argilosa permitiram melhor distinguir estes calcretos do Alentejo, bem como associá-los a diferentes ambientes de génese. O calcreto recolhido no Monte Carrascal é de origem freática, e apresenta uma mineralogia quase exclusivamente composta por calcite e uma pequena proporção de esmectite (Figura 5.227). Este calcreto apresenta o teor mais baixo na maioria dos elementos químicos determinados na amostra total, com ênfase para o baixo teor em Mg, Fe e restantes elementos da primeira série de transição e REE (Figura 5.228). Este calcreto apresenta os teores mais elevados em CaO, Ba, I. A fração argilosa deste calcreto apresenta-se enriquecida na maioria dos elementos determinados, com exceção do Ba, W e U que se concentram na fração grosseira. Na fração argilosa é de realçar o enriquecimento em Zn e Cs, sendo o Zn eventualmentr retido pela esmectite. As REE parecem fixar-se na esmectite e quando normalizados aos condritos apresentam anomalias negativas de Eu e de Ce, tanto na amostra total como na fração argilosa. A anomalia negativa de Ce evidencia um ambiente redutor. O calcreto amostrado no Monte Carrascal apresenta a razão de calcificação mais elevada e uma razão de dolomitização baixa, bem como a menor razão silicatos/carbonatos e indicações mais evidentes de se tratar de um calcreto maduro que terá sofrido processos de meteorização, precipitação e cimentação mais intensos (apresenta as razões Mg/CaO e SiO₂/Al₂O₃ mais elevadas) que levaram à concentração de carbonato de cálcio em detrimento de silicatos (Figura 5.228

e Figura 5.229). A análise da composição química e mineralógica sugere um ambiente de formação quente e húmido, com meio alcalino e redutor, empobrecido em Mg e com uma boa drenagem.

O calcreiro amostrado no Outeiro Alto é de origem lacustre, e apresenta, para além da preponderância da calcite, uma pequena proporção de dolomite e silicatos, bem como proporções idênticas de esmectite e paligorsquite na fração argilosa (Figura 5.227). Tal como ocorre no calcreiro freático amostrado no Monte Carrascal, a composição química da amostra total deste calcreiro lacustre (OAa) apresenta teores baixos na maioria dos elementos, com especial foco para o empobrecimento em Fe e restantes elementos da primeira série de transição e REE (Figura 5.228). Relativamente ao teor em Mg, este calcreiro apresenta um teor mais elevado do que o registado no calcreiro freático do Monte Carrascal (MCA) fruto da presença de dolomite, o que leva a uma razão de dolomitização mais elevada (Figura 5.228). O meio lacustre (ambiente húmido e de drenagem deficiente) mais rico em Mg favoreceu a formação de paligorsquite. A fração argilosa deste calcreiro encontra-se enriquecida na maioria dos elementos determinados, com exceção do W e U que se concentram na fração grosseira. O enriquecimento da fração argilosa em Fe e restantes elementos da primeira série de transição está associado à presença de esmectite. O enriquecimento em As poderá relacionar-se tanto com a presença da esmectite como com a presença de paligorsquite. As REE encontram-se fixos preferencialmente na fração argilosa e apresentam anomalias negativas de Ce e Eu quando normalizados aos condritos, quer na fração argilosa quer na amostra total. Este é o calcreiro lacustre que apresenta a razão de calcificação mais elevada e a razão silicatos/carbonatos menor, tratando-se de um calcreiro mais maduro (Figura 5.229). A análise da composição química e mineralógica sugere um ambiente de formação quente que alterna entre o seco e o húmido, com meio alcalino e oxidante, rico em Mg e Si e empobrecido em Al e com uma drenagem deficiente.

Comparando os calcreiros do Monte Carrascal e do Outeiro Alto, os calcreiros com maior proporção de calcite e maior razão de calcificação e portanto mais maduros, verifica-se que quanto à mineralogia da amostra total, o calcreiro lacustre do Outeiro Alto apresenta uma pequena proporção de dolomite, que não se observa na amostra de calcreiro freático do Monte Carrascal. Quanto a mineralogia da fração argilosa o calcreiro freático apenas apresenta esmectite enquanto a amostra de calcreiro lacustre apresenta uma associação mineralógica na fração argilosa caracterizada por proporções idênticas de esmectite e paligorsquite. Não se verificando entre estas amostras diferenças nos teores em carbonatos na amostra total, normalizando os dados obtidos aos valores médios da crosta continental superior verifica-se que a maior diferença entre a composição química destes dois calcreiros relaciona-se com o teor em Rb, Sb, Cs e Ta, nos quais a amostra de calcreiro lacustre se encontra enriquecida e a de calcreiro freático se encontra empobrecida, e com o teor em iodo no qual o calcreiro freático se encontra enriquecido. No que respeita à fração argilosa dos calcreiros, verifica-se que a fração argilosa do calcreiro lacustre, formada por esmectite e paligorsquite, é mais rica em K, Mn, As, Br, Rb, REE leves e pesadas, Ta, Th e U enquanto a fração argilosa da amostra de calcreiro, onde apenas se detetou esmectite é mais rica em Fe e nos restantes elementos da primeira série de transição e Zr.

A amostra de calcreto lacustre identificada na Horta dos Quarteirões, da qual apenas se estudou a amostra total, apresentava pequenos blocos de calcreto compacto e distinguiu-se claramente das restantes amostras de materiais detríticos carbonatados, quer pela análise das características macroscópicas, quer pela composição química e mineralógica. A amostra apresentava paligorskite na composição da fração argilosa, um teor em Mg elevado na amostra total que conduziu a uma razão de dolomitização elevada (Figura 5.227, Figura 5.228 e Figura 5.229). O teor em Fe e restantes elementos da primeira série de transição apresenta, nesta amostra, o mais elevado registado. Esta é a única amostra de calcreto em que há evidências que apontam para a fixação das REE na calcite. Tal como verificado para o calcreto lacustre amostrado no Outeiro Alto, a análise da composição química e mineralógica da amostra de calcreto recolhida na Horta dos Quarteirões sugere um ambiente de formação quente que alterna entre o seco e o húmido, com meio alcalino e oxidante, rico em Mg e Si e empobrecido em Al e com uma drenagem deficiente.

O calcreto lacustre amostrado em Covas apresenta-se pulverulento e com evidências de uma mudança de paleoambiente durante a sua formação, nomeadamente nas condições que permitiram o aumento de Mg e de humidade no meio e que permitiram a formação de paligorskite a partir de certa altura. Este calcreto é no geral pobre em Mg e apresenta uma razão de dolomitização baixa na amostra total (Figura 5.228), sendo, a par com o calcreto do Monte Carrascal, o que apresenta a maior proporção de esmectite na fração argilosa, bem como das maiores proporções de calcite na amostra total (Figura 5.227). O teor em Fe e restantes elementos da primeira série de transição é baixo, bem como o teor em REE, que se fixam preferencialmente na pequena proporção de illite presente (Figura 5.228). Este calcreto distingue-se do calcreto lacustre do Outeiro Alto pelo teor mais elevado em iodo e REE na amostra total.

O calcreto pulverulento amostrado no Monte de Cortes é o calcreto lacustre mais pobre em carbonatos e apresenta uma proporção de material detrítico (fragmentos de xisto). Este calcreto apresenta uma razão de calcificação baixa e pode ser considerado um calcreto jovem, gerado num ambiente lacustre rico em Mg (que permitiu a formação de dolomite), mas que por ser jovem apresenta um fração argilosa rica em illite e esmectite, registando-se a ausência de paligorskite (Figura 5.227 e Figura 5.229). A presença de teores elevados em REE é consequência da presença de material detrítico no calcreto, estando estes elementos fixos na fração grosseira da amostra (Figura 5.228). A mineralogia da fração argilosa fornece indicações de que este calcreto terá sido sujeito a condições paleoambientais diferentes em períodos consecutivos: inicialmente um clima quente e seco com períodos de chuva curtos, uma topografia favorável a drenagem deficiente e meio alcalino com baixo teor em Mg, seguido de um ambiente favorável à ilitização da esmectite formada, nomeadamente pela introdução de K no meio.

Os materiais detríticos grosseiros carbonatados, como seria de esperar, apresentam razões de calcificação menores, uma vez que a sua composição mineralógica é mais pobre em carbonatos que os calcretos. A fração argilosa destes materiais é composta essencialmente por esmectite e illite, sendo a esmectite dominante na fração argilosa das amostras, cuja mineralogia da amostra total apresenta maior proporção de calcite (Figura 5.227). As REE fixam-se mais na fração argilosa das

amostras com mais ilite e na fração grosseira (plagioclase) no caso das amostras com mais esmectite (Figura 5.228).

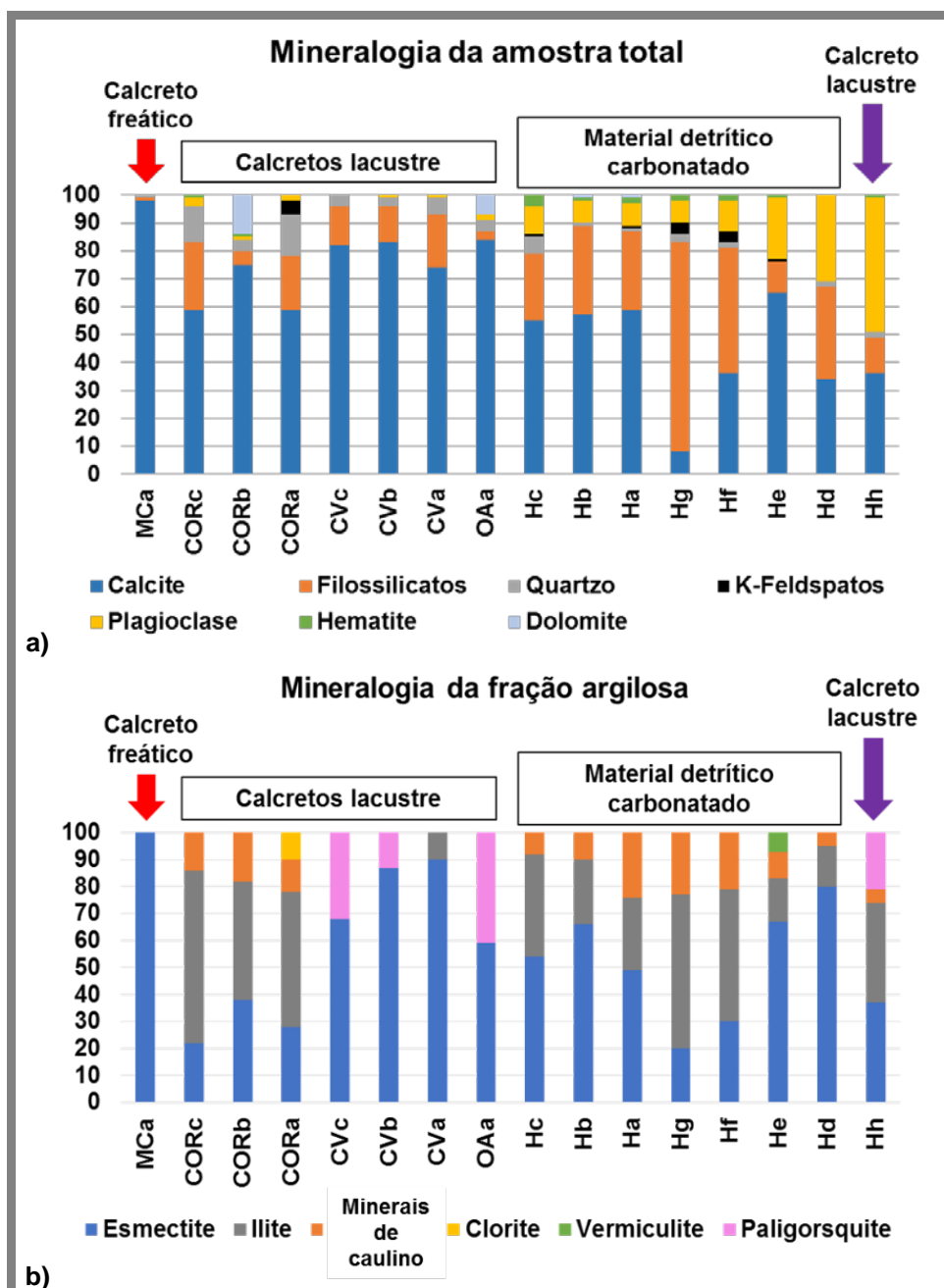


Figura 5.227 Composição mineralógica (%) da amostra total (a) e da fração argilosa (b), determinada por DRX, dos materiais carbonatados representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação do tipo de materiais e origem.

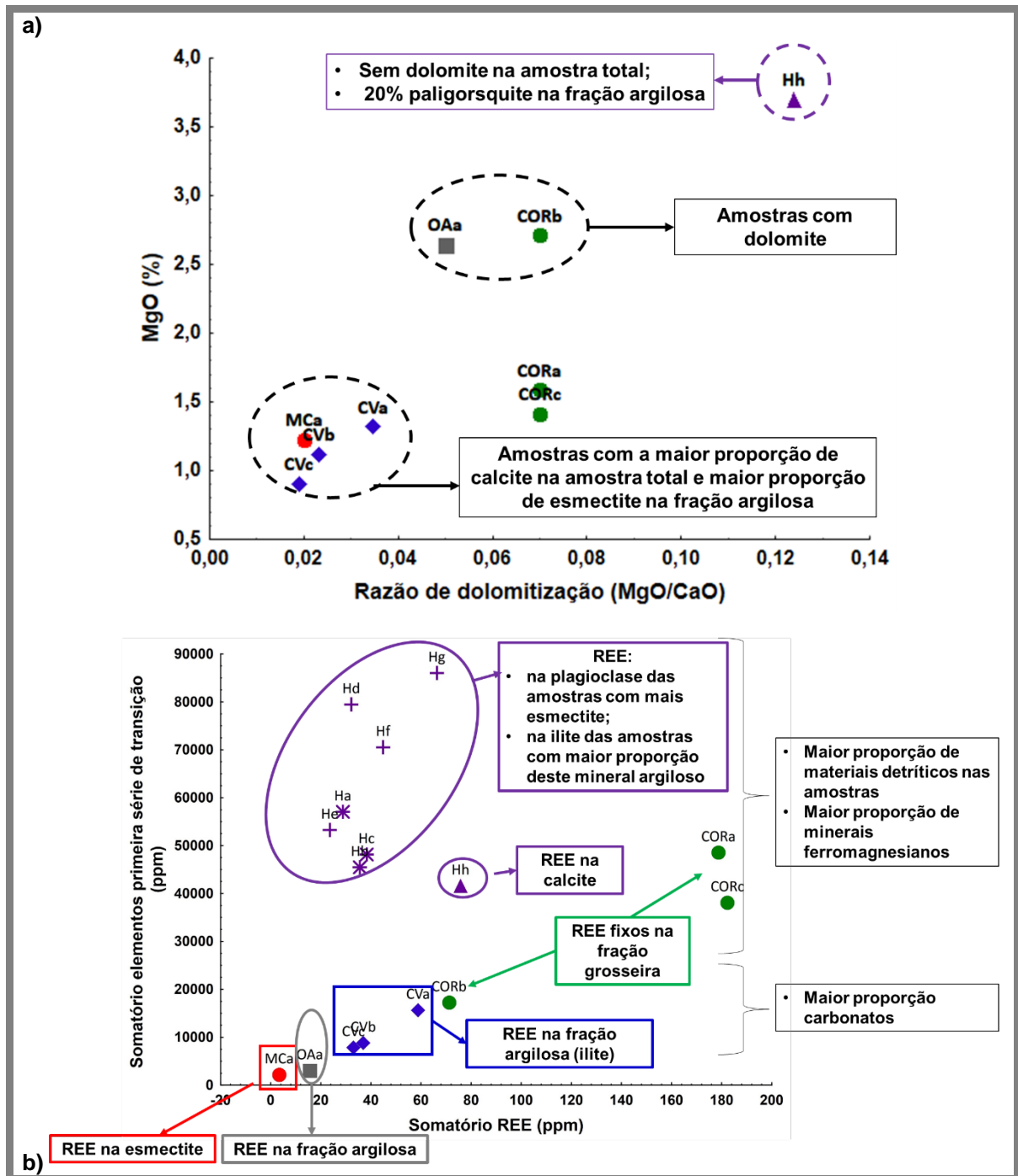


Figura 5.228 a) Variação do teor em MgO em função da razão de dolomitização (MgO/CaO) na amostra total dos calcretos representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação da mineralogia dominante; b) variação do teor em elementos da primeira série de transição em função do teor em REE (determinados por AAN) na amostra total dos materiais carbonatados representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação da fração ou mineral em que as REE se fixam.

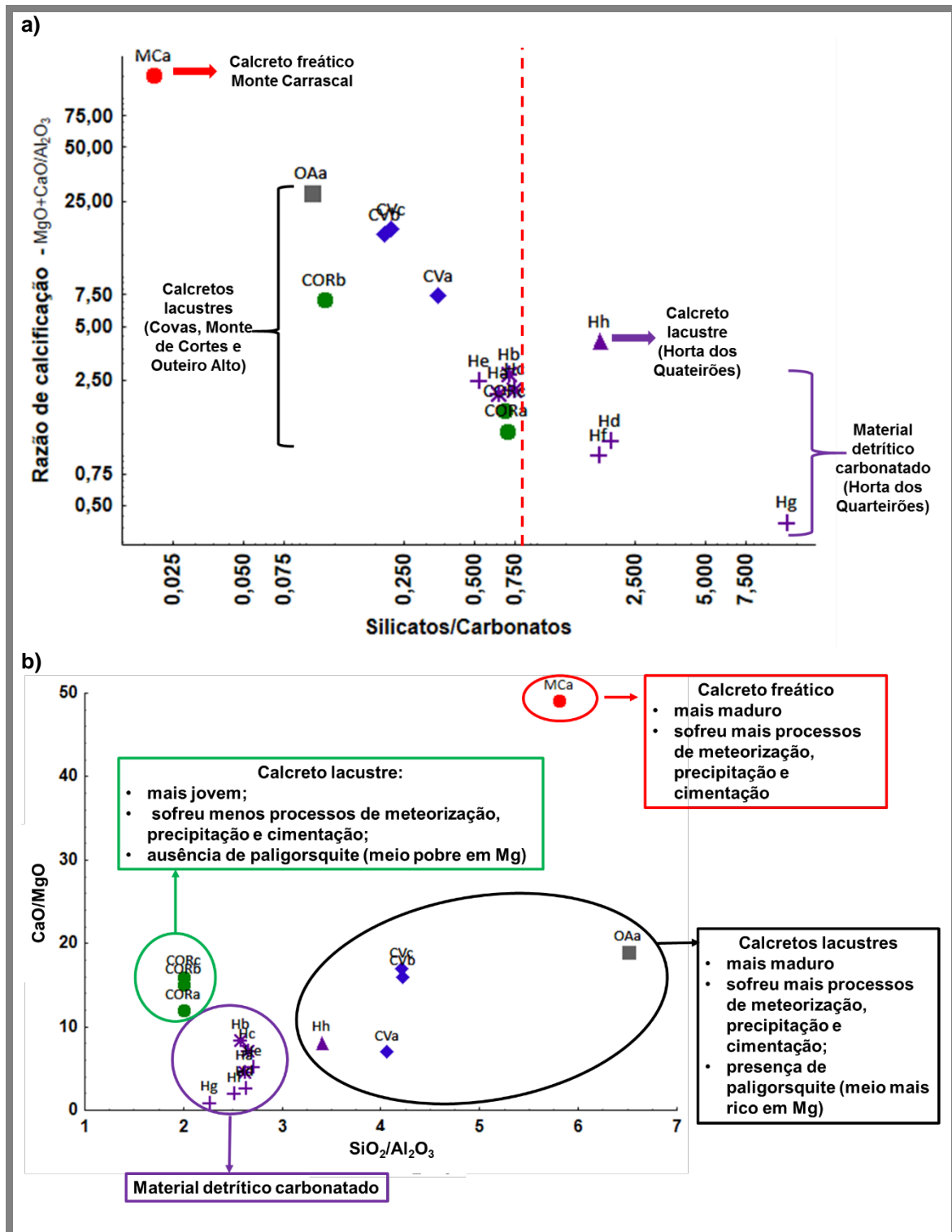


Figura 5.229 a) Variação da razão de calcificação $(\text{MgO} + \text{CaO}) / \text{Al}_2\text{O}_3$ em função da razão silicatos/carbonatos na amostra total dos materiais carbonatados; b) variação da razão CaO / MgO em função da razão $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$, determinados por FRX, na amostra total dos materiais carbonatados representativos da geologia dos sítios arqueológicos Monte Carrascal (vermelho), Monte de Cortes (verde), Covas (azul), Outeiro Alto (cinzento) e Horta dos Quarteirões (roxo), com indicação do tipo de materiais, origem e estado de maturação.

Para além dos sítios localizados em substratos carbonatados estudaram-se os materiais de alteração do granito no sítio da Malhada da Orada e os materiais de alteração o diorito e gabros associados no sítio do Recinto de fossos dos Perdigões. Apesar da clara distinção ao nível da mineralogia e química da amostra total entre os materiais destes dois contextos e os materiais dos contextos carbonatados, a mineralogia da fração argilosa destes materiais apresenta uma composição similar. Quer os materiais de alteração dos dioritos e gabros associados quer os materiais de alteração do granito apresentam uma mineralogia da fração argilosa formada maioritariamente por esmectite e ilite em proporções idênticas.

O paleoambiente árido e semiárido, com curtos períodos de chuva e drenagem eficiente que deverá ter favorecido a formação de esmectite, e posteriormente ilite (por processos de ilitização) na região da bacia de Moura, levou à formação destes minerais também durante o processo de alteração do granito do maciço do Pedrogão onde se localiza o sítio arqueológico da Malhada da Orada.

No caso dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões, a associação mineralógica, reflete ainda a presença de fenómenos de hidrotermalismo, relacionados com a formação de esmectite e ilite em materiais de alteração de rochas granitoides, como já observado para materiais similares (White, 1999).

5.8.1.2 Materiais geológicos vs materiais de preenchimento

Observaram-se diferentes formas de preenchimento das estruturas negativas, no que diz respeito à proveniência dos materiais: (i) materiais de proveniência no substrato local com diferentes graus de alteração; (ii) materiais exógenos; (iii) materiais de origem mista (local + exógenos). Neste sentido, a comparação entre os materiais de preenchimento será aqui apenas feita de modo muito geral, tendo sido aprofundada no final de cada sub-capítulo de cada sítio. Outra questão prende-se com os teores em calcite mais elevados nos materiais do substrato geológico relativamente aos materiais de preenchimento, quando consideramos os contextos de calcretos. Nestes locais, os efeitos de diluição pela presença de calcite em elevadas proporções são mais sentidos nos materiais geológicos, promovendo o enriquecimento na maioria dos elementos determinados nos materiais de preenchimento. Foi ainda possível verificar que, em todos os contextos (carbonatados, granito e dioritos e gabros associados), o teor em P e Br é mais elevado nos materiais de preenchimento, refletindo a presença de uma maior proporção de matéria orgânica, certamente associada à atividade antrópica.

Os materiais de preenchimento apresentam, no geral, índices de alteração (químicos e mineralógicos) mais elevados, maior proporção de filossilicatos e granulometrias mais finas, melhor calibradas, nomeadamente no que respeita à fração silto-argilosa, indicando que os materiais de preenchimento foram sujeitos a condições de meteorização mais intensa, nomeadamente relacionadas com a mobilização (natural e/ou antrópica) desde a fonte até ao local de deposição do interior da estrutura, podendo

propor-se em alguns casos a seleção / tratamento intencional do material de preenchimento (por exemplo os buracos de poste).

5.8.2 Medidas de Luminescência

Neste trabalho efetuaram-se medidas de luminescência tendo em vista o estudo da dinâmica e da datação dos vários eventos identificados nos materiais de preenchimento das estruturas negativas. Fizeram-se as abordagens convencionais (cálculo a sensibilidade do quartzo, taxa de dose e dose absorvida), bem como propõe-se neste trabalho uma nova abordagem para aferir o impacto das elevadas proporções de calcite no cálculo da taxa de dose, e deste modo, contribuir para o estudo da atenuação do seu efeito na subvalorização na estimativa da idade.

5.8.2.1 Sensibilidade do quartzo dos materiais de preenchimento

A sensibilidade dos sinais de luminescência (ótica, térmica e radioluminescência) dos grãos de quartzo em resposta a radiação relaciona-se com a concentração de centros de recombinação na estrutura do quartzo. Estes centros de recombinação estão diretamente relacionados com os defeitos na estrutura cristalina do quartzo que ocorrem pela substituição do Si por Al e a necessária compensação por um ião alcalino (M^+) ou um buraco ("hole", h^+ , ausência de um electrão que se comporta como uma carga positiva). Entre os iões alcalinos salienta-se a presença de H^+ , Li^+ , Na^+ e, em menor escala K^+ , Ag^+ ou Cu^+ (Martini et al, 2009). Para além do Al, o Si pode ser substituído por Ti, Fe e menos frequentemente por Ge, P, e Ga, (Götze et al, 2001; Preusser et al, 2009). A diminuição da presença de iões alcalinos como compensadores de carga permite que o número de buracos, e portanto centros de recombinação disponíveis, aumente conduzindo a uma maior sensibilidade no quartzo. Este aumento de sensibilidade do quartzo ocorre com aplicação de ciclos de ativação em laboratório (irradiação e aquecimento), e ciclos naturais de ativação por exposição a condições de meteorização intensa, eventualmente em combinação com exposição a luz durante fases de transporte e/ou aquecimento, que não só promovem o aumento da sensibilidade individual de cada grão de quartzo, como do número de grãos de quartzo sensíveis (Preusser et al, 2009). Neste sentido, a sensibilidade do quartzo tem sido utilizada em estudos de proveniência, dada a sua relação com a natureza da rocha mãe (condições de cristalização), transporte e historial de deposição de sedimentos (Hashimoto et al, 2007; Pietsch et al, 2008; Zheng et al, 2009; Fitzsimmons, 2011; Lü e Sun, 2011; Sawakuchi et al; 2011; Jeong e Choi, 2012).

Considerando a sensibilidade dos sinais de OSL, e RL dos grãos de quartzo grosseiro para as amostras recolhidas nos contextos de calcretos do Monte Carrascal (MC), Monte de Cortes (COR) e Horta dos Quarteirões (H), observou-se que os grãos provenientes dos materiais de alteração dos dioritos e gabros associados (PDG) apresentam uma sensibilidade menor. Este deve refletir um estado de meteorização mais baixo, uma vez que na sua maioria as estruturas negativas do recinto de fossos dos Perdigões se encontravam preenchidas por materiais de alteração da rocha mãe do local, que foi sujeita a poucos ciclos de meteorização e transporte num ambiente rico em metais alcalinos (Figura 5.230). O quartzo da amostra recolhida no contexto de granito (MO) apresenta uma sensibilidade maior que o quartzo das amostras recolhidas no

recinto de fossos dos Perdigões. Esta diferença na sensibilidade poderá refletir, tanto o estado de meteorização destes materiais como diferentes condições de cristalização do quartzo durante a gênese da rocha-mãe.

Nas formações carbonatadas, não sendo a origem do quartzo conhecida, sabe-se que este mineral sofreu processos de meteorização e transporte. O quartzo recolhido nas amostras do Monte Carrascal apresenta uma sensibilidade elevada, que pode ser explicada pela ativação natural deste mineral durante os processos de formação do calcreto. Este calcreto, de origem freática, é classificado como um calcreto maduro, no qual a grande parte dos minerais detríticos que fizeram parte da sua formação foi substituída por carbonato de cálcio. A meteorização desses minerais levou ao empobrecimento do calcreto na maioria dos elementos, em especial em elementos capazes de formar iões alcalinos que quando presentes na rede cristalina do quartzo tendem a diminuir a sensibilidade (Martini et al, 2009), ocupando os defeitos na rede cristalina que promovem a sensibilidade. Assim, verificam-se condições favoráveis à presença de um quartzo muito sensível, ativado naturalmente pelos repetidos ciclos de meteorização, num meio pobre em catiões alcalinos (mais móveis em solução). No caso dos materiais recolhidos no Outeiro Alto, cuja origem não dependeu apenas do calcreto lacustre maduro, verificam-se sensibilidades mais baixas, também observadas no quartzo grosseiro dos materiais de preenchimento recolhidos em Covas e Monte de Cortes (contextos de calcretos lacustres) (Figura 5.230).

Nos materiais recolhidos na estrutura negativa da Horta dos Quarteirões (H), num contexto marcado pela presença de material detrítico carbonatado, observa-se uma sensibilidade do quartzo mais elevada que nas amostras provenientes de contextos de calcretos lacustres, e semelhante ao observado para a amostra recolhida no contexto de granito (MO) (Figura 5.230). Neste caso, a sensibilidade do quartzo recolhido nas amostras H, dada a sua origem em material detrítico, deverá refletir a ativação do quartzo pelos processos de meteorização e transporte.

Uma vez que são diversos os fatores que contribuem para a variabilidade da sensibilidade observada, para o quartzo proveniente dos diferentes sítios arqueológicos, o estabelecimento de uma relação entre a sensibilidade do quartzo e a composição da amostra total não é simples e direta, tendo sido descrita para cada um dos sítios arqueológicos nas secções relativas a cada um deles.

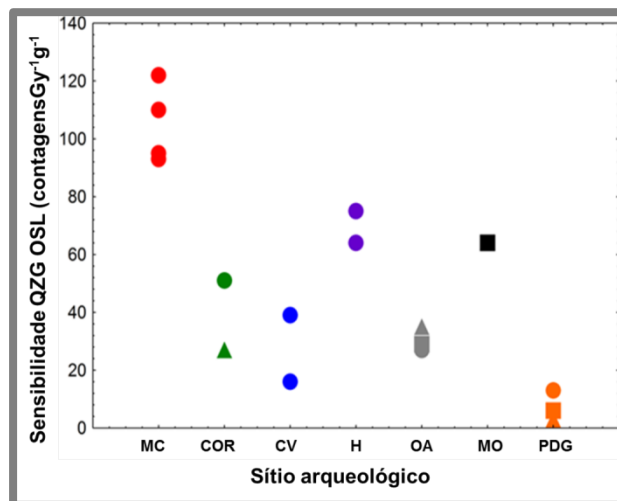


Figura 5.230 Sensibilidade do quartzo grosseiro, obtido das amostras de materiais de preenchimento, à estimulação por OSL.

5.8.2.2 Taxa de dose e dose absorvida

O baixo teor em radionuclídeos, K, Rb, Th e U, nomeadamente nas amostras provenientes de contextos muito carbonatados, levam a que a taxa de dose calculada seja muito baixa na envolvente dos materiais recolhidos no Monte Carrascal, Monte de Cortes, Covas e Horta dos Quarteirões (Figura 5.231). Os materiais provenientes do recinto de fossos dos Perdigões e da Malhada da Orada (dioritos e granitos meteorizados respetivamente) apresentam taxas de dose mais elevadas. Nas amostras provenientes do Outeiro Alto, apesar de ser um contexto de calcetreto, o teor em calcite é menor. O teor em calcite (nomeadamente em formações tipo calcetreto) promove também uma maior retenção de água nos materiais, sendo este um fator influente na diminuição da taxa de dose. Verifica-se que da base ao topo da sequência de preenchimento das estruturas há um ligeiro aumento da taxa de dose que se relaciona com a tendência de diminuição do teor em calcite.

Verificou-se que a elevada proporção de calcite nas amostras condicionou o comportamento das amostras face às medidas de luminescência e dosimetria ambiental efetuadas nos materiais recolhidos em contextos carbonatados. Por um lado foram identificados níveis de colapso e/ou deposição de material ricos em material do substrato (na maioria das vezes carbonatado), com sinais residuais no OSL. Nestes casos poderão ter ocorrido duas situações: i) o colapso foi tão rápido que o material não foi exposto à luz, não sendo possível a remição do sinal acumulado anteriormente parcialmente ou na sua totalidade; ii) em materiais mais carbonatado os próprios carbonatos formaram aglomerados que protegerem os grãos da luz. No entanto, verificou-se uma tendência geral para níveis carbonatados apresentarem uma idade de luminescência superior à atribuída pelos arqueólogos, e quando determinada, superior à obtida por radiocarbono. No sentido de compreender os efeitos da calcite quer na taxa de dose quer na dose absorvida, consideraram-se duas hipóteses: i) no extremo, a calcite presente nos materiais de preenchimento datados precipitou recentemente, após a deposição dos materiais nas estruturas, não afetado a taxa de dose; ii) numa situação intermédia, a calcite sempre esteve presente mas, os grãos de quartzo estudados estiveram rodeados por material não carbonatado (pequenas esferas), e a presença do elevado teor de

calcite apenas afetou a taxa de dose gama, mantendo-se nos grãos de quartzo o efeito da taxa de dose alfa e beta. Sendo mais simples e direto, considerar a primeira hipótese para efeitos de cálculo a partir dos dados e da informação disponível, propõe-se, neste trabalho, uma abordagem inovadora para a estimativa da taxa de dose, que consiste na tentativa de atenuar o efeito do fator diluição nos elementos radioativos naturais, bem como o da retenção de água. Assim, procedeu-se ao cálculo do teor em radionuclídeos (K, Rb, Th e U) considerando que no limite, as amostras seriam desprovidas de qualquer carbonato de cálcio e matéria orgânica, que foi aferido pelo seu valor de perdas por ignição (LOI) (Capítulo 4). Atendendo a que na ausência de calcite a capacidade de retenção de água pelas amostras seria bastante menor, procedeu-se ainda à aplicação de um valor de retenção de água reduzido de 5%, tendo como base os resultados obtidos para as amostras recolhidas num contexto com menores proporções de calcite, como é o Recinto de fossos dos Perdígões.

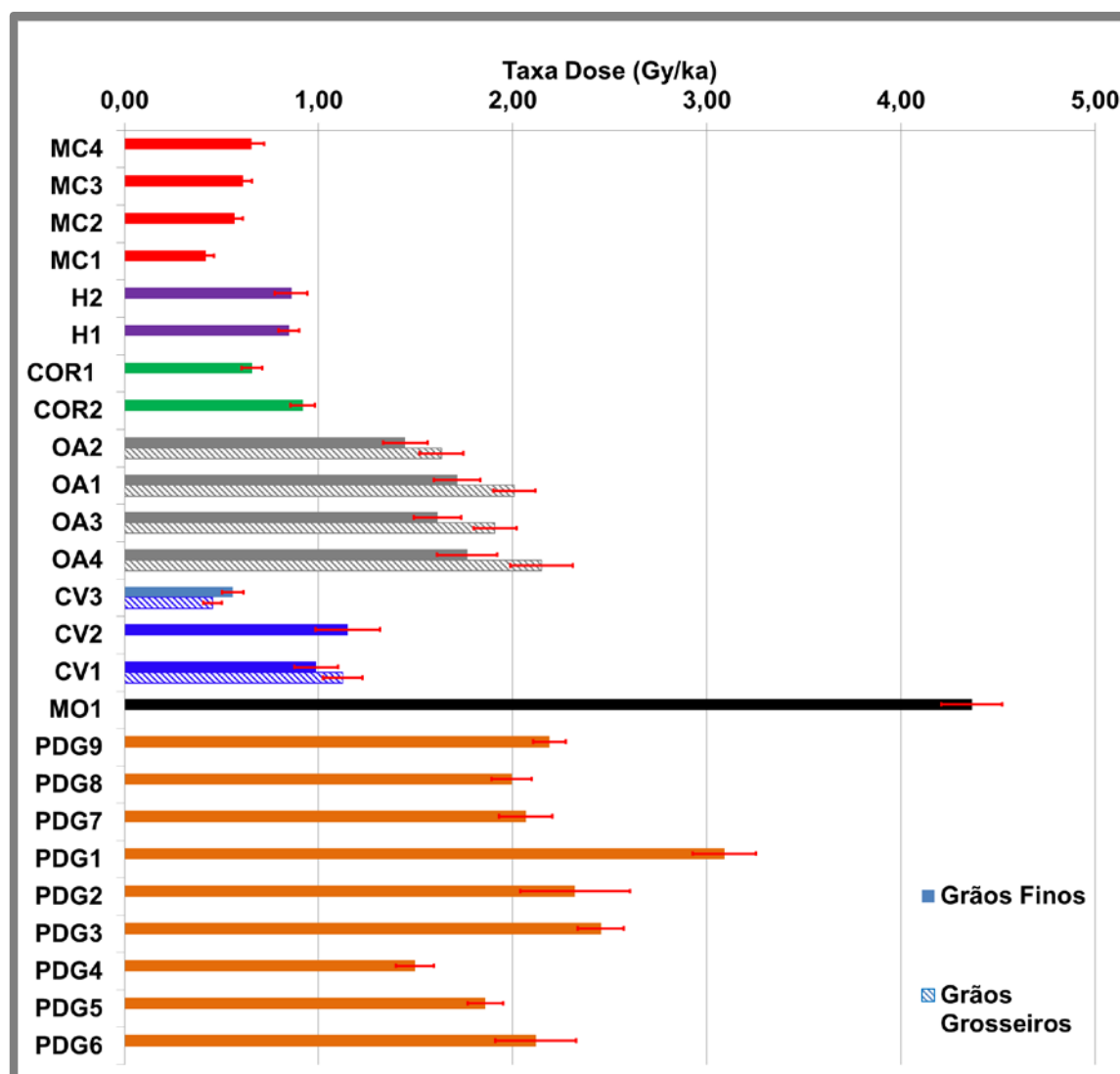


Figura 5.231 Taxa de dose para as amostras selecionada para datar considerando os grãos de quartzo grosseiros e os grãos de quartzo fino.

As indicações obtidas permitem verificar que no caso extremo de ausência de efeitos de calcite e matéria orgânica na composição das amostras, a taxa de dose seria

maior em todas as amostras. O efeito variou entre 1 e 1,4 vezes (Figura 5.232), sendo mais acentuado para as amostras ricas em calcite provenientes do Monte Carrascal, Monte de Cortes, Covas e Horta dos Quarteirões (Figura 5.232). A aplicação deste modelo extremo nos cálculos de idade foi usado para verificar a presença de sinais residuais no OSL, e por outro lado para indicar a possibilidade de efeitos relacionados com a variabilidade espacial e/ou a precipitação de calcite (e matéria orgânica) poderiam ter uma grandeza suficiente de explicar quaisquer diferenças observadas entre os resultados de datação por luminescência e as expectativas arqueológicas.

Pelo que, se considera que no caso de amostras ricas em calcite, a estimativa da idade de luminescência deve sempre ser alvo de estudos mais detalhados, nomeadamente com a nova abordagem metodológica proposta neste trabalho.

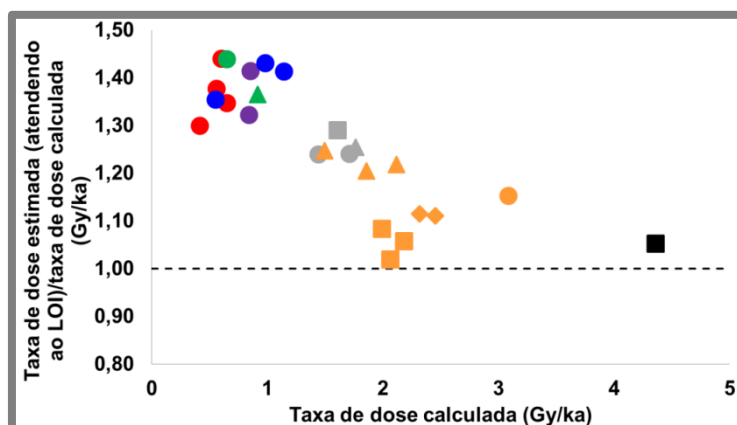


Figura 5.232 Relação entre a taxa de dose calculada convencionalmente, e o modelo extremo de remoção total dos efeitos de calcite e matéria orgânica nas amostras com base no LOI.

5.8.3 Idades obtidas vs idades esperadas

As idades determinadas, com recurso à luminescência, para as amostras de preenchimento das estruturas negativas, para 32% dos casos estudados encontram-se de acordo com o período indicado pelos arqueólogos e as datações por radiocarbono já existentes (Figura 5.233). Entre essas amostras, encontram-se as duas amostras recolhidas nos fossos da Horta dos Quarteirões ($4,4 \pm 0,4$ ka e $4,5 \pm 0,6$ ka), duas amostras recolhidas na fossa em Covas ($6,2 \pm 0,9$ ka e $6,8 \pm 0,8$ ka), a amostra de material de cobertura das estruturas negativas da Malhada da Orada ($6,8 \pm 0,4$ ka), e as 3 amostras da estrutura circular do recinto de fossos dos Perdigões ($3,1 \pm 0,2$ ka e $4,6 \pm 0,3$ ka). As restantes idades determinadas encontram-se fora dos períodos de referência, sendo no geral, superiores ao expectável. Recolheu-se ainda uma terceira amostra em Covas cuja interpretação arqueológica indicava ser a primeira fase de preenchimento da fossa, mas que as análises por luminescência (31 ± 4 ka) indicam ser ainda material geológico remobilizado, eventualmente por processos de bioturbação (tal como também indicado pelo geoquímica e mineralogia). Nas amostras recolhidas no Monte Carrascal, e no Monte de Cortes, onde a dose absorvida e a taxa de dose parecem sofrer um maior efeito da elevada proporção de calcite, as idades de luminescência obtidas prolongam-se até ao Neolítico Antigo ($6,9 \pm 0,7$ ka e 12 ± 2 ka no fosso do Monte Carrascal; $7,6 \pm 0,5$ ka e $8,5 \pm 0,8$ ka no fosso e na fossa de Monte de Cortes). Para os materiais de preenchimento no Outeiro Alto os resultados obtidos pela datação foram mais antigos do que os esperados de acordo com a interpretação arqueológica, duas delas no Neolítico ($5,9 \pm 0,6$

ka e $6,0 \pm 0,5$ ka) e duas anteriores ($7,5 \pm 0,6$ ka e $11,5 \pm 0,9$ ka), devido predominantemente à contribuição de sinais residuais provenientes do material geológico, muito provavelmente associados a fenómenos de preenchimento rápidos (que impedem a remoção total do sinal geológico). Relativamente às restantes seis amostras datadas para as estruturas do sítio dos Perdigões, numa delas, recolhida no fosso 5, obteve-se uma idade mais recente ($4,4 \pm 0,5$ ka) à obtida pela interpretação arqueológica e pelo resultado de radiocarbono. Neste caso a diferença poderá ser devida ao facto de os materiais analisados por luminescência poderem não estar a datar o mesmo evento, já que os materiais aqui analisados fazem parte dos acumulados eventualmente após a deposição do vestígio arqueológico datado por radiocarbono. Relativamente às restantes cinco amostras dos Perdigões, as datas obtidas permitem enquadrá-las no Neolítico, mas numa fase anterior à atribuída pela interpretação arqueológica – fosso 12: $6,5 \pm 0,4$ ka e 8 ± 1 ka; fosso 8: $6,5 \pm 0,4$ ka e $7,2 \pm 0,7$ ka. No caso do fosso 12 a explicação pode ser semelhante à do fosso 5, mas com grande contribuição do material geológico, no caso do fosso 8, poderemos ter aqui também o efeito da contribuição do material geológico e ainda da presença de calcite.

Considerando as estimativas feitas com base na hipótese de toda a calcite e material orgânica ter sido precipitada/depositada recentemente no material das estruturas, verifica-se que a idade obtida é menor para todas as amostras estudadas, e para a maioria dos casos obter-se-iam resultados semelhantes ou mais próximos das expectativas (asteriscos a preto e a cinzento, Figura 5.233). No entanto, só 3 das idades previamente superestimadas passam a enquadrar-se dentro dos períodos esperados, e para as amostras recolhidas na Horta dos Quarterões em camadas menos carbonatadas, esta estimativa é exagerada e colocaria a idade das amostras num período que já deverá ser recente, atendendo ao conjunto de idades deste tipo de estruturas. O fato de se obterem idades estimadas mais consistentes com as expectativas através desta abordagem poderá indicar que o cálculo da taxa de dose de forma convencional não será o mais adequado para este tipo de contextos arqueológicos. No entanto, realce-se que esta abordagem utilizando o LOI representa o limite extremo dos efeitos que poderiam ser causados pelo material carbonatado e orgânico, e que na realidade esperava-se um efeito de forma semelhante porém mais moderado. Por outro lado, quando mesmo com esta abordagem algumas das idades continuam a ser sobrevalorizadas, confirma-se então que nestas amostras estamos verdadeiramente na presença de quartzo com elevados sinais residuais, o que se relaciona de outra forma com a presença de teores elevados em calcite, ou seja, com a acumulação rápida (colapso) de materiais carbonatados dentro da estrutura.

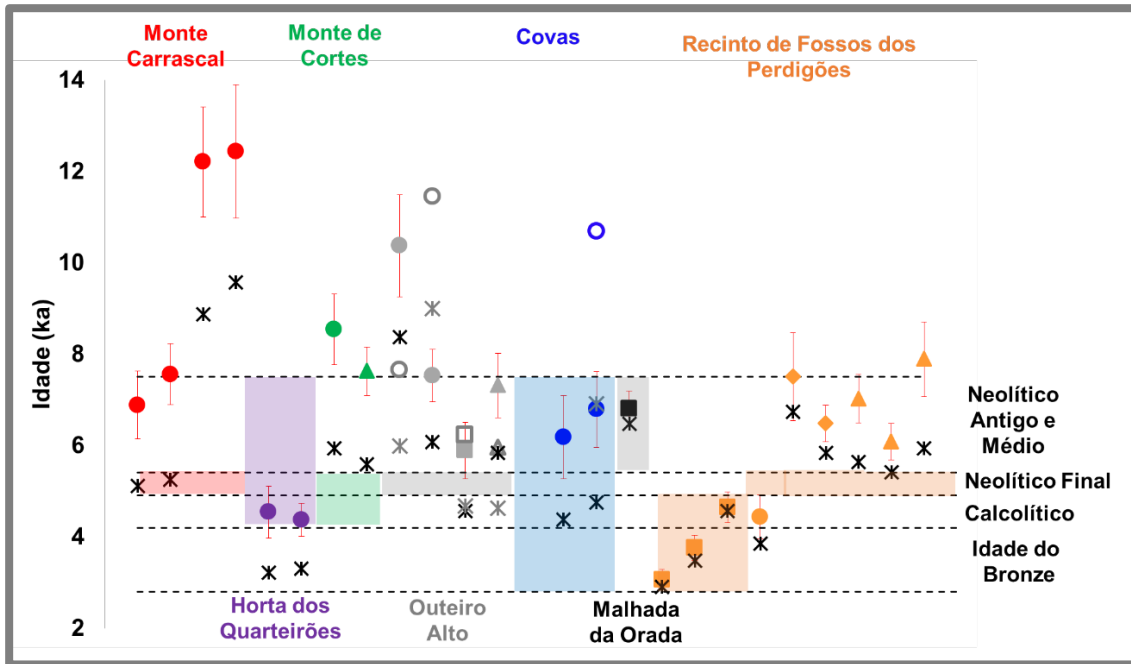


Figura 5.233 Idade de luminescência para as amostras recolhidas nas estruturas negativas a partir dos grãos de quartzo grosseiro (pontos a cheio) e dos grãos de quartzo finos (pontos vazios); e idades estimadas considerando a hipótese de remoção total da calcite e da matéria orgânica da amostra (asteriscos preto para as determinações com grãos grosseiros e cinzento para determinações com grãos finos), com indicação da idade esperada (atribuída tipologicamente e/ou por datação por radiocarbono) para cada uma das estruturas arqueológicas.

6 Conclusões

Nos últimos anos, e no âmbito da instalação das infraestruturas relacionadas com o impacto da construção da barragem do Alqueva, foram intervencionados vários sítios arqueológicos que, dada a sua arquitetura (estruturas escavadas no substrato geológico) e diferentes funcionalidades, apresentam um carácter inédito no que concerne à investigação arqueológica da região, o que coloca estes contextos como parte de um “Mundo Pré-Histórico negativo”. Neste sentido, foram colocadas novas questões quanto à natureza, à dinâmica de preenchimento, e à cronologia das estruturas negativas, particularmente pela escassez de artefactos e matéria orgânica (nomeadamente ossos), bem como pelo facto dos fenómenos naturais e antrópicos associados aos processos de acumulação e pós-deposicionais dos materiais poderem condicionar a sua interpretação cronoestratigráfica. Tendo em vista contribuir para a discussão destas problemáticas, este trabalho incluiu o estudo dos processos de formação e de alteração do registo arqueológico, utilizando conhecimentos, metodologias e ferramentas das Ciências da Terra (Geoarqueologia). Neste sentido, a abordagem efetuada neste trabalho incluiu estudos de granulometria, mineralogia, geoquímica (incluindo elementos traço), de comportamento e de datação por luminescência dos materiais de preenchimento de estruturas negativas, que contribuiu para a identificação e avaliação da integridade dos contextos e da proveniência dos materiais neles depositados, bem como para o balizamento cronológico dos eventos associados, tendo sido possível estabelecer diferenças quanto à dinâmica de preenchimento e sua relação com os contextos geológicos. Dentro das estruturas implantadas em formações carbonatadas (Monte Carrascal, Monte de Cortes, Covas, Outeiro Alto e Horta dos Quarteirões) verificou-se que o material de preenchimento tinha maioritariamente origem no solo local ou em material exógeno. Por outro lado, as estruturas escavadas em materiais de alteração (quer de granitos - Malhada da Orada, quer de dioritos e gabros associados - Recinto de fossos dos Perdigões) apontam para na sua maioria terem sido preenchidas com materiais decorrentes da alteração do substrato local, com excepção de um fosso nos Perdigões que aponta para materiais exógenos.

Este estudo realçou a importância de, na interpretação do registo arqueológico, contemplar as modificações relacionadas com fatores naturais, como a bioturbação, erosão, transporte, pedogénese, alteração química, e/ou com fatores antrópicos, como a remobilização dos solos por atividades agrícolas, ou por reescavação e reutilização dos espaços. Realce-se por exemplo o caso observado em Covas que aponta para fenómenos de bioturbação, ou mesmo as várias evidências de colúvião observadas nos diferentes sítios arqueológicos. Também outros factores foram considerados relevantes no estudo deste tipo de estruturas, nomeadamente os relacionados com a diferente natureza do substrato geológico, e o modo como este condiciona o comportamento dos elementos químicos, nomeadamente a sua disponibilidade para mobilização.

Com efeito os cinco sítios arqueológicos localizados em formações carbonatadas, tratam-se na generalidade de calcretos e materiais detríticos carbonatados, mas apresentam comportamentos mineralógicos, geoquímicos e dosimétricos distintos, que levaram inclusive a uma abordagem inicial neste trabalho relacionada com a sua classificação genética. As diferenças observadas na composição química ao nível dos teores em elementos maiores e do cálculo de índices químicos de calcificação e

alteração, bem como de elementos traço na amostra total, permitiram identificar três tipos de formações carbonatadas de acordo com a gênese: calcreto freático no Monte Carrascal; calcretos lacustres no Outeiro Alto, Covas, Monte de Cortes e Horta dos Quarteirões e formações de material detrítico grosseiro carbonatado na Horta dos Quarteirões. Estudos mais detalhados dos calcretos, nomeadamente nas frações granulométricas mais finas, contribuíram ainda para a distinção entre o grau de maturação destes materiais carbonatados. Entre os calcretos lacustres identificaram-se dois grupos: (i) calcretos formados em meios ricos em Mg (no Outeiro Alto, Horta dos Quarteirões e um dos níveis do perfil amostrados no Monte de Cortes) e (ii) calcretos formados em ambientes pobres em Mg (no Monte de Cortes e em Covas). Esta evidência traduz diferentes condições paleoambientais associadas a diferentes graus de maturação, verificando-se que a presença de Mg era mais expressiva nos calcretos mais maduros, o que também proporcionou condições favoráveis à formação de paligorskite. Pelo contrário, os calcretos mais jovens apresentam baixo teor em Mg, sendo evidente a maior proporção de material detrítico, com valores elevados de minerais e elementos químicos associados aos silicatos, e diferente associação mineralógica na fração argilosa, nomeadamente a presença de illite. Entre os calcretos lacustres estudados, tendo como base a alteração das associações mineralógicas da fracção argilosa e da proporção dos elementos químicos, observaram-se alterações nas condições paleoambientais, nomeadamente no caso dos perfis de Monte de Cortes e de Covas. Com efeito, no caso de Monte de Cortes observou-se que as condições mudaram de um ambiente quente e seco com períodos de chuva curtos e pobre em Mg, para um ambiente favorável a processos de ilitização. No caso do perfil de Covas verificou-se que inicialmente o clima deveria ter sido mais árido e pobre em Mg, tendo posteriormente aumentado a humidade e a disponibilidade de Mg. Foi apenas identificado um caso de contexto de calcreto freático (Monte Carrascal), que se distingue por apresentar maiores proporções de CaO, Sr, Ba e I, e uma razão de calcificação elevada, sendo um calcreto maduro. Realça-se ainda o facto de na fracção argilosa apenas se ter detectado esmectite, revelando um ambiente de formação com drenagem eficiente e pobre em Mg.

Para os materiais de alteração do granito foi possível comprovar as variações composicionais (químicas e mineralógicas) que ocorreram ao longo do perfil de alteração. Identificaram-se no perfil de alteração do granito evidências que apontam para a presença de barite num dos níveis intermédios, pelos teores elevados de Ba e S, elementos que poderão estar associados à formação do sulfato de bário. Sendo a apatite um dos minerais identificados nesta formação por estudos petrográficos anteriores, a diminuição de P da base para o topo deverá estar relacionada com a meteorização desde mineral e a mobilização deste elemento.

A definição deste tipo de indicador geoquímico associado a determinado material geológico, é relevante para o estudo de atribuição de proveniências por comparação com estudos de materiais existentes em registos arqueológicos regionais.

O estudo composicional dos materiais do substrato e solo, amostrados no Recinto de fossos dos Perdigões (dioritos e gabros associados), permitiram obter evidências para a presença de fenómenos de hidrotermalismo no local, traduzidas pela presença de calcite enriquecida em REE e As, e ainda pela presença de um filão de quartzo e anatase. Neste sentido propõe-se a seguinte explicação: a ação hidrotermal terá sido

responsável pela meteorização dos minerais primários na área (de escavação do fosso 8) em que se identificou o filão de quartzo e anatase (minerais mais resistentes); este mesmo fenómeno terá sido responsável pela mobilização de elementos como o Ca, as REE e o As que se depositaram a montante (na área de escavação do fosso 6) nomeadamente na forma de calcite. Neste sítio arqueológico foi também identificada a presença de materiais exógenos, com composição típica de granodioritos (existentes a nível regional), tendo sido um contributo adicional para a interpretação arqueológica existente.

Para além do estabelecimento de comportamentos geoquímicos na amostra total, particularmente baseados em elementos traço, também o estudo da fração argilosa, permitiu inferir sobre paleoambientes, a natureza e a proveniência dos materiais de preenchimento das estruturas negativas, tendo as REE sido particularmente úteis. Verificou-se por exemplo, que nas amostras com índices de calcificação mais elevados, as REE fixam-se preferencialmente na fração argilosa, que se deve à capacidade de fixação destes elementos nos minerais argilosos após a meteorização dos minerais primários, que terá sido mais intensa no grupo de calcretos amostrados no Monte Carrascal, Covas e Outeiro Alto. Nos sítios arqueológicos da Malhada da Orada, onde o substrato é granítico verifica-se a diminuição do teor em REE com a meteorização dos minerais primários, em especial da plagioclase, sendo posteriormente mobilizados e em alguns dos casos fixados na fração argilosa das amostras. No que concerne às amostras recolhidas no contexto de dioritos e gabros associados (Recinto de fossos dos Perdigões), de um modo geral, as REE parecem distribuir-se entre a plagioclase e também muito provavelmente a alanite (identificada em trabalhos anteriores com recurso a petrografia) verificando-se nestas amostras um maior fracionamento entre REE leves e pesadas.

Verificou-se ainda que, independentemente do substrato geológico, e da natureza dos materiais de preenchimento, os materiais representativos da geologia apresentam menores teores de P e Br que os materiais de preenchimento das estruturas, sendo indicadores de atividade humana nos materiais de preenchimento. Estes materiais apresentam ainda índices de alteração químicos e mineralógicos mais elevados, maior proporção de filossilicatos na amostra total e granulometrias mais finas. Foi assim possível, através da geoquímica, inferir sobre a influência de fatores antrópicos na dinâmica de preenchimento das estruturas, nomeadamente comprovando a existência de preenchimentos com materiais de origem local, ou de origem mista, ou ainda de origem alóctone que, em alguns casos apontam para uma seleção intencional de materiais mais plásticos, finos e/ou com características macroscópicas e funcionais distintas das apresentadas pelos materiais locais.

Os estudos de luminescência permitiram também inferir sobre a dinâmica de preenchimento das estruturas negativas, corroborando as informações da geoquímica, ou mesmo evidenciando aspectos cuja leitura só foi possível após esta abordagem metodológica, como por exemplo no caso de Covas em que só com as medidas de luminescência foi possível identificar duas fases de acumulação antrópica (já sugeridas pela interpretação arqueológica, mas de difícil delimitação).

Com base nas análises de perfil e nas tentativas de extrair diferentes frações granulométricas e mineralógicas dos materiais de preenchimento, verificou-se que para a maioria destes apenas a fração grosseira de quartzo mostrou quantidade e qualidade de sinal de luminescência útil para a datação.

Verificou-se que, para o conjunto de 25 amostras recolhidas para datação, 32 % das idades obtidas encontravam-se dentro do esperado do ponto de vista arqueológico, e para as restantes tal não se observou. Relativamente às datas obtidas dentro do esperado, refira-se que se encontram entre o Neolítico e a Idade do Bronze: Covas entre $6,2\pm 0,9$ ka e $6,8\pm 0,8$ ka; Horta dos Quarteirões entre $4,4\pm 0,4$ ka e $4,5\pm 0,6$ ka; Malhada da Orada $6,8\pm 0,4$ ka; Perdigões entre $3,1\pm 0,2$ ka e $4,6\pm 0,3$ ka (estrutura circular).

Outro aspeto importante a retirar deste trabalho relaciona-se com a diferença entre as idades de luminescência obtidas para os grãos de quartzo dos materiais de preenchimento, e as esperadas pela interpretação arqueológica para as respectivas estruturas. Para as amostras em que se registaram grandes diferenças entre a idade de luminescência e as expectativas dos trabalhos arqueológicos, verificou-se que estas ocorreram maioritariamente nas amostras ricas em calcite e/ou com evidências de grande contribuição de materiais geológicos. Para estes casos, a combinação dos resultados obtidos permite inferir hipóteses para essa diferença, que de um modo geral se relacionam com um ou mais dos seguintes aspetos: i) doses absorvidas sobrestimadas devido à influência da presença da calcite que impediu a remoção do sinal geológico ou incluiu grãos de quartzo mais antigos nos materiais de preenchimento da estrutura; ii) presença de materiais realmente mais antigos no preenchimento das estruturas negativas, cujo sinal referente à última exposição não foi removido durante o processo de deposição na estrutura negativa (processos de colmatação rápidos); iii) determinação da taxa de dose segundo a metodologia convencional que não está adaptada a contextos carbonatados; iv) datação de eventos distintos dentro da mesma estrutura; e v) fenómenos naturais de remobilização pós-deposicional (como a bioturbação).

Neste trabalho, contribuiu-se para o estudo da problemática de efetuar medidas de luminescência e determinar idades em materiais muito ricos em calcite. Efeitos de precipitação recente ou de variabilidade espacial da proporção de calcite, na envolvência dos materiais recolhidos nas estruturas negativas, podem conduzir a subestimação aparente da taxa de dose, o que condiciona o cálculo da idade de luminescência. Efetivamente, o teor em calcite promove também uma maior retenção de água nos materiais, sendo este um fator influente na diminuição da taxa de dose.

No intuito de contribuir para esta discussão, procedeu-se neste trabalho ao desenvolvimento e aplicação de uma nova abordagem metodológica, onde se presumiu a hipótese extrema, considerando a ausência total de calcite do meio, bem como da matéria orgânica. Esta estimativa teve como base a determinação do teor em carbonatos e matéria orgânica, através das perdas por ignição, permitindo especular sobre o teor máximo efectivo em radionuclídeos em cada amostra. A aplicação desta hipótese extrema, com o cálculo de novas taxas de dose, permitiu verificar os casos em que necessariamente foram observados sinais residuais no OSL, e permitiu em 80% das amostras obter idades semelhantes ou mais próximas do esperado. Por outro lado, os materiais ricos em calcite recolhidos no Monte Carrascal, no Monte de Cortes e na Horta

dos Quarteirões apresentam uma boa correlação entre o teor de calcite na amostra total e as doses absorvidas pela fração enriquecida em quartzo grosseiro, facto que não se verifica nos materiais de perfil recolhidos no Outeiro Alto e em Covas, onde a proporção de calcite não é tão elevada, fruto da contribuição de material exógeno de diferente natureza para o interior da estrutura.

Atendendo ao elevado número de estruturas implantadas em contextos carbonatados, onde se verificaram diferentes comportamentos mineralógicos, geoquímicos e de luminescência, considerou-se ainda relevante o seu estudo detalhado, e sem dúvida os resultados obtidos com os estudos em perfil dos materiais de preenchimento e dos materiais geológicos, permitiu perceber melhor a importância do papel da calcite.

A abordagem geoarqueológica usada neste trabalho, particularmente com a integração de estudos geoquímicos, mineralógicos e de luminescência aplicados ao estudo de estruturas negativas, constituiu um contributo inédito para o conhecimento da composição e comportamento de registos arqueológicos sujeitos a processos de meteorização naturais e antropogénicos, promovendo a valorização do património natural e cultural da área circundante à barragem do Alqueva, bem como contribuir com novos dados para a reconstrução paleoambiental a nível regional.

Como perspetivas futuras, pretende-se que a abordagem utilizada para os sítios arqueológicos em estudo possa ser alargada a outras estruturas negativas da região, quer em contextos geológicos similares, quer de outra natureza, bem como, a estruturas similares na Estremadura, atribuídas às mesmas cronologias. Pretende-se também aplicar esta abordagem aos parques artefactos recolhidos nestas estruturas, por forma a incrementar os dados cronológicos e composicionais, tornando esta abordagem mais rica e consistente. Deste modo, valida-se a abordagem geoquímica, mineralógica e de luminescência para melhor contribuir para definir processos importantes para a interpretação arqueológica: de preenchimento deste tipo de estruturas, paleoambientes, cronologias e padrões de comportamento de amostras geológicas de diferente natureza sujeitas a processos de meteorização naturais e antropogénicos, complementando e enriquecendo as informações obtidas pelos trabalhos estritamente do foro arqueológico.

Ainda no campo da datação por luminescência, pretende-se no futuro explorar a hipótese proposta para a determinação da taxa de dose em contextos carbonatados, considerando a ausência total de calcite e matéria orgânica nas amostras, bem como equacionar a sua aplicação a outros contextos, em diferentes condições e teores de calcite, com idades bem conhecidas, no sentido de a validar. No que à dose absorvida diz respeito, propõe-se explorar protocolos de luminescência aplicados tanto aos grãos de quartzo, como a outras frações mineralógicas e granulométricas, sempre que possível, por forma a obter idades a partir de diferentes mineralogias/granulometrias de grão e tornar os resultados de maior confiança. Esta abordagem poderá também permitir um maior conhecimento do comportamento luminescente de cada fração. Uma outra hipótese a explorar é a aplicação de medições em grãos individuais, que poderá esclarecer questões de dispersão elevada das doses absorvidas. Propõe-se ainda explorar as questões da diferente sensibilidade ao OSL do quartzo proveniente de contextos geológicos distintos.

Este trabalho suscitou ainda o interesse pelo estudo de formações carbonatadas características, como os calcretos. Deste modo, no que concerne ao contributo para a investigação de calcretos, perspectiva-se intensificar o estudo e alargá-lo a nível regional e nacional, através da geoquímica, particularmente de elementos traço, e da mineralogia, aplicadas a diferentes frações granulométricas, visando a classificação segundo critérios paleoambientais para a sua génese e também usando índices químicos para avaliar o grau de maturação de calcretos.

7 Bibliografia

- Abreu, M. M., Prudêncio, M. I., Marques, M. M., Gouveia, M. A., Vieira, M. C., Cabral, J. M. P. (1989)** Mineralogia e génese de formações carbonatadas superficiais no Alentejo. Actas da segunda reunião do Quaternário Ibérico, 753-756
- Achyuthan, H., Shankar, N., Braidia, M., Ahmed, S. M. (2012)** Geochemistry of calcretes (calci paleosoils and hardpan), Coimbatore, Southern India: Formation and Paleoenvironment. *Quaternary International*, 265, 155–169.
- Adamiec, G., Aitken, M.J., (1998)** Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL* 16, 37-49.
- Aitken, M.J. (1985)** Thermoluminescence dating. London, Academic Press.
- Aitken, M. J. (1999)** Archaeological dating using physical phenomena. *Rep. Prog. Phys.* 62, 1333 – 1376.
- Aldana, P. (2000)** Un modelo de gestión patrimonial para el sitio prehistórico de “Os Perdigões” (Reguengos de Monsaraz). *ERA Arqueologia*. N.º 2. Lisboa: ERA Arqueologia/Ed. Colibri, 180-188.
- Alonso-Zarza, A. M (2003)** Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60, 261–298.
- Alonso-Zarza, A. M., Tanner, L. (Eds) (2010a)**. Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes. *Developments in Sedimentology*, 61, Elsevier.
- Alonso-Zarza, A. M., Tanner, L. (Eds) (2010b)** Carbonates in Continental Settings: Geochemistry, Diagenesis and Applications. *Developments in sedimentology*, 62, Elsevier.
- AlShuaibi, A. A., Khalaf, F. I. (2011)** Development and lithogenesis of the palustrine and calcrete deposits of the Dibdibba Alluvial Fan, *Kuwait Journal of Asian Earth Sciences* 42, 423–439.
- Alves, C. O. (1971)** A Bacia de Marmelar: aplicação de métodos sedimentológicos ao estudo da evolução do relevo Finisterra: *Revista Portuguesa de Geografia*. - Vol. VI, n.º 12, 218-245.
- Angelucci, D. (2003)** A partir da terra: a contribuição da Geoarqueologia in J. Mateus, M. Moreno-garcia (editado por), *Paleoecologia Humana e Arqueociências: um programa multidisciplinar para a Arqueologia sob a tutela da cultura*, Capítulo 2, Lisboa: IPA, p. 35-84.
- Antunes, A. (2006)** Rochas Granitóides da Zona de Ossa Morena: magmatismo, geodinâmica e reconstituição geohistórica. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Antunes, A., Santos, J.F., Azevedo, M.R., Mendes, M.H., Ribeiro, S. (2009)**. Novos dados de petrografia, geoquímica e geocronologia do plutonito de Reguengos de Monsaraz (Zona de Ossa Morena). *Proc. VII Congreso Ibérico de Geoquímica / X Congreso Nacional de Geoquímica*, Soria, 17: 788-798.
- Antunes, A., Santos, J.F. & Azevedo, M.R. (2010a)**. A variabilidade química da plagioclase no plutonito de Reguengos de Monsaraz (OMZ): testemunhos de mistura de magmas. *Memórias nº14. X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XVI Semana da Geoquímica*, Porto, 71.
- Antunes, A., Santos, J.F., Azevedo, M.R., Mendes, M.H., Ribeiro, S. (2010b)** New petrographic, geochemical and geochronological data for the Reguengos de Monsaraz pluton (Ossa Morena Zone, SW Iberian Massif, Portugal), *Estudios Geológicos*, 66 (1), 25-34.
- Antunes, A. C., Coroado, J., Sequeira, M. C., Bolton, J., Rocha, F. (2013)** Characterization of lime mortars from an 18th century river Tagus quay (Lisbon, Portugal). *International journal of conservation science*, Volume 4, 515-524.
- Araújo, A., Marques, J. E. (2002)** Geologia da região do Alqueva: estruturas associadas à orogenia Varisca e a sua reactivação posterior, em regime frágil. *Dams: Impacts and Hazards-Proceedings, Sponsors*, 48-55.
- Araújo, A., Piçarra Almeida, J., Borrego, J., Pedro, J., Oliveira, T. (2006)** As regiões central e sul da Zona Ossa-Morena in *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Universidade de Évora, 151-172.
- Araújo, M F., Silva, R. J., Senna-Martinez, J. C., Valério, P., Figueiredo, E., Soares, A. M. M. (2013)** Investigação em Arqueometalurgia em Portugal. Resultados recentes e perspectivas futuras de uma equipa multidisciplinar. *Al-Madan (on line)*. 17(2), 69-78.

- Armenteros**, I., Bustillo, M. A. A., Blanco, J. A. (1995) Pedogenic and groundwater processes in a closed Miocene basin (northern Spain). *Sedimentary Geology* 99, 17-36
- Asiedu**, D. K., Suzuki, S., Nogami, K., Shibata, T. (2000) Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 34, 155-173.
- Atabey**, E., Atabey, N., Kara, H. (1998) Sedimentology of caliche (calcrete) occurrences of the Kirşehir region. *Mineral Res. Expl. Bull.*, 120, 69-80.
- Aubert**, D., Stille, P., Probst, A. (2001) REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Volume 65, Issue 3, 387– 406.
- Bachman**, G.O., Machette, M. N. (1997) Calcic soils and calcretes in the southwestern United States, Open-File Report 77-794 United States Department of the interior Geological Survey.
- Bahlburg**, H., Dobrzinski, N. (2011) A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions in: Arnaud, E., Halverson, G.P. & Shields, G.A., (eds.), *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. Chapter 6 Geological Society Memoir nº 36, London.
- Bailiff**, I. K., French, C. A., Scarre, C.J. (2014) Application of luminescence dating and geomorphological analysis to the study of landscape evolution, settlement and climate change on the Channel Island of Herm. *Journal of Archaeological Science*, 41, 890 - 903.
- Bastos**, B. I. F. (2013). Potential of lipid analysis on prehistoric Portuguese pottery, Dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Sciences by Advance Study in Archaeological Sciences, Bradford University, UK.
- Barros e Carvalho**, A., Galopim de Carvalho, A. M. (1970) Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000, Lisboa, Notícia explicativa da Folha 43-B Moura.
- Barker**, S. L. L. (2007). Dynamics of fluid flow and fluid chemistry during crustal shortening. PhD thesis, Australian National University.
- Bauluz**, B., Mayayo, M. J., Fernandez-Nieto, C., Lopez, J. M. G. (2000) Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting. *Chemical Geology*, 168, 135–150.
- Becker**, H. (1999) Ultra high resolution caesium magnetometry at Monte da Ponte, Concelho Evora, Portugal 1994-1996. *Arbeitsh. Bayer. Landesamt f. Denkmalpfl.*, 108, 123-126.
- Beckhoff**, B., Kanngiefer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H. (2006) *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*, Springer.
- Bell**, W.T. (1979) Attenuation factors for the absorbed radiation dose in quartz inclusions for thermoluminescence dating. *Ancient TL* 8, 2-13.
- Bell**, W.T., Zimmerman, D.W (1978) Effect of HF acid etching on morphology of quartz inclusions for thermoluminescence dating. *Archaeometry* 20, 63-65.
- Berraquero**, J. M. (2011) Relatório dos Trabalhos Arqueológicos. Minimização de Impactes sobre o Património Cultural decorrentes da execução do Bloco de Rega de Brinches (Fase de Obra) Sub-bloco da Magoita C4 Monte de Cortes 1. ERA-Arqueologia, S.A.
- Biscaye**, P. E. (1965) Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76: 803-832.
- Bøtter-Jensen**, L., Bulur, E., Duller, G.A.T., Murray, A.S., (2000) Advances in luminescence instrument systems. *Radiation Measurements* 32, 523-528.
- Brindley**, G.W. e Brown G. (1980). *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. Londres, Mineral. Soc.
- Brum da Silveira**, A., Cabral, J., Perea, H., Ribeiro, A. (2009) Evidence for coupled reverse and normal active faulting in W Iberia The Vidigueira–Moura and Alqueva faults (SE Portugal). *Tectonophysics* 474, 184–199.

- Buggle, B., Glaser, B., Hambach, U., Gerasimenko, N., Marković, S. (2011)** An evaluation of geochemical weathering indices in loesspaleosol studies. *Quaternary International*, 240, 12 – 21.
- Burbidge, C. I. (2012)** Facets of Luminescence for Dating. *Spectroscopy Letters: An International Journal for Rapid Communication*. 45:2, 118-126.
- Burbidge, C. I., Duller, G. A. T. (2003)** Combined gamma and beta dosimetry, using Al₂O₃:C, for in situ measurements on a sequence of archaeological deposits. *Radiation Measurements*, 37, 285 – 291.
- Burbidge, C.I., Sanderson, D.C.W., Housley, R.A. e Allsworth Jones, P. (2007)** Survey of Palaeolithic sites by luminescence profiling, a case study from Eastern Europe. *Quaternary Geochronology* 2, 296-302.
- Burbidge, C.I., Dias, M.I., Prudêncio, M.I., Rebêlo, L.P., Cardoso G.O., Brito, P. (2009)** Internal alfa activity: localisation, compositional associations and effects on OSL signals in quartz approaching beta saturation. *Radiation Measurements* 44, 494-500.
- Burbidge, C.I., Rodrigues, A.L., Dias, M.I., Prudêncio, M.I., Cardoso, G. (2010)** Optimization of preparation and measurement protocols for luminescence dating of small samples from a suite of porcelains and faiences. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, vol. 10, 53-60.
- Burbidge, C. I., Cardoso, G., Dias, M.I., Prudêncio, M. I., Valera, A. C., Romero, J. M., Franco, D., Marques, R. (2012)** OSL dating at Perdigões enclosure complex (Reguengos de Monsaraz, Portugal) 2nd Luminescence in Archaeology International Symposium 5th - 7th of September, 2012. IST/ITN, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Burbidge, C. I., Trindade, M. J., Dias, M. I., Oosterbeek, L., Scarre, C., Rosina, P., Cruz, A., Cura, S., Cura, P., Caron, L., Prudêncio, M. I., Cardoso, G. J. O., Franco, D., Marques, M., Gomes, H. (2014)** Luminescence dating and associated analyses in transition landscapes of the Alto Ribatejo, central Portugal. *Quaternary Geochronology*, 20, 65-77.
- Cabaço, N. (2009)**. Restos faunísticos em contexto funerário nos Perdigões, Reguengos de Monsaraz (Sepulcros 1 e 2). Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar.
- Cabaço, N. (2010)**. Restos faunísticos em contextos do Neolítico Final do Sector Q do recinto dos Perdigões (Reguengos de Monsaraz). *Apontamentos de Arqueologia e Património*. Nº 5, 43-48.
- Cabaço, N. (2012)**. Restos faunísticos em contexto funerário nos Perdigões, Reguengos de Monsaraz (Sepulcros 1 e 2). Cascalheira, J.; Gonçalves, C. Eds. – *Actas das IV Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica – JIA 2011: Faro, 11 a 14 de Maio de 2011*. Promontória Monográfica. N.º 16, vol. 1, 259-267.
- Cabral, J. M. P., Gouveia, M. A. & Prudêncio, M. I. (1979)** Determinação de terras raras e doutros oligoelementos em rochas por activação com neutrões térmicos. *Separata do Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências*, 16 (1), 205-218.
- Calado, A. (2008)** Analyse chimique, minéralogique et expérience de datation sur un ensemble de céramiques chalcolithiques en provenance de la sépulture n°2 de Perdigões (Reguengos de Monsaraz), Alentejo, Portugal. *Rapport de Stage pour l'obtention du Master Archéomatériaux, Parcours Recherche Université de Bordeaux 3 - CRP2A*.
- Cardoso, G. O. (2009)**. *Cronologias Absolutas para a Península Ibérica: Sítios Pré-Históricos do Alto Ribatejo, Portugal*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Tomar / Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Cardoso, G. O., Oosterbeek, L., Dias, M. I. (2012)** Construção de uma base de dados de datações de sítios arqueológicos da Península Ibérica: contribuição para o estudo de sequências cronológicas. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*, vol 19, 305 – 310.
- Cardoso, I., Macedo, M. F., Vermeulen, F., Corsi, C., Silva, A. S., Rosado, L., Candeias, A., Mirão, J. (2014)** A multidisciplinary approach to the study of Archaeological mortars from the town of ammaia In the roman province of lusitania (Portugal). *Archaeometry* 56 (1), 1 – 24.

- Cardoso, J. L. (1996).** Geoarqueologia, fundamentos e métodos – sua aplicação em Portugal. *Almadam*, 11ª série, nº 5, 70-77.
- Caritat, P., Hutcheon, I., Walshe, J. L. (1993)** Chlorite geothermometry: a review. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 41, No. 2, 219-239.
- Carvalho, A.F. (2013)**, Análise de isótopos estáveis de quatro indivíduos do Sepulcro 1 da Necrópole de Hipogeus da Sobreira de Cima (Vidigueira, Beja): primeiros resultados paleodietéticos para o Neolítico do interior Alentejano. A.C. Valera ed. *Sobreira de Cima. Necrópole de hipogeus do Neolítico (Vidigueira, Beja)*, Era Monográfica, 1, Lisboa, NIA, 109-112.
- Carvalho, A.F., Petche, Y. F. (2013)** Stable isotope evidence of Neolithic palaeodiets in the coastal regions of Southern Portugal. *Journal of Island & Coastal Archaeology*, 8, 361–383
- Carvalho, A.F., Gonçalves, D., Granja, R., Petchey, F. (2012)** Algar do Bom Santo: a Middle Neolithic necropolis in Portuguese Estremadura. Gibaja, J.F.; Carvalho, A.F.; Chambon, P. eds. *Funerary practices in the Iberian Peninsula from the Mesolithic to the Chalcolithic*, Oxford, Archaeopress (British Archaeological Reports - International Series; 2417), 77-90.
- Carvalhosa, A., Zbyzewski, G., (1991).** Notícia Explicativa da Folha 40-B (Reguengos de Monsaraz) da Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Chada, V. G. R., Hausner, D. B., Strongin, D. R., Rouff, A. A., Reeder, R. J. (2005)** Divalent Cd and Pb uptake on calcite {101⁻4} cleavage faces: An XPS and AFM study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 288, 350–360.
- Che, V. B., Fontijn, K., Ernst, G. G. J., Kervyn, M., Elburg, M., Ranst, E. V., Suh, C. E. (2012)** Evaluating the degree of weathering in landslide-prone soils in the humid tropics: The case of Limbe, SW Cameroon. *Geoderma*, 160, 378 – 389.
- Chen, X. Y., Lintern, M.J., Roach, I.C. (2002)** Calcrete: characteristics, distribution and use in mineral exploration. Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploration. CSIRO Exploration and Mining, Kensington, Western Australia 6151.
- Churchman, G.J., Lowe, D.J. (2012)** Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils. In: Huang, P.M.; Li, Y; Sumner, M.E. (editors) "Handbook of Soil Sciences. 2nd edition. Vol. 1: Properties and Processes". CRC Press (Taylor & Francis), Boca Raton, FL, 20.1-20.72.
- Coelho, M. (2008).** A fauna malacológica proveniente do Sector I do recinto calcolítico dos Perdigoões. *Apontamentos de Arqueologia e Património*, NIA-ERA, N.º 3, 35-40.
- Compton, J.S., White, R. A., Smith, M. (2003)** Rare earth element behavior in soils and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape, South Africa. *Chemical Geology*: 201, 239 – 255.
- Corrado, J., Gomes, C. (2005).** Physico-chemical characterization of ceramic glazed wall tiles, dated of the 17th century, from the 'Convento de Cristo', in Tomar, Portugal, in *Understanding People Through Their Pottery. Proceedings of the 7th European Meeting of Ancient Ceramics*, IPA, Lisboa, 33 – 39.
- Corrado, J., Marques, J., Gomes, C., Rocha, F. (2005).** Propiedades cerâmicas de las arcillas de la cantera de Asseiceira (Tomar, Portugal). *Mater construcc*, vol 55, nº 279, 5 – 16.
- Corrado, J. Ferraz, E., Gomes, C. F., Rocha, F. (2010)** Clays from Vila Nova da Rainha (Portugal): appraisal of their relevant properties in order to be used in construction ceramics. *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 7, No. 2 (158), 189–200.
- Corrado, J., Ricardo Triães, Cecília Gil, Eduardo Ferraz, Fernando Rocha, (2013).** "Estudos para a Conservação das Esculturas Monumentais em Terracota do Mosteiro de Alcobaça: Projecto Tacelo", in José Albuquerque Carreiras (ed.), *Mosteiros Cistercienses. História, Arte, Espiritualidade e Património*, vol. 1, Alcobaça, Jorlis, 105-118.
- Cordier, S., Frechen, M., Tsukamoto, S. (2010)** Methodological aspects on luminescence dating of fluvial sands from the Moselle basin, Luxembourg. *Geochronometria*, 35, 67-74
- Costa, C. (2010)** Os restos faunísticos de animais vertebrados do Sector I dos Perdigoões (fossas e fossos 3 e 4). *Apontamentos de Arqueologia e Património*, NIA-ERA, N-06, 53-74.

- Costa, C. (2013).** Tafonomia em contexto pré-histórico. A zooarqueologia como recurso para a compreensão das "estruturas em negativo" da Pré-História Recente, Dissertação de doutoramento apresentada à Universidade do Algarve.
- Collins, M.E e Shapiro, G, (1987).** Compactation of human influenced and natural soil et the San Luis. Archeological Site. Florida. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.51, 171-176.
- Cunha, P. P., Pais, P., Legoinha, P, (2009).** Evolução geológica de Portugal continental durante o Cenozóico - sedimentação aluvial e marinha numa margem continental passiva (Ibéria ocidental) 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico.
- Danielson, R.; Mendes, P.M. (2013).** Pollen analysis of Late Neolithic ditch deposits from the Perdigões archaeological site. Apontamentos de Arqueologia e Património. NIA-ERA. N.º 9, 13-20.
- Daoudi, L., Rocha, F., Ouajhain, B., Dinis, J, L. Chafiki, D., Callapez, P. (2008)** Palaeoenvironmental significance of clay minerals in Upper Cenomanian–Turonian sediments of the Western High Atlas Basin (Morocco). *Clay Minerals*, 43, 615–630.
- Dias, J. A. (2004).** A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (versão electrónica preliminar). Universidade de Faro, 84 (http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/e_b_Sedim.html).
- Dias, M. I. (2008).** Estudo composicional da matéria envolvente aos geométricos da necrópole neolítica da Sobreira de Cima (Vidigueira). Apontamentos de Arqueologia e Património, 1, Lisboa, NIA / ERA Arqueologia S.A., p. 17-19.
- Dias, M. I. (2013).** Geochemistry of Clays of Surficial Materials from the Paleozoic and Cenozoic of Reguengos de Monsaraz Region, Ossa Morena Zone. In: *Advances in Geochemical Research*. Chapter 7. Editor: J. Sanjurjo. Series: *Geology and Mineralogy Research Developments*. Earth Sciences in the 21st Century. ISBN: 978-1-62618-245-5. Nova Science Publishers, Inc.139-154.
- Dias, M. I., Prudêncio, M. I. (2007)** Neutron activation analysis of archaeological materials: an overview of the ITN NAA Laboratory, Portugal. *Archaeometry*, 49, 381-391.
- Dias, M.I., Prudêncio, M.I., Valera, A.C. Sequeira Braga, M.A., Gouveia, M.A. (2002).** Provenance and Technology of Pre-Historic Pottery From Fornos de Algodres (Portugal): The Fraga da Pena archaeological site. *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics*. Edited by V. Kilikoglou, A. Hein, Y. Manniatis, British Archaeological Reports, International Series 1011, 253-264.
- Dias, M. I., Albergaria, J., Jorge, A., Ramos, A.C., Melro, S., Prudêncio, M.I., Rocha, F. (2003a).** Ceramic production in Monte da Pata and Castelo das Juntas Late Iron Age archaeological sites (Guadiana Basin, Southern Portugal): some archaeological result, 7th European Meeting on Ancient Ceramics, Lisboa, Portugal.
- Dias, M. I., Gomes, S., Brazuna, S., Prudêncio, M.I., Rocha, F. (2003b).** Ceramic productions of Xerez de Baixo in the right margin of Guadiana River, Portugal, 7th European Meeting on Ancient Ceramics, Lisboa, Portugal.
- Dias, M. I., Valera, A. C, Prudêncio, M. I., Rocha, F. (2003c)** .Ceramic productions during the 3rd – early 2nd millennium B.C. in thr left bank of the Guadiana river, Portugal, 7th European Meeting on Ancient Ceramics, Lisboa, Portugal.
- Dias, M. I., Rocha, F., Prudêncio, M. I. (2003d).** Clay materials exploitation in the Alqueva dam region (Portugal) in ancient times, Euroclay, Modena, Italy.
- Dias, M.I., Valera, A.C., Lago, M., Gouveia, M.A. (2005a).** Composition, Technology and functional features of Chalcolithic pottery from Perdigões, Reguengos de Monsaraz (Portugal). *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies*, Vol. 3, Amsterdam, Netherlands, 161-164.
- Dias, M.I., Prudêncio, M.I., Rocha, F. (2005b).** Geoquímica e mineralogia de matérias-primas não metálicas: aplicação a estudos de cerâmicas arqueológicas na área da barragem do Alqueva, Portugal. *Actas do XIV Semana de Geoquímica e VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*. 289-292.

- Dias**, M.I., Valera, A.C., Lago, M., Prudêncio, M. I. (2007) Proveniência e tecnologia de produção de cerâmicas nos Perdigões. *Arqueologia e história*, N.º 2, 2ª série, 117-12.
- Dias**, M.I., Valera, A.C., Lago, M., Prudêncio, M.I. (2008a) Proveniência e tecnologia de produção de cerâmicas nos Perdigões. *Vipasca: Actas do III Encontro de Arqueologia do SW (Aljustrel, 2006)*. II série, n.º 2. 117-121.
- Dias**, M.I., Prudêncio, M.I., Sanjurjo Sánchez, J.; Cardoso, G. O., Franco, D. (2008b). Datação por luminescência de sepulcros artificiais da necrópole pre-histórica da Sobreira da Cima (Vidigueira). *Resultados preliminares. Apontamentos de Arqueologia e Património*, 2:31-40.
- Dias**, M. I., Prudêncio, M. I., Gouveia, M. A., Trindade, M. J., Marques, R., Franco, D., Raposo, J., Fabião, C.S., Guerra, A. (2010a). Chemical tracers of Lusitanian amphorae kilns from the Tagus estuary (Portugal). *Journal of Archeological Science*, 37, 784-798.
- Dias**, M. I., Prudêncio, M.I., Trindade, M.J., Valera, A.C. (2012). Towards a Temporality Approach in Perdigões, Portugal: Chemical and Mineralogical Composition of Neolithic and Chalcolithic Pottery and Raw Materials. *Revista De La Sociedad Española De Mineralogía*. Macla, nº 16, Junio'12, 28-30.
- Dias**, M.I., Valera, A.C., Prudêncio, M.I., Rocha, F. (2013a) Tecnologias de produção cerâmica e exploração de matérias-primas nos Povoados do Moinho de Valadares 1 e Monte do Tosco 1. In António Valera coord. *As Sociedades Agro-pastoris na margem esquerda do Guadiana (2ª metade do IV aos inícios do II milénio AC)*. *Memórias D'Odiana-2ª série*. Volume 6. Cap. 8.2. EDIA. *Estudos Arqueológicos do Alqueva*, 189- 203.
- Dias**, M.I., Prudêncio, M.I., Rocha, F., Ramos, A.C., Jorge, A., Albergaria, J. (2013b) Produção de cerâmicas do Monte da Pata 1 e do Castelo das Juntas: resultados de um estudo arqueométrico. In J. Albergaria & S. Melro coord. *Ocupação Proto-Histórica na margem esquerda do Guadiana*. *Memórias D'Odiana-2ª série*. Volume 76. Cap. 5. EDIA. *Estudos Arqueológicos do Alqueva*, 247-265.
- Dias**, M.I., Prudêncio, M.I., Rocha, F., Brazuna, S., Gomes, S.J. (2013ac) Produções cerâmicas do Xerez de Baixo 13: resultados de um estudo arqueométrico. In S. Gomes, S. Brazuna e M. Macedo coord. *A ocupação romana na bacia de Alqueva: da ponte de Ajuda à ponte velha de Mourão. Uma proposta de reconstrução da Paisagem*. *Memórias d'Odiana, 2ª série*, volume 8, Cap. 4.10. EDIA. *Estudos Arqueológicos do Alqueva*, 275-284.
- Dill**, H. G. (2010). The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews* 100, 1–420.
- Dixon**, J. C. (2010) Origin of calcrete and dolocrete in the carbonate mantle of St Vincent Basin, southern South Australia. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*, 35, 109 – 122.
- Dhir**, R.P., Tandon, S. K., Sareen, B. K., Ramesh, R., Rao, T. K. G., Kailath, A. J., Sharma, N. (2004) Calcretes in the Thar desert: Genesis, chronology and palaeoenvironment. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)*, 113, No. 3, 473-515.
- Duarte**, C.; Evangelista, L.; Lago, M. Valente, M.J. E Valera, A.C. (2006). Animal remains in Chalcolithic funerary contexts in Portugal: the case of Perdigões (Reguengos de Monsaraz, Alentejo). *Actas do 4º Congresso de Arqueologia Peninsular*. Faro:Universidade do Algarve. 47-55.
- Duarte**, I. M. R. (2002). Solos residuais de rochas granitoides a sul do Tejo. Características geológicas e geotécnicas. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Doutor.
- Duarte**, I. M. R., Ladeira F. L., Gomes, C.F.S. (2004) Influencia das propriedades químicas e mineralógicas no comportamento geotécnico de dois solos residuais graníticos. IX Congresso Nacional de Geotecnia. I, 299 – 238.
- Durand**, N., Gunnell, Y., Curmi, P., Ahmand, S. M. (2006). Pathways of calcrete development on weathered silicate rocks in Tamil Nadu, India: Mineralogy, chemistry and paleoenvironmental implications. *Sedimentary Geology*, 192, 1–18.
- Echallier**, J.C. (1981) L'etude des mineraux argileux par diffraction des rayons X. *Physio-Geo* 1, 43-58.

- Eren, M., Kadir, S., Hatipoglu, Z., Gul, M. (2008).** Quaternary Calcrete Development in the Mersin Area, Southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 763–784.
- Erramli, H. (1986).** Développement des techniques de dosimétrie appliquées a la datation par thermoluminescence. PhD Thesis. University Blaise Pascal of Clermont II. France.
- Evangelista, L. (2003).** O complexo arqueológico dos Perdigões e a construção da paisagem em Reguengos de Monsaraz. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Evangelista, L. S., Jacinto, M.J. (2008).** Deposições intencionais ou naturais? Análise estratigráfica e material do fosso exterior do recinto dos Perdigões. *Vipasca: Actas do III Encontro de Arqueologia do SW (Aljustrel, 2006)*. II série, n.º 2, 122-127.
- Evangelista, L., Silva, A.M. (2013).** TOMB 3 - Perdigões Prehistoric enclosure (Reguengos de Monsaraz, Portugal): first anthropological results. *Apontamentos de Arqueologia e Património, NIA-ERA, N.º 9*, 47-54.
- Feathers, J. K. (1997)** The Application of Luminescence Dating in American Archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory*, Vol. 4 (1), 1 – 66.
- Feathers, J. K. (2003)** Use of luminescence dating in archaeology. *Meas. Sci. Technol.*, 14, 1493 – 1509.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., (1995).** Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921– 924.
- Ferreira, A., Brazuna, S., Nunes, T. (2009a)** O sítio Neolítico de Malhada da Orada 2 (Serpa): primeiros resultados. *Apontamentos de Arqueologia e Património vol.4*, 7-9 Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA.
- Ferreira, A., Brazuna, S., Nunes, T. (2009b)** Relatório dos Trabalhos Arqueológicos. Minimização de Impactes sobre o Património Cultural decorrentes da execução da Conduta Elevatória de Pedrogão, da Central Hidroelétrica de Serpa e Estação Elevatória de Torre do Lóbio. Malhada da Orada 2, Fase 3. ERA-Arqueologia, S.A.
- Feng, J. L., Hu, Z. G., Ju, J. T., Zhu, L. P. (2010)** Variations in trace element (including rare earth element) concentrations with grain sizes in loess and their implications for tracing the provenance of eolian deposits. *Quaternary International*, 236, 116 – 126.
- Filipe, V. (2009)** Relatório Preliminar dos Trabalhos Arqueológicos Minimização de Impactes sobre o Património Cultural decorrentes da execução do Bloco de Rega de Brinches (Fase de Obra) Reservatório de Brinches Sul Outeiro Alto 2 – Fase 2 Núcleo A. ERA-Arqueologia, S.A.
- Fitzsimmons, K. E., (2011).** An assessment of the luminescence sensitivity of Australian quartz with respect to sediment history. *Geochronometria* 38 (3), 199-208.
- Fleming, S.J. (1970)** Thermoluminescence dating: refinement of the quartz inclusion method. *Archaeometry* 12, 133-145.
- Fuchs, M., Lang, A. (2009)** Luminescence dating of hillslope deposits - A review. *Geomorphology* 109, 17 – 26.
- Galán, E., Singer, A. (2011)** (eds) *Developments in Palygorskite-Sepiolite Research: A New Outlook on these Nanomaterials*. *Developments in clay science* 3, Elsevier.
- Ghavami-Riabi, R., Theart, H.F.J. (2011).** Investigation of blind massive sulphide deposit signatures in the calcrete layers as a geochemical barrier: A case study of Areachap, Kantienpan and Copperton deposits. *Journal of Mining & Environment*, 2, 86-101.
- Ghosh, S., Sarkar, S. (2010)** Geochemistry of Permo-Triassic mudstone of the Satpura Gondwana basin, central India: Clues for provenance. *Chemical Geology*, 277, 78 – 100.
- Godinho, R. (2008).** Deposições funerárias em fossa nos Perdigões: dados antropológicos do Sector I. *Apontamentos de Arqueologia e Património, NIA-ERA, N.º 3*, 29-34.
- Goldberg, P., Macphail, R. I. (2006).** *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Blackwell Publishing

- Gomes, V. S. (1994).** Menires e cromeleques no complexo cultural megalítico português – trabalhos recentes e estado da questão. Actas do seminário “O megalitismo no centro de Portugal”, Viseu, 317-342.
- Gomes, C. F. (1988).** Argilas – o que são e para que servem. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- Gomes, C. (2002).** Argilas – Aplicações na Indústria. Aveiro. O liberal, empresa de artes gráfica, 336.
- Gong, Q., Deng, J., Yang, L., Zhang, J., Wang, Q., Zhang, G. (2011)** Behavior of major and trace elements during weathering of sericite–quartz schist. *Journal of Asian Earth Sciences*. 42, 1 – 13.
- Götze J., Plöetze, M., Habermann, D. (2001)** Origin, spectral characteristics and practical applications of the cathodoluminescence (CL) of quartz - a review. *Mineralogy and Petrology*, 71, 225 – 250.
- Goudie, A. S. (1983).** Calcrete. *Chemical Sediments and Geomorphology*. (Eds. A .S. Goudie e K. Pye). Academic Press, London, New York.
- Gouveia, M. A., Prudêncio, M. I. (2000).** New data on sixteen reference materials obtained by INAA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 245 (1), 105-108.
- Gouveia, M. A., Prudêncio, M. I., Freitas, M. C., Martinho, E., Cabral, J. M. P. (1987).** Interference from uranium fission products in the determination of rare earths, zirconium and ruthenium by instrumental neutron activation analysis in rocks and minerals. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, 114 (2), 309-318.
- Govindaraju, K. (1994).** Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostandards Newsletter*, vol. 18.
- Grevenitz, P., Chivas, A. R. (2005).** Statistical methods for determining geochemical residence in mineral phases: evaluation of pedogenic calcrete trace element data. In: Roach I. C. *Regolith 2005 – Ten Years of CRC LEME*. CRC LEME, 120-124.
- Griffith, M.A. (1981)** The pedological investigation of an archeological site in Ontario, Canada, II: Use of chemical data to discriminate features of the Beson site. *Geoderma*, v.25, 27-34.
- Guibert, P., Lahaye, C., Bechtel, F. (2009)** The importance of U-series disequilibrium of sediments in luminescence dating: a case study at the Roc de Marsal cave (Dordogne, France). *Radiation Measurements*, 44, 223–231.
- Hamel, A.M.J., Huntley, D.J. (2003)** A method for quickly estimating the equivalent dose in optical dating of K-feldspar. *Ancient TL*, vol. 21, 93–95.
- Hashimoto, T., Yanagawa, Y., Yawata, T (2007)** Blue and red thermoluminescence of natural quartz in the temperature region from -196 to 400°C. *Radiation Measurements* 42, 341-346.
- Haskins, D. (2006).** Chemical and mineralogical weathering indices as applied to a granite saprolite in South Africa. The 10th IAEG International Congress, Nottingham, United Kingdom, Paper number 465, 14.
- Herz, N., Garrison, E. G. (1998).** *Geological Methods for Archaeology*. Oxford University press.
- Hoefs, J. (2010)** Geochemical fingerprints: a critical appraisal. *Eur. J. Mineral.*, 22, 3 – 15.
- Johnsson, M.J. (1993).** The system controlling the composition of clastic sediments. In: Johnsson, M.J. & Basu, A. (eds) *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Geological Society of America Special Paper 285, 1-19.
- Jeong, G. Y., Choi, J. H. (2012)** Variations in quartz OSL components with lithology, weathering and transportation. *Quaternary Geochronology*, 10, 320- 326.
- Kaplan, M. Y., Eren, M., Kadir, S., Kapur, S. (2013)** Mineralogical, geochemical and isotopic characteristics of Quaternary calcretes in the Adana region, southern Turkey: Implications on their origin. *Catena* 101, 164–177.
- Kinnaird, T. C., Dixon, J. E., Robertson, A. H. F., Peltenburg, E., Sanderson, D. C. W. (2013)** Insights on topography development in the Vasilikós and Dhiarizos valleys, Cyprus, from integrated OSL and landscape studies. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 13, No 3, 49-62.

- Khadkikar**, A. S., Merh, S. S., Malik, J. N., Chamyal, L. S. (1998) Calcretes in semi-arid alluvial systems: formative pathways and sinks. *Sedimentary Geology*, 116, 251-260.
- Khadkikar**, A.S., Chamyal, L.S. and Ramesh, R. (2000) The character and genesis of calcrete in Late Quaternary alluvial deposits, Gujarat, western India, and its bearing on the interpretation of ancient climates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162: 239-261.
- Khalaf**, F.I., Gaber, A. S. (2008) Occurrence of cyclic palustrine and calcrete deposits within the lower Pliocene Hagul formation, East Cairo district, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 51, 298–312.
- Koppi**, A. J., Edis, R., Field, D. J., Geering, H. R., Klessa, D. A., Cockayne, D. J. H. (1996) Rare earth element trends and cerium-uranium-manganese associations in weathered rock from Koongarra, Northern Territory, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 60, No. 10, 1695 – 1707.
- Korotev**, R.L., (1996a) A self-consistent compilation of elemental concentration data for 93 geochemical reference samples. *Geostandards Newsletter* 20, 217–245.
- Korotev**, R.L., (1996b) On the relationship between the Apollo 16 ancient regolith breccias and feldspathic fragmental breccias, and the composition of the prebasin crust in the Central Highlands of the Moon. *Meteorit. Planet. Sci.* 31, 403–412.
- Krbetscheck** M.R., Götze, J., Dietrich, A., Trautmann, T. (1997) Spectral information on minerals relevant for luminescence dating. *Radiation Measurements* 27, n° 5/6, 695-748.
- Kramer**, J.R. (1968) Mineral-water equilibria in silicate weathering. *International Geological Congress*, 23rd session, Section 6, 149-160.
- Krug**, M. A. (1995) Geochemical exploration in calcrete terrains. Dissertation for the degree of Master of Science, Department of Geology (Mineral Exploration), Rhodes University, Grahamstown, South Africa.
- Küçükuysal**, C., Kapur, S. (2014) Mineralogical, geochemical and micromorphological evaluation of the Plio-Quaternary paleosols and calcretes from Karahamzall, Ankara (Central Turkey). *Geologica Carpathica*, 65, 3, 241 - 253.
- Lago**, M. (2003). *Arqueologia em construção e o complexo arqueológico dos Perdigões*. Jorge, S.O. coord. *Recintos murados da Pré-História Recente*. Porto/Coimbra: DCTP/CEAUCP, 225-240.
- Lago**, M., Duarte, C., Valera, A., Albergaria, J., Almeida, F., Carvalho, A. (1998) Povoado dos Perdigões (Reguengos de Monsaraz): dados preliminares dos trabalhos arqueológicos realizados em 1997. *Revista Portuguesa de Arqueologia*, vol. 1, n° 1, Lisboa, 45-152.
- Lang**, A., Wagner, G.A. (1996) Infrared stimulated luminescence of archaeosediments. *Archaeometry* 38, 129-141.
- Lang**, A., Kadereit, A., Behrends, R.H., Wagner, G.A. (1999) Optical dating of anthropogenic sediments at the archaeological site of herrenbrunnenbuckel, Bretten-Bauerbach (Germany). *Archeometry* 41, 2, 397- 411.
- Laveuf**, C., Cornu, S. (2009) A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*, 154, 1-12.
- Leeder**, M.R. (1999) *Sedimentology and Sedimentary Basins*. Blackwell Science, Oxford.
- LeGac**, A, Frade, J.C., Cardoso, A. M., Barros, P., Murta, E.Candeias. A. (2012a) Elementos para uma arqueologia de misturas de cera-resina usadas como adesivos em Talha e Escultura policromada. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*, 19, Oeiras, Câmara Municipal, 233-240.
- LeGac**, A, Estrompa, R., Frade, J.C., Pessanha, S. Madeira, T.I., Cardoso, A., Piorro, L., Dias L., Mirão, J., Candeias A., Marques, J.G., Carvalho, M.L. (2012b) Multianalytical approach for the authenticity of an eighteenth-century Pascal Taskin harpsichord . *J. Anal. At. Spectrom*, 27, 626-643.
- LeGac**, A., Madeira, T.I., Stanojev, M.P., Santos, J. Piorro, L., Dias, L., Manso, M. Bleton, J., Longelin, Prazeres, C.M., Mirão, J. Candeias A., Marques, J.G., Carvalho, M.L. (2015) Challenging wax-cast figurine serial production unravelled by multi-analytical technique. *J. Anal. At. Spectrom*, 30, 790-812.

- Lian, O. B., Roberts, R. G. (2006)** Dating the Quaternary: progress in luminescence dating of sediments. *Quaternary Science Reviews*, 25, 2449 - 2468.
- Liritzis, I. (2011)** Surface dating by luminescence: an overview. *Geochronometria*, 38(3), 292 – 302.
- Liritzis, I. (2000a)** Advances in thermo- and opto-luminescence dating of environmental materials (sedimentary deposits). Part I: techniques. *Global Nest: the Int. J.* Vol 2, No 1, 3-27.
- Liritzis, I. (2000b)** Advances in thermo- and opto-luminescence dating of environmental materials (sedimentary deposits). Part II: applications. *Global Nest: the Int. J.* Vol 2, No 1, 29-49.
- Littlemore, (2001)** Calibration Report: 6 Source Alpha irradiator #0103311603. Littlemore Scientific Engineering, Oxford, UK.
- Lopéz, J. M. G., Bauluz, B., Nieto, C. F., Oliete, A. Y. (2005)** Factors controlling the trace-element distribution in fine-grained rocks: the Albian kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain). *Chemical Geology*, 214, 1- 19.
- Lopéz-Galindo, A., Aboud, A. B., Hach-Ali, P. F., Ruiz, J. C. (1996)** Mineralogical and geochemical characterization of palygorskite from gabasa (NE Spain). Evidence of a detrital precursor. *Clay Minerals*, 31, 33 - 44.
- Lü, T., Sun, J., (2011)**. Luminescence sensitivities of quartz grains from eolian deposits in northern China and their implications for provenance. *Quaternary Research* 76, 181-189.
- Lubell, D., Jackes, M., Schwarcz, H., Knyf, M., Meiklejohn, C. (1994)**, The Mesolithic-Neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet. *Journal of Archaeological Science*, 21, 201-216.
- Machette, M. N. (1985)** Calcic Soils of the south-western United States. *Geol. Soc. Amer., Spec. Pap.*, 203, 1- 21.
- Madsen, A. T., Murray, A. S. (2009)** Optically stimulated luminescence dating of young sediments: A review. *Geomorphology*, 109, 3–16.
- Marques, M., Vieira, M.C., Abreu, M.M., Prudêncio, M.I., Cabral, J.M.P. (1990)** The caliche of Odivelas-Serpa area of Alentejo (Portugal): An approach to their palaeoenvironmental interpretation. *Chemical Geology*, vol. 84, 176–178.
- Marques, R. (2007)** Geoquímica e mineralogia de argilas do Cretácico de Taveiro e Aveiro, Portugal. MSc thesis, University of Aveiro, Portugal.
- Marques, R., Jorge, A., Franco, D., Dias, M. I., Prudêncio, M. I. (2010)** Clay resources in the Nelas region (Beira Alta), Portugal. A contribution to the characterization of potential raw materials for prehistoric ceramic production. *Clay Minerals*, 45, 353 – 370.
- Marques, R., Prudêncio, M. I., Dias, M. I., Rocha, F. (2011)** Patterns of rare earth and other trace elements in different size fractions of clays of Campanian-Maastrichtian deposits from the portuguese western margin (Aveiro and Taveiro Formations). *Chemie der Erde*, 71, 337-347.
- Marques, R., Prudêncio, M. I., Rocha, F., Cabral Pinto, M. M. S., Silva, M. M. V. G., Ferreira da Silva, E. (2012)** REE and other trace and major elements in the topsoil layer of Santiago island, Cape Verde. *Journal of African Earth Sciences*, 64, 20–33.
- Martinho, M. A., Gouveia, M.A., Prudencio, M.I., Reis, M.F., Cabral, J.M.P. (1991)** Factor for correcting the ruthenium interference in instrumental neutron activation analysis of barium in uraniferous samples. *Applied Radiations and Isotopes*, 42, p. 1067- 1071.
- Martin-Pozas, J.M. (1968)** El analisis mineralógico cuantitativo de los filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. PhD thesis, University of Granada, Spain.
- Martini, M., Fasoli, M., Galli, A. (2009)** Quartz OSL emission spectra and the role of [AlO₄]⁰ recombination centres. *Radiation Measurements*, 44, 458 – 461.
- Martini, M., Fasoli, M., Villa, I., Guiber, P. (2012)** Radioluminescence of synthetic and natural quartz. *Radiation Measurements*, Volume 47, Issue 9, 846 - 850.
- Marquez Romero, J.E., Jimenez-Jaimez, V. E Mata Vivar, E. (2008)** Excavaciones en el yacimiento de Perdigoes (Reguengos de Monsaraz, 2008-2010). Universidad de Málaga (España). *Apontamentos de Arqueologia e Património, NIA-ERA, N.º2*, 27-34.
- Márquez Romero, J.E., Valera, A.C., Becker, H., Jimenez-Jaimez, V., Suarez Padilla, J. (2011a)** El Complejo Arqueológico dos Perdigoes (Reguengos de Monsaraz,

- Portugal). Prospecciones Geofísicas – Campaña 2008-09. Trabajos de Prehistoria. Madrid. 175-186.
- Márquez Romero**, J.E., Suarez Padilla, J., Mata Vivar, E., Jiménez-Jaimez, V., Caro, J.L. (2011b) Actividades arqueológicas de la Universidad de Málaga en el complejo arqueológico dos Perdigões (Reguengos de Monsaraz, Portugal). *Apontamentos de Arqueologia e Património*. N.º 7, NIA-ERA, 33-40.
- Marquez Romero**, J.E., Suarez Padilla, J., Jimenez Jaimez, V., Mata Vivar, E. (2011c) Avance a la secuencia estratigráfica del fosso 1 de Perdigões (Reguengos de Monsaraz, Portugal) a partir de las campañas de 2009 y 2010. *Menga*. N.º 2, 157-175.
- Márquez Romero**, J.E., Mata Vivar, E., Jimenez Jaimez, V., Suárez Padilla, J. (2013a) Dataciones absolutas para el fosso 1 de Perdigões (Reguengos de Monsaraz, Portugal): Reflexiones sobre su cronología y temporalidad. *SPAL*. N.º 22, 17-27.
- Márquez Romero**, J.H., Suárez Padilla, J., Mata Vivar, E., Jimenez-Jaimez, Caro, J. L., Cuevas Alabadalejo, P. (2013b) Actuaciones arqueológicas realizadas por la Universidad de Málaga en el yacimiento de Perdigões (Reguengos de Monsaraz, Portugal): trienio 2011-2013. *Apontamentos de Arqueologia e Património*. NIA-ERA. N.º 9, 61-76.
- Martins**, V., Rocha, F.T., Sequeira, C., Martins, P., Santos, J., Dias, J.A, Weber, O., Jouanneau, Rubio, B., Rey, D., Bernabeu, A., Silva, E., Figueira, R. (2013) Late Holocene climatic oscillations traced by clay mineral assemblages and other palaeoceanographic proxies in Ria de Vigo (NW Spain), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 398-413.
- Mata Vivar**, E., Fernandez, J., Caro, J.L. (2011) Figurinha en xisto procedente del relleno del foso 1 del complejo arqueológico dos Perdigões (Reguengos de Monsaraz). *Apontamentos de Arqueologia e Património*. N.º7, 19-22.
- Masuda**, H., Shinoda, K., Okudaira, T., Takahashi, Y., Noguchi, N. (2012) Chlorite - source of arsenic groundwater pollution in the Holocene aquifer of Bangladesh. *Geochemical Journal*, Vol. 46, 381 – 391.
- McQueen**, K. G. (2006). Calcrete geochemistry in the Cobar-Girilambone region, New South Wales. CRC LEME open file report 200, Australia
- Mejdahl**, V. (1979). Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains. *Archaeometry* 21, 61-72.
- Mendonça**, M. (2012). Os monumentos funerários 1 e 2 do Complexo Arqueológico dos Perdigões: Estudo do espólio funerário em pedra lascada. *Dissertação de mestrado apresentada à Universidade do Algarve*.
- Meunier**, A., Velde, B. D (2004) *Illite. Origins, Evolution and Metamorphism*. Springer
- Meurier**, A., Caner, L., Hubert, F., Albani, A., Prêt, D. (2013) The weathering intensity scale (wis): an alternative approach of the chemical index of alteration (CIA). *American Journal of Science*, 313, 113 – 143.
- Milesi**, L.; Caro, J. L.; Fernandez, J. (2013). Hallazgos singulares en el contexto de la Puerta 1 del complejo arqueológico de Perdigões, Portugal. *Apontamentos de Arqueologia e Património*, NIA-ERA, Nº 9, 55-59.
- Milnes**, A. R. (1992). Calcretes. *Weathering soils and paleosoils. Developments in earth surface processes* 2. Chapter 13. Eds I. P. Martini e W. Chesworth. Elsevier.
- Modi**, A. L. (2011) Processes controlling the composition of first-cycle sediments deposited in an arid-climate, with implications for provenance reconstruction studies. *Masters Theses*.
- Moore**, D. M., Reynolds Jr., R. C. (1997) *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals* (2nd edition). Oxford: Oxford University Press.
- Moreno-Garcia**, M.; Cabaço, N. (2009) Restos faunísticos em contexto funerário: fossas 7 e 11 dos Perdigões (Reguengos de Monsaraz). *Apontamentos de Arqueologia e Património*. N.º4. NIA-ERA, 11-14.
- Murray**, A.S., Aitken, M.J. (1988) Analysis of low-level naturally occurring radioactivity in small samples for use in thermoluminescence dating using high resolution gamma spectrometry. *Int. J. Appl. Rad. Isot.* 39, 145–158.

- Murray**, A. S., Wintle, A. G. (2000) Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32, 57-73.
- Nash**, D. J., McLaren, S. J. (2007) *Geochemical Sediments and Landscapes*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.
- Nathan**, R. P., Mauz, B. (2008) On the dose-rate estimate of carbonate-rich sediments for trapped charge dating. *Radiation Measurements*, 43, 14 – 25.
- Netterberg**, F. (1980). Geology of Southern African calcretes: 1. Terminology, description, macrofeatures and classification. *Transactions of the Geological Society of South Africa* 83, 255– 283.
- Niu**, Y., Gilmore, T., Mackie, S., Greig, A., and Bach, W. (2002). Mineral chemistry, whole-rock compositions, and petrogenesis of Leg 176 gabbros: data and discussion. *In* Natland, J.H., Dick, H.J.B., Miller, D.J., and Von Herzen, R.P. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 176.
- Novais**, R.F., Neves, J.C.L., Barros, N.F., Casali, V.W.D., Fabres, A.S. (1993) The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. *Fragoso, M. A. C., Beusichem, M. L. V., (Eds). Optimization of plant nutrition*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Odrizola**, C. (2008) Scientific analyses of the white inlaid material of the symbolic pottery from povoado dos Perdigões. *Apontamentos de Arqueologia e Património, NIA-ERA, Nº 3, 41 - 44*.
- Odrizola**, C., Hurtado Perez, V., Dias, M.I., Valera, A.C. (2008) Produção e consumo de campaniformes no vale do Guadiana: uma perspectiva ibérica. *Apontamentos de Arqueologia e Património, NIA-ERA, Nº 3, 45 – 52*.
- Odrizola**, C. P., Burbidge, C.I., Dias, M.I., Hurtado, V. (2009) Dating of Las Mesas mortified site (Badajoz, Spain), *Archaeometry, Poster, Florida, USA*.
- Odrizola**, C.P., Linares-Catela, J.A. E Hurtado-Pérez, V. (2010) Perdigões green beads provenance analysis. *Apontamentos de Arqueologia e Património, NIA-ERA, Nº 6, 47-51*.
- Odrizola**, C.P., Burbidge, C. I., Dias, M. I., Hurtado, V. (2014) Dating of Las Mesas Copper Age walled enclosure (La Fuente, Spain). *Trabajos de Prehistoria, 71, N.º 2, 343 – 352*.
- Oliveira**, J.T., Oliveira, V., Piçarra, J.M. (1991) Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena, em Portugal, *Cuadernos Lab. Xeológico de Laxe, Coruña, vol. 16, 221-250*.
- Oliveira**, J.T. (1992) SGP (Serviços Geológicos de Portugal). Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000, Lisboa, Notícia Explicativa da Folha 8.
- Pais**, J., Cunha, P., Legoinha, P. (2010) Litostratigrafia do Cenozóico de Portugal. *In* Neiva, J. M. C., Ribeiro, A., Victor, L. M., Noronha, F. & Ramalho, M. (edit.) - *Ciências Geológicas: Ensino e Investigação*. Vol. I, 365-376.
- Pais**, J., Cunha, P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., Brum da Silveira, A., Kullberg, J. C., González-Delgado, J. A. (2012) The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal) A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain, *SpringerBriefs in Earth Sciences, Springer Berlin Heidelberg*.
- Pais**, P., Cunha, P., Legoinha, P., Dias, R. P., Pereira, D., Ramos, A. (2013) Cenozóico das Bacias do Douro (sector ocidental), Mondego, Baixo Tejo e Alvalade *Geologia de Portugal, Volume II – Geologia Meso-cenozóica de Portugal*. Editores: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha e J. C. Kullberg. Escolar Editora.
- Pedro**, J., Araújo A., Fonseca, P., Munhá, J., (2006). Ofiolitos e metamorfismo de alta pressão *in* *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria, Universidade de Évora, 195-206*.
- Peralta**, E. (1998) Caracterização Hidrogeológica da Bacia da Ribeira da Chaminé (Aquífero dos Gabros de Beja) (Resultados Preliminares). *Em: Congresso da Água 4*.
- Pereira**, D. (2014) Nas cinzas jazem engendros da morte, reflexos de vidas de outrora. As cremações pré-históricas dos Perdigões, *Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra*.

- Pérez-López**, R., Delgado, J., Nieto, J. N., Márquez-García, B. (2010) Rare earth element geochemistry of sulphide weathering in the São Domingos mine area (Iberian Pyrite Belt): A proxy for fluid–rock interaction and ancient mining pollution. *Chemical Geology*: 276, 29 - 40.
- Pessanha**, S., LeGac, A., Madeira, T. I. (2013a) Characterization of a Namban folding screen from the Edo period by means of EDXRF, SEM-EDS and Raman spectroscopy *X-Ray Spectrometry*, vol. 42 , 128-133.
- Pessanha**, S., LeGac, A., Madeira, T. I. (2013b) Elemental analysis by portable Ag and Rh X-ray sources of a Namban type folding screen *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms* Vol.309, 254-259.
- Pietsch**, T. J., Olley, J. M., Nanson, G. C., (2008) Fluvial transport as a natural luminescence sensitiser of quartz. *Quaternary Geochronology* 3, 365-376.
- Pimentel**, N. L., Azevedo, T. M. (1994) Etapas e controlo alpino da sedimentação na bacia do Sado (SW de Portugal). *Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*, 19, 229-238.
- Pimentel**, N. L., Wright, V. P., Azevedo, T. M. (1996) Distinguishing early groundwater alteration effects from pedogenesis in ancient alluvial basins: examples from the Palaeogene of southern Portugal. *Sedimentary Geology* 105, 1 – 10.
- Pimentel**, N. L. V. (2002) Pedogenic and early diagenetic processes in Palaeogene alluvial fan and lacustrine deposits from the Sado Basin (S Portugal) *Sedimentary Geology*, 148, 123 -138.
- Platt**, N. H., Wright, V. P. (2009) Lacustrine Carbonates: Facies Models, Facies Distributions and Hydrocarbon Aspects in Lacustrine Facies Analysis. Editores: Anadón, P., Cabrera, L. e Kelts, K. Wiley.
- Powrie**, W. (2014) *Soil Mechanics: Concepts and Applications*, Third Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Pozo**, M., Casa, J. (1999) Origin of kerolite and associated Mg clays in palustrine-lacustrine environments. The Esquivias deposit (Neogene Madrid Basin, Spain). *Clay Minerals* 34, 395-418.
- Prescott**, J. R., Robertson, G.B. (1997) Sediment dating by luminescence: A review. *Radiation Measurements* 27, 893-922.
- Prescott**, J.R., Hutton, J.T. (1988) Cosmic-ray and gamma-ray dosimetry for TL and Electron-Spin-resonance. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 14, 223-227.
- Prescott**, J.R., Stephan, L.G. (1982) The contribution of cosmic radiation to the environmental dose for thermoluminescent dating. Latitude, altitude and depth dependencies. *Counc. Europe PACT J.* 6, 17-25.
- Preusser**, F., Chithambo, M. L., Gotte, T., Martini, M., Ramseyer, K., Sendezera, E. J., Susino, G. J., Wintle, A. G. (2009) Quartz as a natural luminescence dosimeter. *Eart-Science Reviews* 97, 184-214.
- Price**, J. R., Velbel, M. A. (2003) Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology*, 202, 397–416.
- Prudêncio**, M. I., Gouveia, M. A., Braga, M. A. S., Figueiredo, M. O. (1994) Distribution as an indicator of the origin of carbonates and silicates in basaltic rocks. *Mineralogical Magazine*, 58, 744 – 745.
- Prudêncio**, M. I. (2008) *Ceramic In Ancient Societies: A Role For Nuclear Methods Of Analysis*. Nuclear Chemistry: New Research. Axel N. Koskinen (Editor), ISBN:978-1-60456-957-5. Nova Science Publishers, Inc., New York, 51-81.
- Prudêncio**, M. I., Sequeira Braga, M.A., Oliveira, F, Dias, M.I., Delgado, M., Martins, M. (2006) Raw material sources for the Roman Bracarense Ceramics (NW Iberian Peninsula) *Clays and Clay Minerals*, 54 (5), 639-651.
- Prudêncio**, M.I., Gonzalez, M.I., Dias, M.I., Galan, E., Ruiz, F. (2007) Geochemistry Of Sediments From El Melah Lagoon (Ne Tunisia): A Contribution For The Evaluation Of Anthropogenic Inputs. *Journal Of Arid Environments*, 69, 285-298.

- Prudêncio, M.I., Dias, M.I., Burbidge, C.I., Trindade, M.J. (2009)** Técnicas nucleares e de luminescência na reconstituição da história da edificação de monumentos. *Pedra & Cal*, 42, 4-6.
- Prudêncio, M. I., Dias, M. I., Waerenborgh, J. C., Ruiz, F., Trindade, M. J., Abad, M., Marques, R., Gouveia, M. A. (2011)** Rare earth and other trace and major elemental distribution in a pedogenic calcrete profile (Slimene, NE Tunisia). *Catena* 87, 147 - 156.
- Prudêncio, M.I., Dias, M.I. (2014)**. Composição química, geoquímica, matérias-primas e peças cerâmicas. In: "Proveniência de materiais geológicos: abordagens sobre o Quaternário de Portugal". Editores P. Dinis, A. Gomes, S. Monteiro-Rodrigues. *APEQ*, 87-97.
- Ramakrishnan, D., Tiwari, K. C. (1998)** Ree Chemistry of Arid Zone Calcrete Profiles - A Case Study From The Thar Desert, India. *Tr. J. of Earth Sciences*, 7, 97-103.
- Rask, J. H., Bryndzia, L. T., Braunsdorf, N. R., Murray, T.E. (1997)** Smectite illitization in pliocene-age Gulf of Mexico mudrocks. *Clays and Clay minerals*: 45, No 1, 99 – 109.
- Rees-Jones, J., Tite, M.S., (1997)** Optical dating results for British archaeological sediments. *Archaeometry* 39, 177-187.
- Reis, M.J. C. (2007)**. A Radioactividade no Ambiente. *Gazeta de Física* 30, 58 - 66.
- Reitz, E., Shackley, M. (2012)**. *Environmental Archaeology*. Springer.
- Rhodes, E.J., Bronk Ramsey, C., Outram, Z., Batt, C.M., Willis, L., Dockrill, S. J., Bond, J. (2003)** Bayesian methods applied to the interpretation of multiple OSL dates: high precision sediments ages from Old Scatness Broch excavation, Shetland Isles. *Quaternary Science Reviews* 22, 1231-1244.
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., Almeida, F., Carvalho, D.; Monteiro, J. (1979)** Introduction à la géologie générale du Portugal. *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Fonseca, P. E., Araújo, A., Pedro, J., Mateus, A., Tassinari, C., Machado, G., Jesus A. (2010)** Variscan ophiolite belts in the Ossa-Morena Zone (Southwest Iberia): Geological characterization and geodynamic significance. *Gondwana Research* 17, 408-421.
- Richter, D., Zink, A., Przegietka, K., Cardoso, G.O., Gouveia, M.A., Prudêncio, M.I. (2003)** Source calibrations and blind test results from the new Luminescence Dating Laboratory at the Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém, Portugal. *Ancient TL* 21, 1-7.
- Richter, D., Angelucci, D. E., Dias, M. I., Prudêncio, M. I., Gouveia, M. A., Cardoso, G. J., Burbidge, C. I., Zilhão, J. (2014)** Heated flint TL-dating for Gruta da Oliveira (Portugal): dosimetric challenges and comparison of chronometric data. *Journal of Archaeological Science* 41, 705-715.
- Roberts, R. G. (1997)** Luminescence dating in archaeology: from origins to optical. *Radiation Measurements* 27, 5/6, 819-892.
- Roberts, H. M., Durcan, J.A., Duller, G. A. T. (2009)** Exploring procedures for the rapid assessment of optically stimulated luminescence range-finder ages. *Radiation Measurements*, vol. 44, 582– 587.
- Roberts, R. G., Jacobs, Z., Li, B., Jankowski, N. R., Cunningham, A. C., Rosenfeld, A. B. (2015)** Optical dating in archaeology: thirty years in retrospect and grand challenges for the future. *Journal of Archaeological Science*, 56, 41–60.
- Rocha, F. T. (1993)** Argilas aplicadas a estudos litoestratigraficos e paleoambientais na bacia sedimentar de Aveiro. Dissertacao apresentada a Universidade de Aveiro para a obtencao do grau de Doutor em Geociencias, Departamento de Geociencias, Univ. de Aveiro.
- Rocha, F. T., Gomes, C. (1995)** Paleoenvironment of Aveiro region of Portugal during the Cretaceous, based on clay mineralogy. *Cretaceous Research*, 16, 187-194.
- Rocha, F.T. (2011)** Lithostratigraphic definition and paleoenvironmental reconstruction on estuary and lagoon recent sediments based on clay geochemical and mineralogical analysis. *Journal of Coastal Research*. 64, 1570-1573.

- Rocha**, F., Ramalho, E. (2003) Mineralogia dos paleossolos e crostas carbonatadas do Cabo Mondego, Portugal. In: VI Congresso Nacional de Geologia, Monte de Caparica, 4 a 6 de Junho de 2003: [Comunicações]. Monte de Caparica: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, CD-ROM, B93-B96.
- Rocha**, F., Silva, E., Bernardes, C., Vidinha, J., Patinha, C. (2005). Chemical and mineralogical characterization of the sediments from the Mira, Ílhavo and Ovar channels of Aveiro Lagoon (Portugal). *Ciencias Marinas*. 31, 1 B, 253-263.
- Rodas**, M., Luque, F. J., Mas, R., Garzon, M.G. (1994) Calcretes, palycrètes and silcretes in the Paleogene detrital sediments of the Duero and Tajo Basins, Central Spain. *Clay Minerals*, 29, 273-285.
- Rodrigues**, A. L., Burbidge, C. I., Dias, M. I., Rocha, F., Franco, D., Prudêncio, M. I., Valera, A. C. (2013) Luminescence and Mineralogy of Profiling Samples, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 13, number 3, 37-47.
- Rollinson**, H. R. (1993) Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman, Edinburgh Gate.
- Rudnick**, R.L., Gao, S., (2003) Composition of the continental crust. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry: the Crust*. Elsevier.
- Ruxton**, B.P. (1968) Measure of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology* 76, 518–527.
- Salminen** R. (Chief Editor), Batista M.J., Bidovec M., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Duris M., Gilucis A., Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Lima A., Jordan G., Klaver G., Klein P., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., O'Connor P.J., Olsson S.Å., Ottesen R.T., Petersell V., Plant J.A., Reeder S., Salpeteur I., Sandström H., Siewers U., Steenfelt A. And Tarvainen T. (2005). FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, Espoo.
- Sancho**, C., Melendez, A., Signes, M., Bastida, J. (1992) Chemical and mineralogical characteristics of pleistocene caliche deposits from the central Ebro Basin, NE Spain. *Clay Minerals*, 27, 293-308.
- Sanderson**, D.C.W., Bishop, P., Houston, I., Boonsener, M. (2001) Luminescence characterisation of quartz-rich cover sands from NE Thailand. *Quaternary Science Reviews*, vol. 20, 893–900.
- Sanderson**, D.C. W., Bishop, P., Stark, M.T., Spencer, J.Q. (2003) Luminescence dating of anthropogenically reset canal sediments from Angkor Borei, Mekong Delta, Cambodia. *Quaternary Science Reviews* 22, 1111-1121.
- Santos**, H. (2010) Relatório dos Trabalhos Arqueológicos e Antropológicos Minimização de Impactes sobre o Património Cultural decorrentes da execução do Bloco de Rega de Ferreira, Figueirinha e Valbom (Fase de Obra), Sub-bloco Ferreira C3 Monte do Carrascal 2. ERA-Arqueologia, S.A.
- Santos**, H. (2011a) Relatório dos Trabalhos Arqueológicos, Minimização de Impactes sobre o Património Cultural decorrentes da execução do Bloco de Rega de Brinches (Fase de Obra) Sub-bloco Magoita C1/Adutor de Pedrógão, Covas 1, ERA-Arqueologia, S.A.
- Santos**, H. (2011b) Relatório dos Trabalhos Arqueológicos, Minimização de Impactes sobre o Património Cultural decorrentes da execução do Bloco de Rega de Brinches (Fase de Obra) Sub-bloco das Navegadas C1, Horta dos Quarteirões 1, ERA-Arqueologia, S.A.
- Santos**, L. F. F. (2013) Calcretos no Alentejo - Contributo para a sua caracterização geotécnica. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- Sawakuchi**, A. O., Blair, M. W., DeWitt, R., Faleiros, F. M., Hyppolito, T., Guedes, C. C. F., (2011) Thermal history versus sedimentary history: OSL sensitivity of quartz grains extracted from rocks and sediments. *Quaternary Geochronology* 6, 261-272.
- Schoen**, R., White, D. E. (1966) Hydrothermal clay minerals in granodiorite of the Main Terrace, Steamboat Springs, Nevada. *Clays and Clay Min.* 13, 121-22.

- Schultz, L.G. (1964)** Quantitative interpretation of mineralogical composition X-ray and chemical data for the Pierre Shale. Geol. Survey, 391.
- Selley, R. (2000)** Applied Sedimentology. 2nd Ed. Academic press.
- Seto, M., Akagi, T. (2008)** Chemical condition for the appearance of a negative Ce anomaly in stream waters and groundwaters. *Geochemical Journal*, 42, 371 – 380.
- Shahbaz, A. (2013)** Paleoenvironmental and stratigraphic reconstruction of Sado basin (Portugal). Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de Mestre.
- Sheldon, N. D., Tabor, N. J. (2009)** Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Science Reviews*, 95 (1-2), 1 – 52.
- Shepard, F.P. (1954)** Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrography*, 24, 151-158.
- Silva, M., Pinto, M. (2006)** Geoquímica das rochas ígneas do plutão de Reguengos de Monsaraz (Alto Alentejo). Livro de resumos do VII Congresso Nacional de Geologia, 1, 249-251.
- Silva, A.M., Valera, A.C., Costa, C., Dias, M.I. (2010)** A new research project on funerary practices at Perdigões enclosure. *Apontamentos de Arqueologia e Património*, vol.5, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA, 43-48.
- .
- Singh, B. P., Pawar, J. S., Patra, A. (2013)** Geochemistry of Late Eocene/Oligocene calcretes (caliche) of the Northwestern Himalaya, India. *Himalayan Geology*, 34 (2), 2013, 135-140.
- Singhvi, A. K., Porat, N. (2008)** Impact of luminescence dating on geomorphological and palaeoclimate research in drylands. *Boreas*, 37, 536 - 558.
- Sjoberg, A. (1976)** Phosphate analysis of anthropic soil. *Journal of Fildes Archeology*, v.3, 448-454.
- Soares, A. M. M., Alves, L. C., Frade, J. C., Valério, P., Araújo, M. F., Candeias, A., Silva, R. J. C., Valera, A. C. (2012)** Bell Beaker Gold Foils from Perdigões (Southern Portugal) – Manufacture and Use. *Proceedings of the 39th International Symposium for Archaeometry*, Leuven, 120-124
- Sokoloff, V. P; Carter, G. F. (1952)** Time and trace metals in archaeological sites. *Science*, 116, 1–5.
- Spencer, J.Q., Sanderson, D.C.W., Deckers, K., Sommerville, A. A. (2003)**. Assessing mixed dose distributions in young sediments identified using small aliquots and a simple two-step SAR Procedure: the F-statistic as a diagnostic tool. *Radiation Measurements*, vol. 37, 425 - 43.
- Stokes, S. (1999)** Luminescence dating applications in geomorphological research. *Geomorphology* 29, 153 – 171.
- Suguio, K. (1973)**. Introdução à sedimentologia. Editora Edgard Blucher Lda. Editora da Universidade de São Paulo.
- Thorez, J. (1976)** Practical identification of clay minerals. Bélgica: G. Lelotte.
- Tonusoglu, O., Shahwan, T., Eroglu, A. E. (2007)** Retention of aqueous Ba²⁺ ions by calcite and aragonite over a wide range of concentrations: Characterization of the uptake capacity, and kinetics of sorption and precipitate formation. *Geochemical Journal*, 41, 379- 389.
- Triães, R. Coroado J., Rocha, F. (2012a)** Caracterização composicional e tipológica da cerâmica industrial do território de Conimbriga. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*, 19, Oeiras, 185-192.
- Triães, R., Coroado, J., Rocha, F., Correia V. H. (2012b)** Estudo tipológico da cerâmica de construção da cidade romana de Conimbriga, Portugal, *Metodologia para a conservação de estruturas arqueológicas*. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*, 19, Oeiras, Câmara Municipal, 267-272.
- Trindade, M.J., Rocha, F., Dias, M. I. (2006)** Geochemical and mineralogical characterization of a Lower Cretaceous sedimentary profile from central Algarve (Portugal). *Journal of Geochemical Exploration*, 88, 450 - 453.
- Trindade, M.J., Rocha, F., Dias, M.I. (2010a)**. "Geochemistry and Mineralogy of Clays from the Algarve Basin, Portugal: A Multivariate Approach to Palaeoenvironmental Investigations", *Current Analytical Chemistry* 6 (1), 43 - 52.

- Trindade**, M.J.F., Dias, M. I., Coroado, J., Rocha, F. (2010b). Firing tests on clay-rich raw materials from Algarve basin (southern Portugal): Study of mineral transformations with temperature. *Clays and Clay Minerals*, 58 (2), 188 - 204.
- Üçükuysal**, C., Günel Türkmenoğlu, A., Kapur, S. (2013) Multiproxy evidence of Mid-Pleistocene dry climates observed in calcretes in Central Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 469 - 483.
- Valera**, A.C. (2003) A propósito de recintos murados do 4º e 3º milénios AC: dinâmica e fixação do discurso arqueológico. Jorge, S.O. (coord.). *Recintos murados da Pré-História Recente*. Porto/Coimbra: DCTP/CEAUCP, 149-168.
- Valera**, A.C. (2006). A margem esquerda do Guadiana (região de Mourão) dos finais do 4º aos inícios do 2º milénio AC. *Era Arqueologia*. N.º 7. Lisboa: ERA Arqueologia/Colibri, 136-210.
- Valera**, A.C. (2008a) Intervenção arqueológica de 2007 no interior do recinto pré-histórico dos Perdigões (Reguengos de Monsaraz). *Apontamentos de Arqueologia e Património*. N.º 1. NIA-ERA, 15-22.
- Valera**, A.C. (2008b) Mapeando o Cosmos. Uma abordagem cognitiva aos recintos da Pré-História Recente. *ERA Arqueologia*. N.º 8(2008). Lisboa: Era Arqueologia/Colibri, 112-127.
- Valera**, A. C. (2010a) Gestão da morte no 3º milénio a. C. no Porto Torrão (Ferreira do Alentejo), *Apontamentos de Arqueologia e Património*, vol.5, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA.
- Valera**, A. C. (2010b) Construção da temporalidade dos perdigões: contextos neolíticos na área central, *Apontamentos de Arqueologia e Património*, vol.5, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA, 19-26.
- Valera**, A. C. (2010c). Relatório dos Trabalhos Arqueológicos. Projecto “Gestão da Morte e Temporalidades nos Perdigões”: Campanha de 2010. ERA-Arqueologia, S.A
- Valera**, A.C. (2010d) Marfim no recinto calcolítico dos Perdigões (1): "Lúnulas, fragmentação e ontologia dos artefactos". *Apontamentos de Arqueologia e Património*. N.º 5, NIA-ERA, 31-42.
- Valera**, A. C. (2011) Relatório dos Trabalhos Arqueológicos. Projecto “Gestão da Morte e Temporalidades nos Perdigões”. Relatório de Progresso: campanha de 2011. ERA-Arqueologia, S.A
- Valera**, A.C. (2012a) Ditches, pits and hypogea: new data and new problems in south Portugal Neolithic and Chalcolithic practices in Funerary practices in the Iberian Peninsula from the Mesolithic to the Chalcolithic Ed. by Juan F. Gibaja, António F. Carvalho and Philippe Chambon, BAR International Series 2417. Archaeopress – Publishers of British Archaeological Reports, Oxford, England, 103-112.
- Valera**, A. C. (2012b) Mind the Gap: Neolithic and Chalcolithic enclosures of south Portugal in Enclosing the Neolithic, recent studies in Britain and Europe Ed. by Alex Gibson, BAR International Series 2440. Archaeopress – Publishers of British Archaeological Reports, Oxford, England, 165-183.
- Valera**, A. C. (2012c) Idolos Almerienses provenientes de contextos Neolíticos do complexo de recintos dos Perdigões. *Apontamentos de Arqueologia e Património*, vol.8, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA, 19-28.
- Valera**, A. C. (2013a) Recintos de fossos da Pré-história recente em Portugal. *Investigação, discursos, salvaguarda e divulgação*. Al-madam, II Serie, 93-110.
- Valera**, A. C. (2013b) Cronologia dos recintos de fossos da pré-história recente em território português in *Arqueologia em Portugal 150 anos*, Associação dos arqueólogos portugueses, Lisboa, 335-343.
- Valera**, A. C. (2013c) Cronologia absoluta dos fossos 1 e 2 do Porto Torrão e o problema da datação de estruturas negativas “tipo fosso”. *Apontamentos de Arqueologia e Património*, vol.9, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA, 7-11.
- Valera**, A. C. (2013d) Relatório dos Trabalhos Arqueológicos. Projecto “Gestão da Morte e Temporalidades nos Perdigões”. Relatório de Progresso: campanha de 2012. ERA-Arqueologia, S.A.

- Valera**, A. C., Becker, H. (2011), Cosmologia e recintos de fossos da Pré-História Recente: resultados da prospecção geofísica em Xancra (Cuba, Beja)", Apontamentos de Arqueologia e Património, 7, Lisboa, NIA-ERA, 23-32.
- Valera**, A. C., Becker, H. (no prelo) Arqueoastronomia, geofísica e recintos de fossos da pré-história recente no sul de Portugal. Xelb. Actas do 8º Encontro de Arqueologia do Algarve, Silves, C.M.S.
- Valera**, A.C., Evangelista, L.S. (2014). Anthropomorphic figurines at Perdígões enclosure: naturalism, body proportion and canonical posture as forms of ideological language", Journal of European Archaeology, 17(2), 286-300.
- Valera**, A.C., Filipe, I. (2004) O povoado do Porto Torrão - Novos dados e novas problemáticas no contexto da calcolitização do sudoeste peninsular, Revista Era Arqueologia, vol. 1. Lisboa, Era/Cilibri.
- Valera**, A. C., Filipe, V. (2010) Outeiro do Alto 2 (Brinches, Serpa): Nota preliminar sobre um espaço funerário e de socialização do Neolítico Final à Idade do Bronze. Apontamentos de Arqueologia e Património, vol. 5, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA.
- Valera**, A. C., Filipe, V. (2012) A necrópole de hipogeus do Neolítico Final do Outeiro do Alto 2 (Brinches, Serpa). Apontamentos de Arqueologia e Património, vol. 8, Lisboa, Núcleo de Investigação Arqueológica – NIA.
- Valera**, A.C., Godinho, R. (2009). A gestão da morte nos Perdígões (Reguengos de Monsaraz): novos dados, novos problemas. Estudos Arqueológicos de Oeiras. N.º 17. Oeiras: Câmara Municipal de Oeiras, 371-387.
- Valera**, A.C., Godinho, R. (2010) Ossos humanos provenientes dos fossos 3 e 4 e gestão da morte nos Perdígões, Apontamentos de Arqueologia e Património, 6, Lisboa, NIA-ERA Arqueologia, 29-39.
- Valera**, A. C., Pereiro, T. (2013) Novos recintos de fossos no sul de Portugal: o google earth como ferramenta de prospecção sistemática. Arqueologia em Portugal 150 anos. Associação dos Arqueólogos portugueses. Lisboa. 345-350.
- Valera**, A.C., Silva, A.M. (2011) Datações de radiocarbono para os Perdígões (1): contextos com restos humanos nos Sectores I e Q. Apontamentos de Arqueologia e Património N.º 7 (2011) 7. NIA-ERA, 7-14.
- Valera**, A.C., Lago, M., Duarte, C., Evangelista, L. S. (2000) Ambientes funerários no complexo arqueológico dos Perdígões – Uma análise preliminar no contexto das práticas funerárias calcolíticas no Alentejo, Era Arqueologia, vol. 2, Lisboa, Era/Cilibri, 84-105.
- Valera**, A.C., Lago, M., Duarte, C., Dias, M. I., Prudêncio, M. I. (2007) Investigação no complexo arqueológico dos Perdígões: ponto da situação de dados e problemas", Actas do 4º Congresso de Arqueologia Peninsular, Faro, 2004.
- Valera**, A.C.; Jorge, P.; Lago, M. (2008) O complexo arqueológico dos Perdígões: Breve percurso de uma Arqueologia de minimização a uma Arqueologia em construção e em sociedade. Almadan. II série, N.º 16, 115-123.
- Valera**, A.C., Santos, H., Figueiredo, M., Granja, R. (2014a). Contextos funerários na periferia do Porto Torrão: Cardim 6 e Carrascal 2, Actas do 4º Colóquio de Arqueologia do Alqueva, Beja MEMÓRIAS d'ODIANA 2.ª Série Estudos Arqueológicos do Alqueva, 83 -95.
- Valera**, A. C., Godinho, R., Calvo, E., Berraquero, F. J. M., Filipe, V., Santos, H. (2014b) Um mundo em negativo: fossos, fossas e hipogeus entre o Neolítico Final e a Idade do Bronze na margem esquerda do Guadiana (Brinches, Serpa). Actas do IV Colóquio Arqueológico de Alqueva, MEMÓRIAS d'ODIANA 2.ª Série Estudos Arqueológicos do Alqueva, 55 -73.
- Valera**, A.C., Silva, A.M., Cunha, C., Evangelista, L. (2014c) Funerary practices and body manipulation at Neolithic and Chalcolithic Perdígões ditched enclosures (South Portugal)", A.C. Valera ed. Recent Prehistoric Enclosures and Funerary Practices in Europe, BAR, International Series 2676: 37-57.
- Valera**, A. C., Silva, A. M., Romero, J. E. M. (2014d) The temporality of Perdígões enclosures: absolute chronology of the structures and social practices. SPAL – Revista de prehistoria y arqueología, 23, 11-26.

- Valera**, A. C., Márquez, J.E., Becker, H., Jiménez, V. e Suárez, J. (*no prelo*), "O Complexo Arqueológico dos Perdigões: nova imagem e novos problemas proporcionados pela prospecção geofísica", Xelb., Actas do 8º Encontro de Arqueologia do Algarve, Silves, C.M.S.
- Valério**, P., Silva, R. J. C., Nunes da Ponte, T. R., Araújo, M. F., Monge Soares, A. M. (2012) Estudo arqueometalúrgico das dádivas funerárias dos hipogeus do Bronze Pleno do Sudoeste da Horta do Folgão (Serpa, Portugal) Estudos Arqueológicos de Oeiras, 19, Oeiras, Câmara Municipal, 203-208
- Valério**, P., Monge Soares, A. M., Araújo, M. F., Silva, R. J. C., Porfírio, E., Serra, M. (2014) Arsenical copper and bronze in Middle Bronze Age burial sites of southern Portugal: the first bronzes in Southwestern Iberia. *Journal of Archaeological Science*, 42, 68-80
- Verricchia**, E. P., Coustumer, M. N. (1996) Occurrence and genesis of palygorskite and associated clay minerals in a Pleistocene calcrete complex, Sde Boqer, Negev Desert, Israel. *Clay Minerals*, 31, 183-202.
- Wanas**, H. A., Soliman, H. E. (2014) Calcretes and palustrine carbonates in the Oligo-Miocene clastic-carbonate unit of the Farafra Oasis, Western Desert, Egypt: Their origin and paleoenvironmental significance. *Journal of African Earth Sciences*: 95, 145–154.
- Waterman**, A.J., Peate, D.W., Silva, A.M., Thomas, J.T. (2014) In search of homelands: using strontium isotopes to identify biological markers of mobility in late prehistoric Portugal. *Journal of Archaeological Science*, 42, 119-127.
- Wheeler**, J. (2010) Paleoenvironmental assessment of two archaeological sediments from Perdigões, Alentejo region, Portugal. *Apontamentos de Arqueologia e Património*. n.º 6 NIA-ERA, 41-45.
- White**, A. F., Bullen, T. D., Vivit, D. V., Schulz, M. S., Clow D. W. (1999) The role of disseminated calcite in the chemical weathering of granitoid rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 63, No. 13/14, 1939–1953.
- Wintle**, A. G. (1997) Luminescence dating: Laboratory procedures and protocols. *Radiation Measurements* 27, 769-817.
- Wintle**, A. G. (2008) Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry* 50 (2), 276 – 312.
- Wintle**, A. G., Murray, A. S. (2006) A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements* 41, 369–391.
- Woods**, W. I. (1984) Soil Chemical Investigations in Illinois Archaeology: Two Example Studies. In *Archaeological Chemistry - III, Advances in Chemistry Series No. 205*, edited by Joseph B. Lambert, p. 67-77. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Wright**, V. P. (1991) Calcretes. Editado por V. P. Wright, M. E. Tucker, Wiley
- Yuste**, A., Luzón, A, Bauluz, B. (2004) Provenance of Oligocene–Miocene alluvial and fluvial fans of the northern Ebro Basin (NE Spain): an XRD, petrographic and SEM study. *Sedimentary Geology*, 172, 251 – 268.
- Zheng**, C. X., Zhou, L. P., Qin, J. T., (2009) Difference in luminescence sensitivity of coarse-grains quartz from deserts of northern China. *Radiation Measurements* 44, 534-537.
- Zimmerman**, D.W., (1971). Thermoluminescence dating using fine grains from pottery. *Archaeometry* 13, 29-52.

8 Trabalhos apresentados no âmbito da tese

8.1 Publicações

Rodrigues A L, Burbidge C I, Dias M I, Rocha F, Franco D, Prudêncio M I, Valera A C. Luminescence and Mineralogy of Profiling Samples, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 13 (2013), number 3, 37-47.

8.2 Comunicações orais

Rodrigues A L, Burbidge C I, Dias M I, Valera A C, Rocha F, Prudêncio M I, Cardoso G. Luminescence dating of negative archaeological features in weathered and calcite-rich lithologies, 14th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Montréal, 7-11 Julho 2014.

Rodrigues A L, Dias M I, Burbidge C I, Rocha F, Prudêncio M I, Cardoso G, Franco D, Marques R, Mineralogy and geochemistry of negative archaeological structures in carbonate contexts, Alentejo (Portugal), XV Internacional Clay Conference, Rio de Janeiro, 8-11 Julho 2013.

Rodrigues, A.L., Burbidge, C.I., Dias, M.I., Rocha, F., Valera, A.C., Prudêncio, M.I. Estudos de Luminescência, Mineralogia e Geoquímica no Contexto Arqueológico do Monte Carrascal – Ferreira do Alentejo, Portugal. IX Congresso Ibérico de Arqueometria, Lisboa, 24-26 Outubro 2011.

Rodrigues, A.L., Burbidge, C.I., Dias, M.I., Rocha, F., Prudêncio, M.I. Dissolution rates for quartz, feldspar and polymineral samples in hydrofluoric acid and hydrofluoric-hydrochloric acid mixtures. UK TL/OSL/ESR Meeting 2010, School of Geography and the Environment, University of Oxford, 8 -12 September 2010

8.3 Comunicações em painel

Rodrigues A L, Burbidge C I, Dias M I, Rocha F, Prudêncio M I, Exploring luminescence behaviour of calcitic archaeological fill materials in the context of chemical and mineralogical composition, 17th International Conference on Solid State Dosimetry.

Rodrigues A L, Dias M I, Rocha F, Prudêncio M I, Distribution of trace elements in schistous weathered materials from the Ordovician (OMZ). Alentejo, Portugal.), XV International Clay Conference, Rio de Janeiro, 8-11 Julho 2013.

Rodrigues A L, Burbidge C I, Dias M I, Rocha F, Franco D, Prudêncio M I, Valera A C Geochemical and mineralogical characterization of fill materials from a negative archaeological structure, and relations with luminescence and dosimetric behavior. 9th International Symposium on Environmental Geochemistry Aveiro, 2012

Anexos

Índice

I	Formulários de amostragem.....	1
II	Granulometria	3
II.1	Monte Carrascal	3
II.2	Monte de Cortes	3
II.3	Covas.....	3
II.4	Outeiro Alto.....	4
II.5	Horta dos Quarteirões	4
II.6	Malhada da Orada.....	5
II.7	Recinto de fossos dos Perdigões.....	5
III	Composição mineralógica das amostras estudadas.....	6
III.1	Monte Carrascal.....	6
III.1.1	Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso e do calcreto	6
III.1.2	Semiquantificação e MIA da amostra total	26
III.1.3	Difratogramas da Fração < 63 µm das amostras de materiais de preenchimento do fosso	27
III.1.4	Difratogramas da Fração argilosa das amostras de preenchimento do fosso e da amostra de calcreto	29
III.1.5	Semiquantificação da fração argilosa.....	34
III.2	Monte de Cortes.....	35
III.2.1	Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto.....	35
III.2.2	Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa	38
III.2.3	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no calcreto e no preenchimento da fossa.....	39
III.2.4	Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso	40
III.2.5	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento do fosso.....	48
III.2.6	Difratogramas da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento do fosso.....	49
III.2.7	Semiquantificação da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento do fosso	54
III.3	Covas	55
III.3.1	Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto.....	55
III.3.2	Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa em Covas.....	58
III.3.3	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto e no preenchimento da fossa.....	75
III.3.4	Difratogramas da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento do fosso.....	76
III.3.5	Semiquantificação da fração argilosa	82
III.4	Outeiro Alto	83
III.4.1	Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto	83
III.4.2	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto	99
III.4.3	Difratogramas da fração argilosa das amostras recolhidas no calcreto e no preenchimento das estruturas negativas.....	100
III.4.4	Semiquantificação da fração argilosa.....	105
III.5	Horta dos Quarteirões	106
III.5.1	Difratogramas da amostra total dos materiais representativos da geologia local ..	106
III.5.2	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais representativos da geologia na Horta dos Quarteirões.....	114

III.5.3	Difratogramas dos materiais de preenchimento	115
III.5.4	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais de preenchimento.....	123
III.5.5	Difratogramas da fração argilosa dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões 124	
III.5.6	Semiquantificação dos minerais presentes na fração argilosa	134
III.6	Malhada da Orada.....	135
III.6.1	Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito e dos materiais de preenchimento.....	135
III.6.2	Semiquantificação e MIA da amostra total	140
III.6.3	Difratogramas da fração argilosa.....	141
III.6.4	Semiquantificação da fração argilosa	143
III.7	Povoados dos Perdígões	144
III.7.1	Difratogramas da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo na área de escavação dos fossos 5 e 12	144
III.7.2	Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento dos fossos 5 e 12.....	149
III.7.3	Semiquantificação da amostra total dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 e dos materiais do substrato geológico e solo	152
III.7.4	Difratogramas da fração argilosa dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 e do solo moderno	153
III.7.5	Semiquantificação da fração argilosa dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 e do solo moderno	157
III.7.6	Difratogramas da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo na área de escavação do fosso 8	157
III.7.7	Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 8	160
III.7.8	Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo e dos materiais de preenchimento do fosso 8	163
III.7.9	Difratogramas e semiquantificação da fração argilosa dos materiais de preenchimento do fosso 8.....	164
III.7.10	Difratogramas da amostra total dos materiais do substrato geológico recolhidos nas paredes do fosso 6.....	165
III.7.11	Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6....	173
III.7.12	Semiquantificação e MIA dos materiais recolhidos no fosso 6	180
III.7.13	Difratogramas dos materiais recolhidos na estrutura circular	181
III.7.14	Semiquantificação e MIA da amostra total.....	190
IV	Composição química das amostras estudadas	191
IV.1	Monte Carrascal.....	191
IV.1.1	Amostra total e fração argilosa dos materiais geológicos	191
IV.1.2	Amostra total dos materiais de preenchimento	192
IV.1.3	Fração argilosa dos materiais de preenchimento.....	197
IV.2	Monte de Cortes.....	198
IV.2.1	Amostra total dos materiais geológicos	198
IV.2.2	Fração argilosa dos materiais geológicos	199
IV.2.3	Amostra total dos materiais de preenchimento da fossa e do fosso.....	200
IV.2.4	Fração argilosa dos materiais de preenchimento da fossa e do fosso	202
IV.3	Covas	203
IV.3.1	Amostra total.....	203
IV.3.2	Fração argilosa	207
IV.4	Outeiro Alto	208
IV.4.1	Amostra total.....	208
IV.4.3	Fração argilosa	211
IV.5	Horta dos Quarteirões	212

IV.5.1	Amostra total dos materiais representativos da geologia local e dos materiais de preenchimento selecionados para datação.	212
IV.5.2	Fração argilosa dos materiais representativos da geologia local e dos materiais de preenchimento selecionados para datação.	215
IV.6	Malhada da Orada.....	216
IV.7	Recinto de fossos dos Perdigões.....	218
IV.7.1	Amostra total dos materiais geológicos na área de escavação dos fossos 5 e 12	218
IV.7.2	Amostra total dos materiais de preenchimentos dos fossos 5 e 12	220
IV.7.3	Fração argilosa do solo moderno e dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12	221
IV.7.4	Amostra total dos materiais geológicos na área de escavação do fosso 8.....	222
IV.7.5	Amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 8.....	223
IV.7.6	Amostra total dos materiais da parede do fosso 6	225
IV.7.7	Estrutura circular	230
V	Determinação da taxa de dose	232
V.1	Composição química em radionuclídeos obtida por EGER	232
V.2	Composição química em radionuclídeos	234
V.3	Taxas de dose alfa, beta e gama.....	237
V.4	Taxa de dose cósmica	238
V.5	Teor em humidade	239
V.6	Determinação da eficácia da radiação alfa para os grãos finos de quartzo	240

I Formulários de amostragem

Formulário de Amostragem para o Método de Luminescência			
Laboratório de Datação por Luminescência, GeoLuC, ITN, EN10, 2686-953, SACAVÉM, Portugal www.itn.pt, (+351) 219 994 6222, isadias@itn.pt, christoph@itn.pt			
Código do Sítio:	Localização (Coords):	Data da Amostragem:	
Nome do Sítio:		Nº/Código da Amostra:	
	Altitude (km):		
Descrição da localização da amostragem		Desenho/notas sobre área à volta	
<u>Secção/Coords dentro do sítio:</u>			
<u>Localização da amostra</u>			
Vertical de Referencia	(cm):		
Horizontal de Referencia	(cm):		
Ao topo e fundo da camada (cm):			
À rocha mais perto e tamanho (cm):			
Ao nível de água (cm):			
<u>Contexto</u> Nº/Código:			
Tipo:			
Cor:			
Textura:			
Teor em água relativo ao "normal" no sítio:			
<u>Contexto superior</u> Nº/Código:			
Tipo:			
Cor:			
Textura:			
<u>Contexto inferior</u> Nº/Código:			
Tipo:			
Cor:			
Textura:			
Foto Nº:			
Descrição da Amostra e Amostra Adjunta		Espectrometria/TLD Gama In Situ	
<u>Amostra</u> Tipo:		Aparelho:	
Dimensões:c/e dia. m.		Medição (no dia/visita): #	
Compressão na amostragem (cm):		Ficheiro (.ONN):	
<u>Amostra Adjunta</u> Tipo:		Tempo (s):	
Propósito:		Profundidade do buraco (cm):	
Dimensões:c/e dia. m.		Profundidade da superfície actual:	
Relação à Amostra:		Geometria (pi Radianos):	
Natureza da Problemática da Datação			
Evento ou processo (para datar directamente ou delimitar):			
Previsões cronológicas (baseadas em que informação):			
Relações crono-estratigráficas às outras amostras:			
>	=	<	
Preenchido por:		Verificado por:	Data:

Formulário de Amostragem para o Método de Luminescência (Perfil)									
Laboratório de Datação por Luminescência, GeoLuC, ITN, EN10, 2686-953, SACAVÉM, Portugal www.itn.pt, (+351) 219 994 6222, isadias@itn.pt, christoph@itn.pt									
Código do Sítio:			Localização (Coords):				Data da Amostragem:		
Nome do Sítio:			Altitude (km):				Nºs/Códigos das Amostras:		
Descrição da localização da amostragem							Desenho/notas sobre área à volta		
Am	VdR	HdR	Can	Tipo	Cor	Textura	<p>Foto Nº: _____</p> <p><u>Secção/Coords dentro do sítio:</u></p> <p>Ref. Vertical: _____</p> <p>Ref. Horizontal: _____</p> <p>Teor em água relativo ao "normal" no sítio: _____</p> <p><u>Amostras</u> Tipo: _____</p> <p>Dimensões: <i>c/e.</i> <i>dia.</i> <i>m.</i></p>		
VdR,HdR = Vertical/Horizontal da Referencia									
Natureza da Problemática da Datação									
Evento ou processo (para datar directamente ou delimitar):									
Previsões cronológicas (baseadas em que informação):									
Relações crono-estratigráficas às outras amostras:									
Preenchido por:			Verificado por:			Data:			

II Granulometria

II.1 Monte Carrascal

Tabela II.1 Teores por fração granulométrica para os materiais amostrados no fosso e no calcreto pulverulento do Monte Carrascal, considerando a amostra total.

Contexto	Amostra	%				
		>2 m	2 mm - 63µm	63µm-20µm	20µm - 2µm	<2µm
		Cascalho	Areia	Silte		Argila
MPr	Fase após abandono (Coluvião)					
	MC4	41	30	3	16	10
	MC3	28	47	4	16	5
	Fase de ocupação humana					
	MC2	56	22	2	16	4
	MC1	42	27	7	19	5
MGeo	MCa	60	32	1	6	1

II.2 Monte de Cortes

Tabela II.2 Teores por fração granulométrica para os materiais amostrados no Monte de Cortes, considerando a amostra total.

Contexto	Amostra	%				
		>2 mm	2 mm – 63 µm	63 µm - 20 µm	20 µm – 2 µm	<2 µm
		Cascalho	Areia	Silte grosseiro	Silte médio e fino	Argila
MPr	COR1	52	21	3	13	11
	COR2	63	10	4	13	10
MGeo	CORc	42	26	4	14	14
	CORb	52	19	5	14	10
	CORa	57	25	3	12	3

II.3 Covas

Tabela II.3 Teores por fração granulométrica para os materiais amostrados na fossa 7 e no perfil de calcreto pulverulento, em Covas, considerando a amostra total.

Contexto	Amostra	%				
		>2 mm	2 mm - 63µm	63µm-20µm	20µm - 2µm	<2µm
		Cascalho	Areia	Silte		Argila
MGeo	CVc	4	37	6	31	21
	CVb	5	48	15	23	8
	Cva	7	62	3	20	8
MPr	CV3	33	20	11	26	10
	CV2	51	14	5	16	14
	CV1	52	15	7	16	9

II.4 Outeiro Alto

Tabela II.4 Teores por fração granulométrica para os materiais amostrados no preenchimento das estruturas negativas e no bloco de calcreto, no Outeiro Alto, considerando a amostra total.

*Após moagem em moinho de maxilas.

Contexto	Amostra	%					
		>2 mm	2 mm - 63µm	63µm-20µm	20µm - 2µm	<2µm	
		Cascalho	Areia	Silte		Argila	
Fossa 22	OA2	42	23	5	17	13	
	OA1	41	27	5	16	12	
Hipogeu 4/5	MPr	OA3	47	9	9	20	15
Fossa 30	OA4	30	30	5	16	18	
MGeo	OAA*	90	5	2	3	1	

II.5 Horta dos Quarteirões

Tabela II.5 Teores por fração granulométrica para os materiais amostrados na area de intersecção dos fossos e nos perfis de calcreto, na Horta dos Quarteirões, considerando a amostra total.

Contexto	Amostra	%				
		>2 mm	2 mm - 63µm	63µm-20µm	20µm - 2µm	<2µm
		Cascalho	Areia	Silte		Argila
MPr	H2	80	8	1	4	6
	H1	73	7	2	8	10
MGeo	Hc	75	14	2	6	4
	Hb	80	11	2	5	2
	Ha	85	10	1	3	1
	Hg	70	17	1	3	9
	Hf	73	18	1	3	5
	He	80	15	1	3	1
	Hd	85	11	1	2	1
	Hh	85	10	2	2	1

II.6 Malhada da Orada

Tabela II.6 Teores por fração granulométrica para os materiais de preenchimento do perfil de granito alterado recolhidos na Malhada da Orada, considerando a amostra total.

Contexto	Amostra	%				
		>2 mm	2 mm - 63µm	63µm-20µm	20µm - 2µm	<2µm
		Cascalho	Areia	Silte		Argila
MPr	MO1	6	72	5	10	6
MGeo	MOd	50	29	1	7	13
	MOc	70	24	0	1	5
	MOb	80	16	0	1	2
	MOa	100	0	0	0	0

II.7 Recinto de fossos dos Perdigões

Tabela II.7 Teores por fração granulométrica para os materiais amostrados nas estruturas negativas e na área de escavação destes, no Recinto de fossos dos Perdigões, considerando a amostra total.

* Quantidade insuficiente para análise detalhada (~3% do total da amostra)

Contexto	Amostra	%					
		>2 mm	2 mm – 63 µm	63 µm - 20 µm	20 µm – 2 µm	<2 µm	
		Cascalho	Areia	Silte grosseiro	Silte médio e fino	Argila	
MPr	Fosso 12	PDG3	7	61	3	10	20
		PDG2	6	57	2	10	24
	Fosso 5	PDG1	11	67	1	6	15
MGeo	Fosso 5	PDGe	9	80	1	3	7
		PDGd	10	86	1	2	2
		PDGc	10	87	*		
	Fossos 5 e 12	PDGb	5	46	7	15	28
		PDGa	9	84	1	2	3
MPr	Fosso 8	PDG6	17	56	1	8	18
		PDG5	12	57	4	15	12
		PDG4	20	75	1	2	2
MGeo		PDGh	12	56	2	8	22
		PDGg	21	64	2	7	6
		PDGf	52	44	1	1	2
MPr	Estrutura circular	PDG9	5	48	5	17	26
		PDG8	6	59	3	10	18
		PDG7	14	78	2	4	3

III Composição mineralógica das amostras estudadas

III.1 Monte Carrascal

III.1.1 Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso e do calcreto

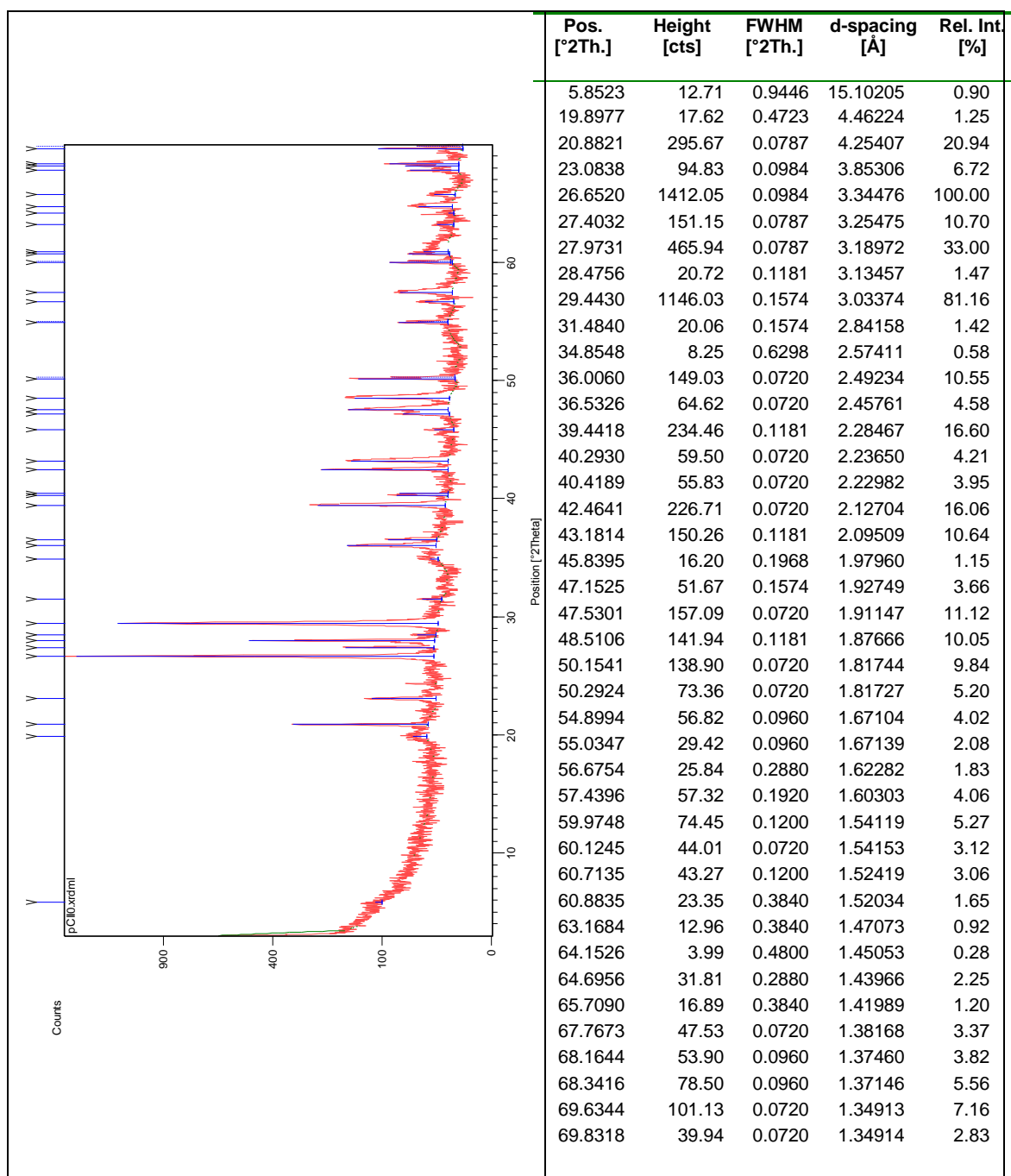


Figura III.1 Difractograma da amostra total recolhida a 0 cm de profundidade (pMC13), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

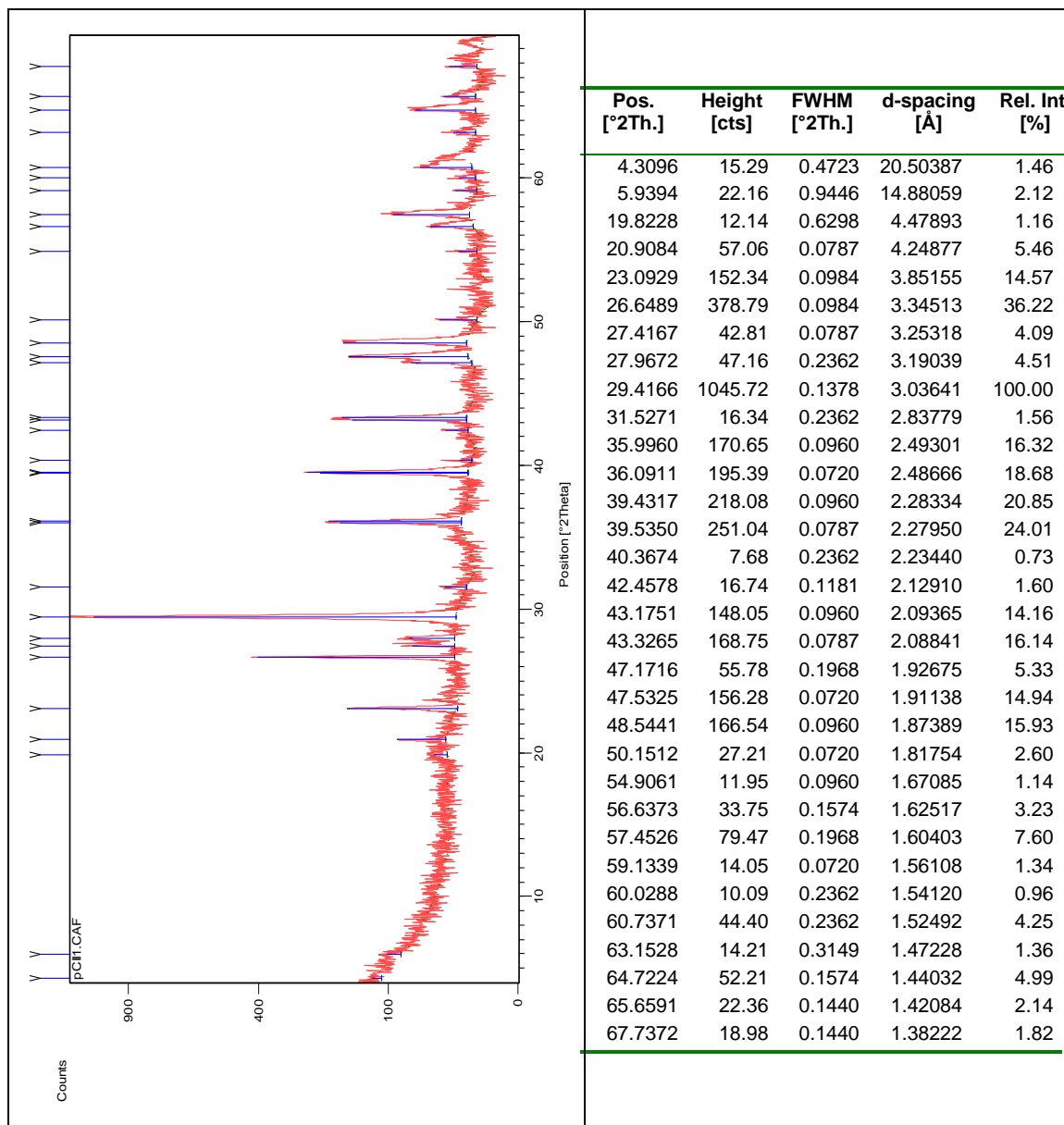


Figura III.2 Difractograma da amostra total recolhida a 28 cm de profundidade (pMC12), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

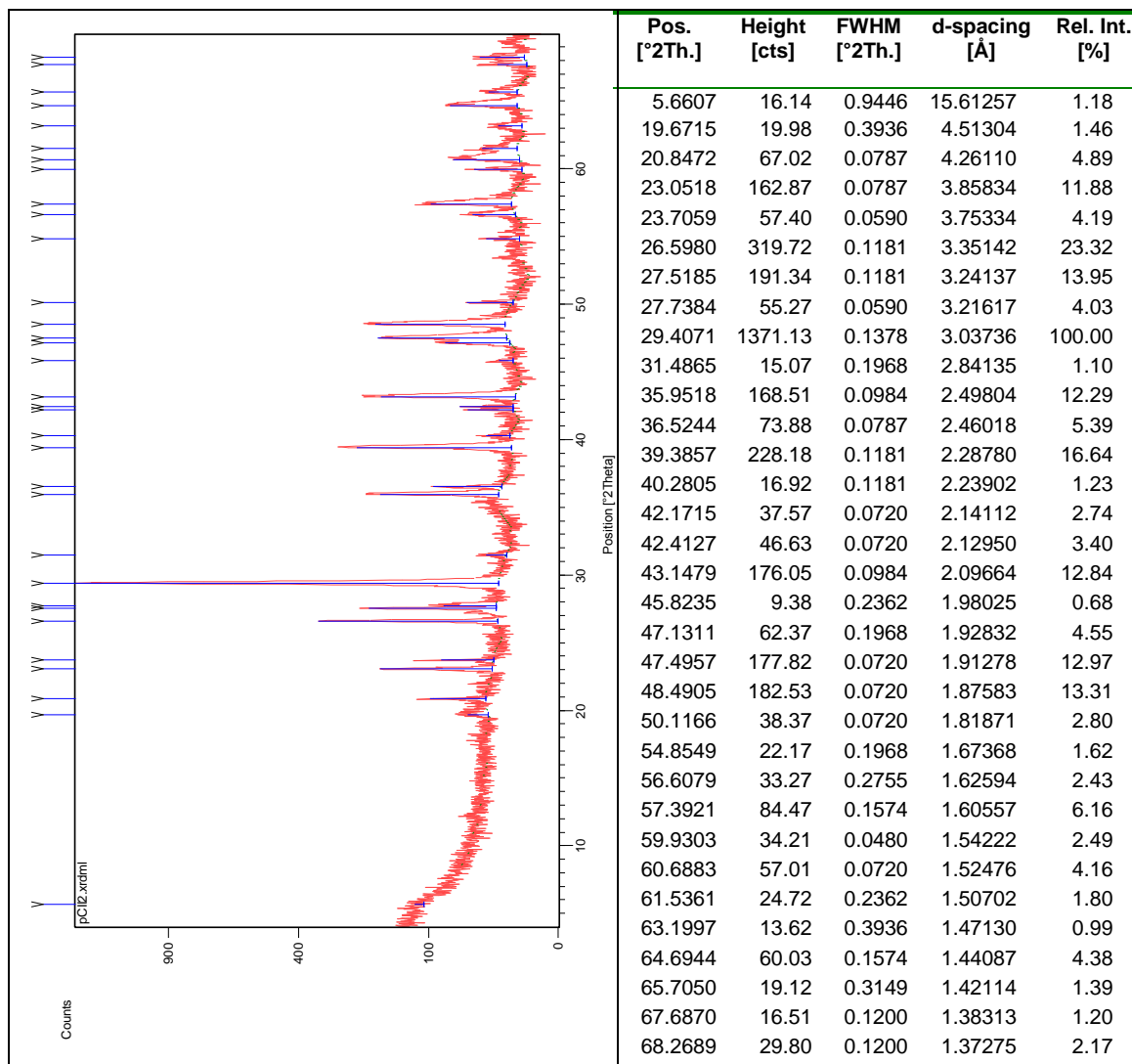


Figura III.3 Difractograma da amostra total recolhida a 37 cm de profundidade (pMC11), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

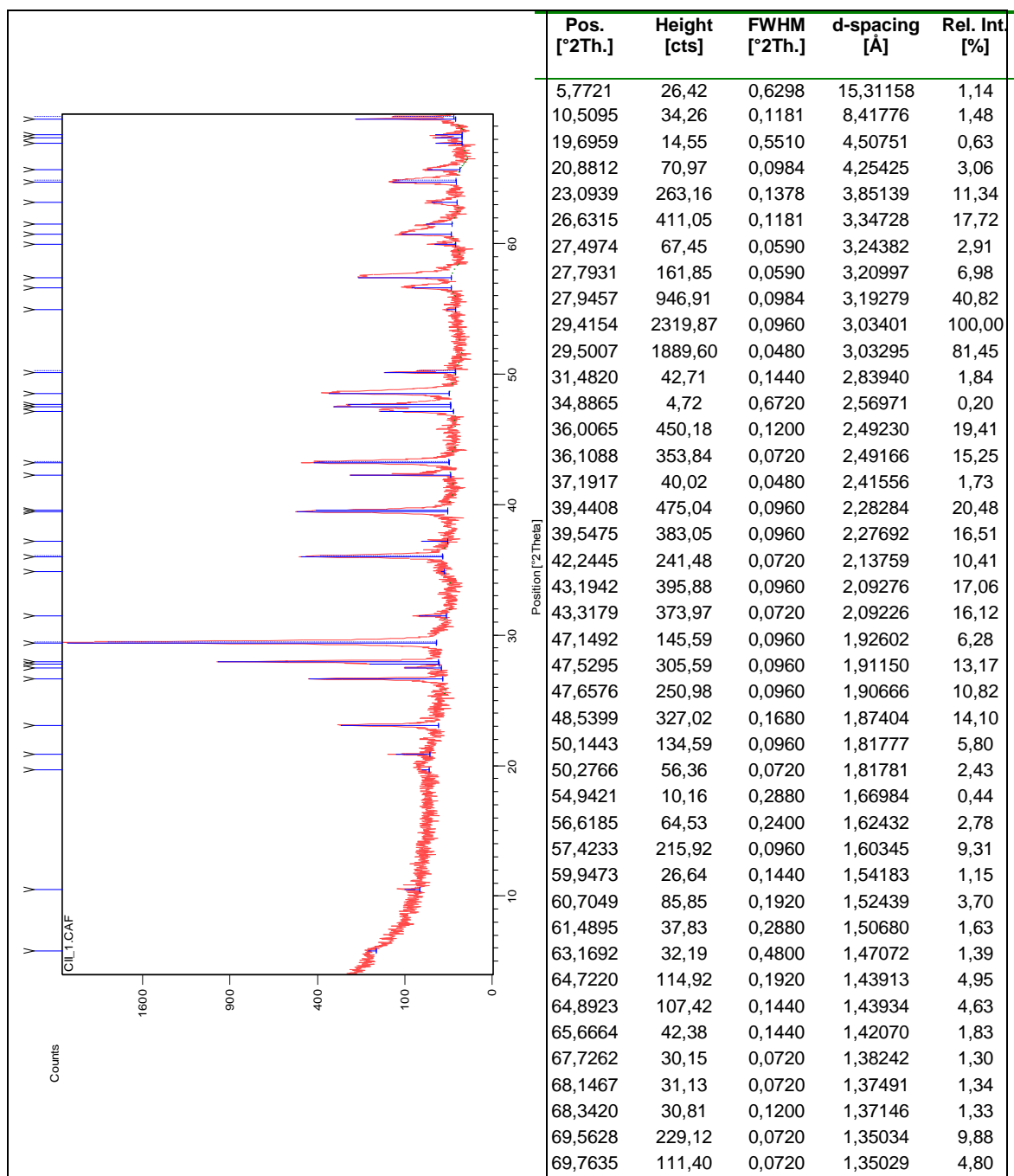


Figura III.4 Difratoograma da amostra total MC4, recolhida a 50 cm de profundidade, nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

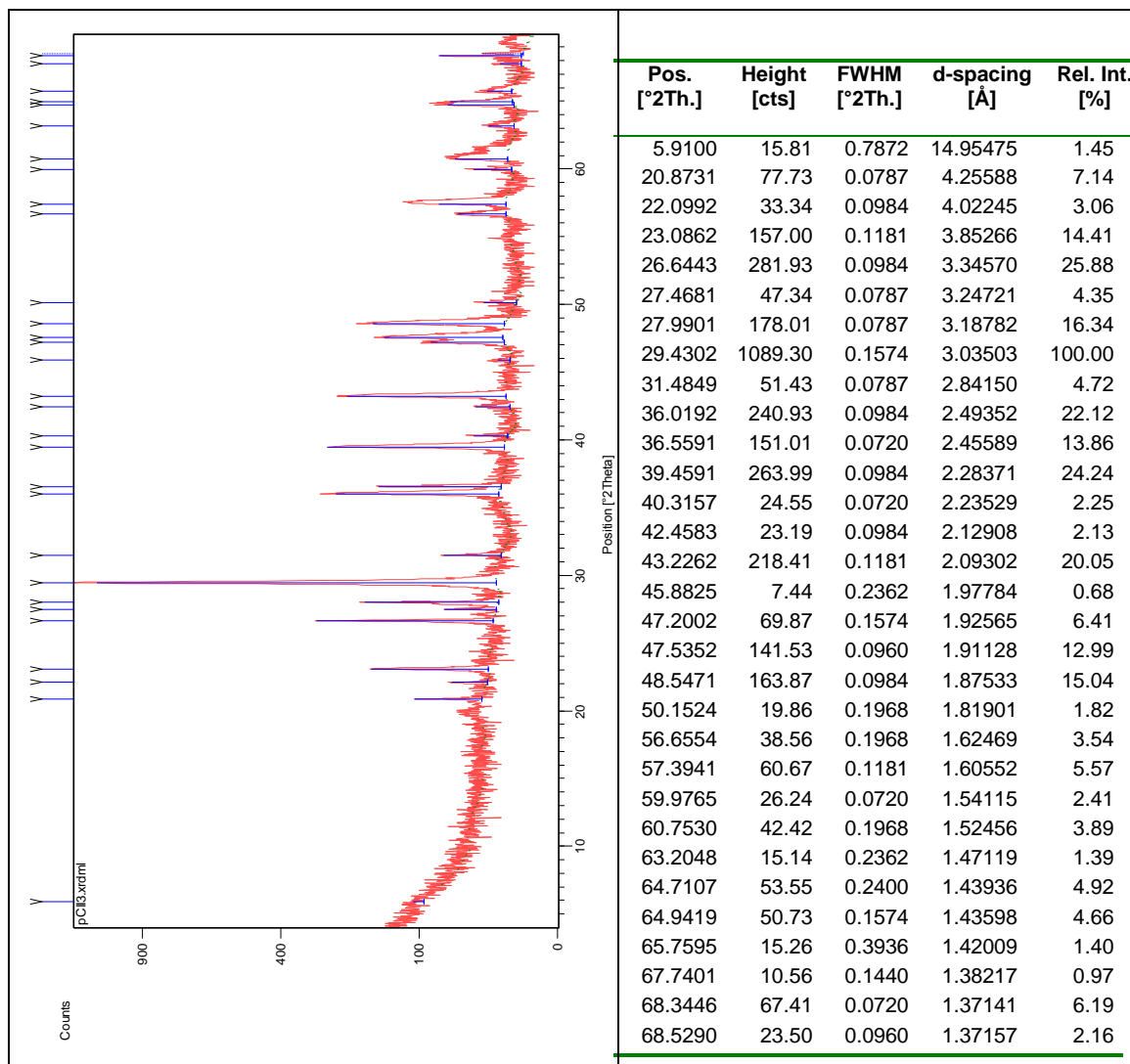


Figura III.5 Difractograma da amostra total recolhida a 70 cm de profundidade (pMC10), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

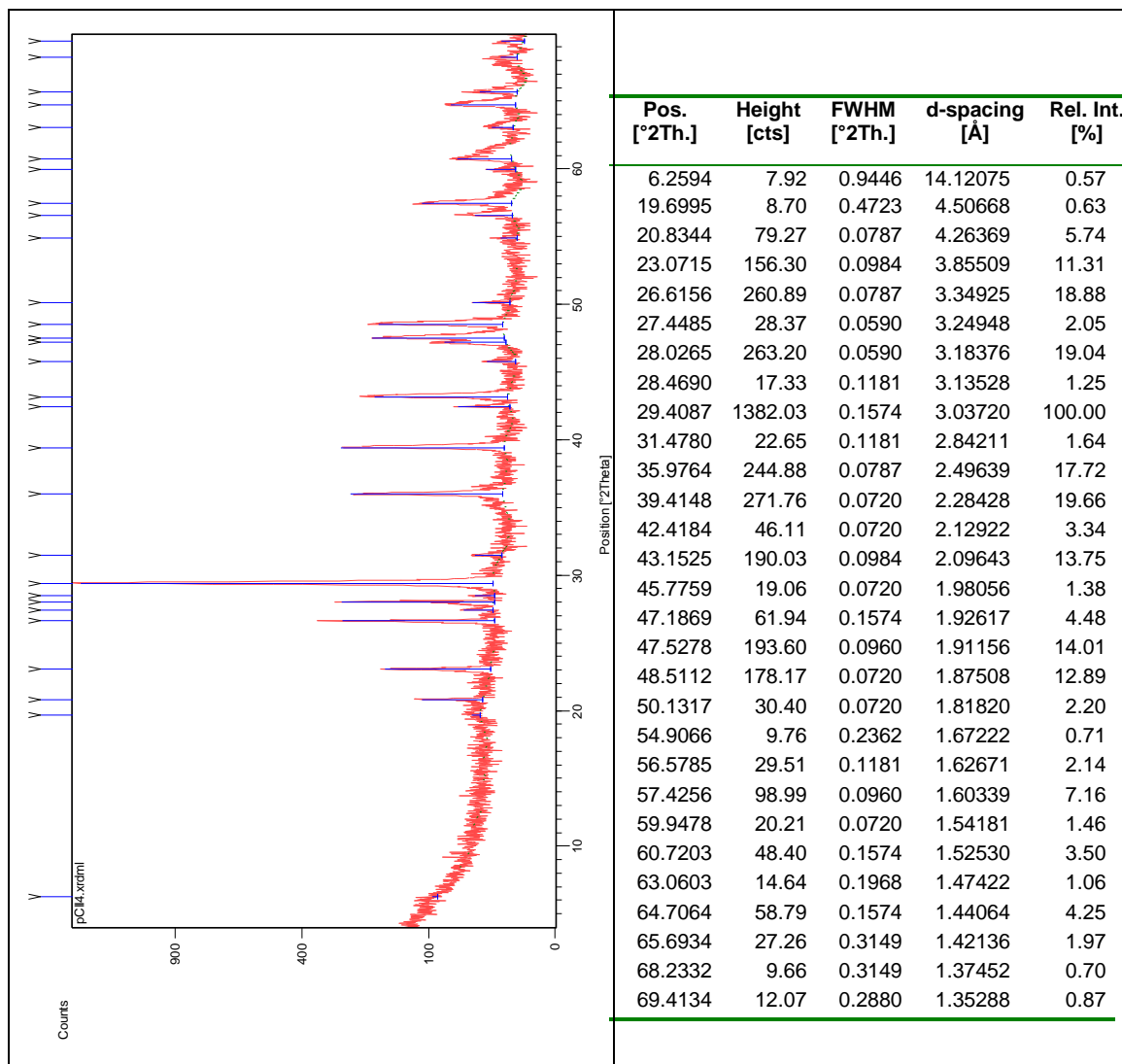


Figura III.6 Difratoograma da amostra total recolhida a 84 cm de profundidade (pMC9), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

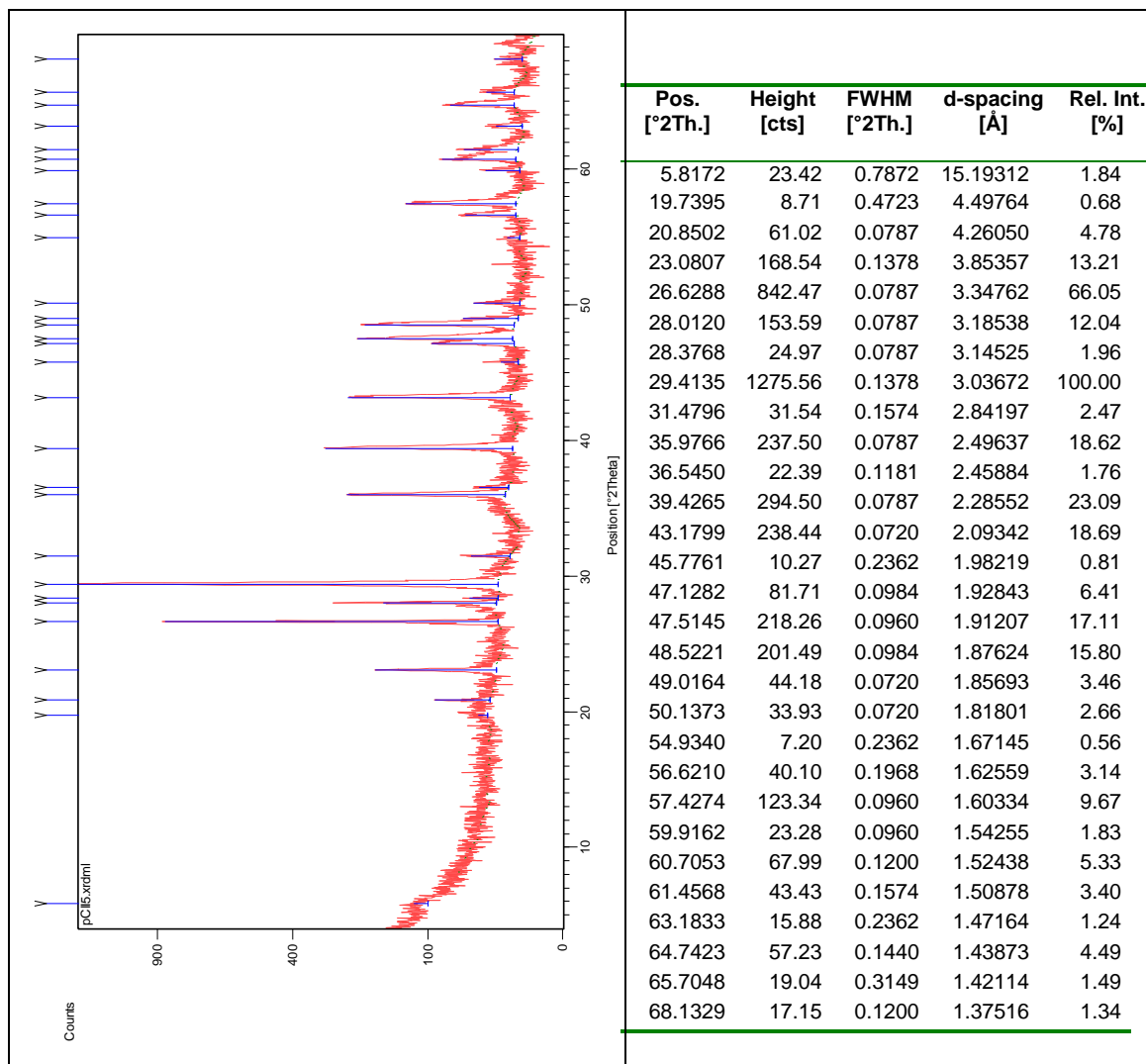


Figura III.7 Difratoograma da amostra total recolhida a 92 cm de profundidade (pMC8), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

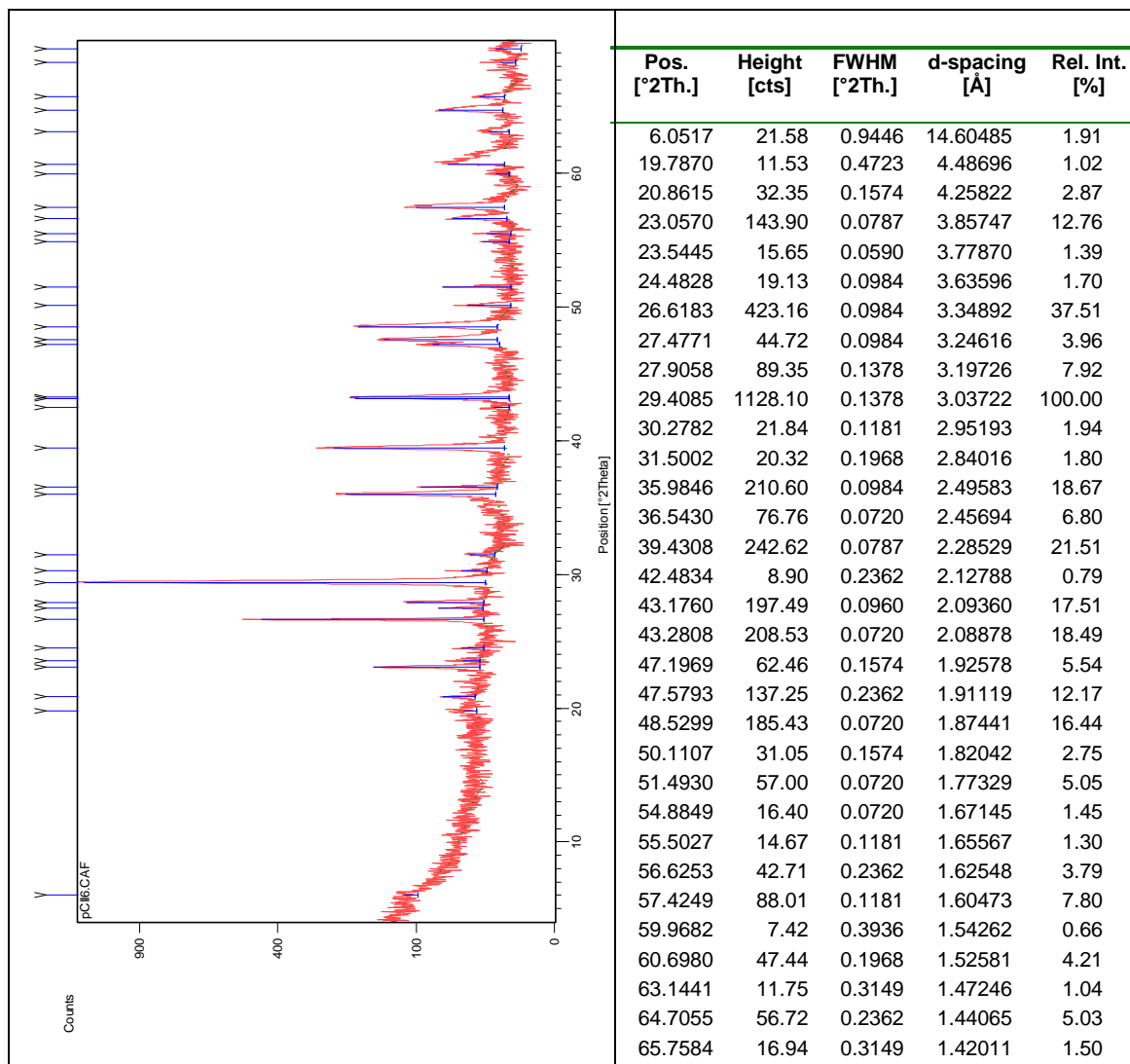


Figura III.8 Difractograma da amostra total recolhida a 100 cm de profundidade (pMC7), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

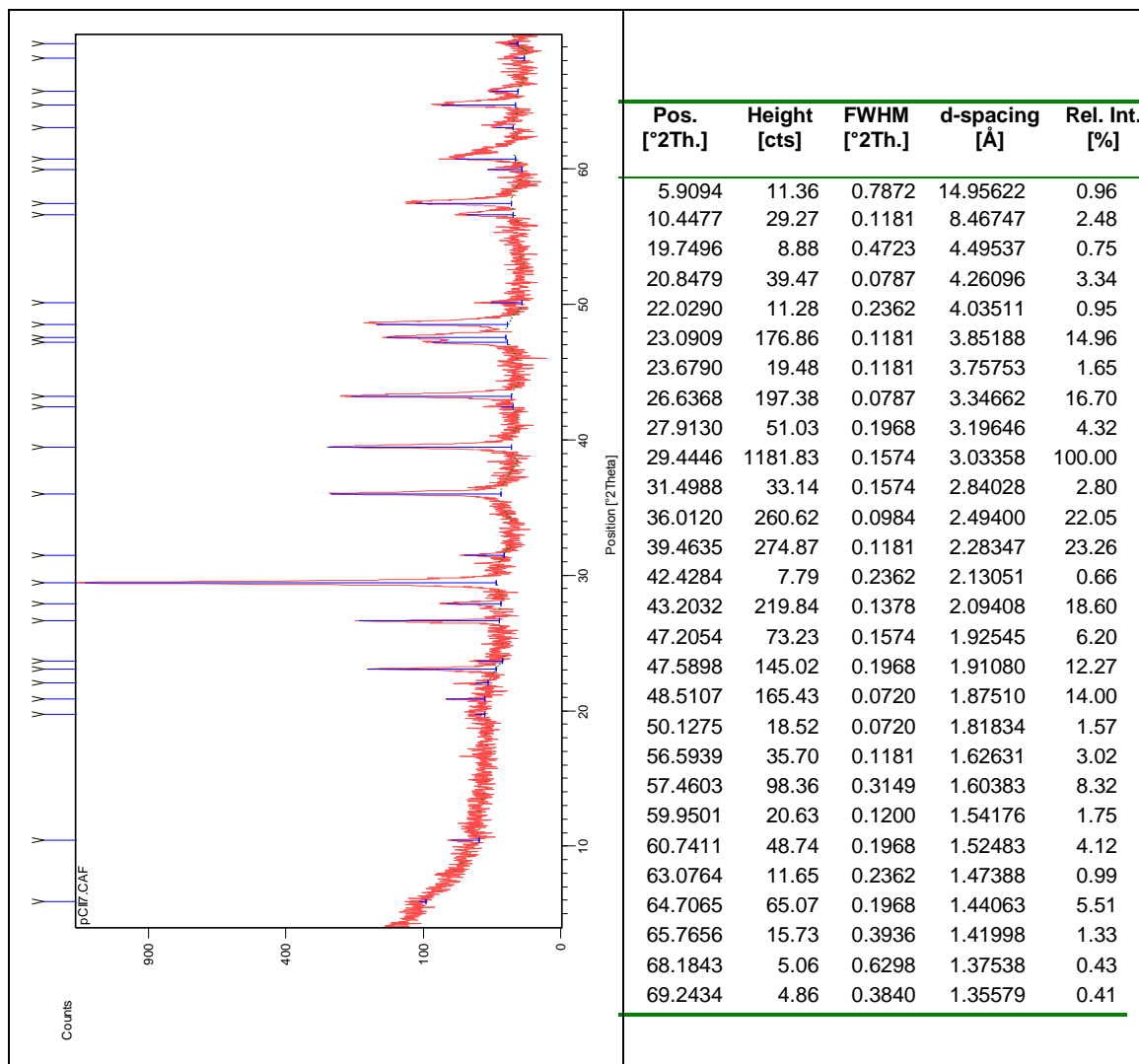


Figura III.9 Difratoograma da amostra total recolhida a 115 cm de profundidade (pMC6), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

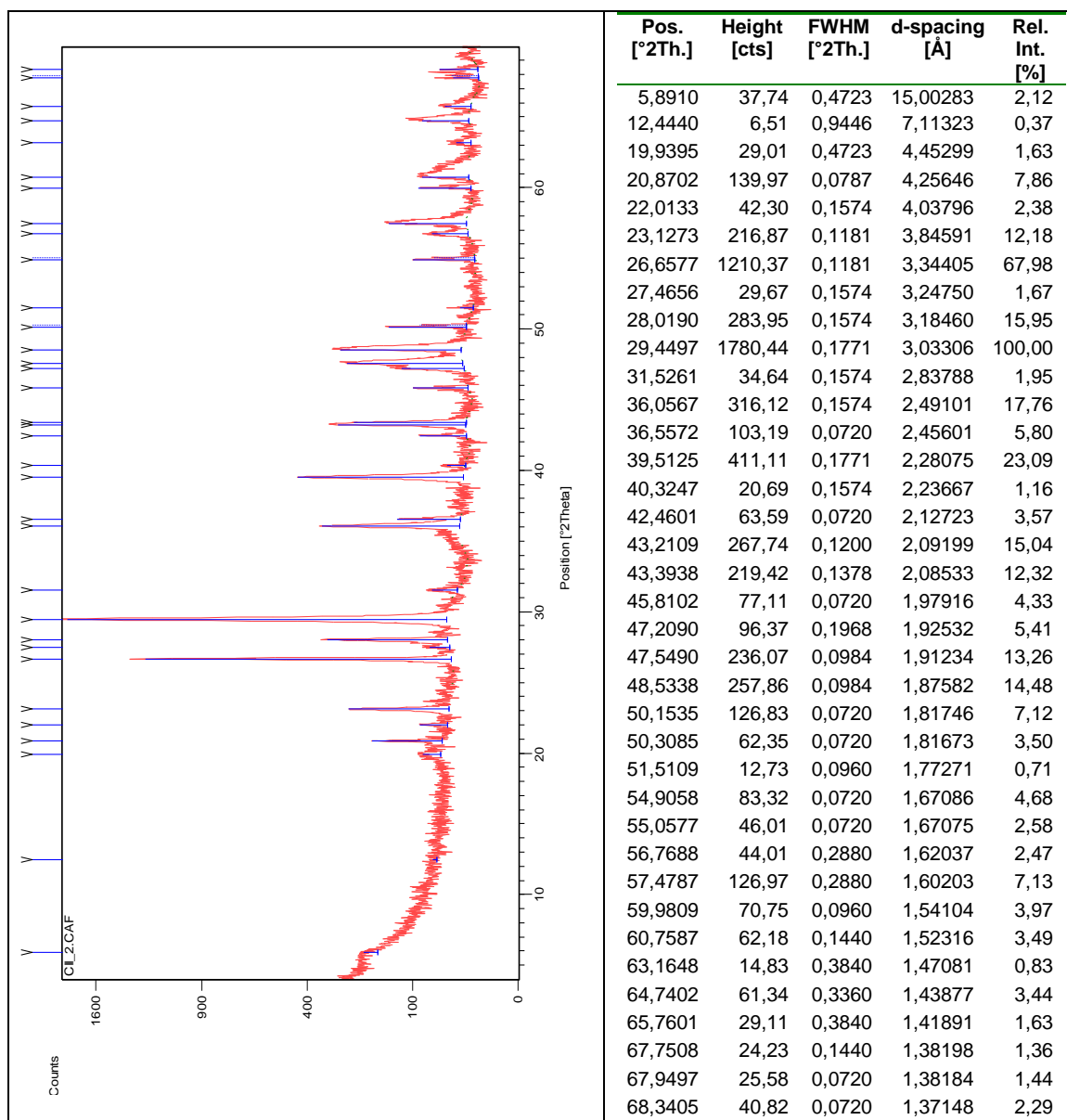


Figura III.10 Difratoograma da amostra total MC3, recolhida a 130 cm de profundidade, nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

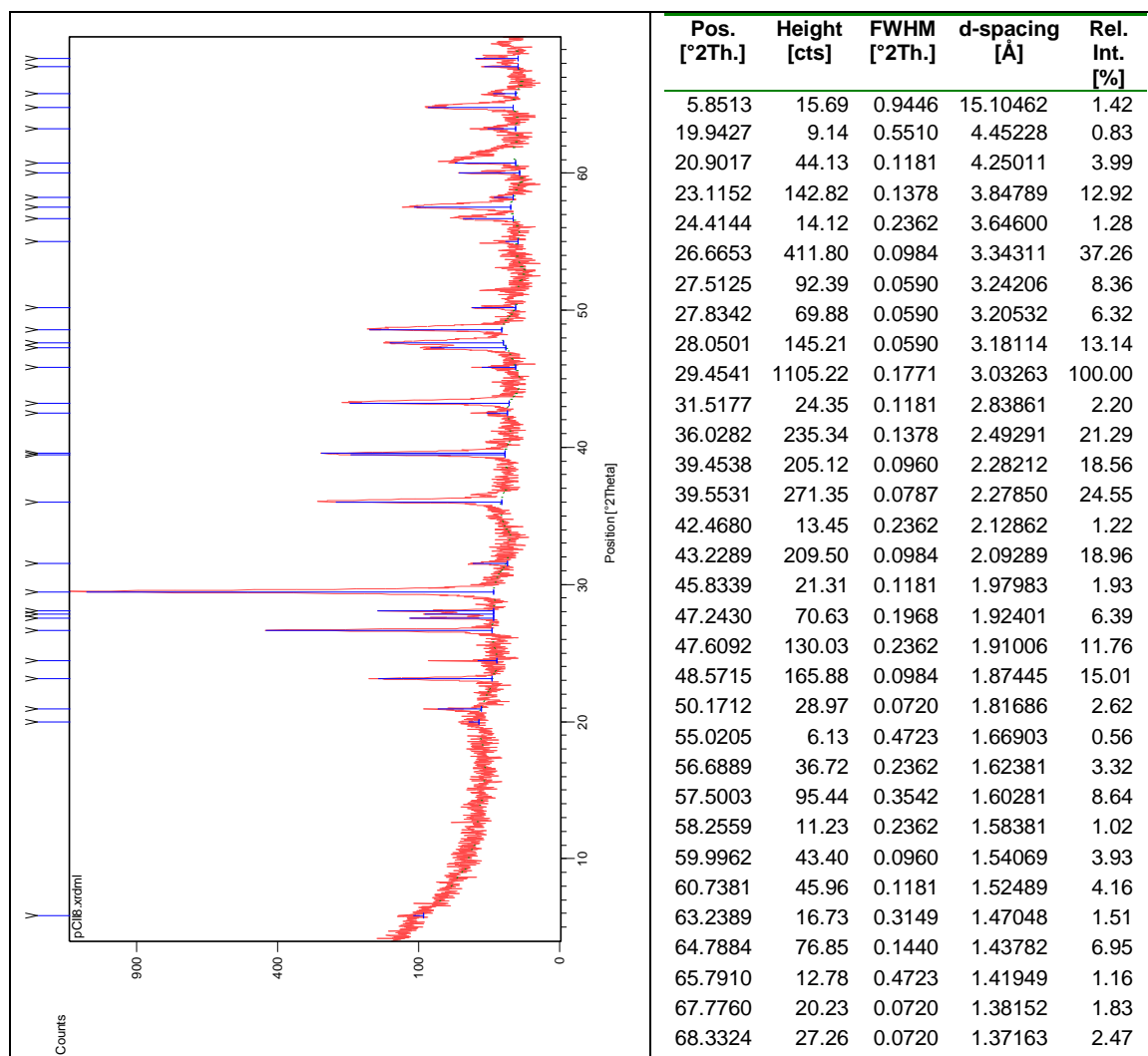


Figura III.11 Difratoograma da amostra total recolhida a 155 cm de profundidade (pMC5), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

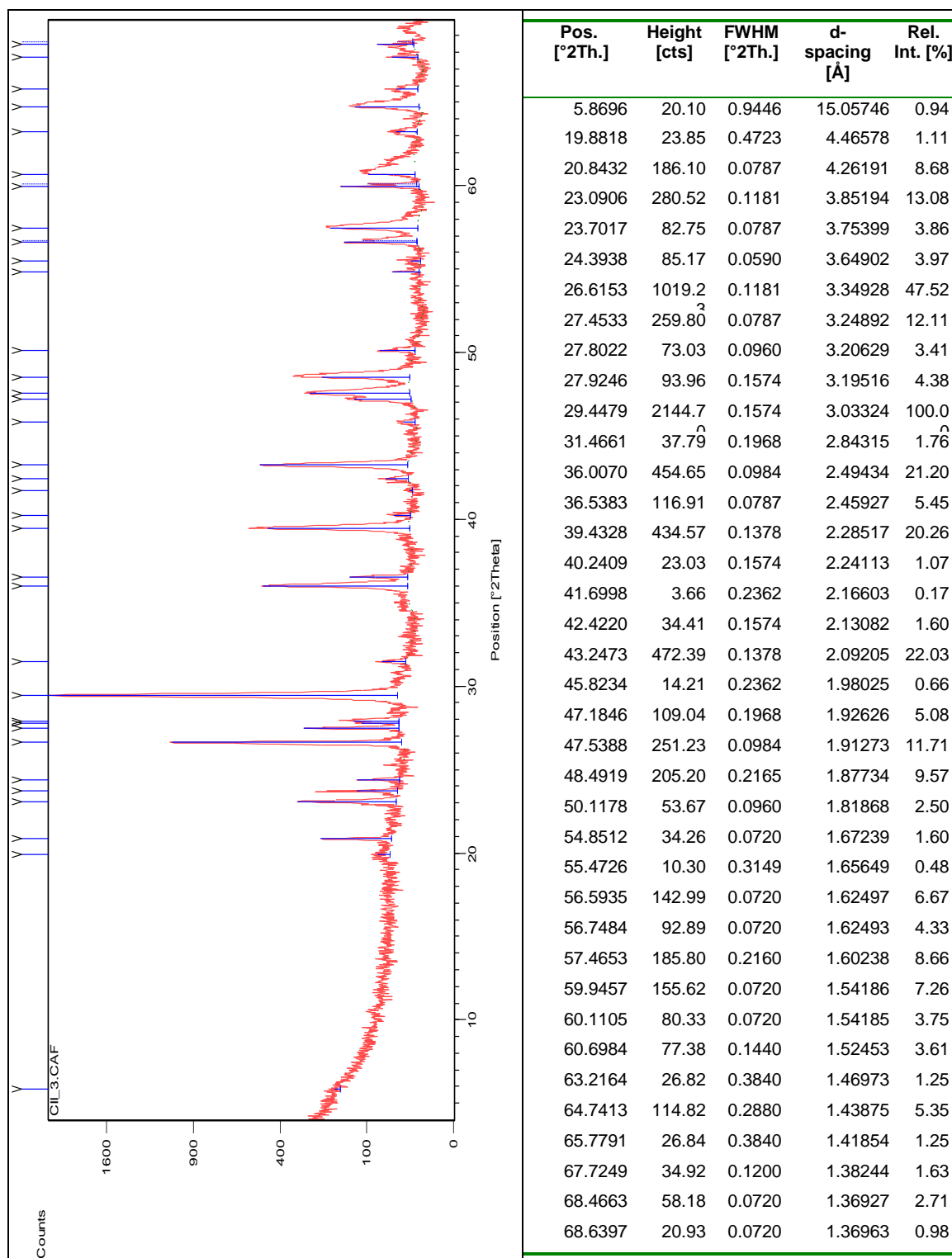


Figura III.12 Difratoograma da amostra total MC2, recolhida a 170 cm de profundidade, nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

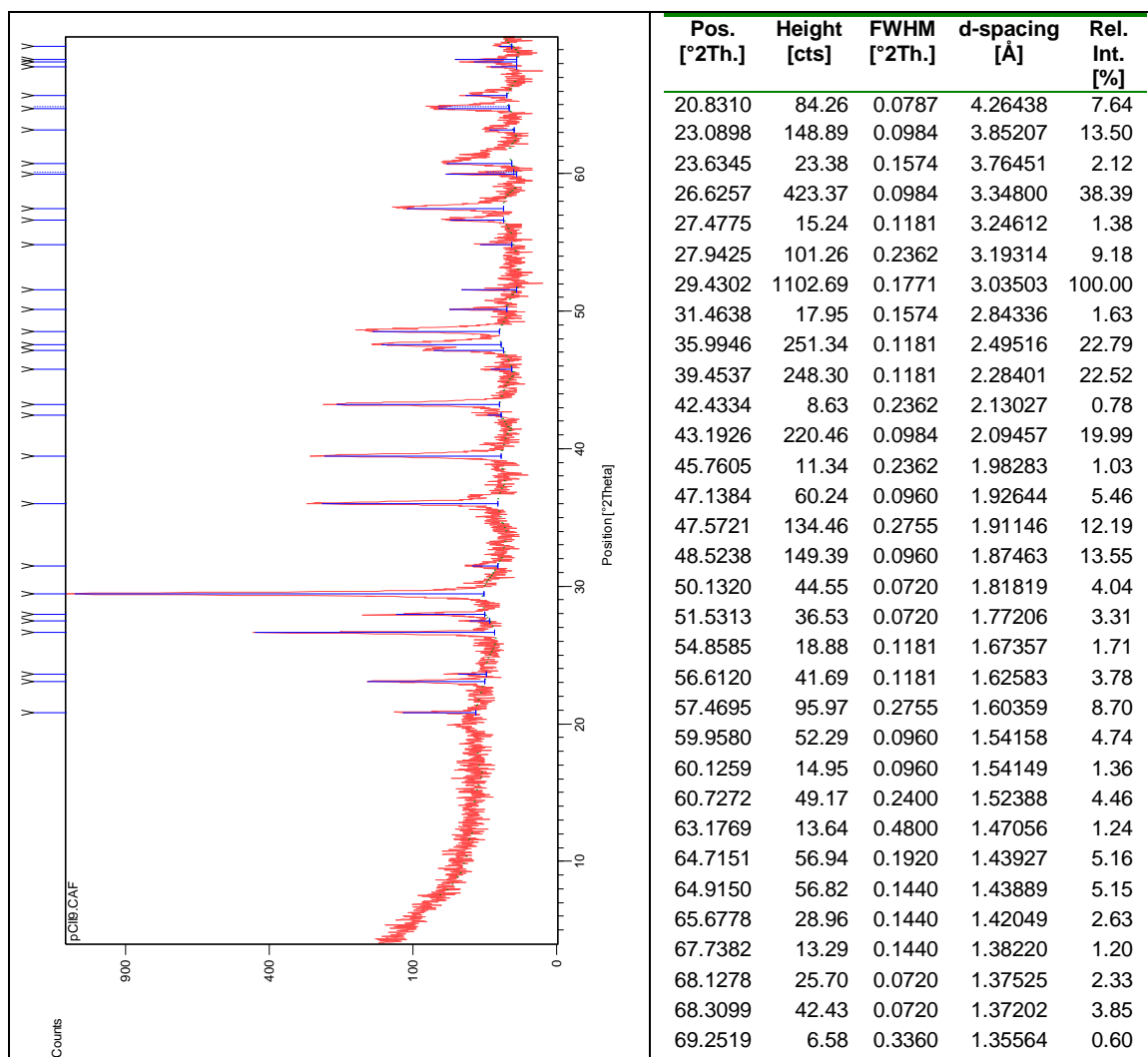


Figura III.13 Difractograma da amostra total recolhida a 176 cm de profundidade (pMC4), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

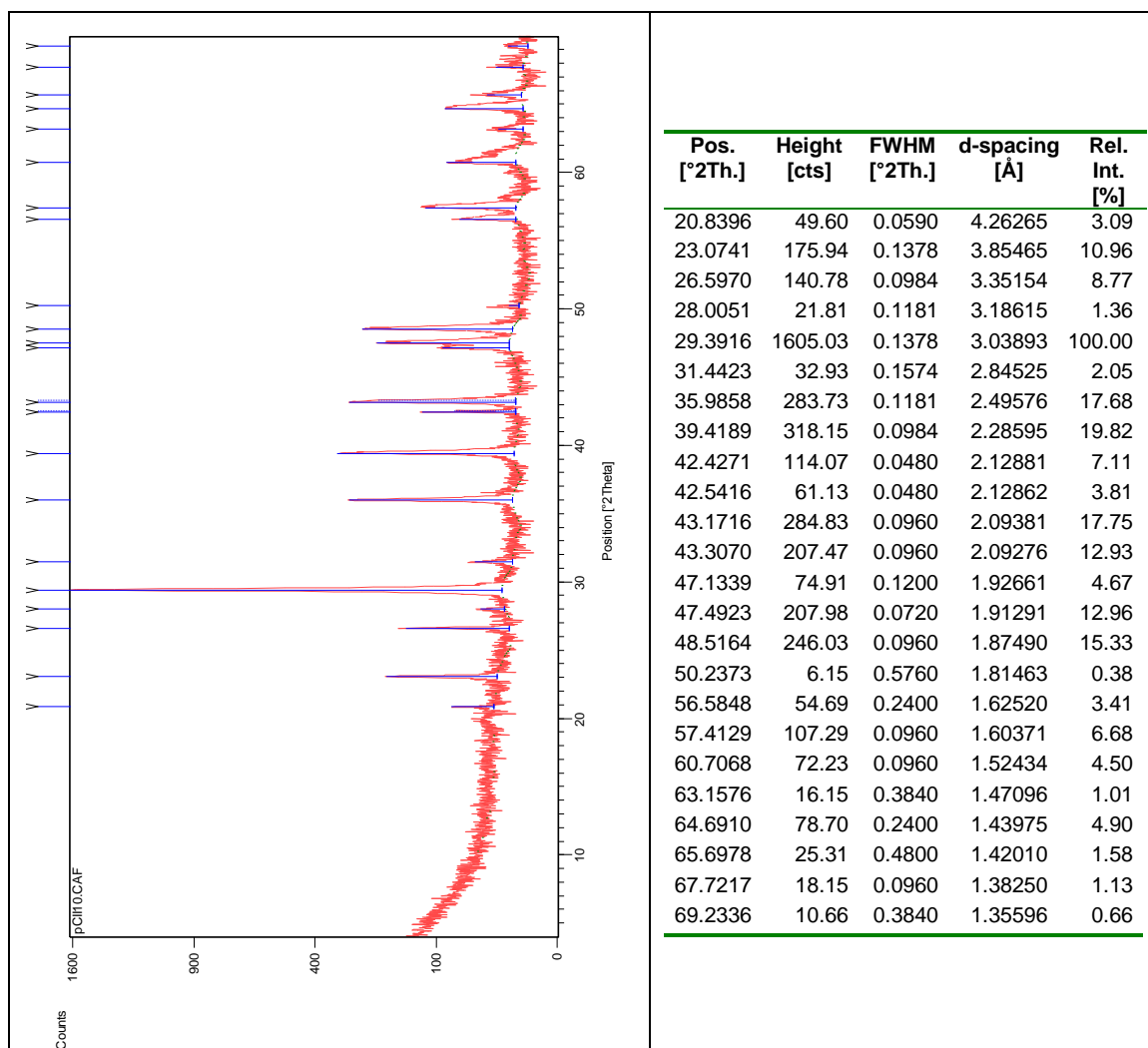


Figura III.14 Difratoograma da amostra total recolhida a 190 cm de profundidade (pMC3), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

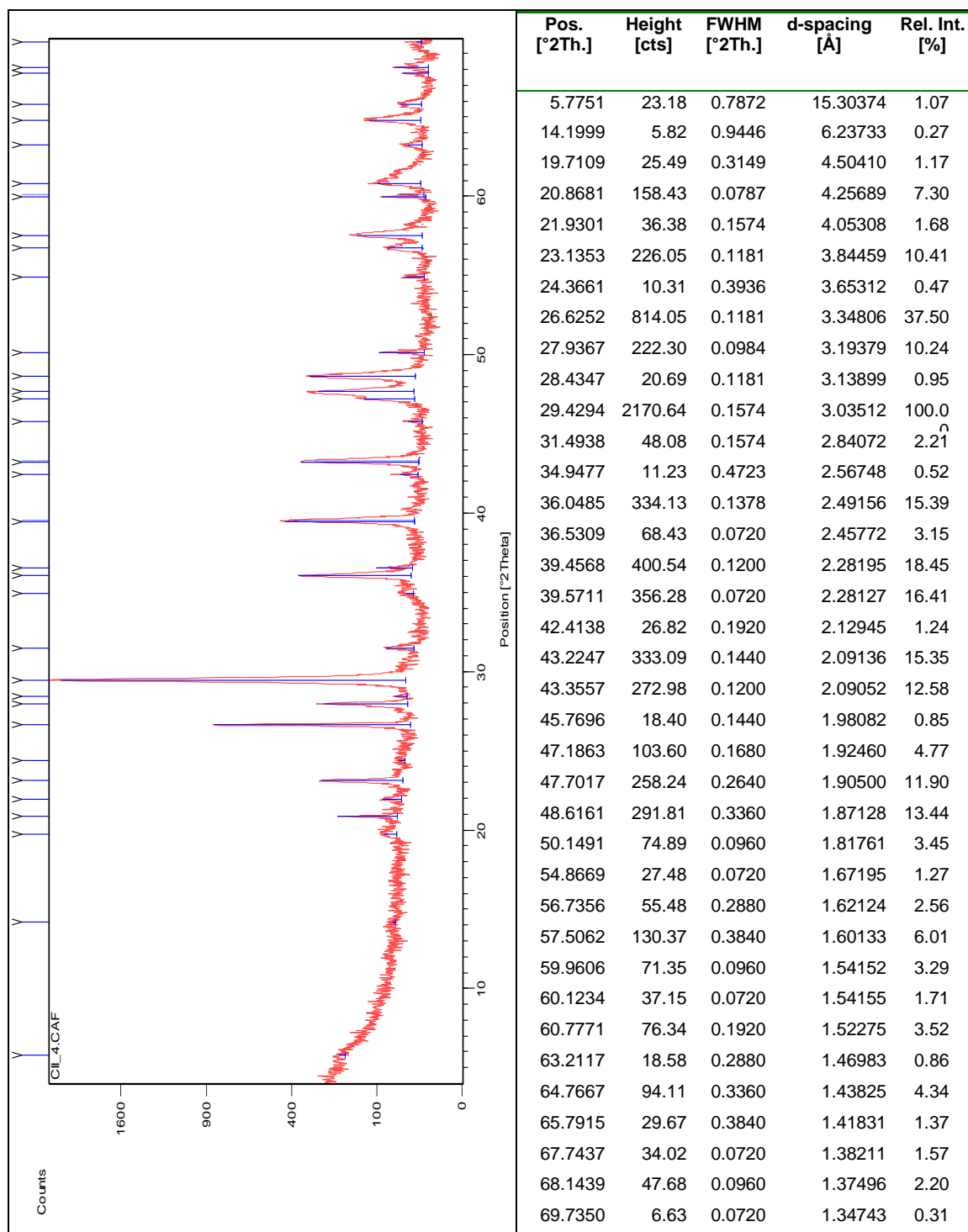


Figura III.15 Difratoograma da amostra total MC1, recolhida a 207 cm de profundidade, nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

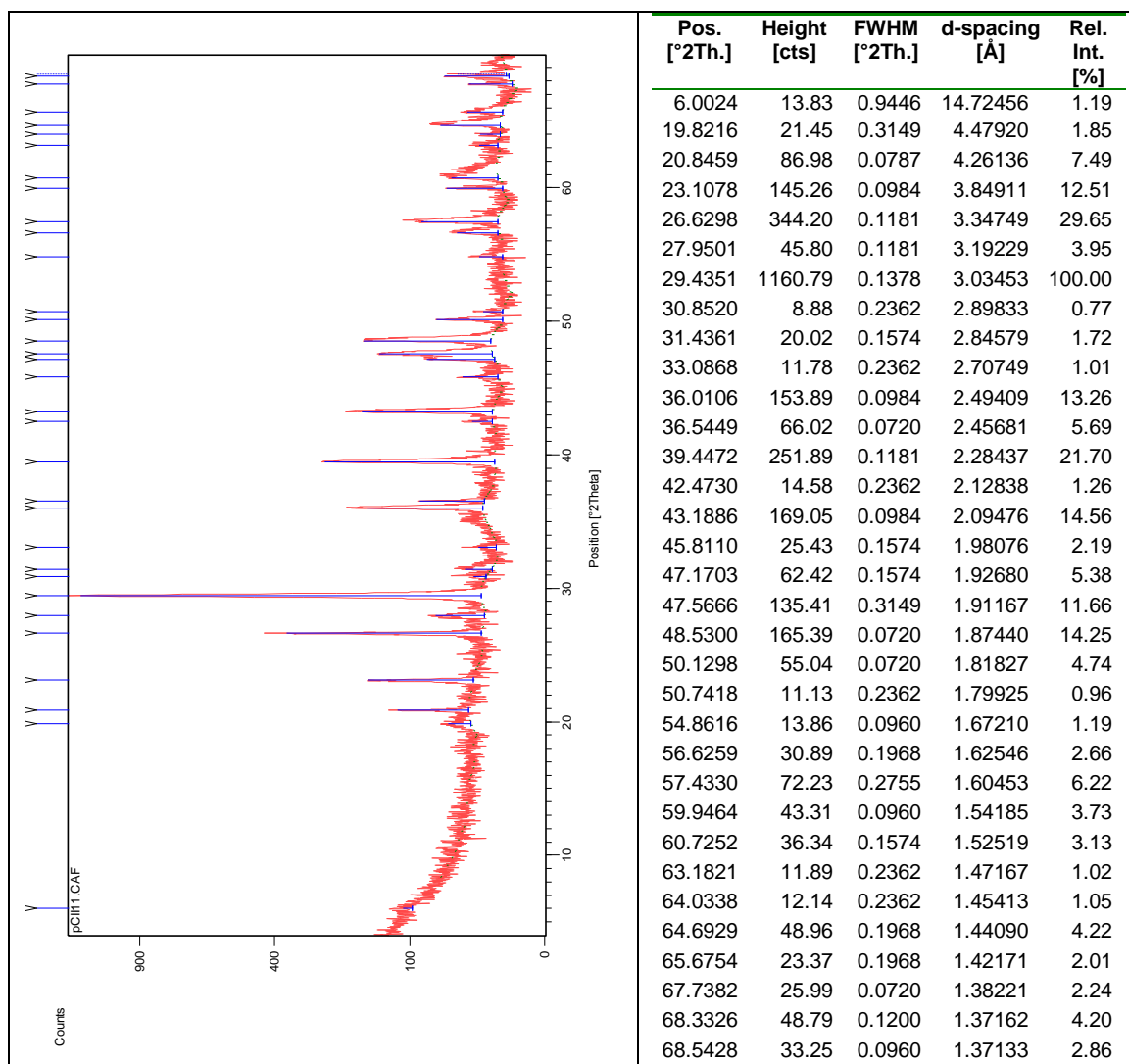


Figura III.16 Difratoograma da amostra total recolhida a 213 cm de profundidade (pMC2), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

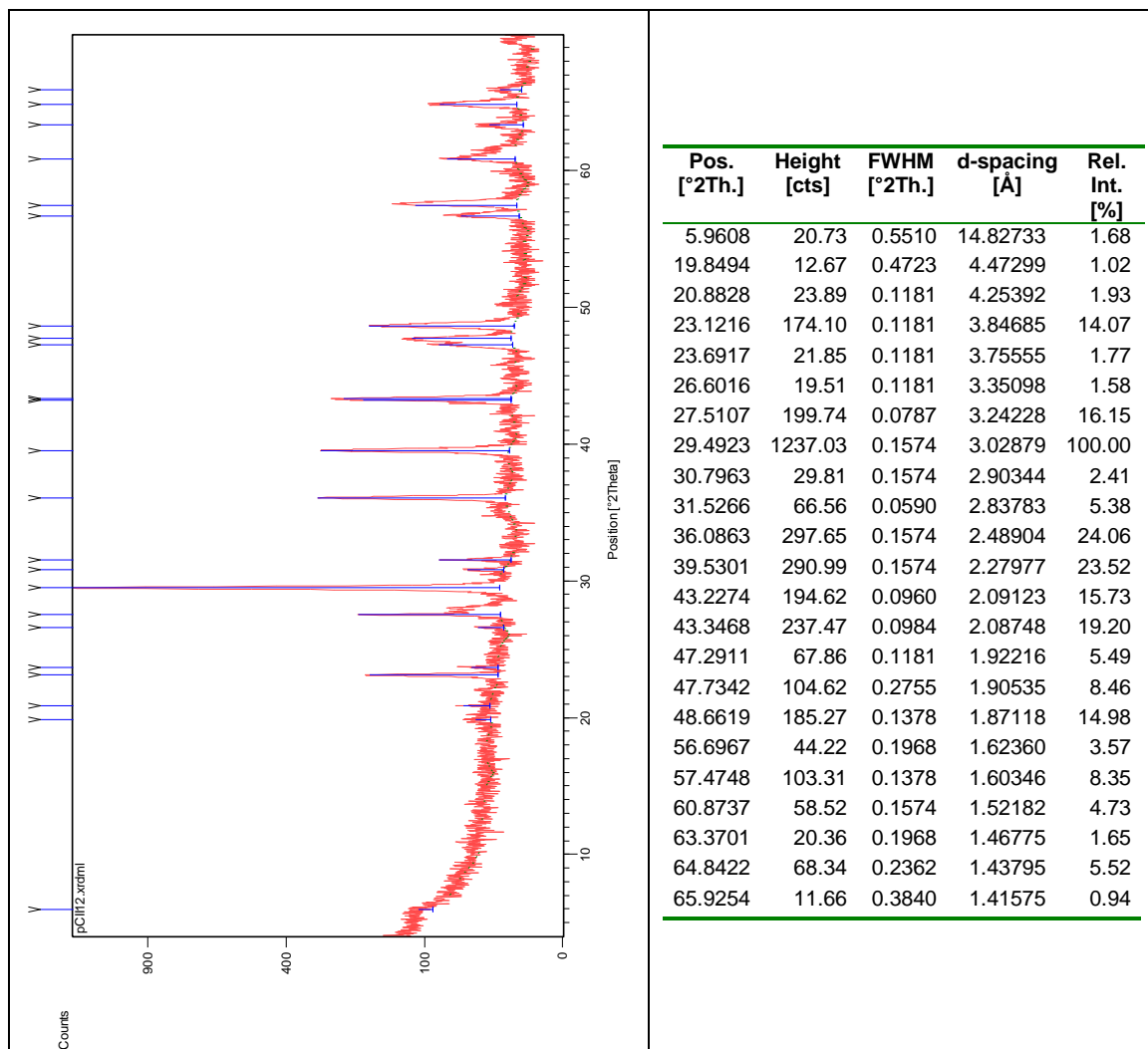


Figura III.17 Difratoograma da amostra total recolhida a 223 cm de profundidade (pMC1), nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

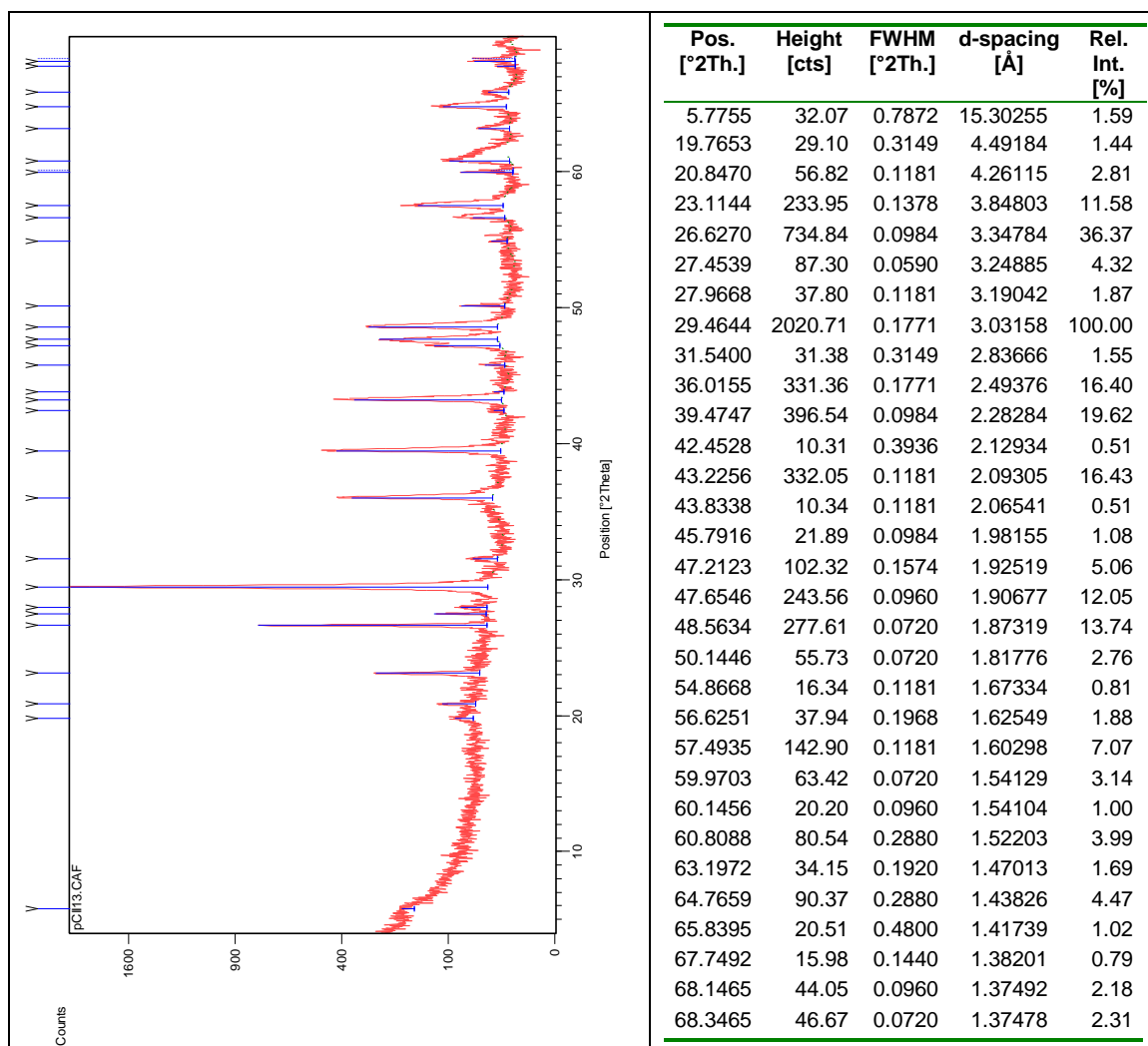


Figura III.18 Difratoograma da amostra total pMC14, recolhida a 134 cm de profundidade e a 120 cm à esquerda do perfil central, nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

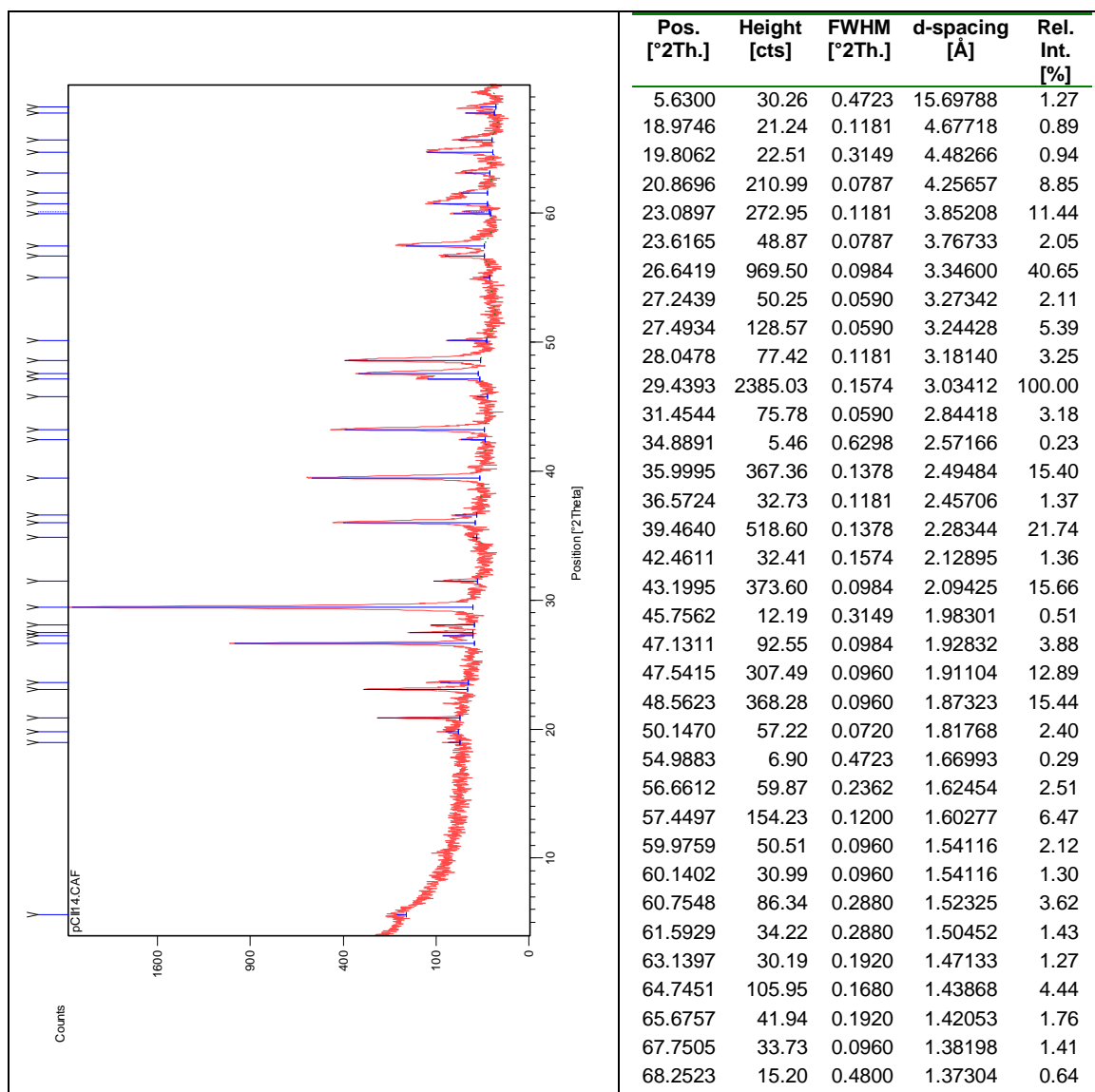


Figura III.19 Difratoograma da amostra total pMC15, recolhida a 76 cm de profundidade e a 160 cm à esquerda do perfil central, nos materiais de preenchimento da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

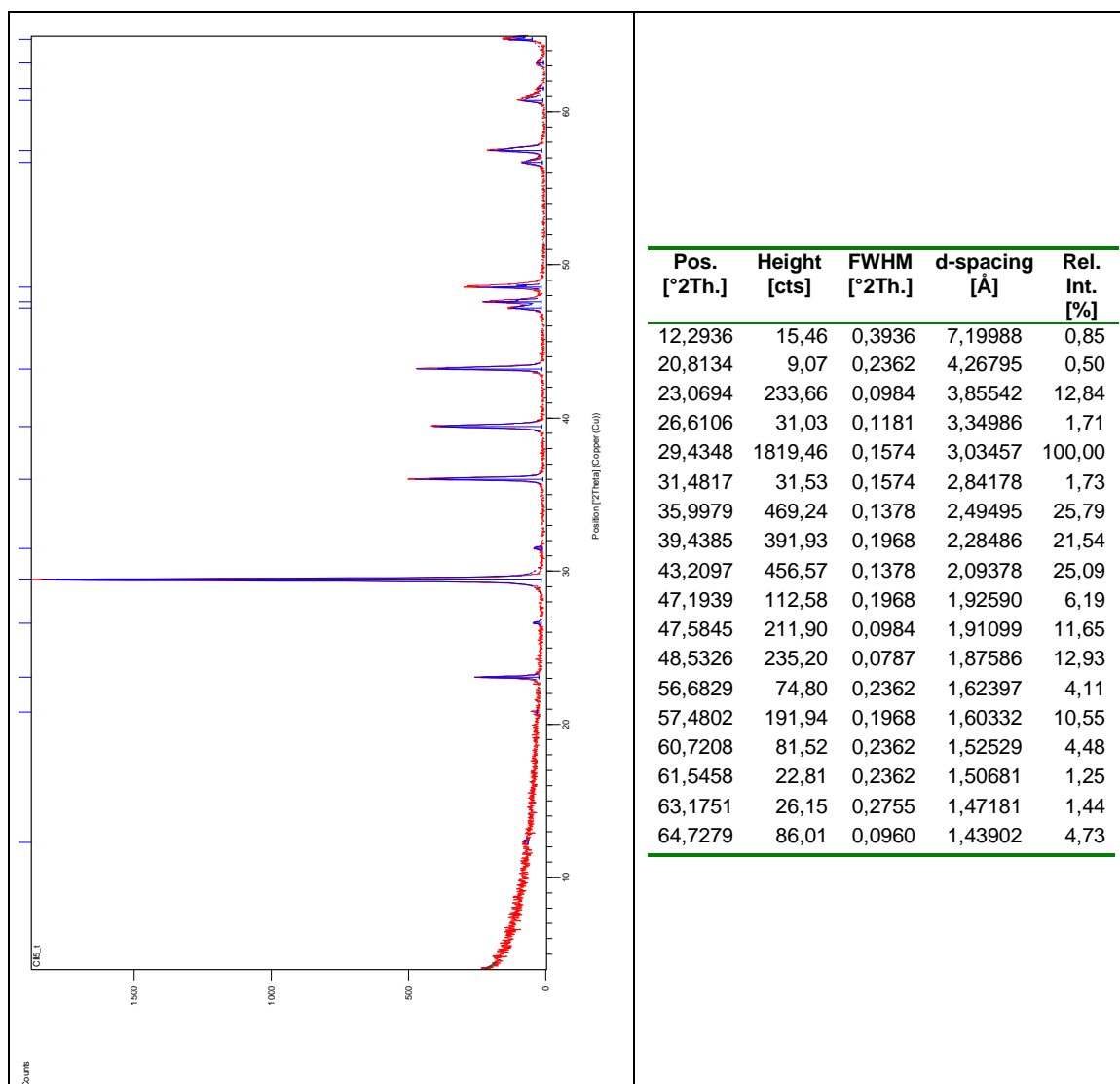


Figura III.20 Difratoograma da amostra total MCa, representativa do substrato geológico na área de escavação da estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

III.1.2 Semiquantificação e MIA da amostra total

Tabela III.1 Semiquantificação e índice mineralógico de alteração da amostra total dos materiais de preenchimento e representativos da geologia local, recolhidos no Monte Carrascal.

Amostra	Profundidade (cm)	%							MIA
		Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase	Hematite	Dolomite	
pMC13	0	47	22	18	3	10	-	-	59
pMC12	28	57	30	7	1	4	-	-	56
pMC11	37	61	25	6	7	1	-	-	42
pMC10	50	53	19	8	1	22	-	-	26
MC4	70	51	40	4	1	4	-	-	44
pMC9	84	76	14	4	1	5	-	-	38
pMC8	92	67	16	13	1	5	-	-	71
pMC7	100	78	3	11	2	6	-	-	56
pMC6	115	76	17	3	-	4	-	-	44
MC3	130	55	24	13	1	8	-	-	59
pMC5	155	70	18	7	2	3	-	-	59
MC2	170	62	21	11	4	3	-	-	61
pMC4	176	81	-	9	1	10	-	-	45
pMC3	190	96	-	3	-	1	-	-	73
MC1	207	70	16	10	-	4	-	-	71
pMC2	213	60	25	8	4	2	1	1	55
pMC1	223	69	21	-	6	4	-	-	4
MCa	-	98	1	1	-	-	-	-	100
pMC14	134	72	19	7	1	1	-	-	79
pMC15	76	80	15	2	2	2	-	-	34

III.1.3 Difratogramas da Fração < 63 μm das amostras de materiais de preenchimento do fosso

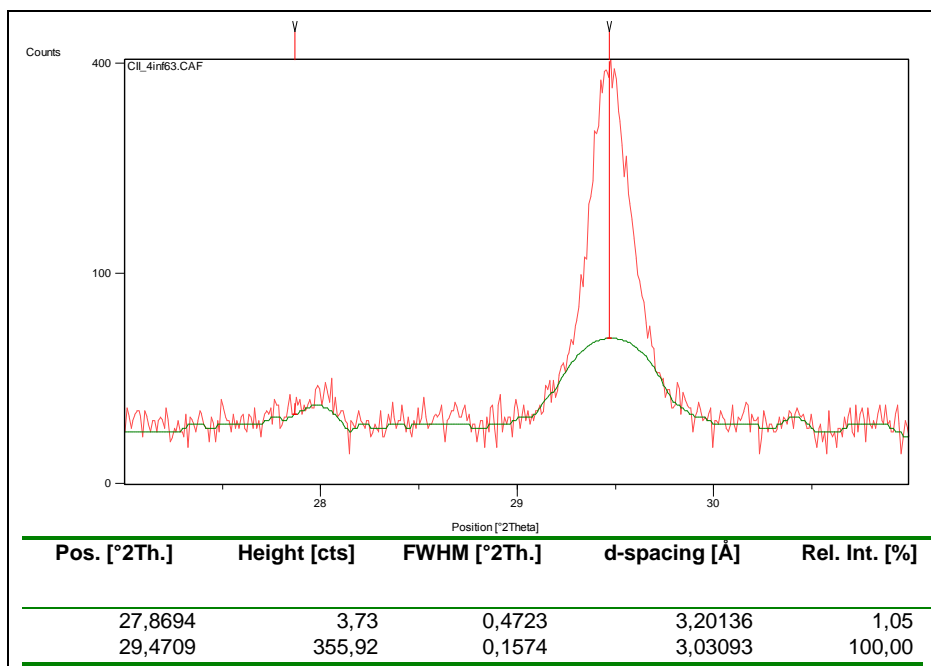


Figura III.21 Difratograma da fração <63 μm da amostra MC1, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

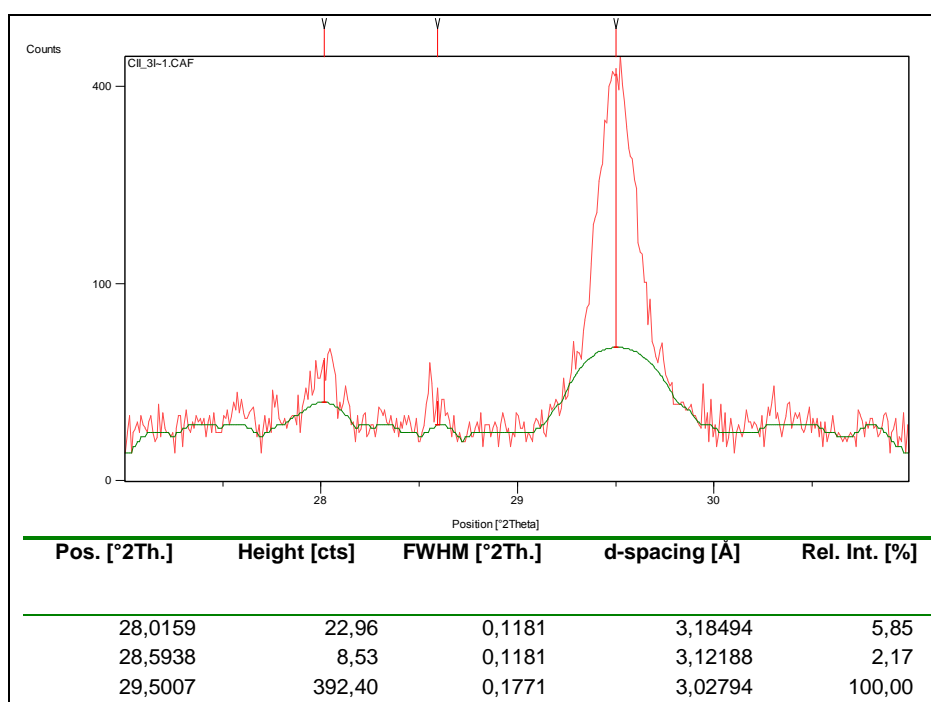


Figura III.22 Difratograma da fração <63 μm da amostra MC2, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

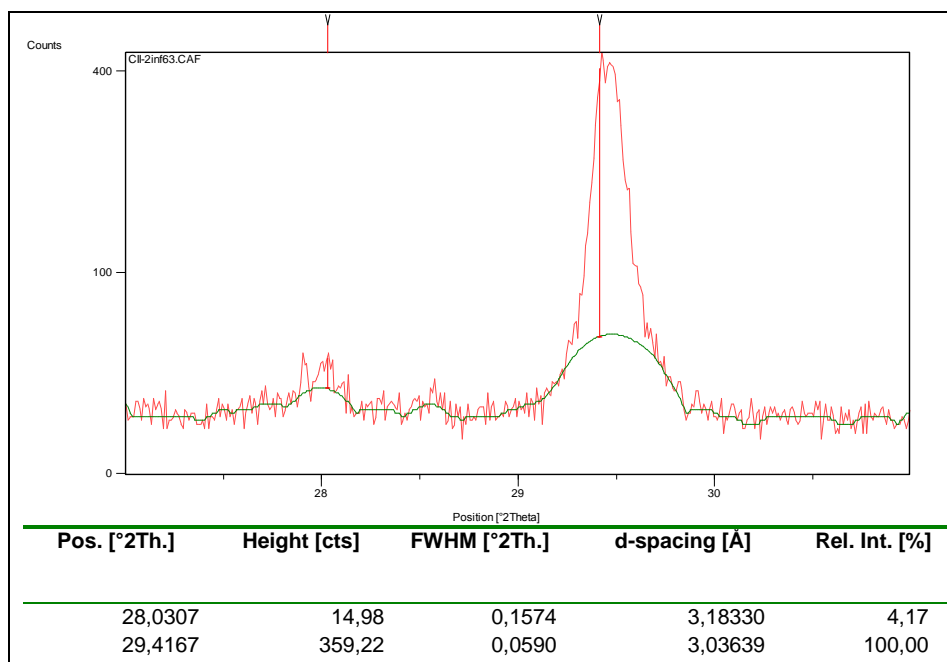


Figura III.23 Difractograma da fração <63 µm da amostra MC3, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

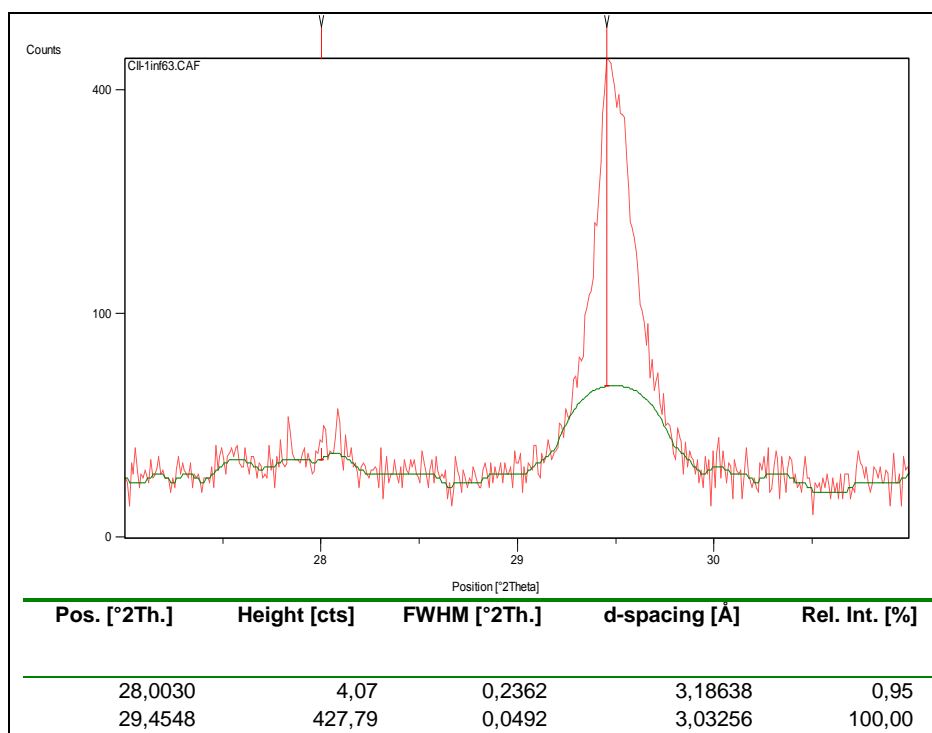


Figura III.24 Difractograma da fração <63 µm da amostra MC4, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

III.1.4 Difractogramas da Fração argilosa das amostras de preenchimento do fosso e da amostra de calcreto

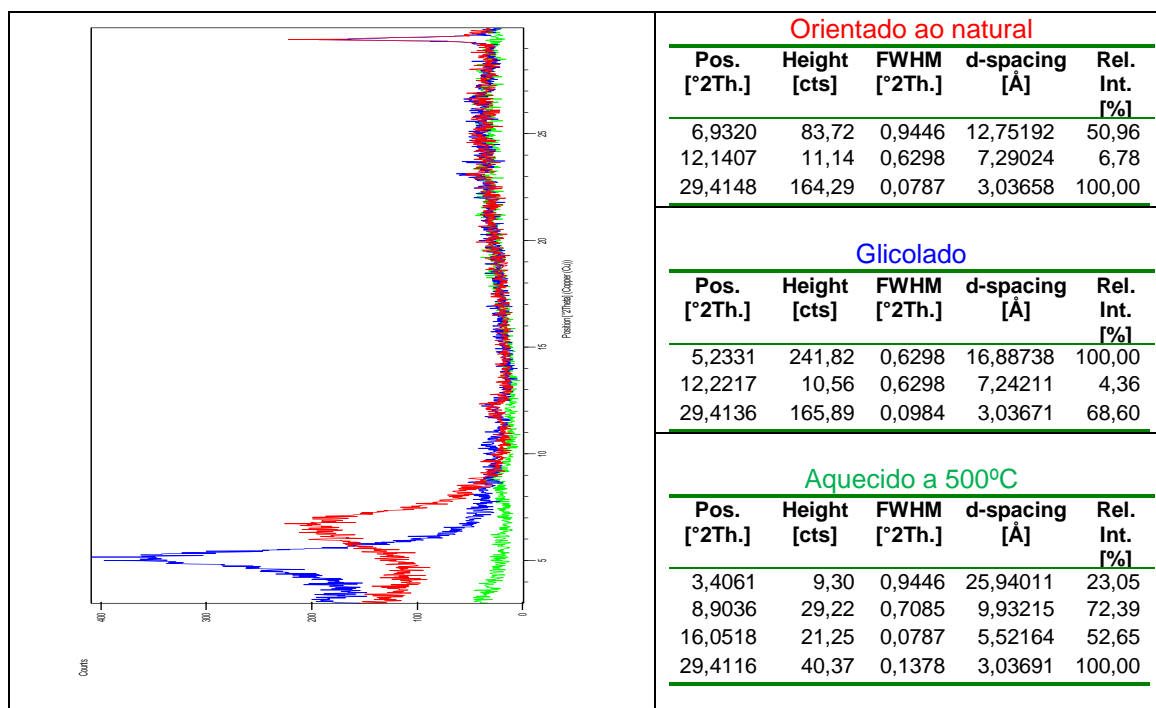


Figura III.25 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MC1, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

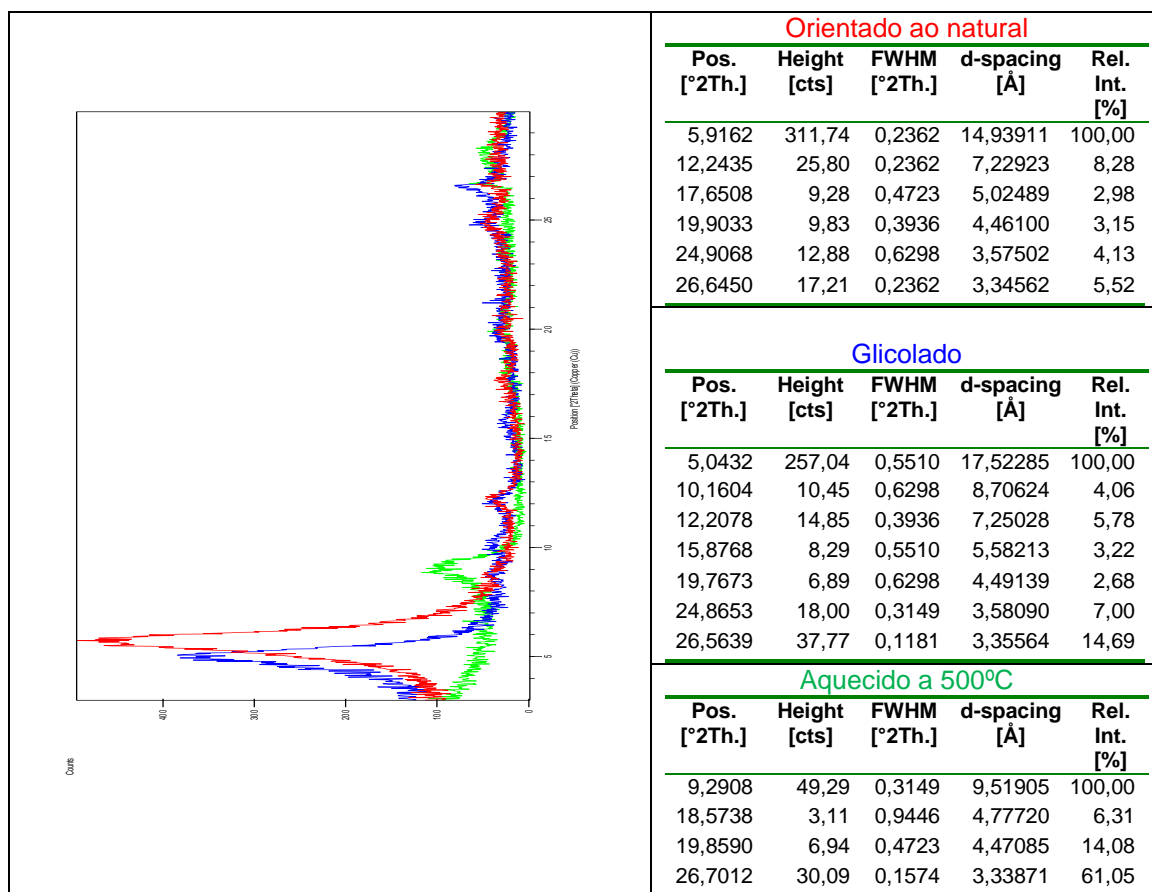


Figura III.26 Difractogramas da fração argilosa decarbonatada da amostra MC1, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

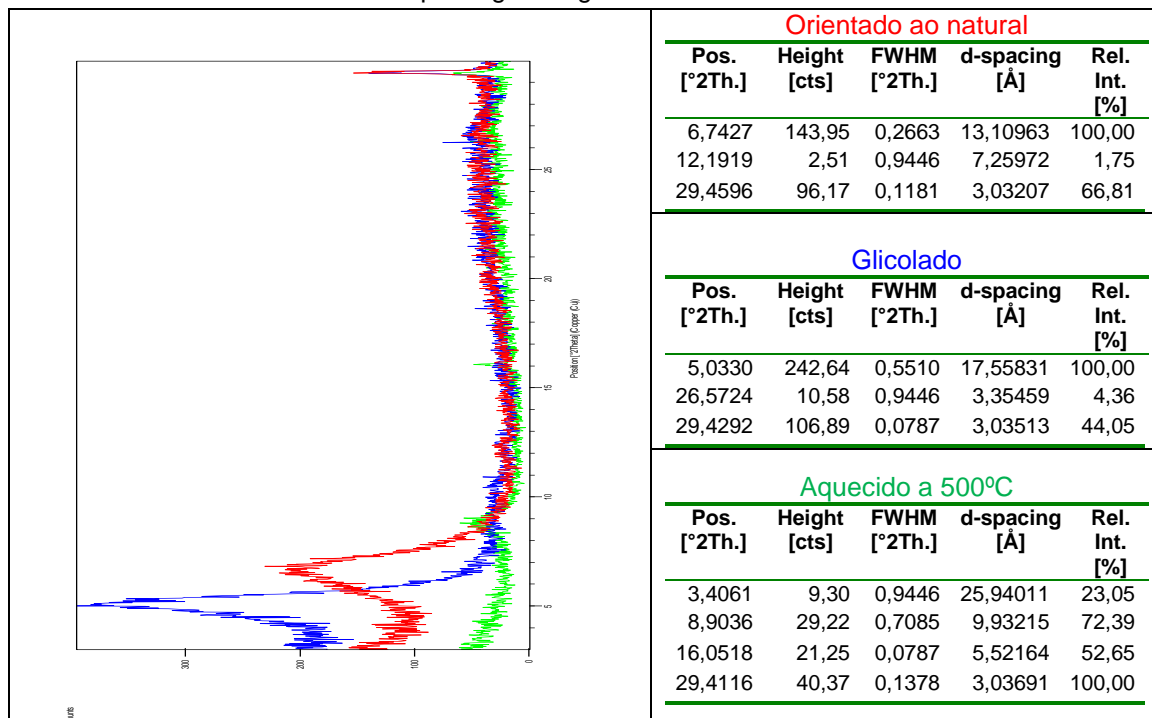


Figura III.27 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MC2, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

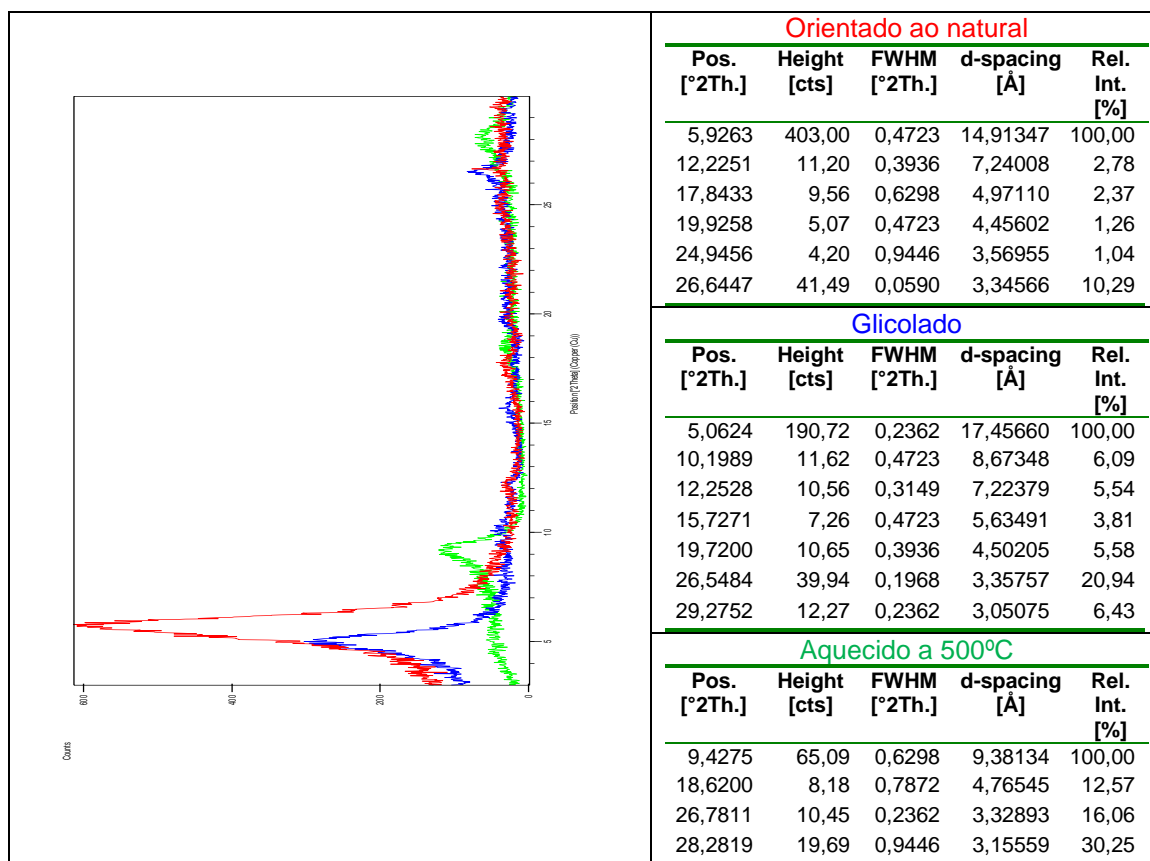


Figura III.28 Difratomogramas da fração argilosa decarbonatada da amostra MC2, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

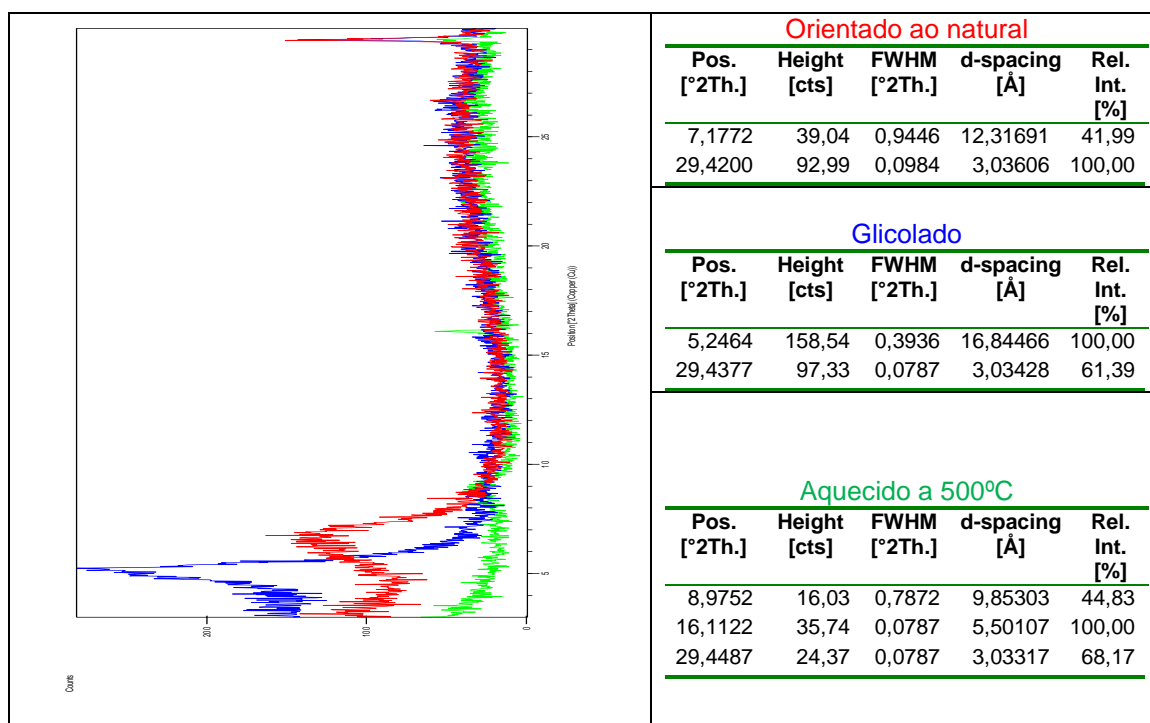


Figura III.29 Difratomogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MC3, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

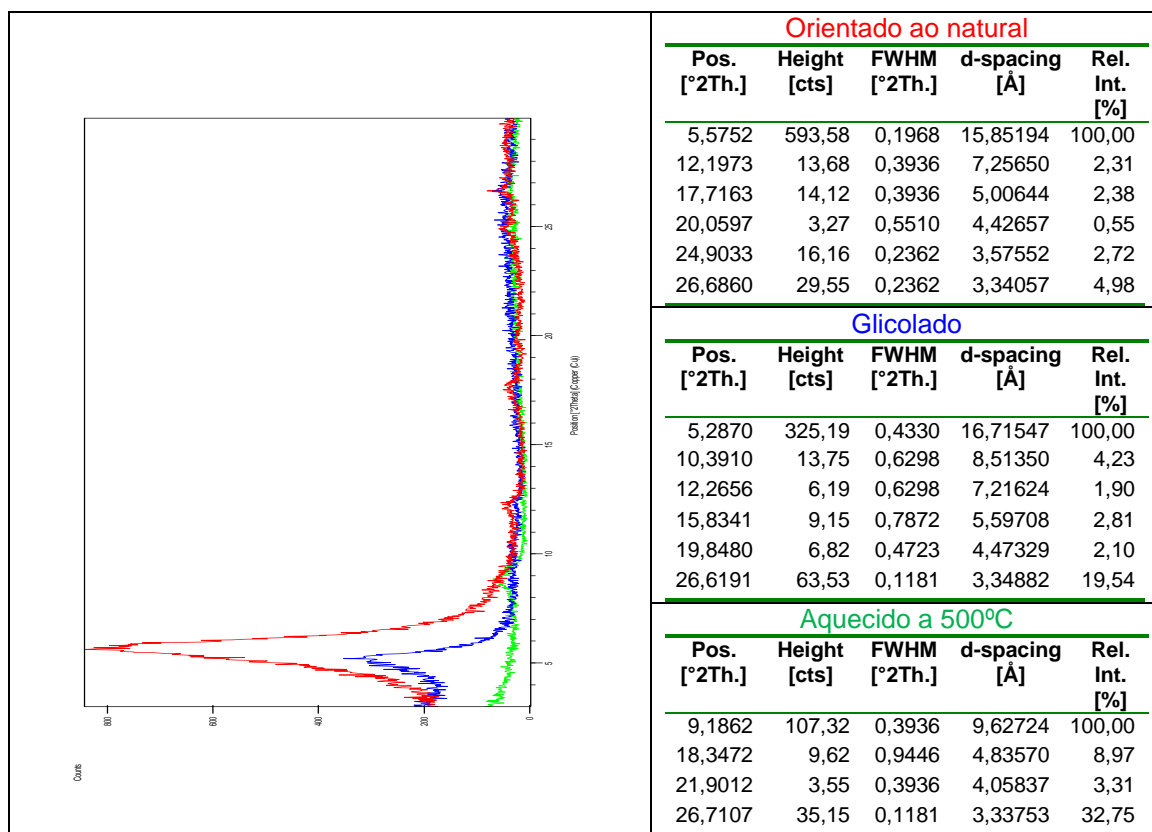


Figura III.30 Difractogramas da fração argilosa decarbonatada da amostra MC3, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

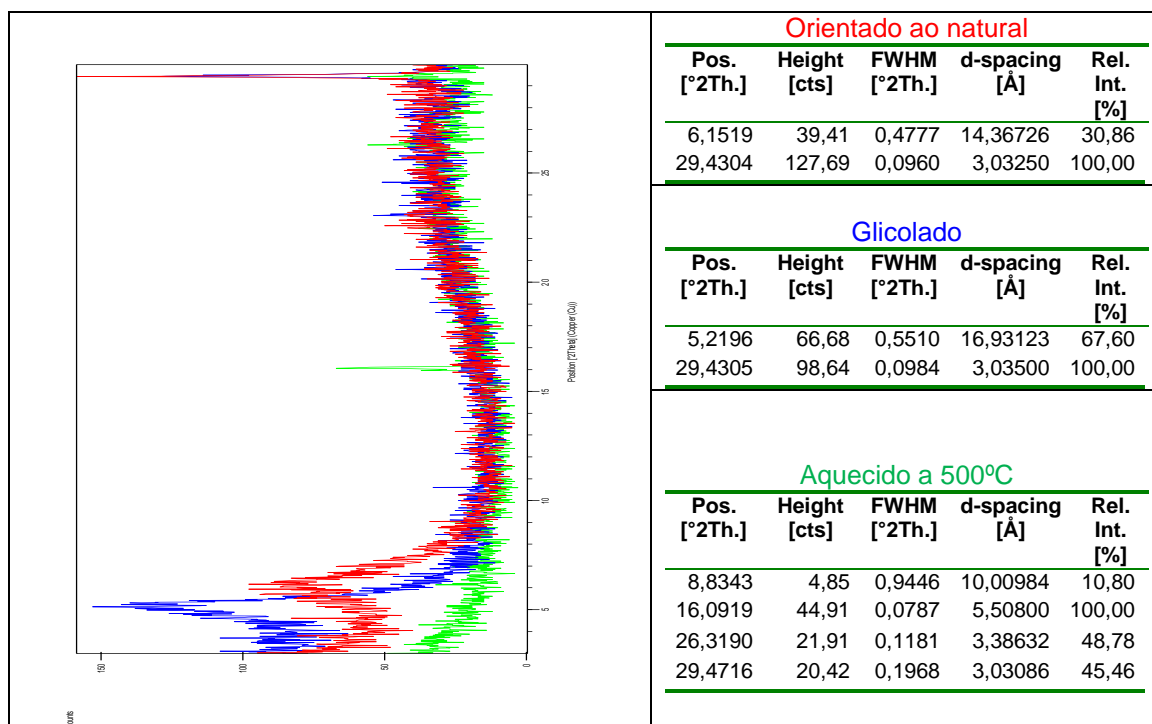


Figura III.31 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MC4, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

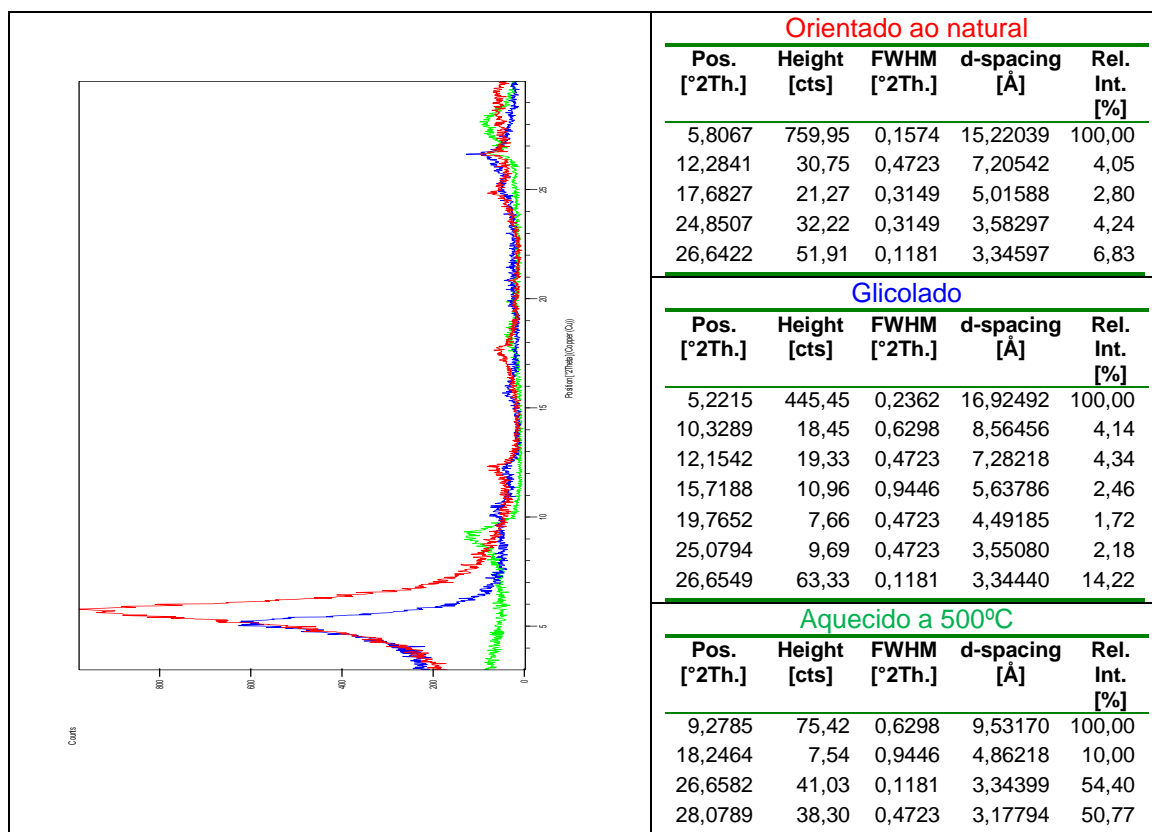


Figura III.32 Difractogramas da fração argilosa decarbonatada da amostra MC4, recolhida na estrutura arqueológica negativa no Monte Carrascal.

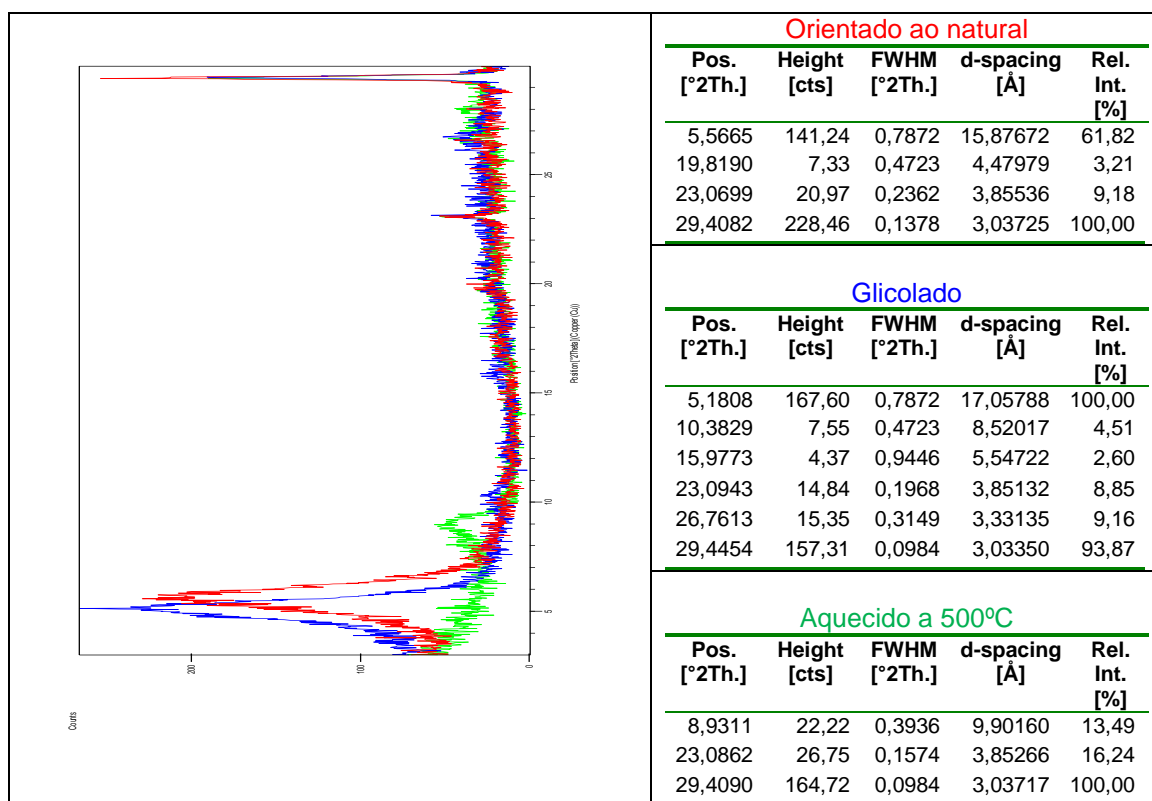


Figura III.33 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MCa, representativa da geologia local no Monte Carrascal.

III.1.5 Semiquantificação da fração argilosa

Tabela III.2 Semiquantificação dos minerais argilosos presentes nos materiais de preenchimento e nos materiais representativos da geologia local com e sem descarbonatação da fração <2 μm .

Amostra	Profundidade (cm)	Semiquantificação dos minerais argilosos (%) na fração <2 μm				
		Carbonatada			Descarbonatada	
		Esmectite	Caulinite	Calcite	Esmectite	Caulinite
MC4	50	100	-	X	74	26
MC3	130	100	-	X	90	10
MC2	170	77	23	X	77	23
MC1	207	85	15	X	86	14
MCa	-	100	-	X		

III.2 Monte de Cortes

III.2.1 Difractogramas da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto

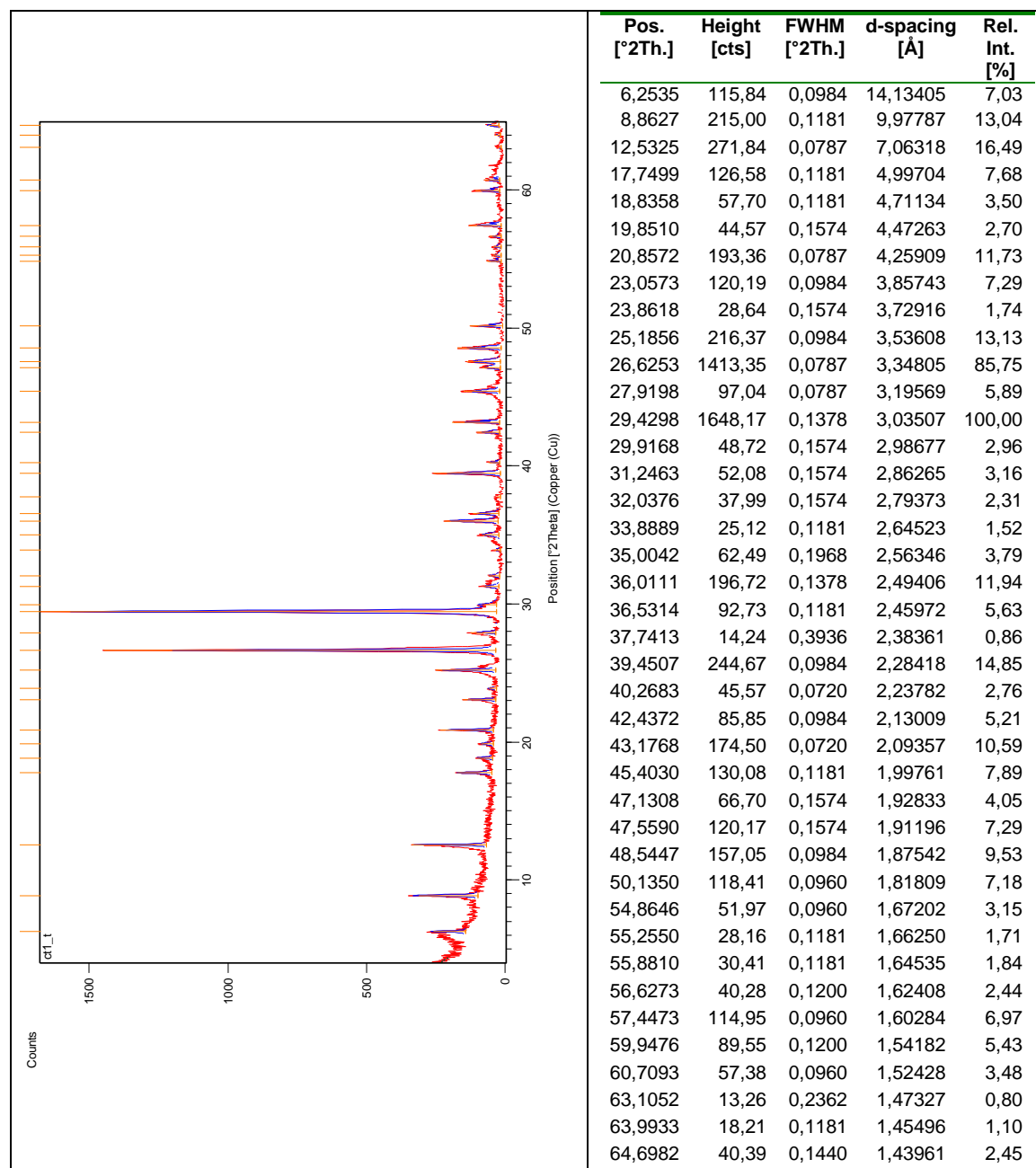


Figura III.34 Difractograma da amostra total CORa, recolhida na base do perfil de calcreto pulverulento com blocos de xisto muito alterado, representativa do substrato geológico do Monte de Cortes.

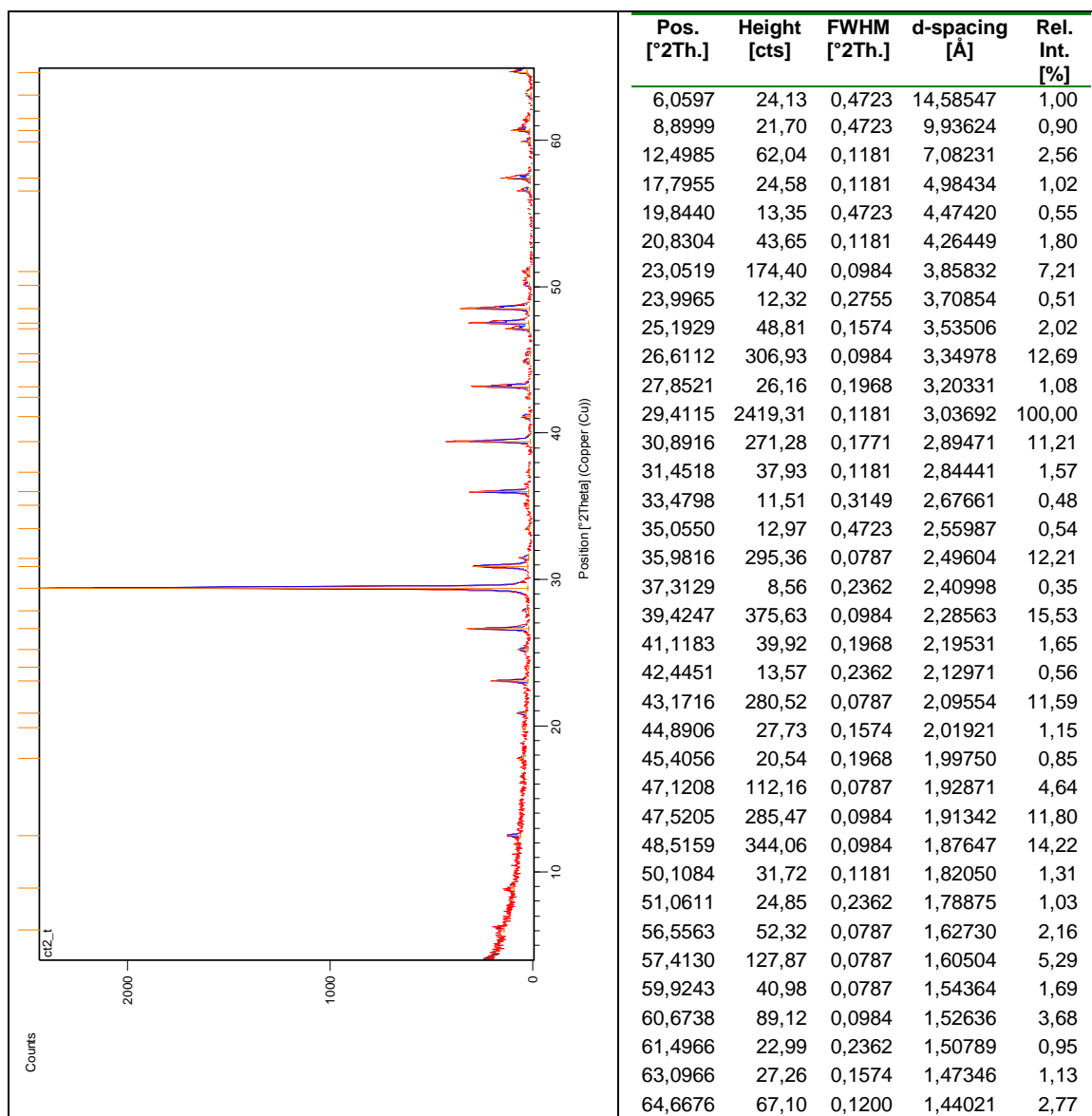


Figura III.35 Difratoograma da amostra total CORb, recolhida no perfil de calcreto pulverulento com blocos de xisto muito alterado, representativa do substrato geológico do Monte de Cortes.

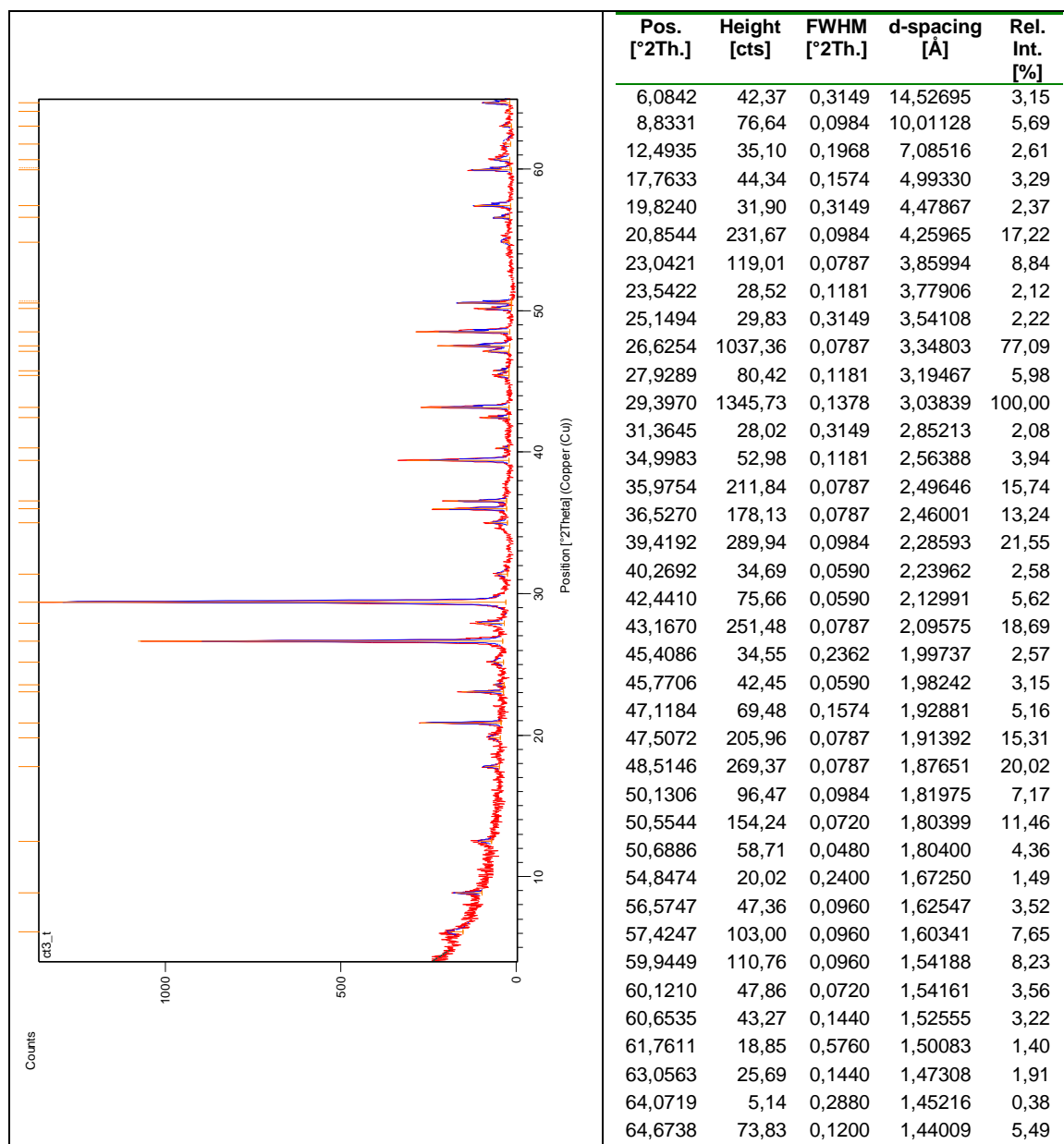


Figura III.36 Difractograma da amostra total CORc, recolhida no topo do perfil de calcreiro pulverulento com blocos de xisto muito alterado, representativa do substrato geológico do Monte de Cortes.

III.2.2 Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa

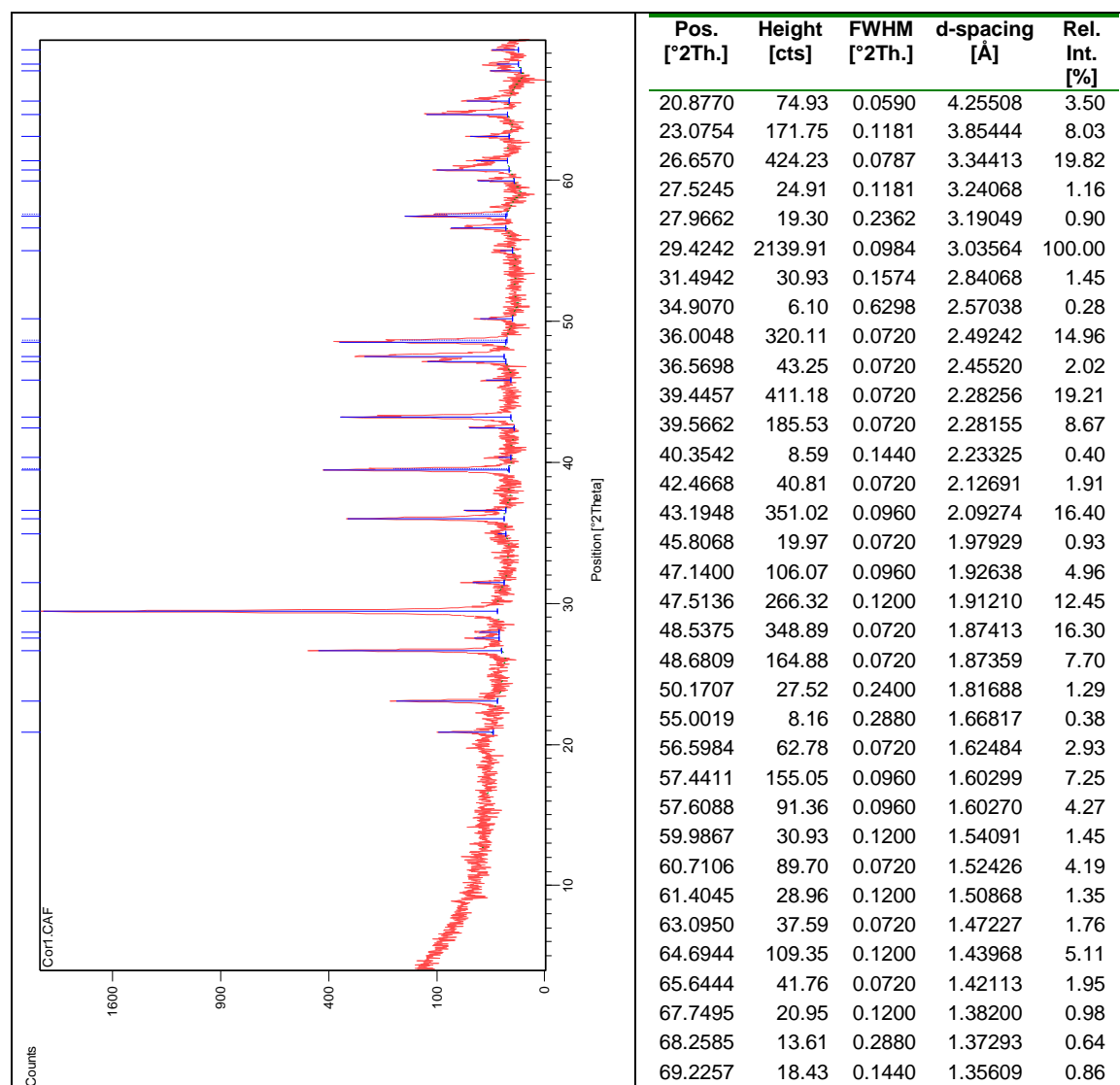


Figura III.37 Difratograma da amostra total COR1, recolhida no preenchimento da fossa no Monte de Cortes.

III.2.3 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no calcreto e no preenchimento da fossa

Tabela III.3 Semiquantificação e índice mineralógico de alteração da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa (COR1) e dos materiais recolhidos no perfil de calcreto, recolhidos no Monte de Cortes.

Amostra	Profundidade (cm)	Amostra total								MIA
		Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase	Hematite	Dolomite	Micas	
COR1	44	90		7	1	2				70
CORc	15	59	24	13		3	1		X	81
CORb	50	75	5	4		1	1	14	X	78
CORa	170	59	19	15	5	2			XX	68

III.2.4 Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso

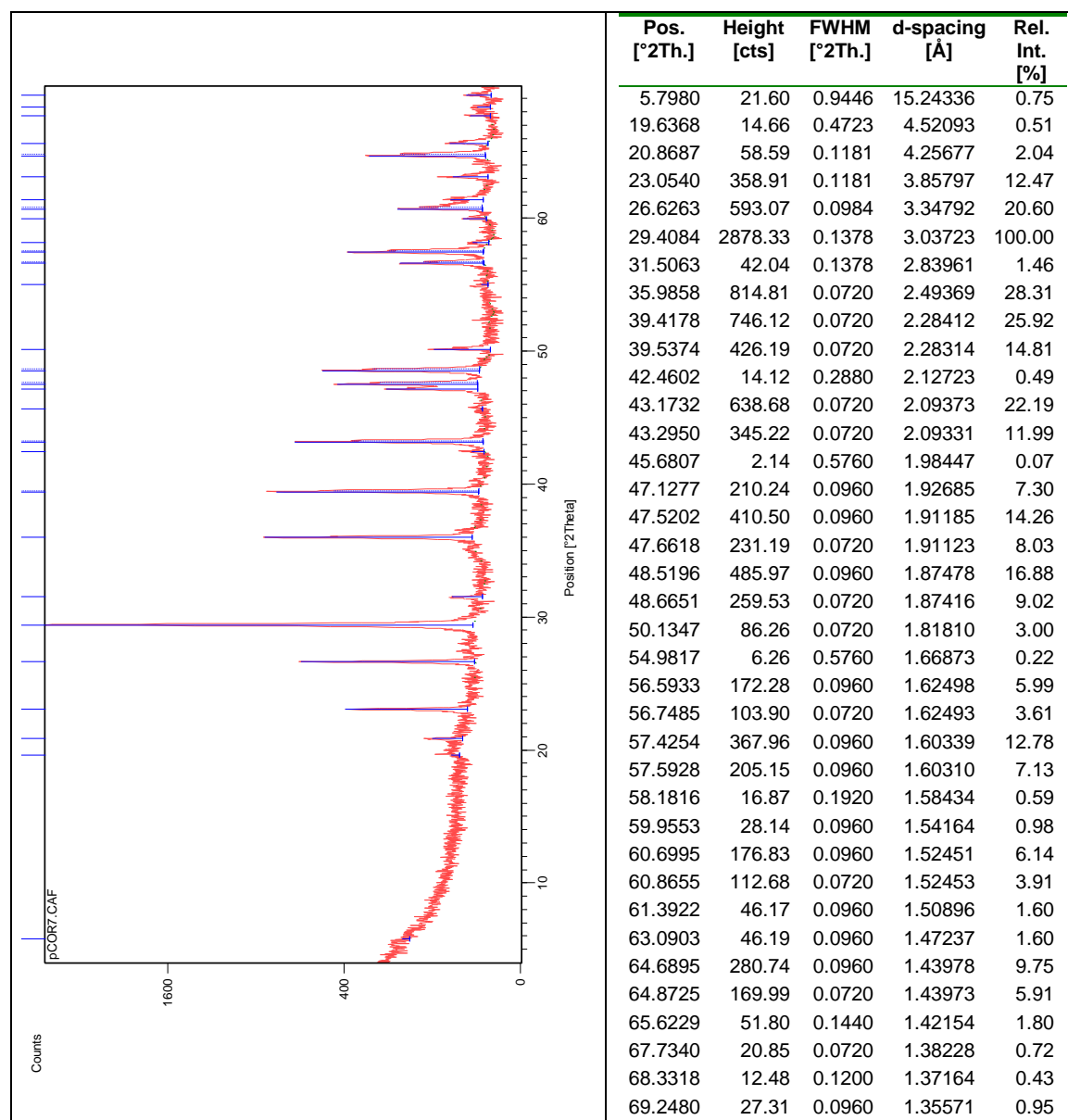


Figura III.38 Difratograma da amostra total pCOR2_1, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 90 cm de profundidade.

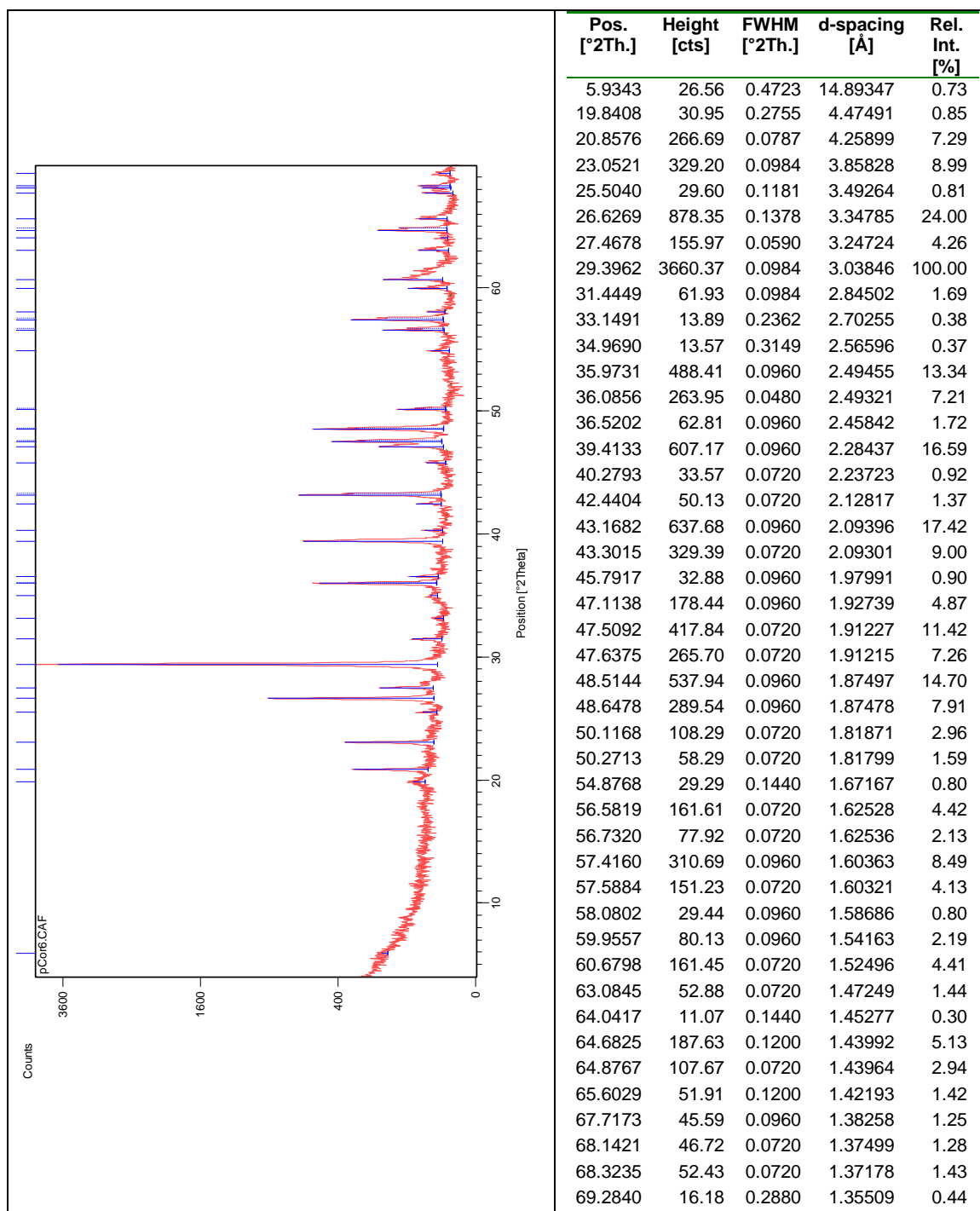


Figura III.39 Difratoograma da amostra total pCOR2_2, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 80 cm de profundidade.

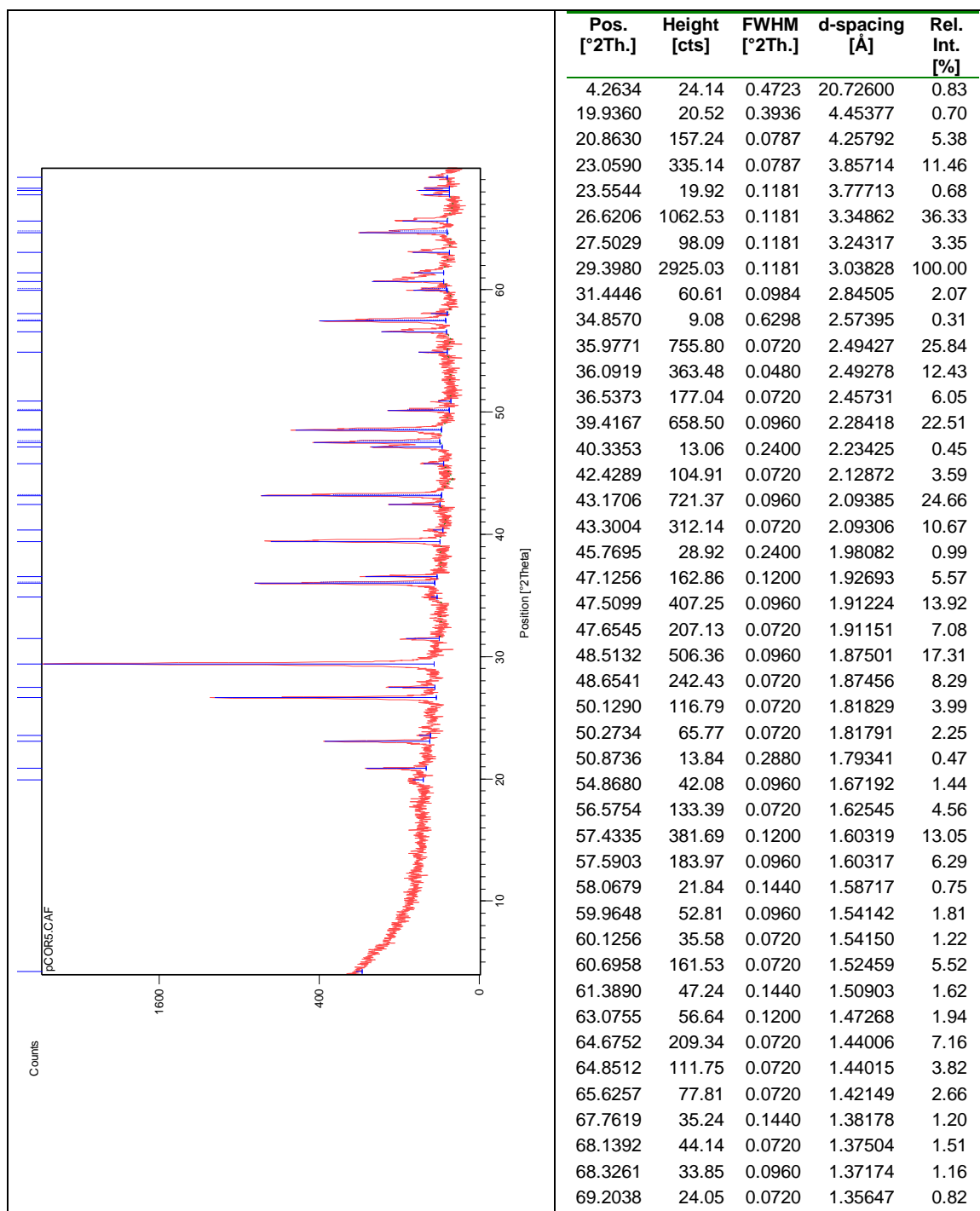


Figura III.40 Difratoograma da amostra total pCOR2_3, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 71 cm de profundidade.

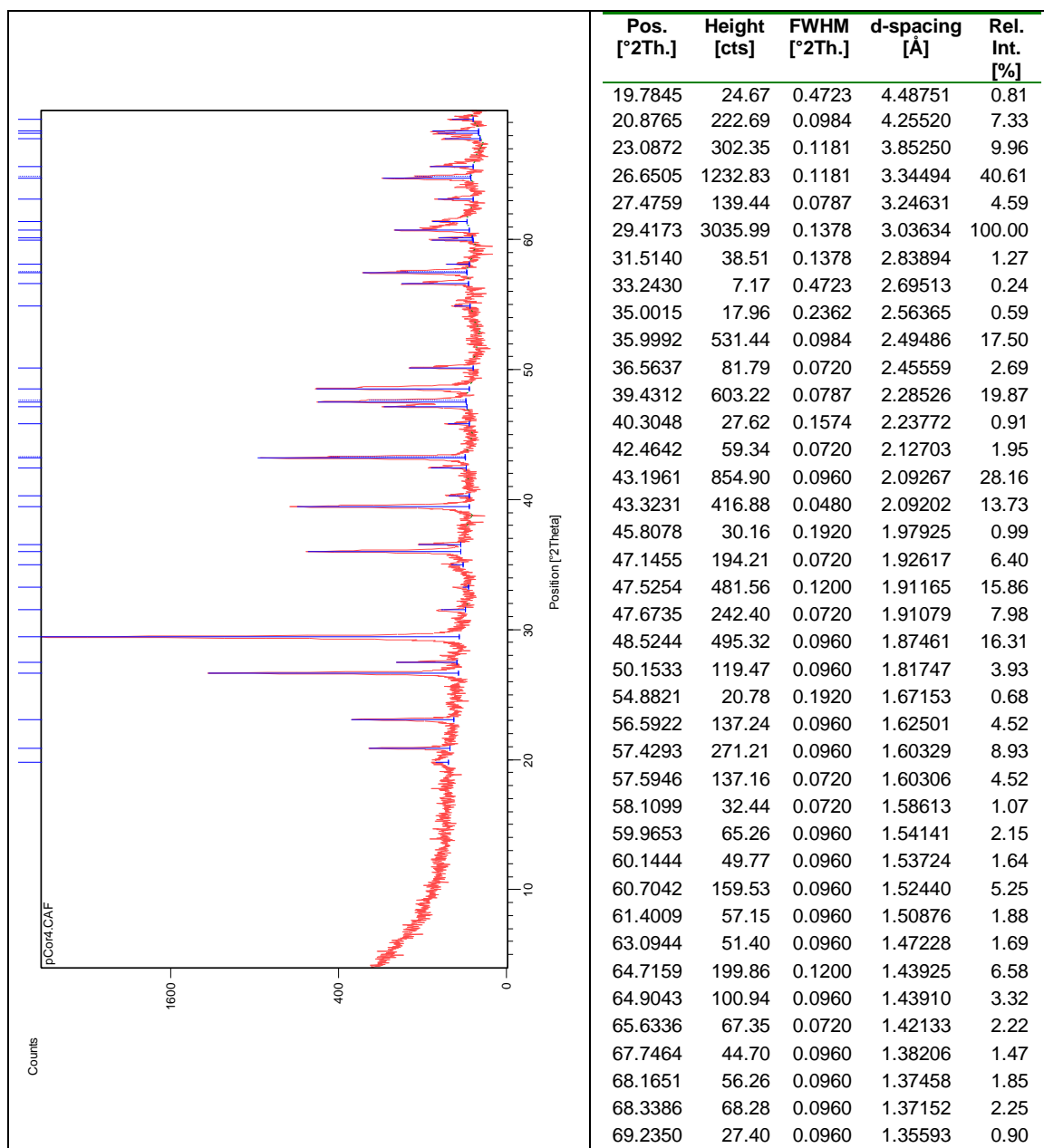


Figura III.41 Difractograma da amostra total pCOR2_4, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 60 cm de profundidade.

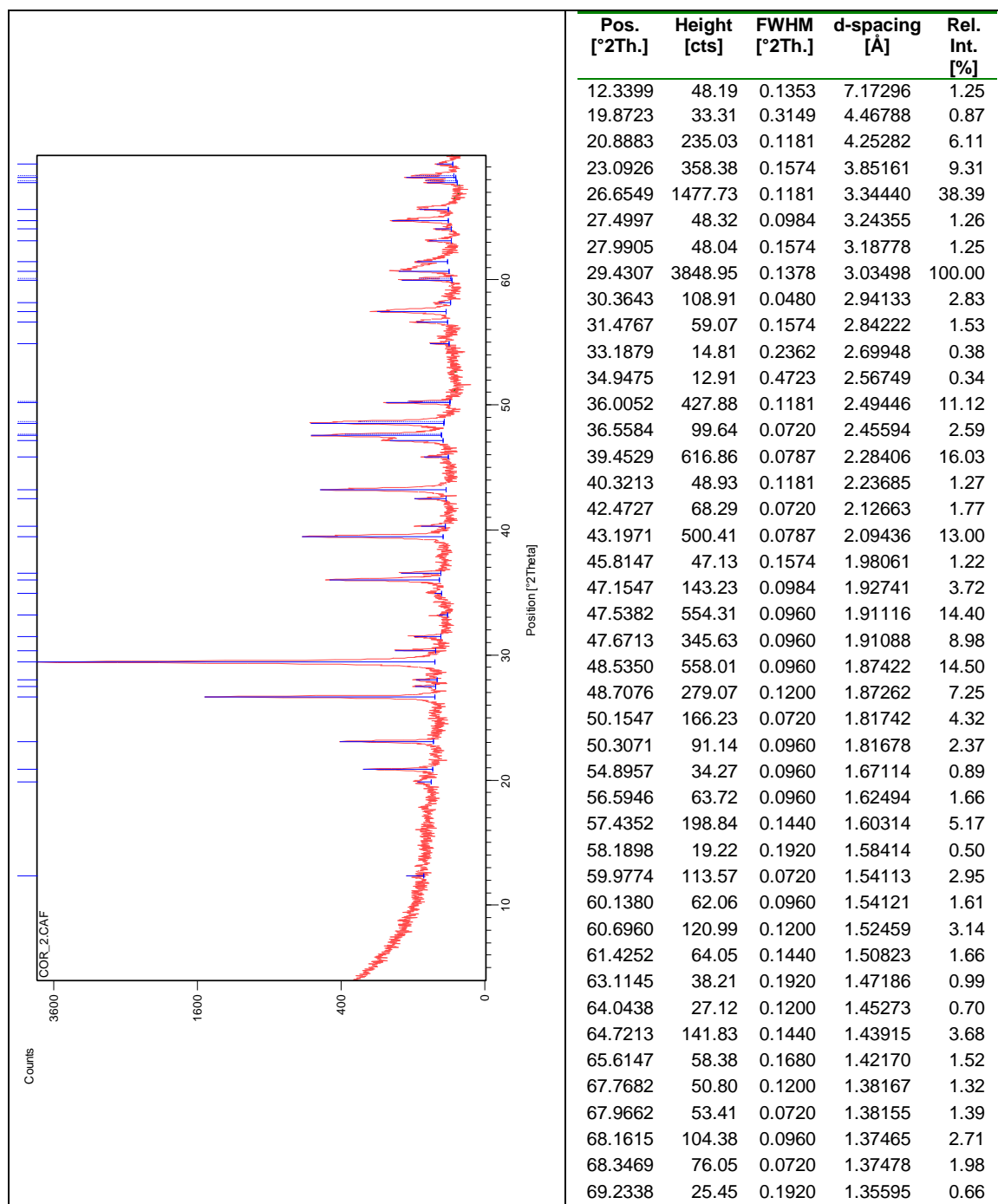


Figura III.42 Difratoograma da amostra total COR2, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 48 cm de profundidade.

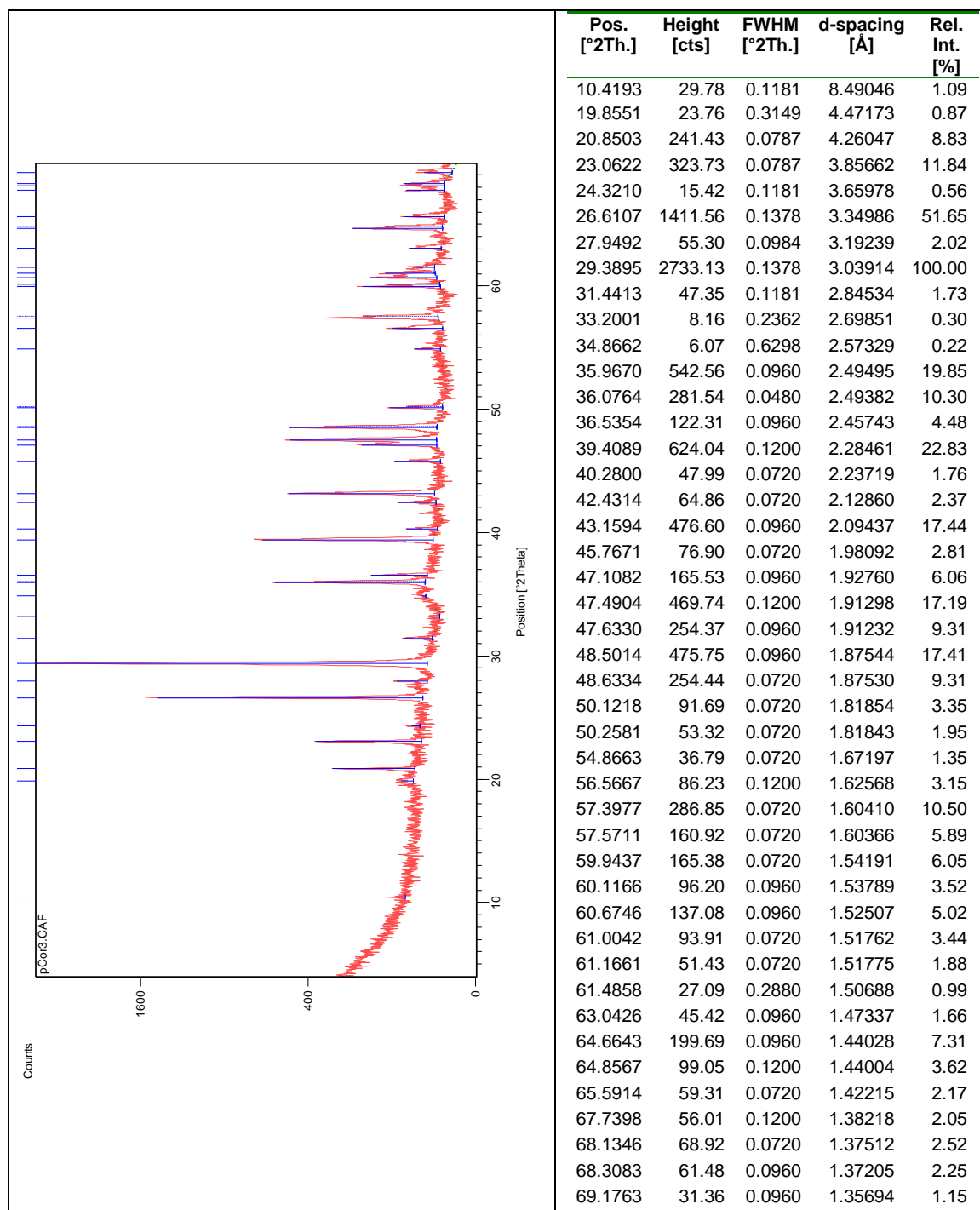


Figura III.43 Difratoograma da amostra total pCOR2_5, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 41 cm de profundidade.

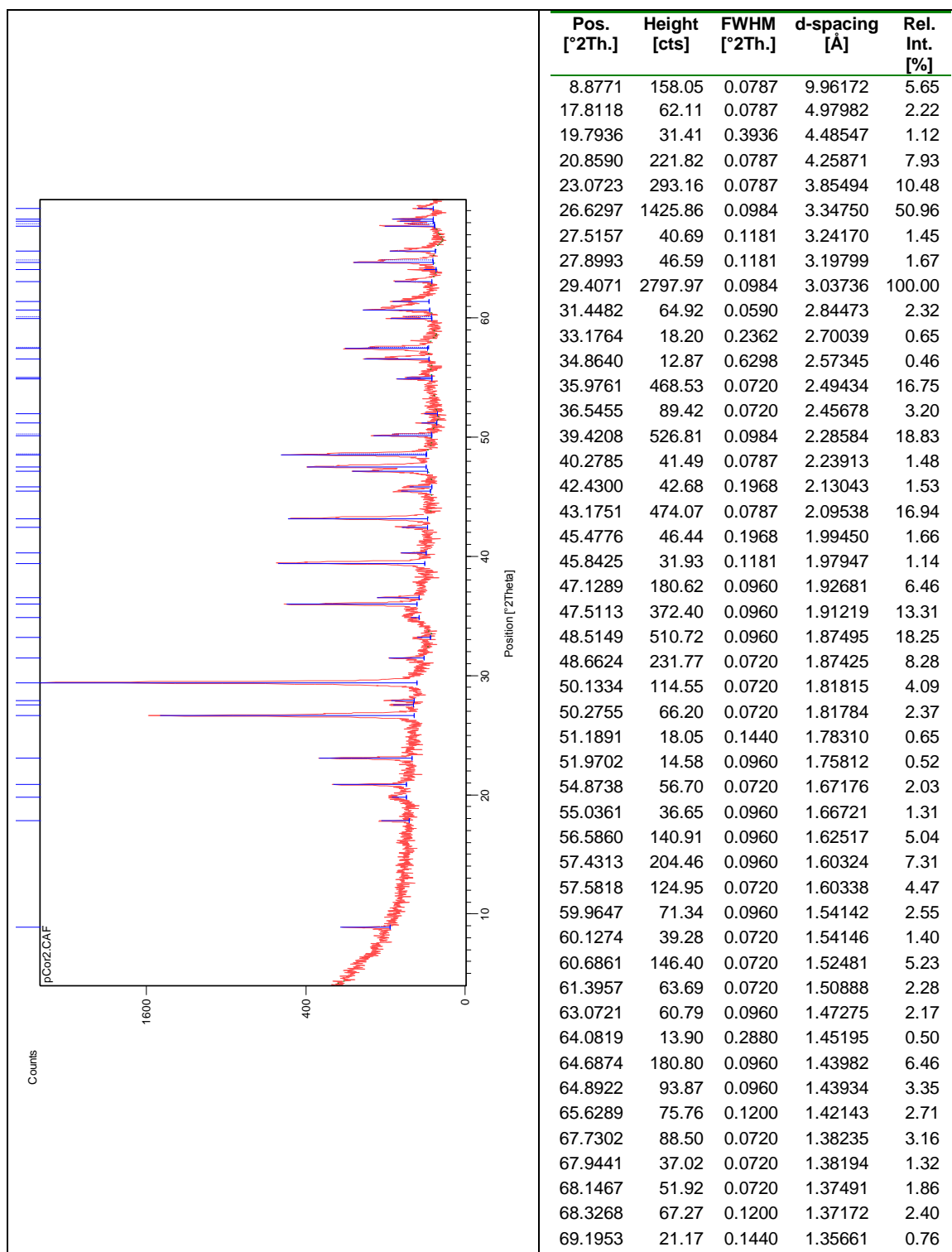


Figura III.44 Difratoograma da amostra total pCOR2_6, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 30 cm de profundidade.

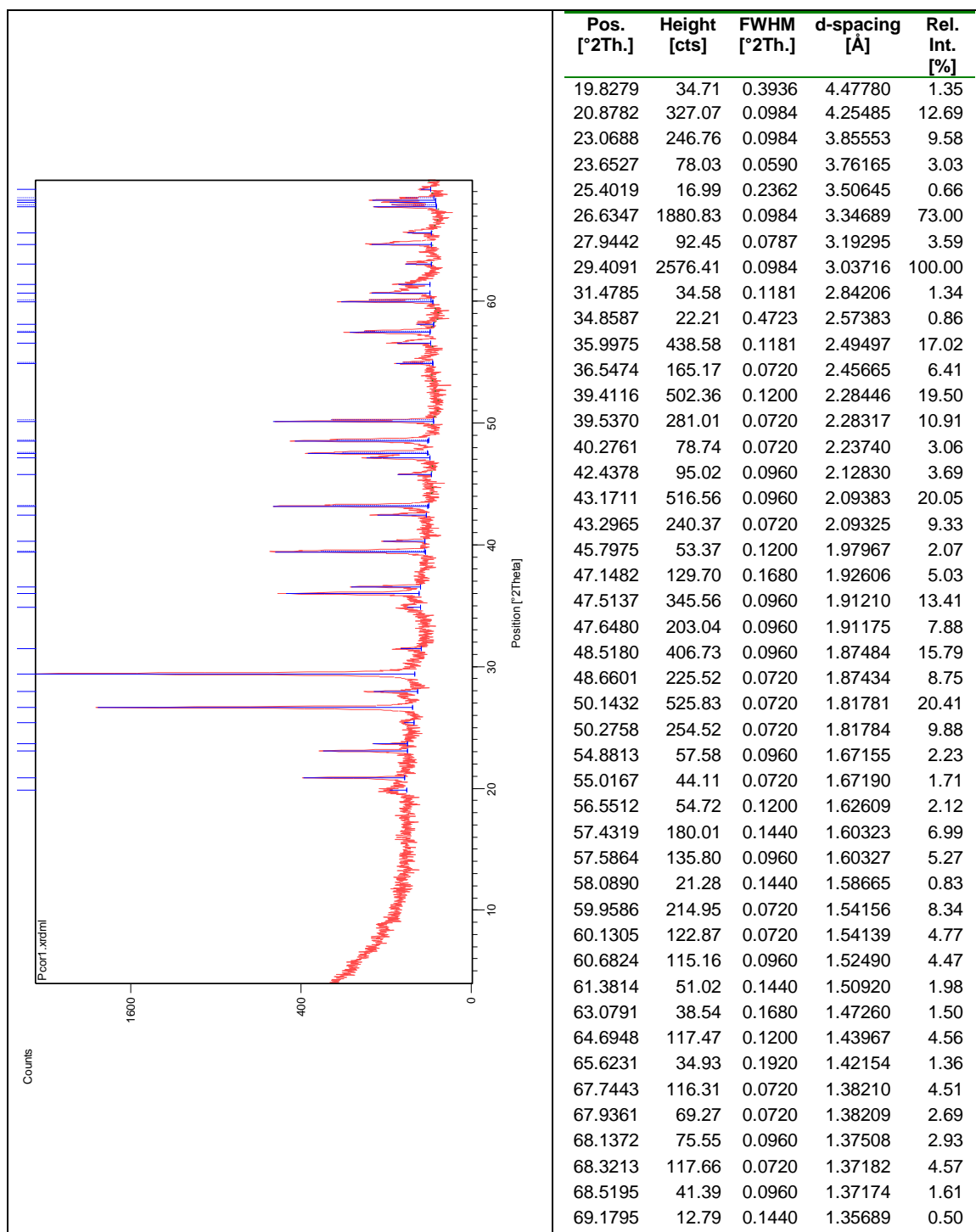


Figura III.45 Difractograma da amostra total pCOR2_7, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes, a 5 cm de profundidade.

III.2.5 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento do fosso

Tabela III.4 Semiquantificação e índice mineralógico de alteração da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso, recolhidos no Monte de Cortes.

Amostra	Profundidade (cm)	Amostra total							MIA
		Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K- Feldspatos	Plagioclase	Hematite	Micas	
pCOR2_7	5	52	28	18	2				90
pCOR2_6	30	57	25	15	2		1	X	88
pCOR2_5	41	68	14	17	1				94
COR2	48	72	14	11	1	1	1		85
pCPR2_4	60	67	19	12	2				86
pCOR2_3	71	69	16	13	2				87
pCOR2_2	80	70	16	11	2		1		85
pCOR2_1	90	80	14	6					100

III.2.6 Difratogramas da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento do fosso

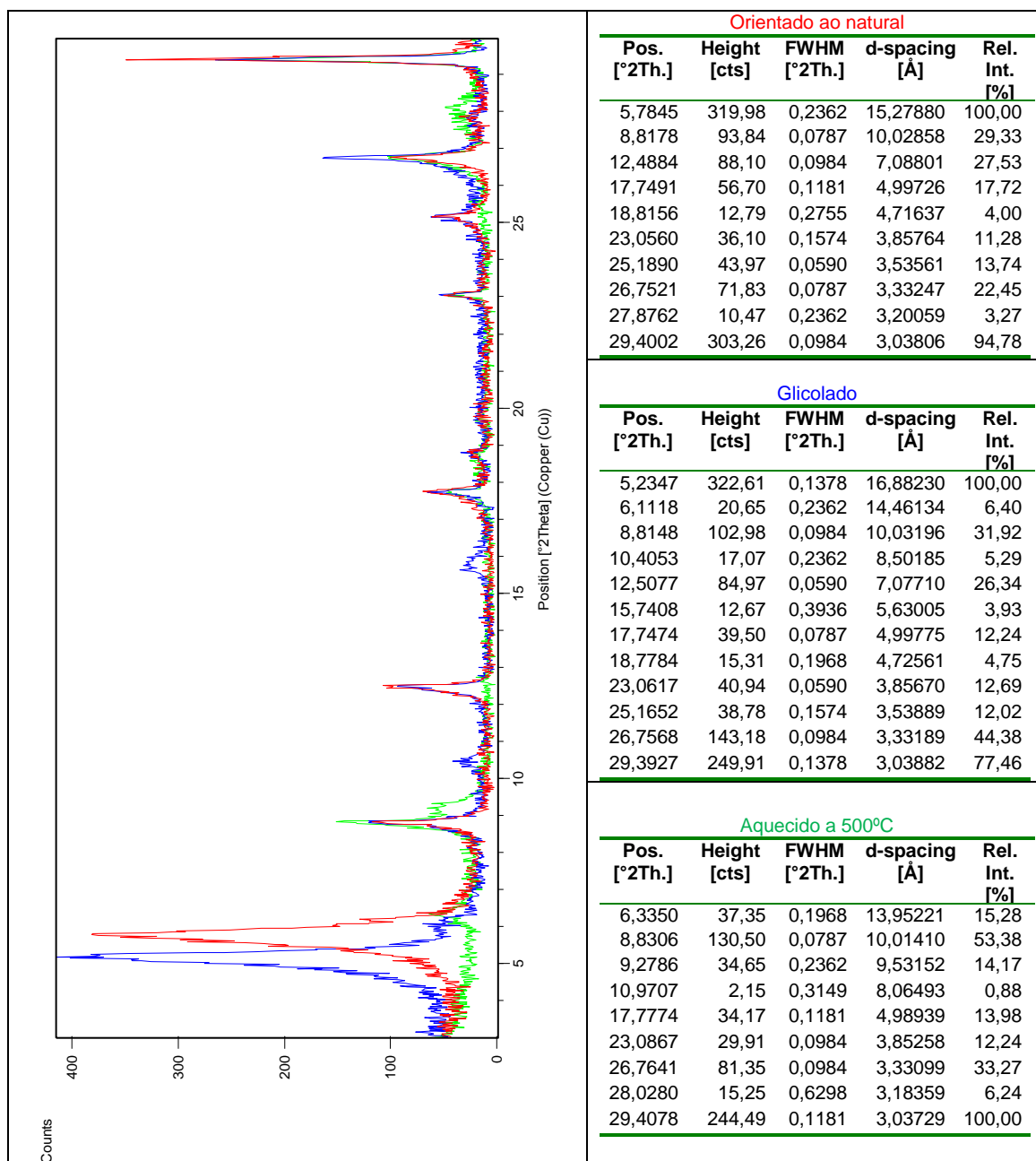


Figura III.46 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CORa, recolhida na base do perfil do calcreto representativo da geologia local do Monte de Cortes.

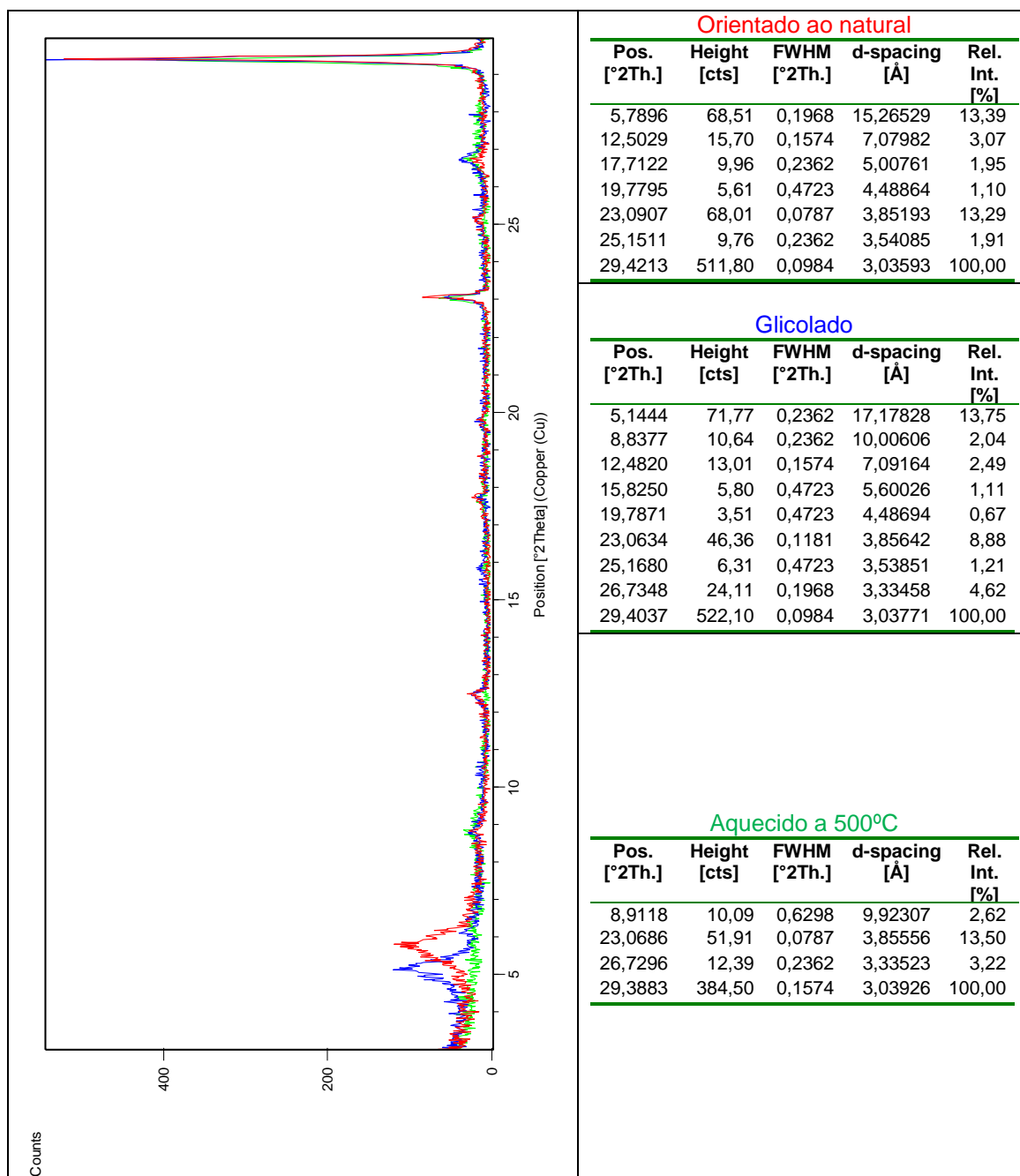


Figura III.47 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CORb, recolhida no perfil do calcetreo representativo da geologia local do Monte de Cortes.

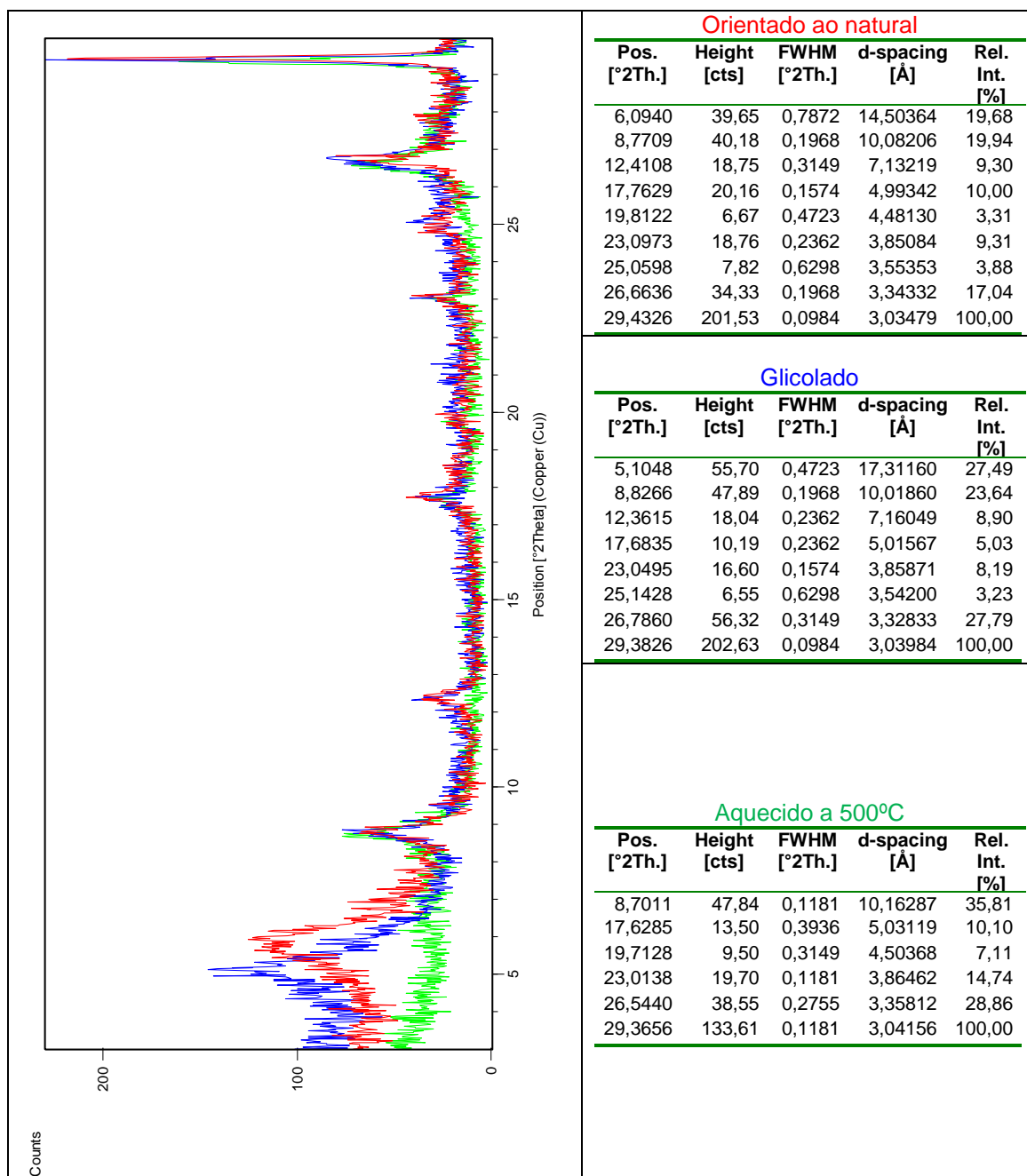


Figura III.48 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CORc, recolhida no topo do perfil do calcetreo representativo da geologia local do Monte de Cortes.

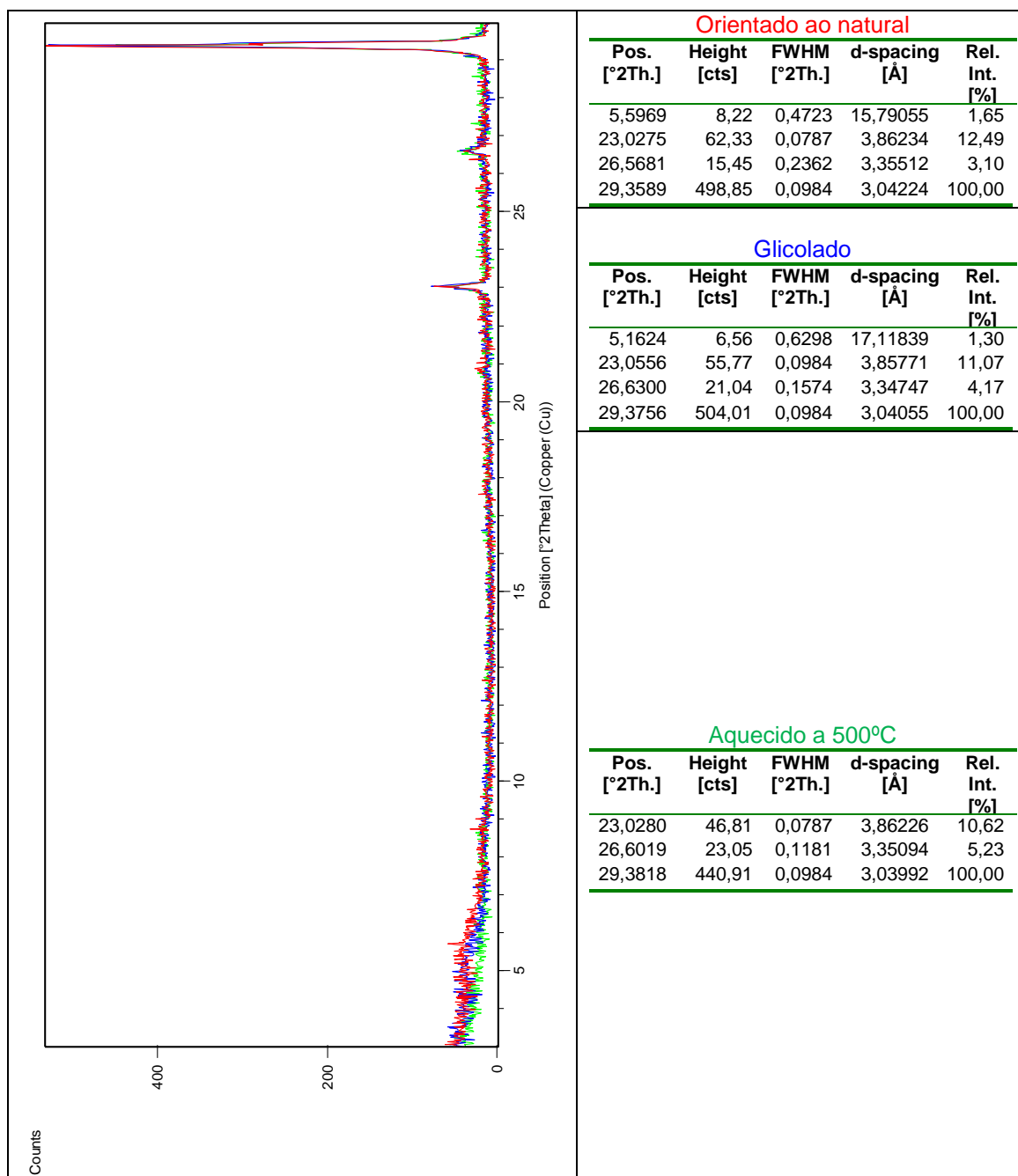


Figura III.49 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra COR1, recolhida no preenchimento da fossa no Monte de Cortes.

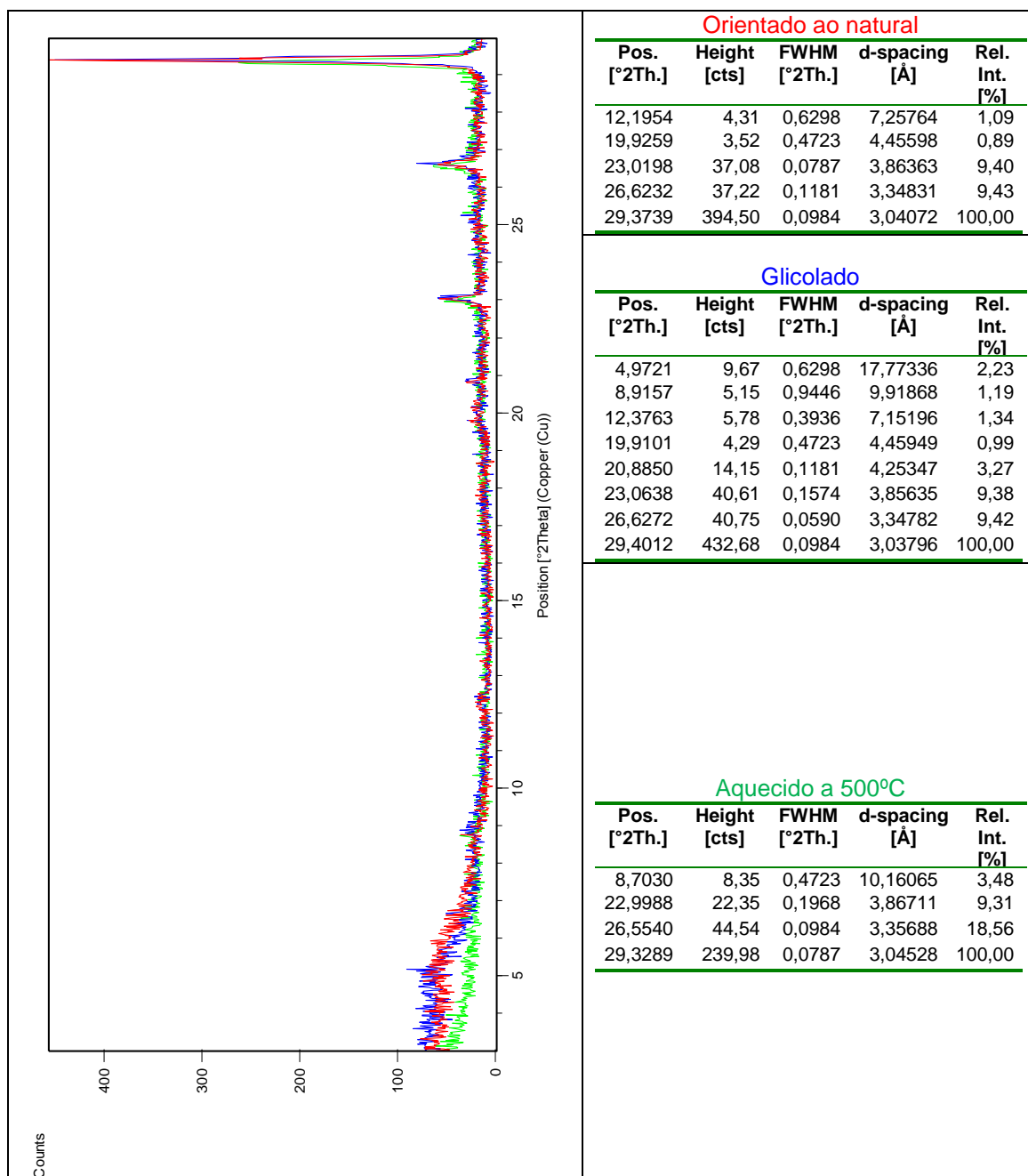


Figura III.50 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra COR2, recolhida no preenchimento do fosso no Monte de Cortes.

III.2.7 Semiquantificação da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento do fosso

Tabela III.5 Semiquantificação e índice mineralógico de alteração da amostra total dos materiais de preenchimento da fossa (COR1) e dos materiais recolhidos no perfil de calcreto, recolhidos no Monte de Cortes.

Amostra	Profundidade (cm)	Esmectite	Ilite	Caulinite	Clorite	Calcite
COR2	48	11	72	17		X
CORc	15	22	64	14		X
CORb	50	38	44	18		X
CORa	170	28	50	12	10	X

III.3 Covas

III.3.1 Difractogramas da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto

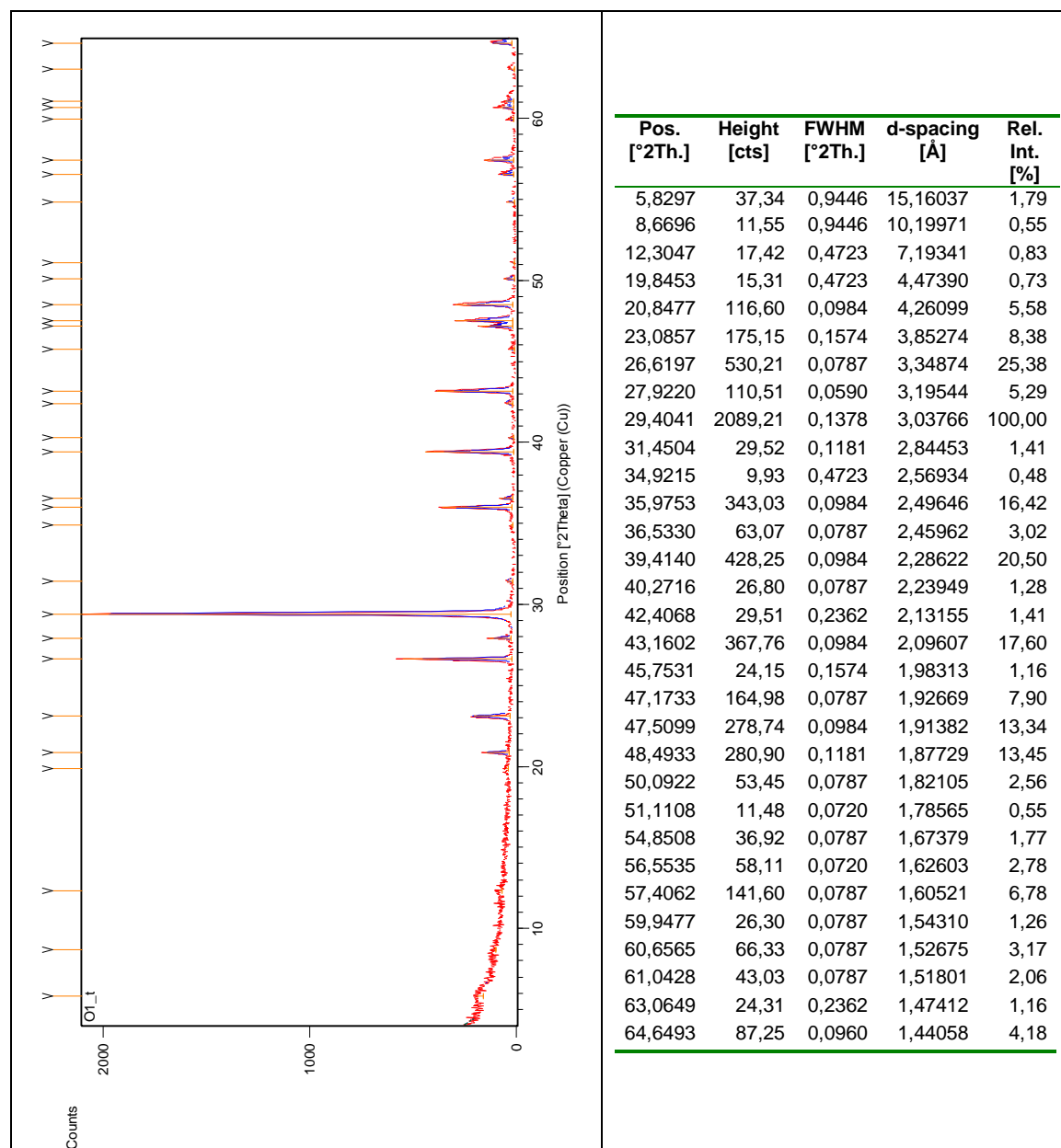


Figura III.51 Difractograma da amostra total CVa, recolhida na base do perfil de calcreto em Covas.

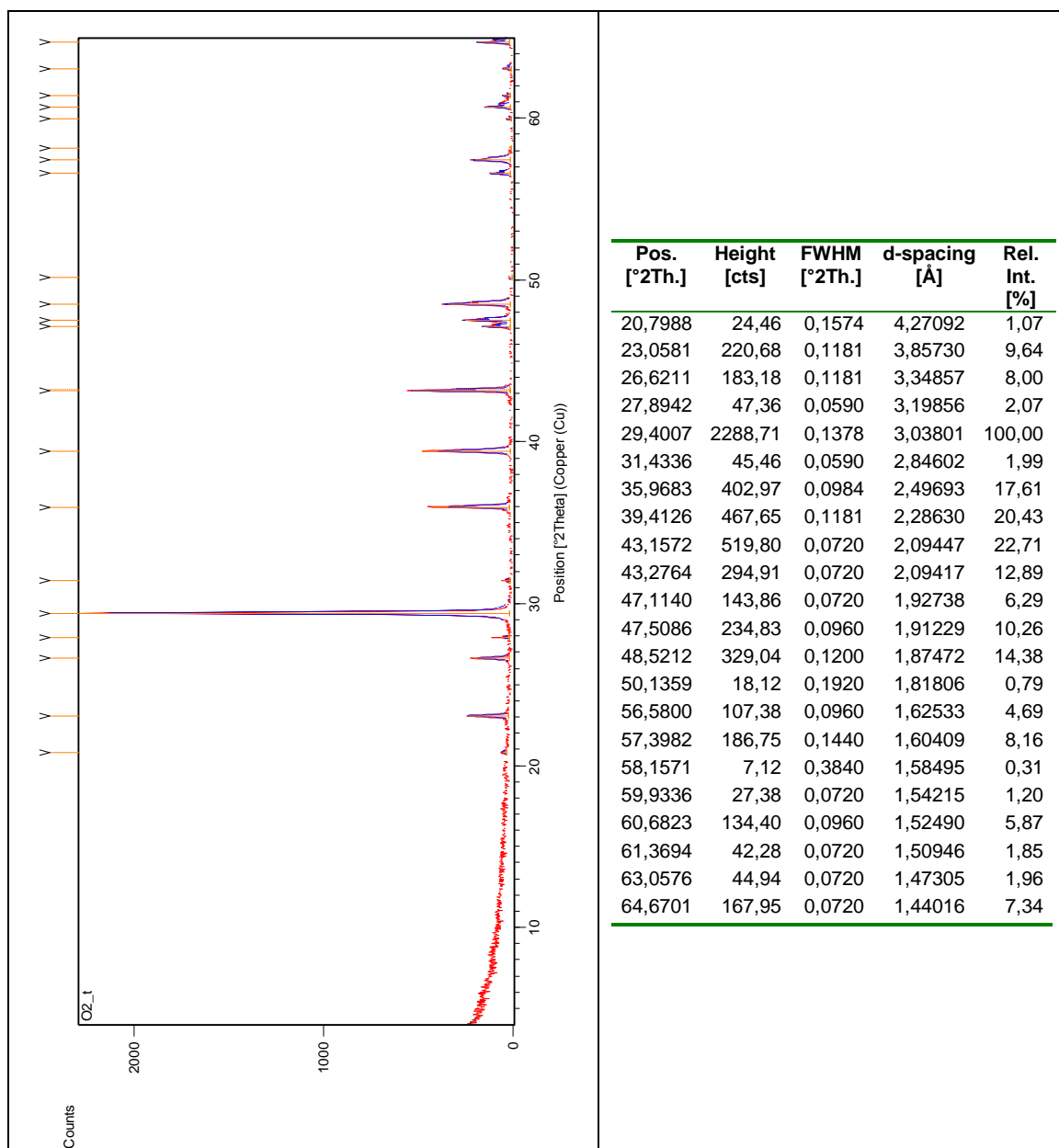


Figura III.52 Difractograma da amostra total CVb, recolhida no nível intermédio do perfil de calcreto em Covas.

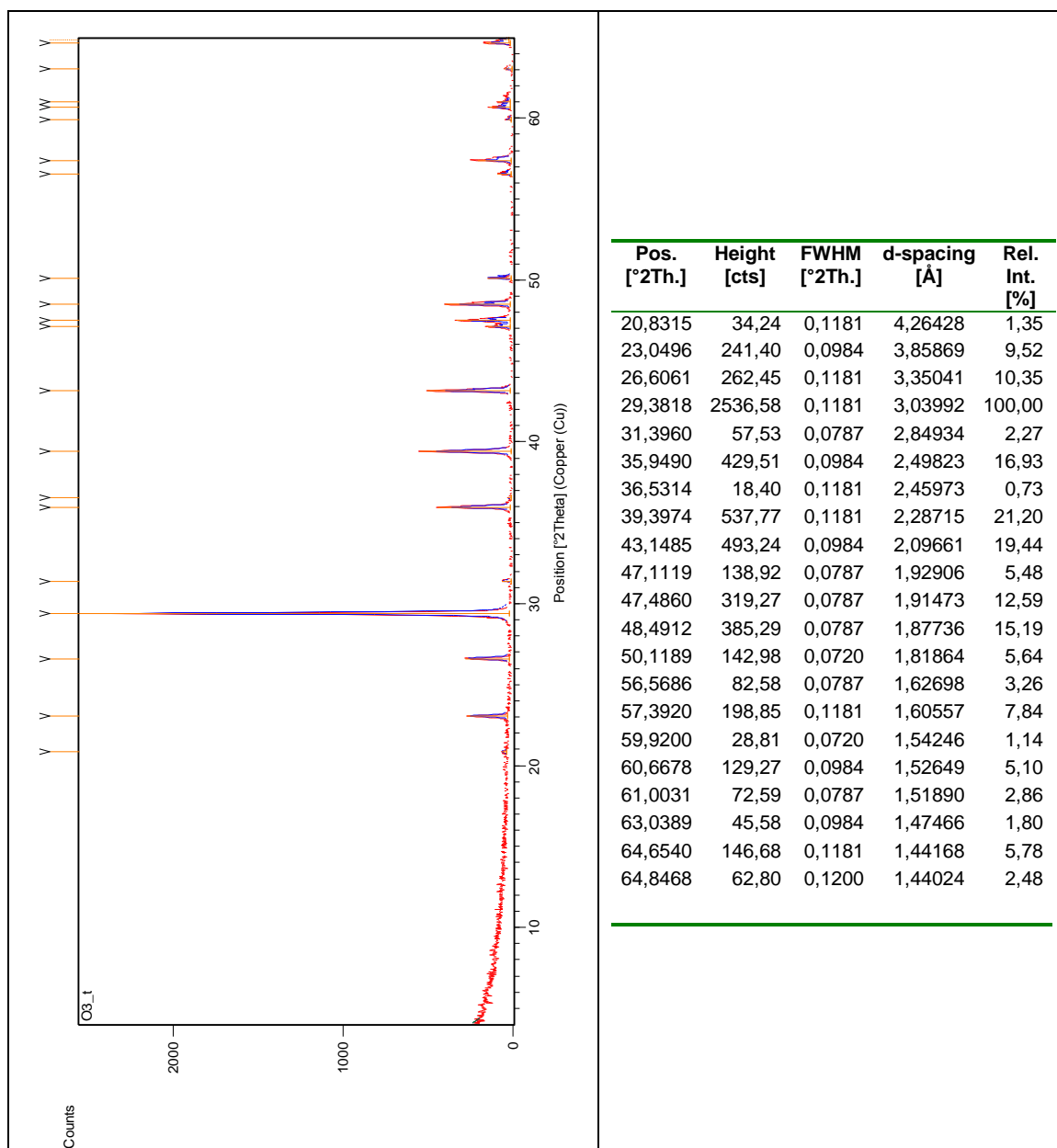


Figura III.53 Difractograma da amostra total CVC, recolhida no topo do perfil de calcreto em Covas.

III.3.2 Difratogramas da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento da fossa em Covas

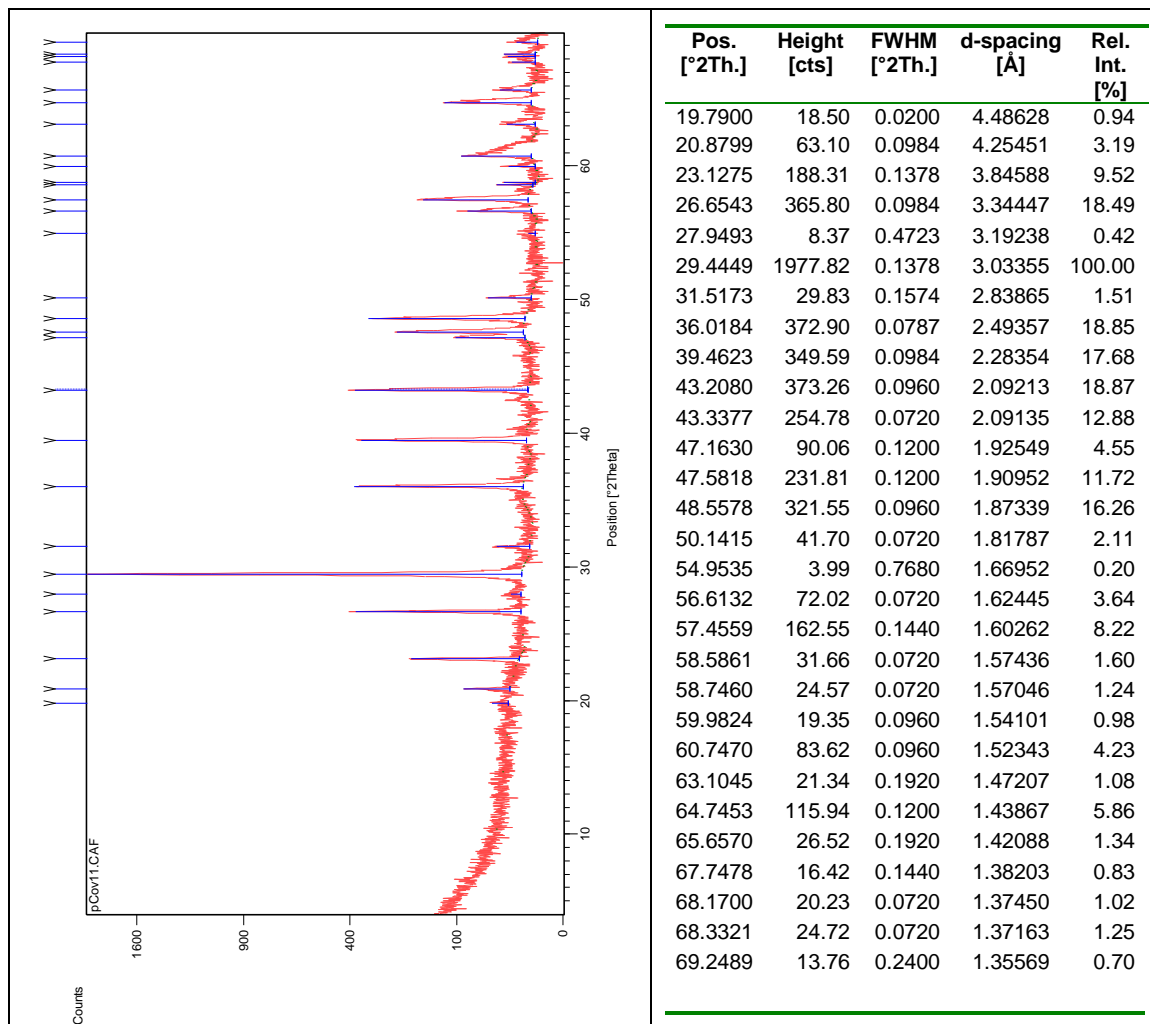


Figura III.54 Difratograma da amostra total pCV1, recolhida a 150 cm de profundidade na fossa em Covas.

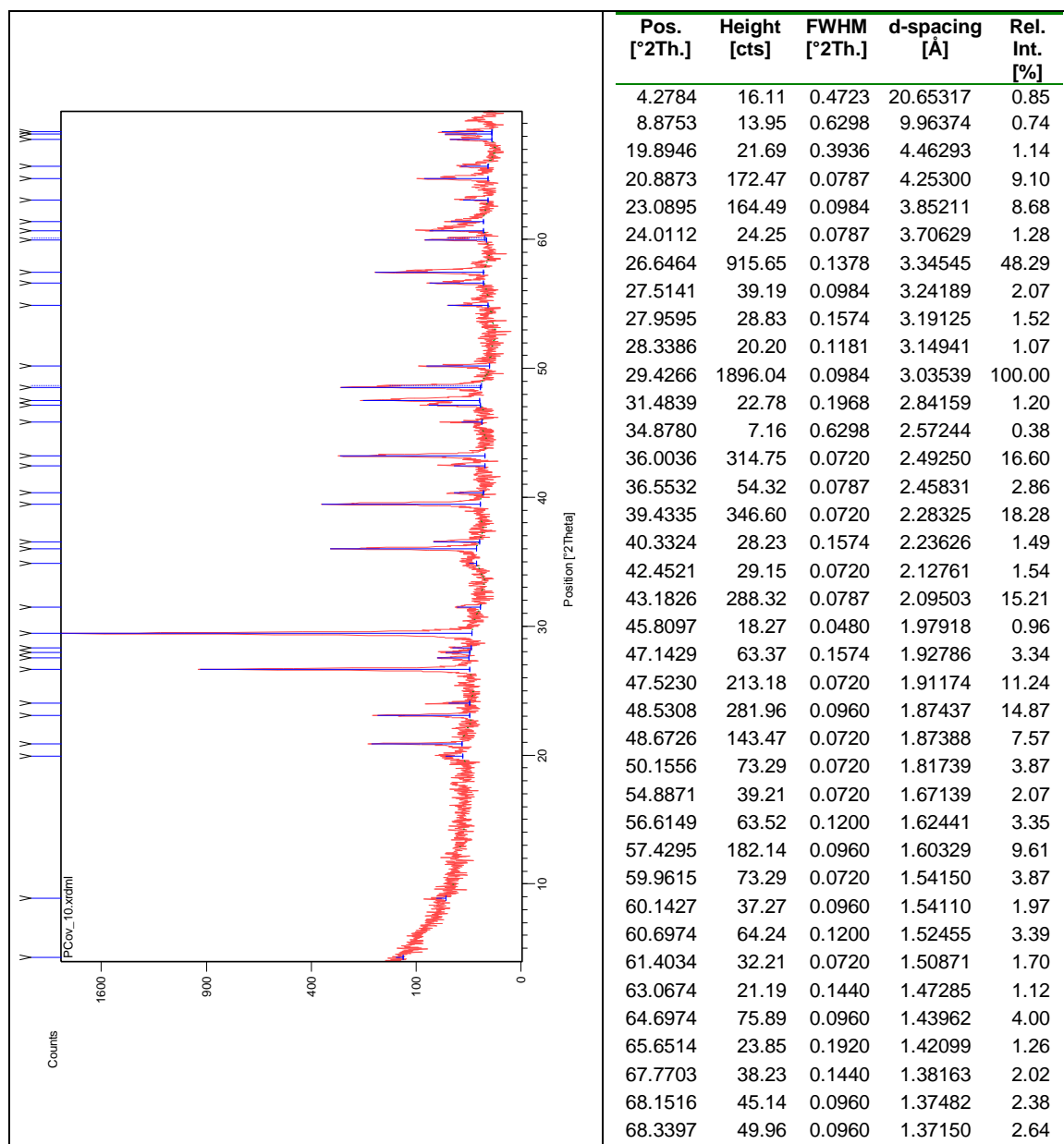


Figura III.55 Difratoograma da amostra total pCV2, recolhida a 144 cm de profundidade na fossa em Covas.

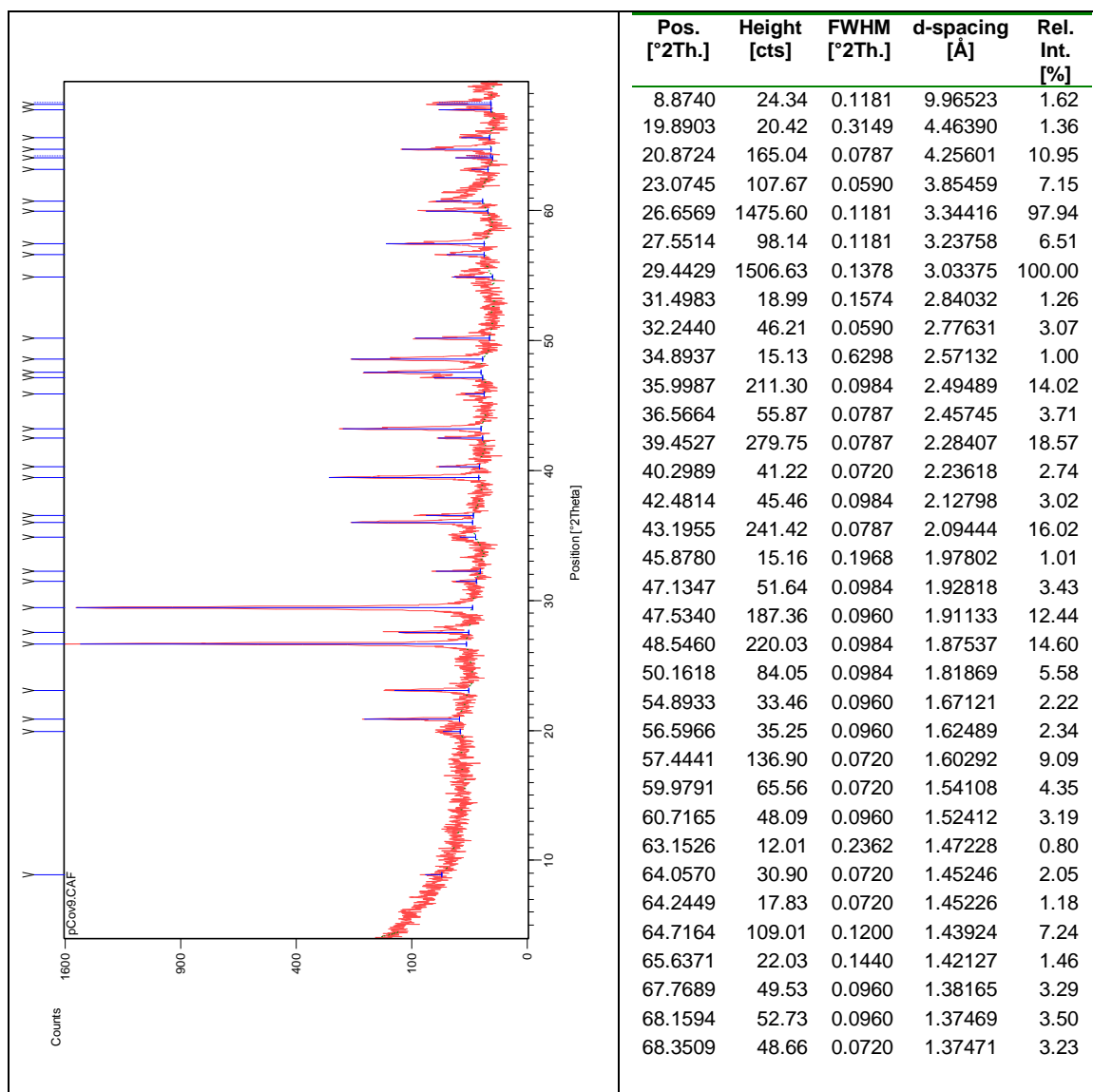


Figura III.56 Difratoograma da amostra total pCV3, recolhida a 140 cm de profundidade na fossa em Covas.

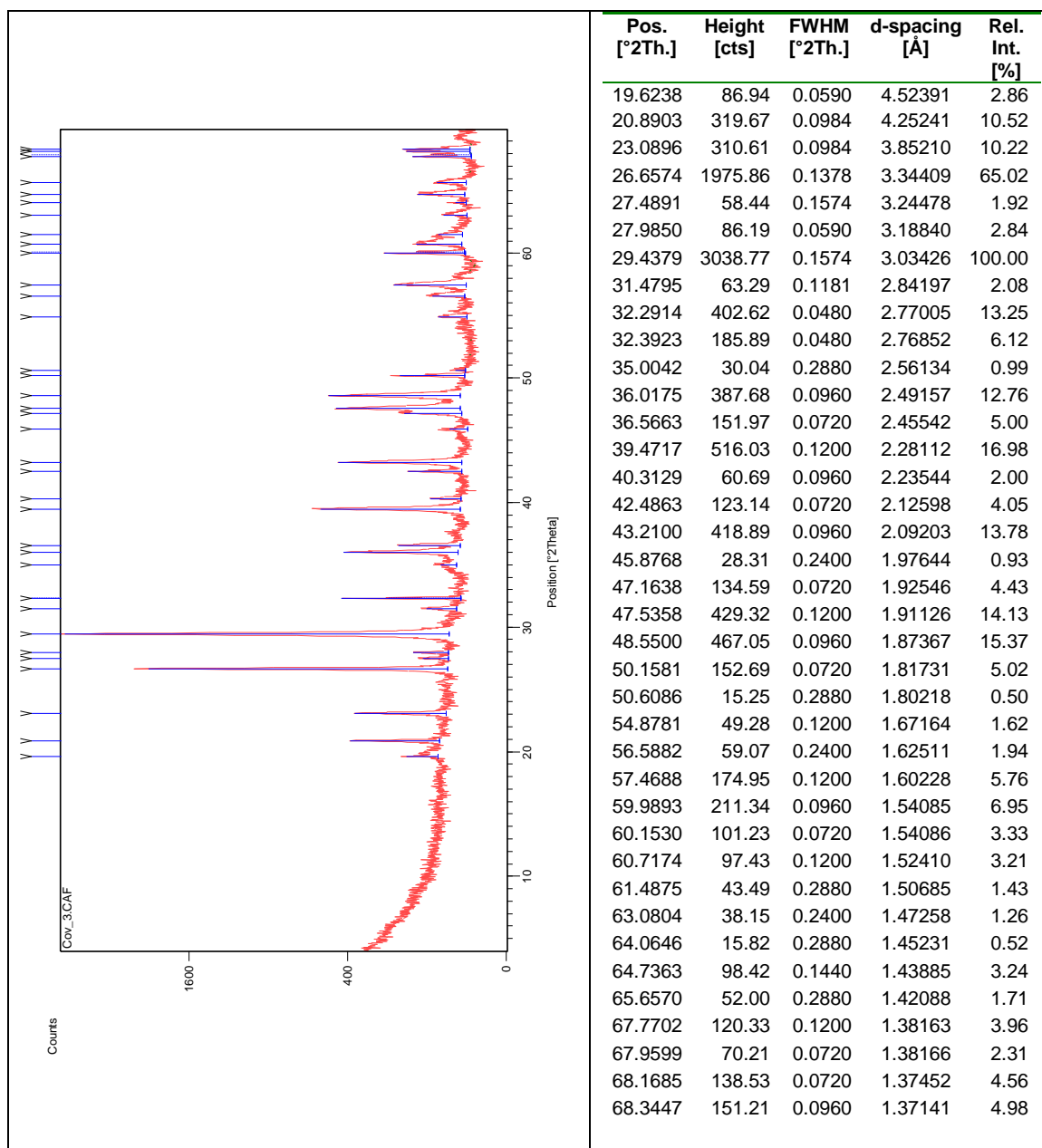


Figura III.57 Difratoograma da amostra total CV1, recolhida a 135 cm de profundidade na fossa em Covas.

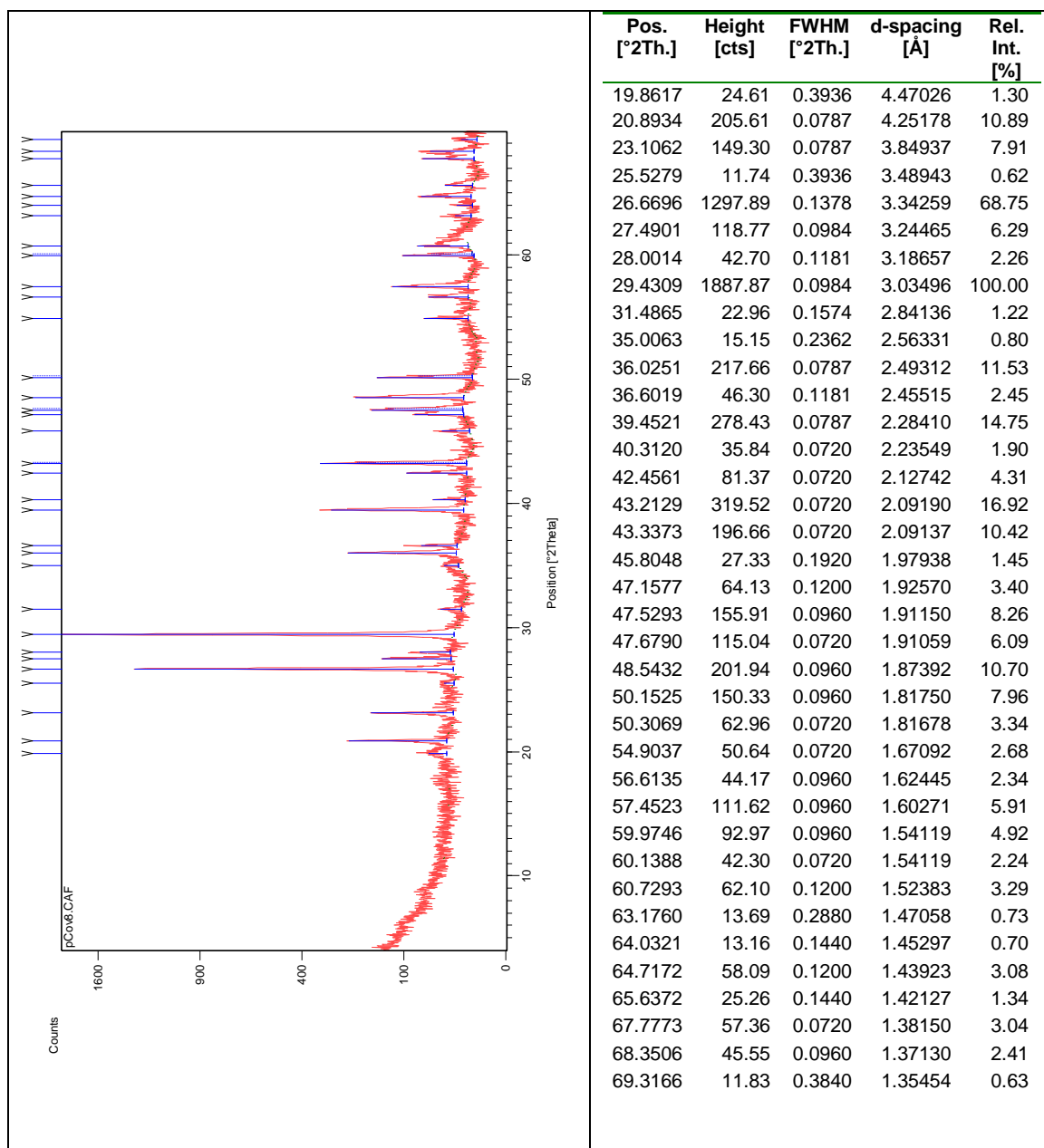


Figura III.58 Difratoograma da amostra total pCV4, recolhida a 130 cm de profundidade na fossa em Covas.

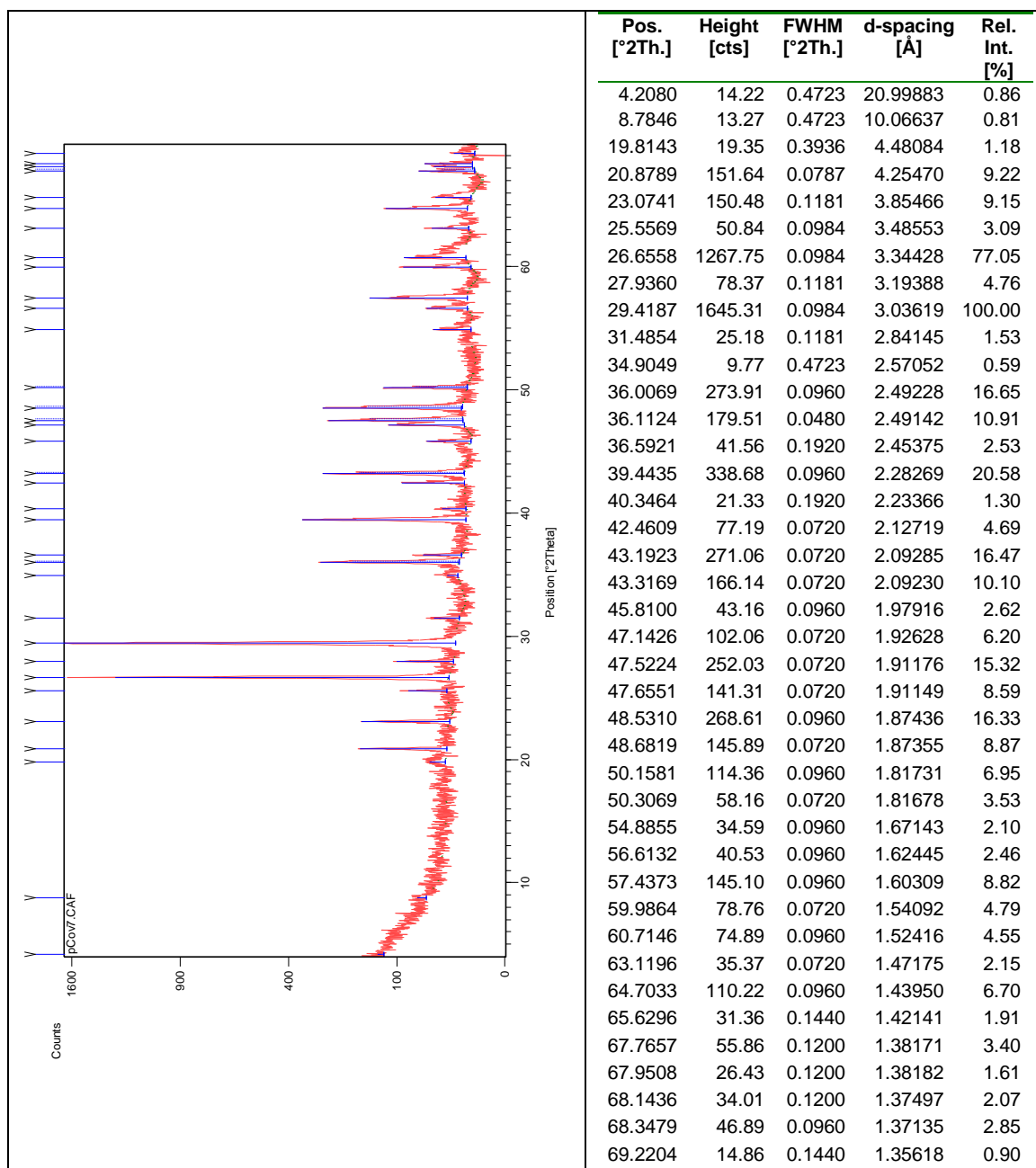


Figura III.59 Difratoograma da amostra total pCV5, recolhida a 126 cm de profundidade na fossa em Covas.

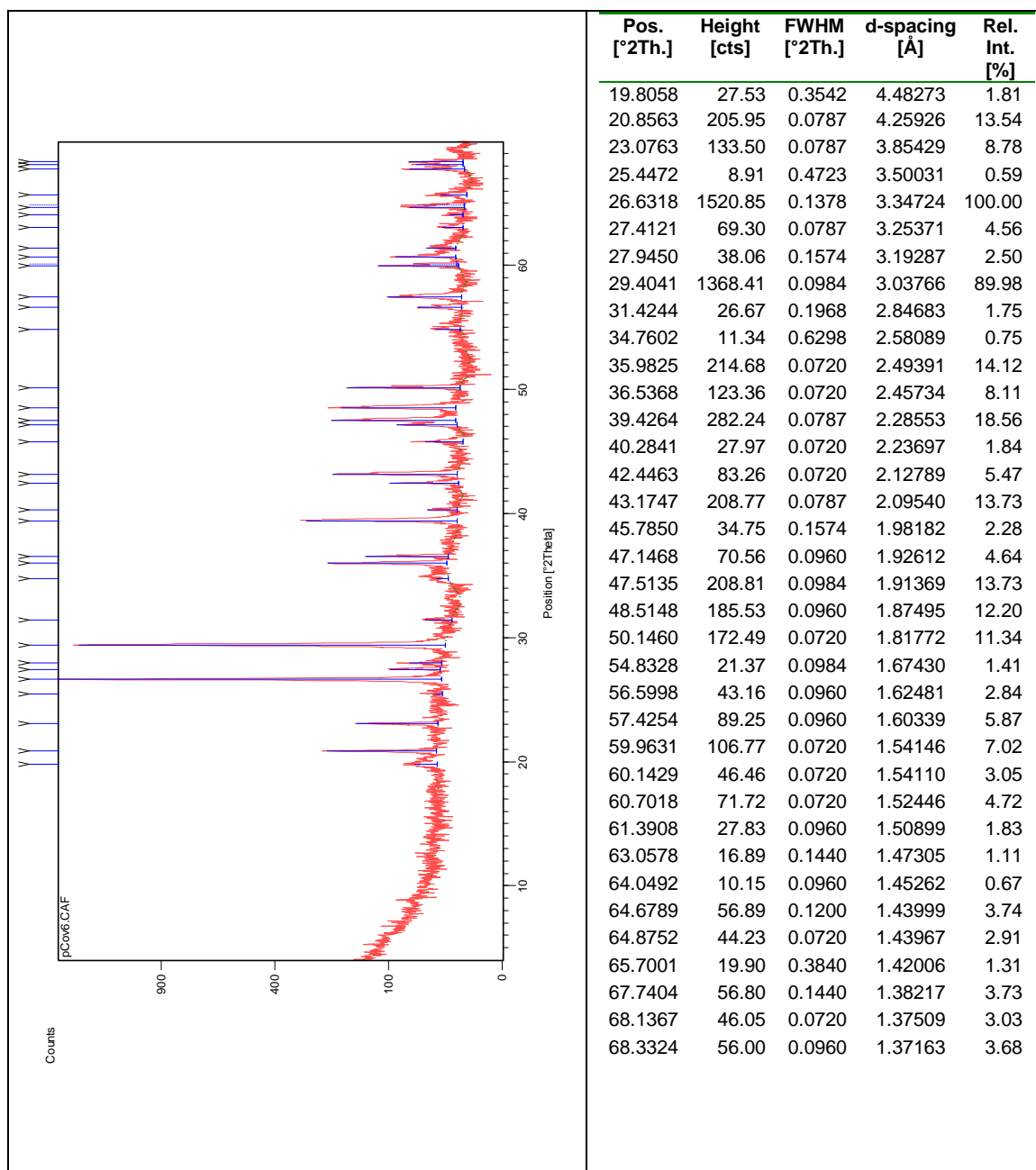


Figura III.60 Difratoograma da amostra total pCV6, recolhida a 116 cm de profundidade na fossa em Covas.

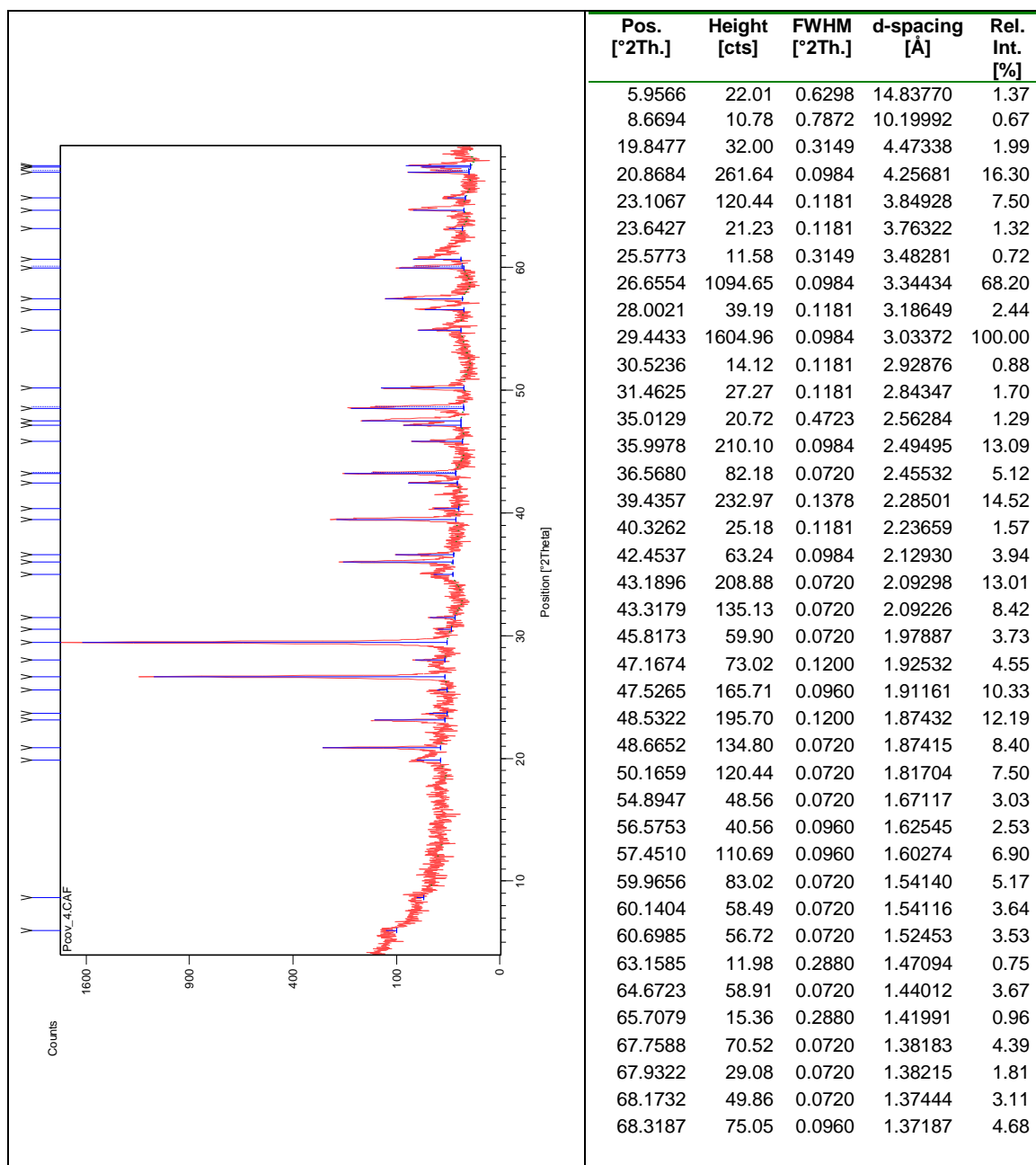


Figura III.61 Difratoograma da amostra total pCV7, recolhida a 112 cm de profundidade na fossa em Covas.

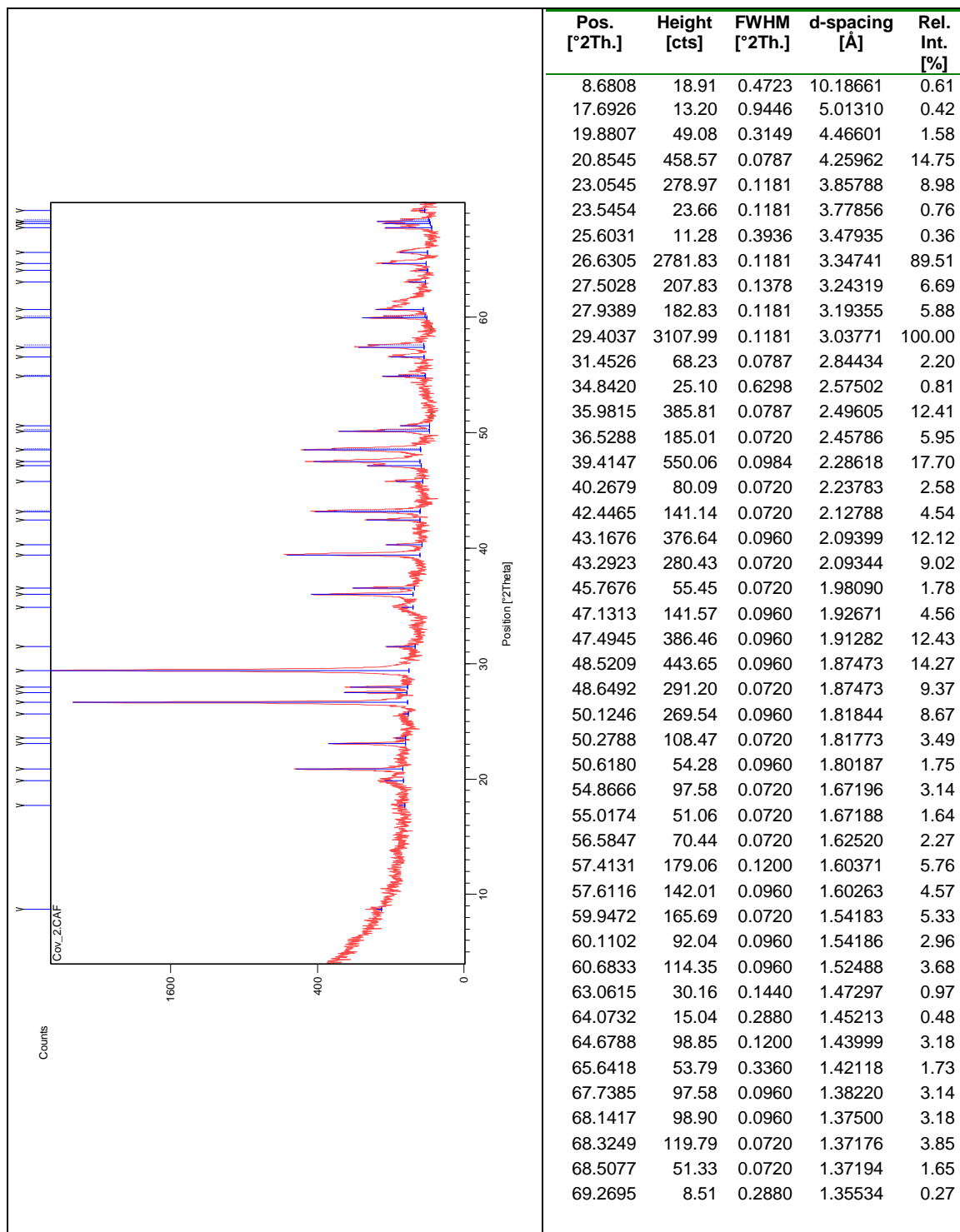


Figura III.62 Difratoograma da amostra total CV2, recolhida a 109 cm de profundidade na fossa em Covas.

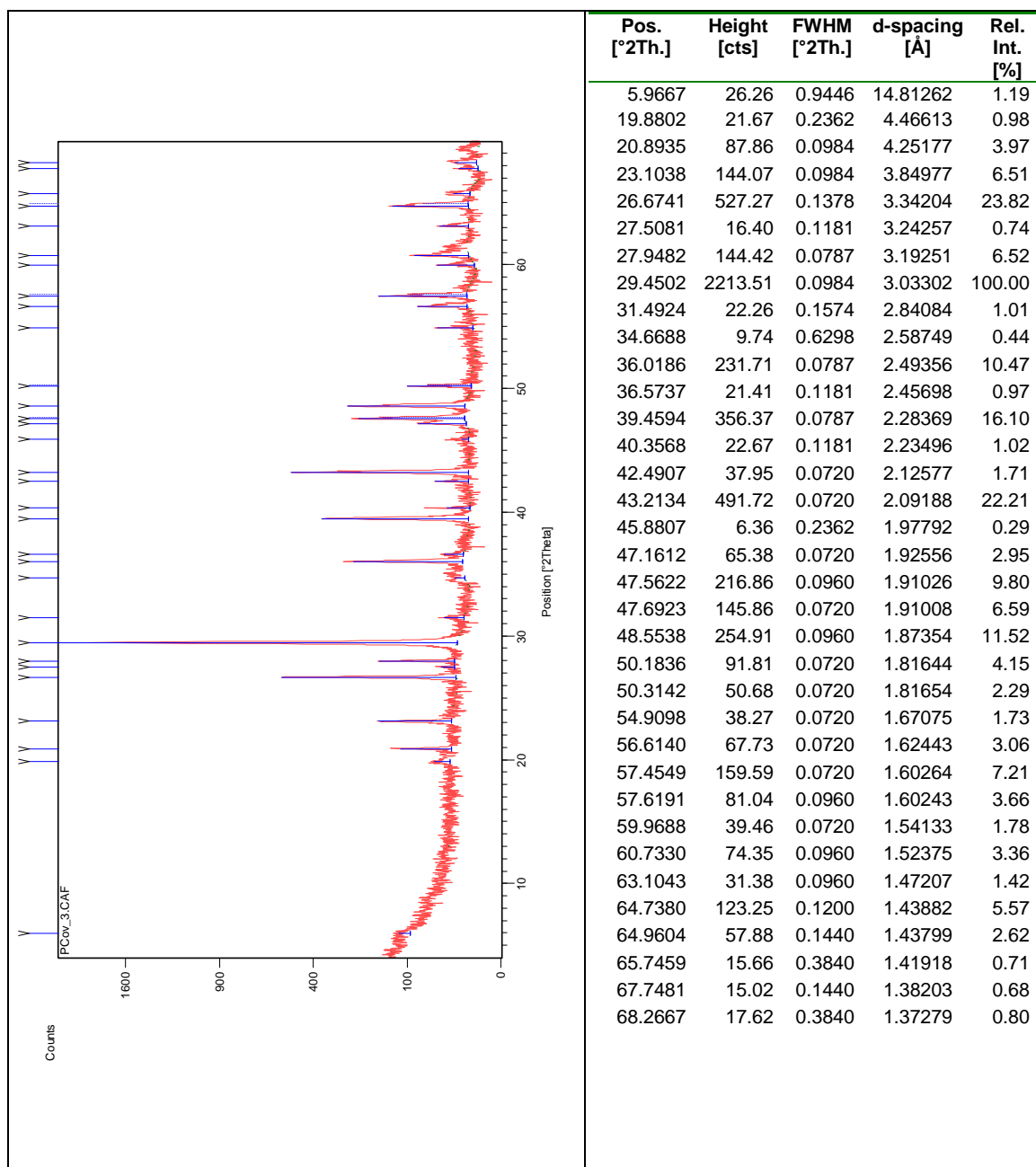


Figura III.63 Difratoograma da amostra total pCV8, recolhida a 106 cm de profundidade na fossa em Covas.

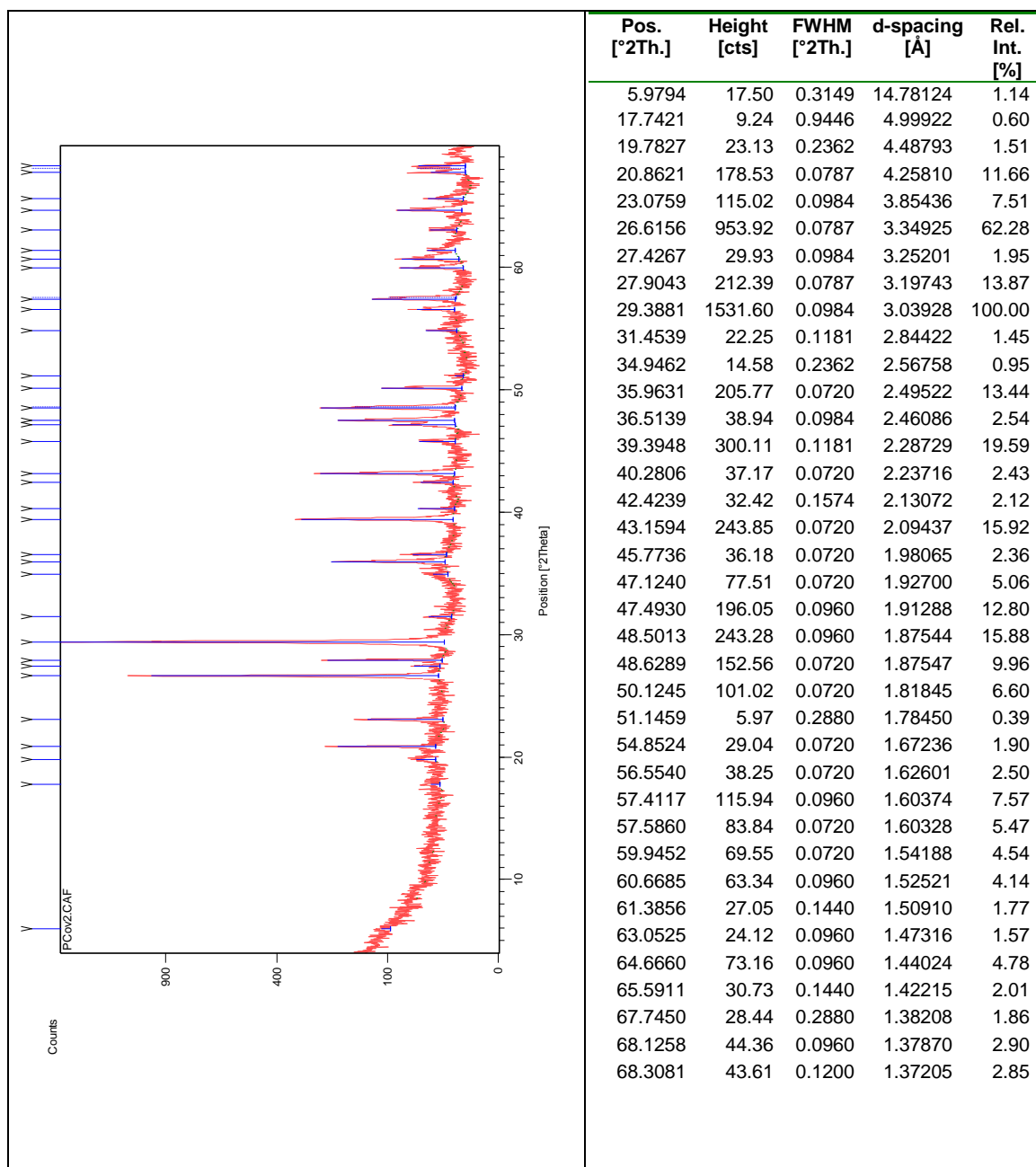


Figura III.64 Difratoograma da amostra total pCV9, recolhida a 102 cm de profundidade na fossa em Covas.

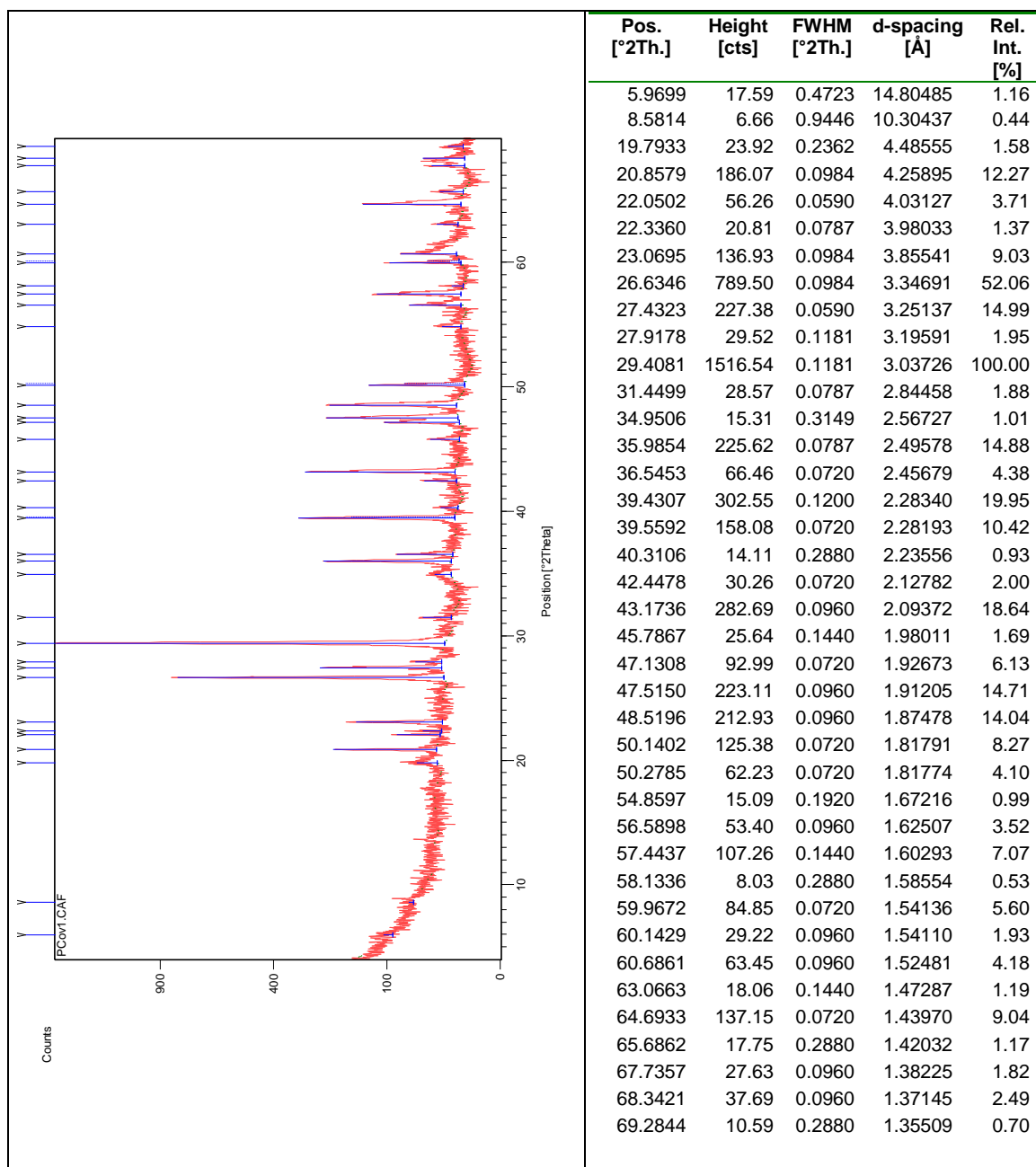


Figura III.65 Difratoograma da amostra total pCV10, recolhida a 91 cm de profundidade na fossa em Covas.

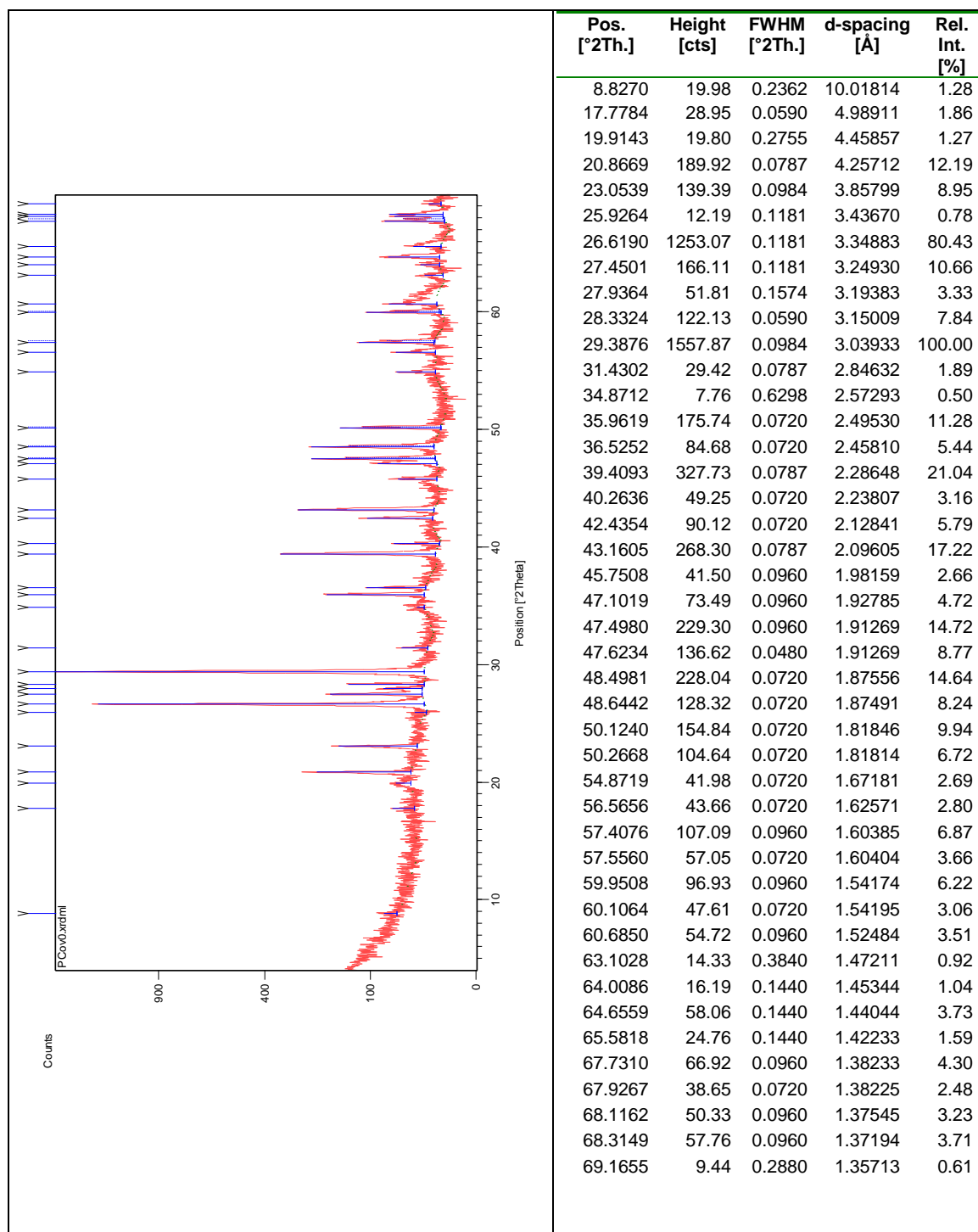


Figura III.66 Difratoograma da amostra total pCV11, recolhida a 77 cm de profundidade na fossa em Covas.

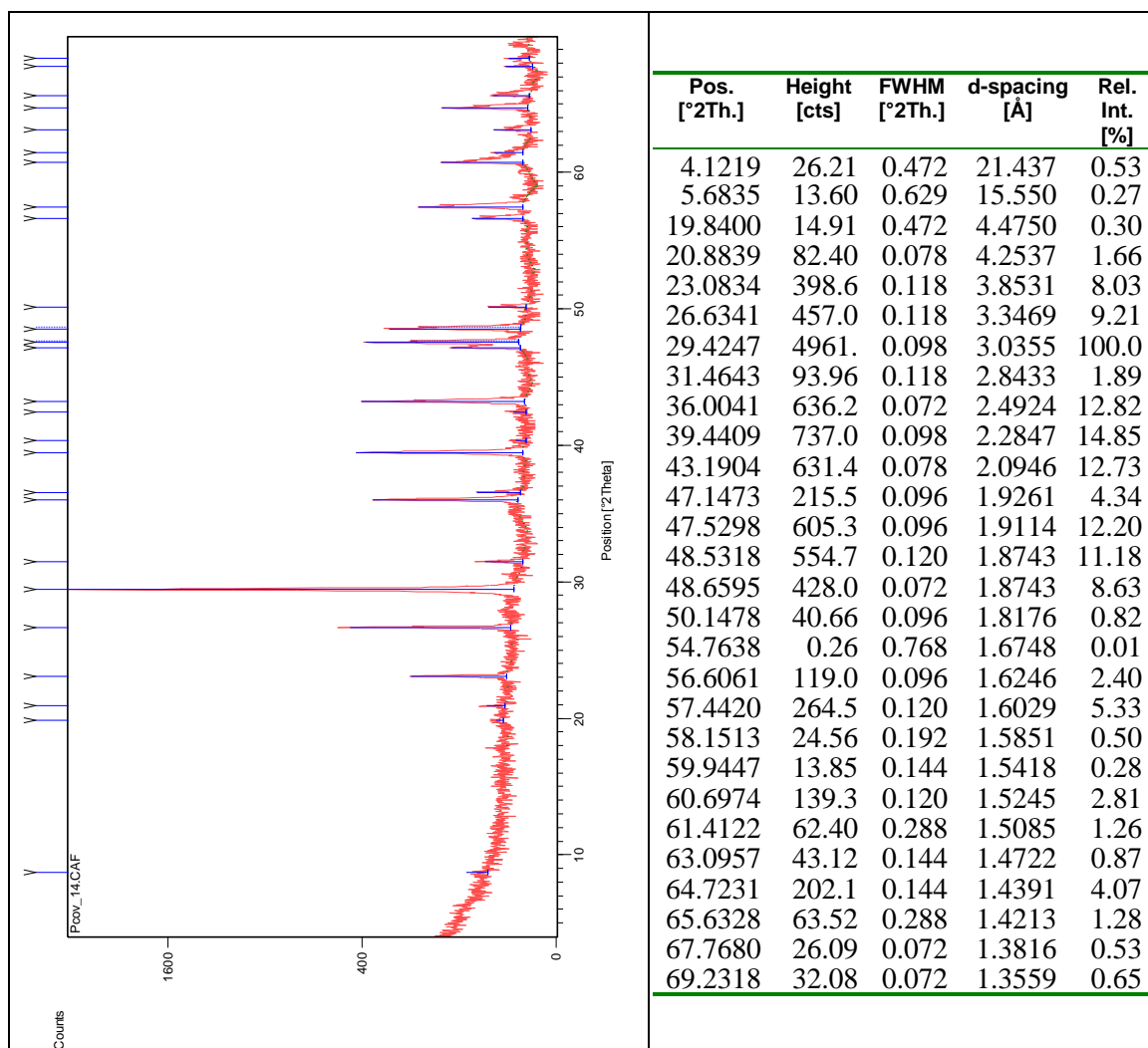


Figura III.67 Difratoograma da amostra total pCV13, recolhida a 93 cm de profundidade no perfil lateral, na fossa em Covas.

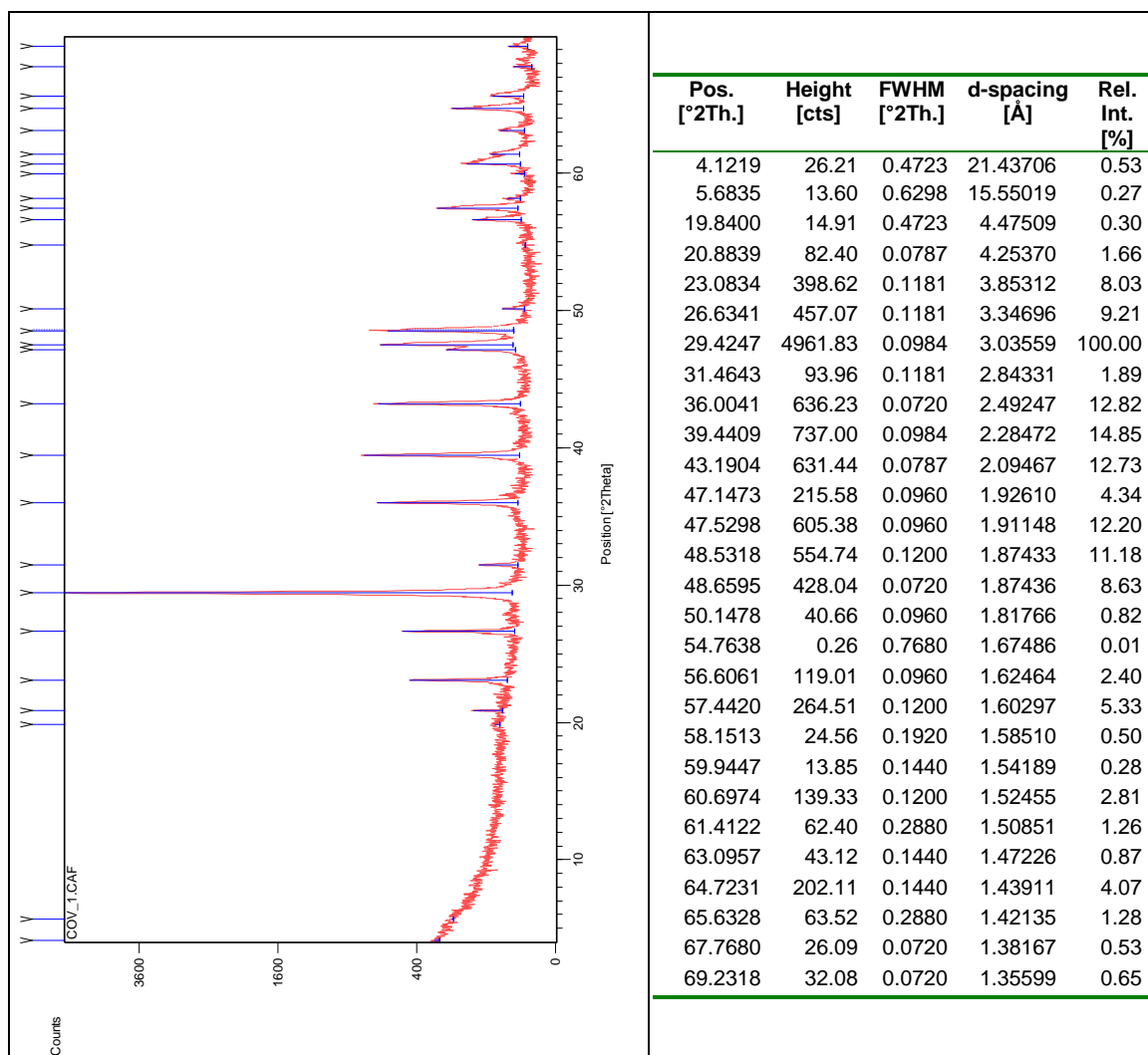


Figura III.68 Difratoograma da amostra total CV3, recolhida a 72 cm de profundidade no perfil lateral, na fossa em Covas.

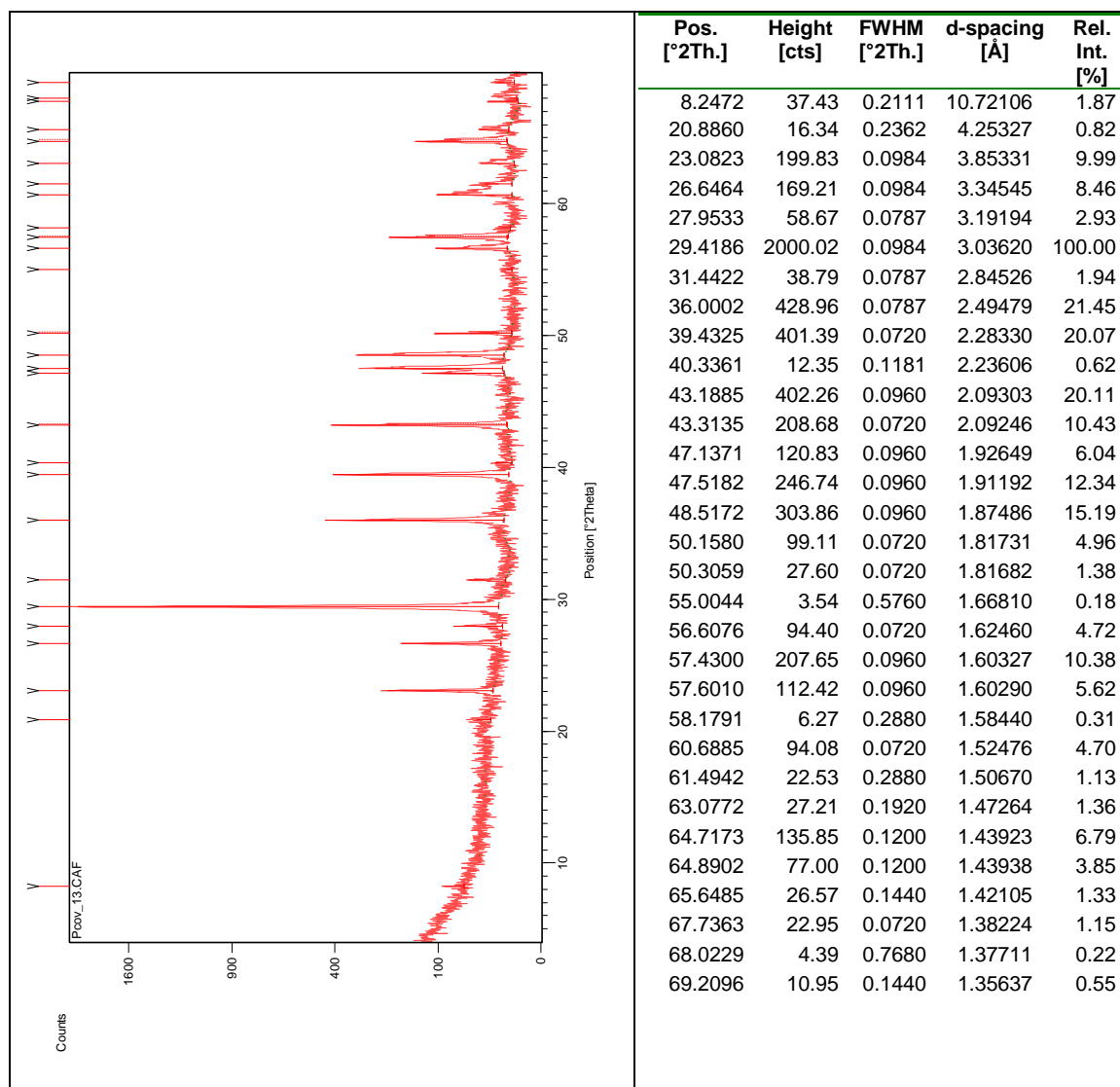


Figura III.69 Difratoograma da amostra total pCV14, recolhida a 60 cm de profundidade no perfil lateral, na fossa em Covas.

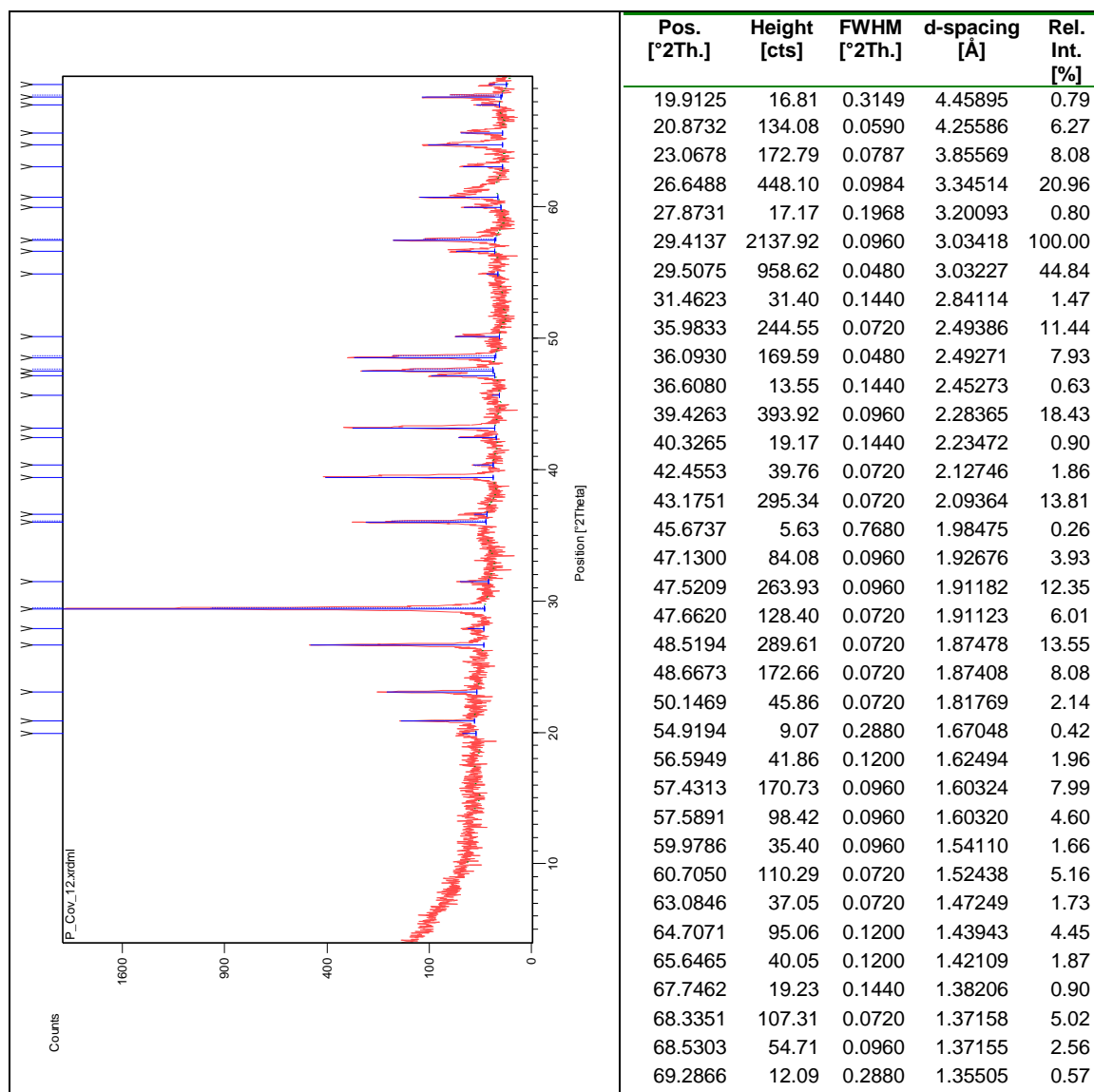


Figura III.70 Difratoograma da amostra total pCV15, recolhida a 37 cm de profundidade no perfil lateral, na fossa em Covas.

III.3.3 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto e no preenchimento da fossa

Tabela III.6 Semiquantificação da amostra total dos materiais recolhidos em Covas.

Profundidade	Semiquantificação (%)					MIA	%
	Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase		
Perfil Central	5	49	18	24	6	3	73
	77	62	19	13	5	1	68
	91	57	22	14	1	6	67
	102	68	16	11	1	4	69
	106	56	24	18	0	2	90
	109	30	24	14	30	2	30
	112	57	25	14	0	4	78
	116	38	28	30	2	2	88
	126	52	25	20	0	3	87
	130	48	25	23	3	1	85
	135	70	8	19	2	1	86
	140	56	17	24	3	0	89
	144	55	25	18	1	1	90
	150	92	1	6	0	1	86
Perfil Lateral	37	72	19	8	0	1	89
	60	86	8	4	0	2	67
	72	83	12	5	0	0	100
	93	76	17	7	0	0	100

III.3.4 Difratogramas da fração argilosa das amostras recolhidas no perfil de calcreto e no preenchimento do fosso

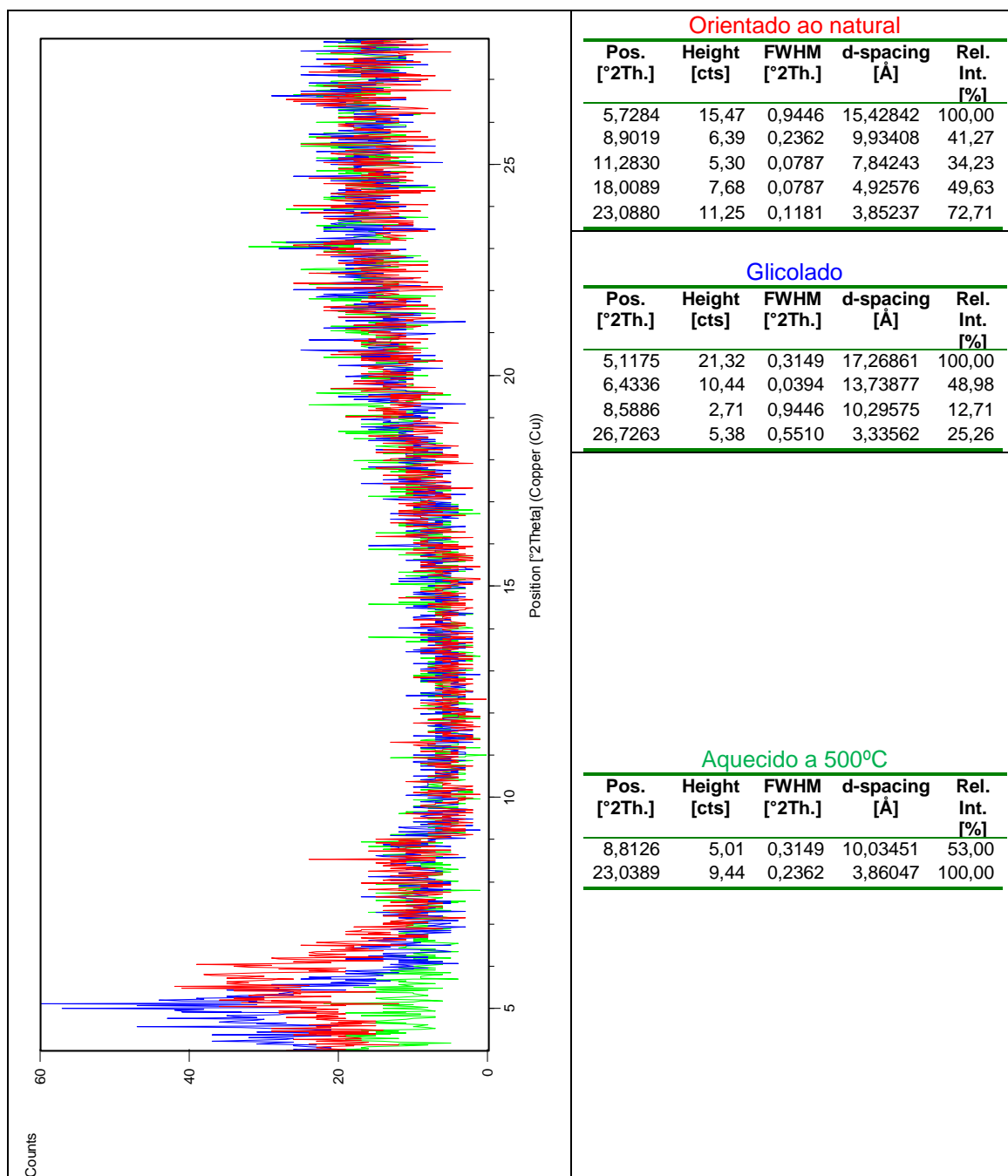


Figura III.71 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CVa, recolhida no perfil de calcreto em Covas.

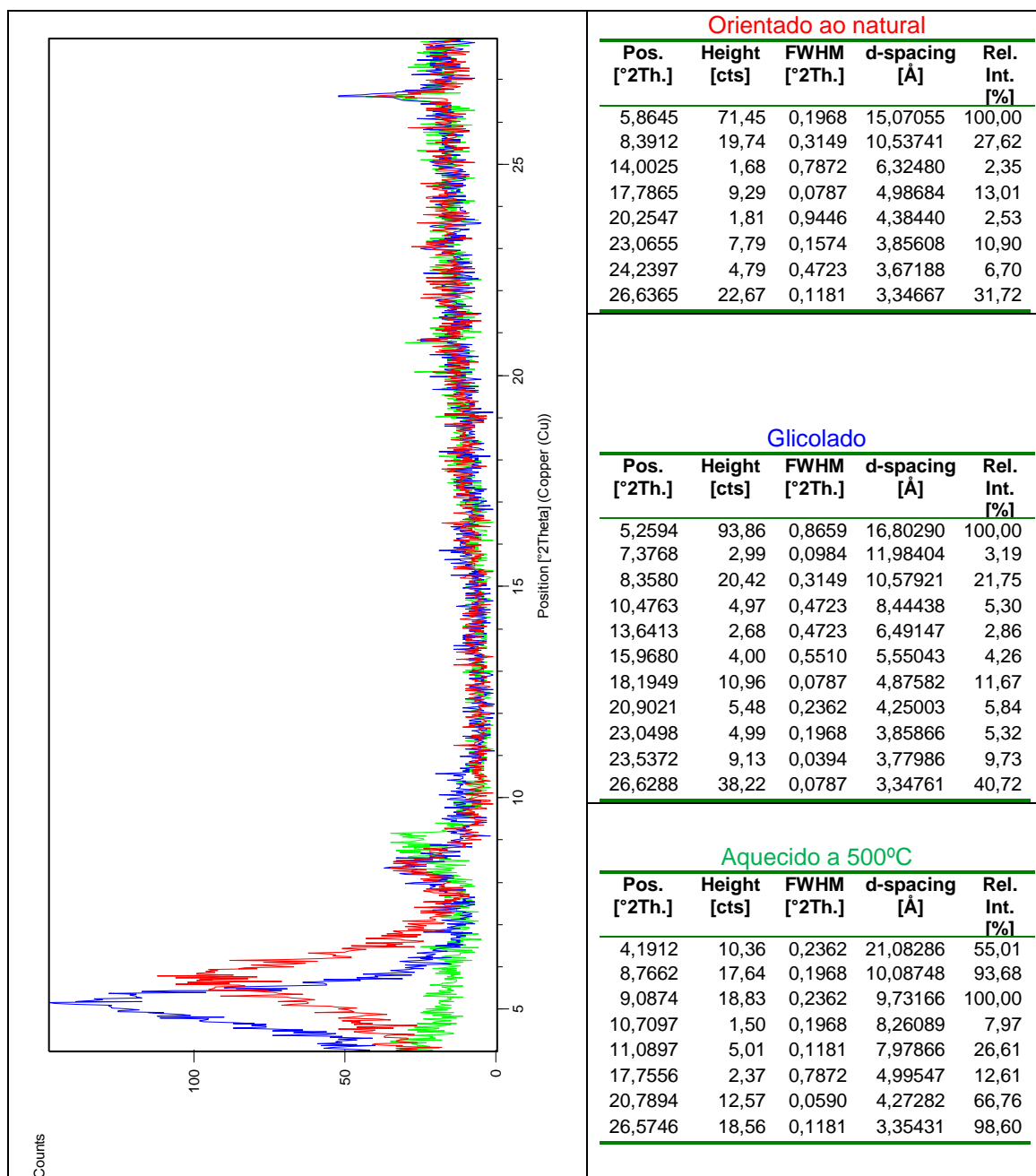


Figura III.72 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CVb, recolhida no perfil de calcetreo em Covas.

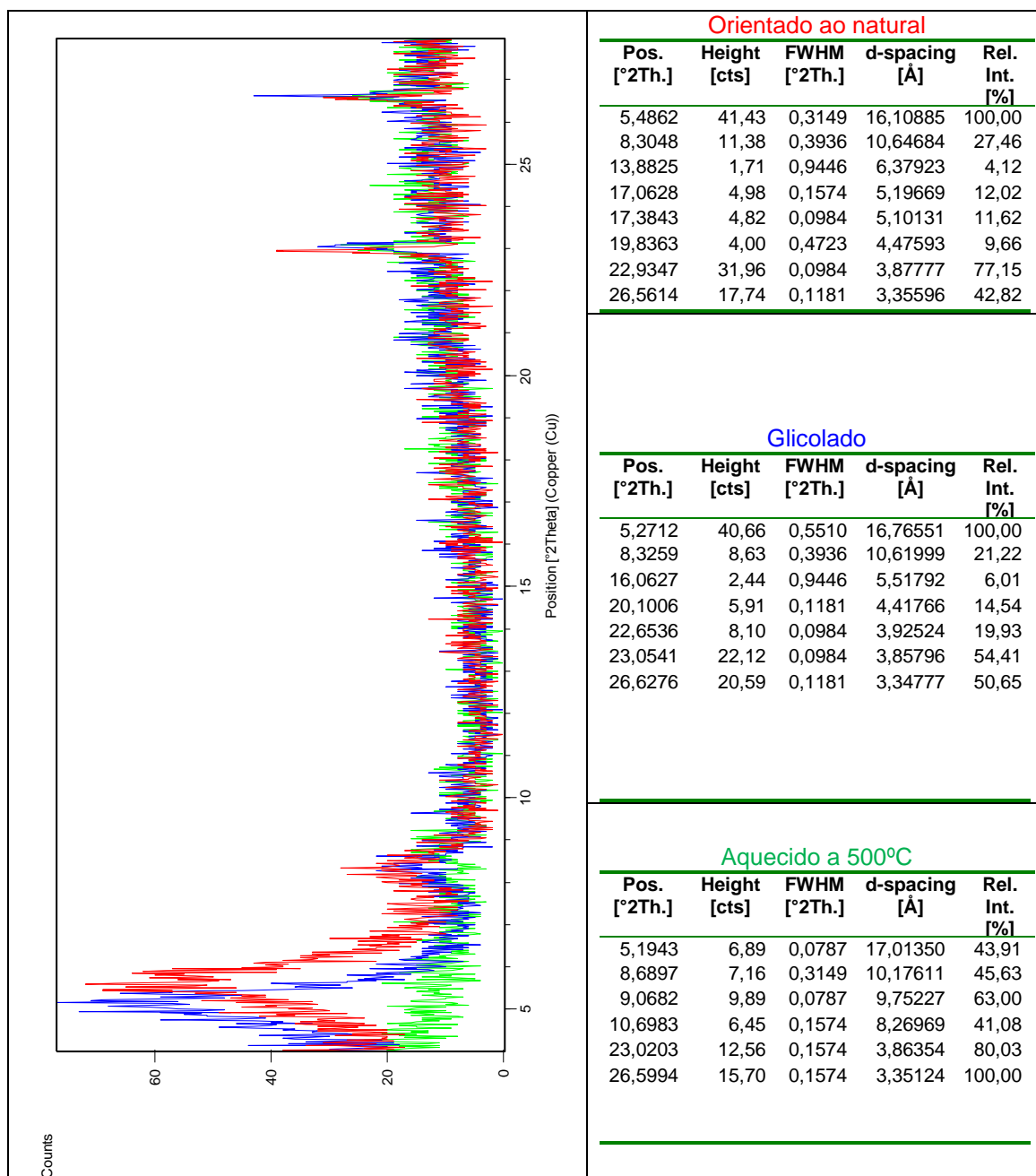


Figura III.73 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CVc, recolhida no perfil de calcreto em Covas.

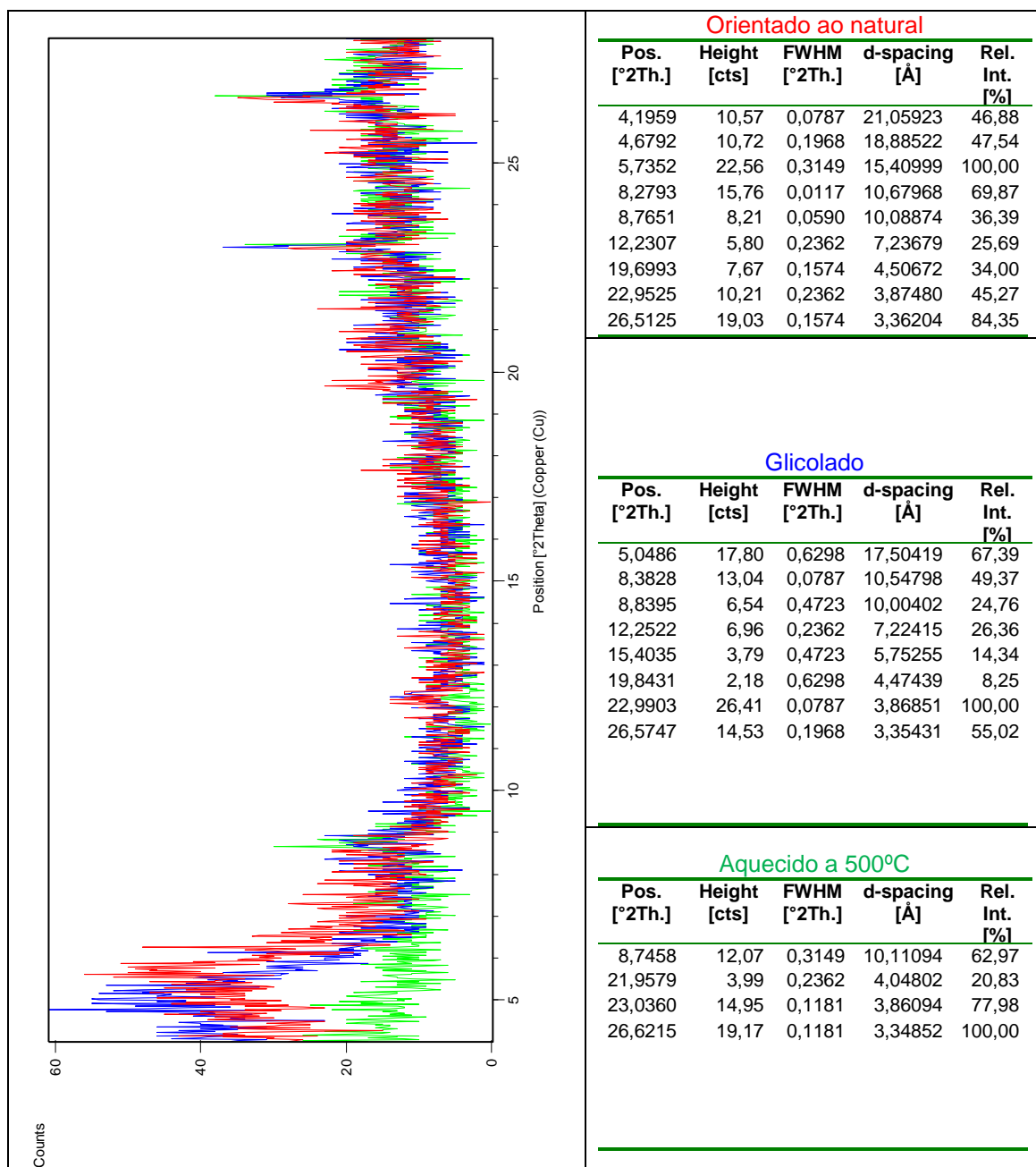


Figura III.74 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CV1, recolhida na fossa em Covas.

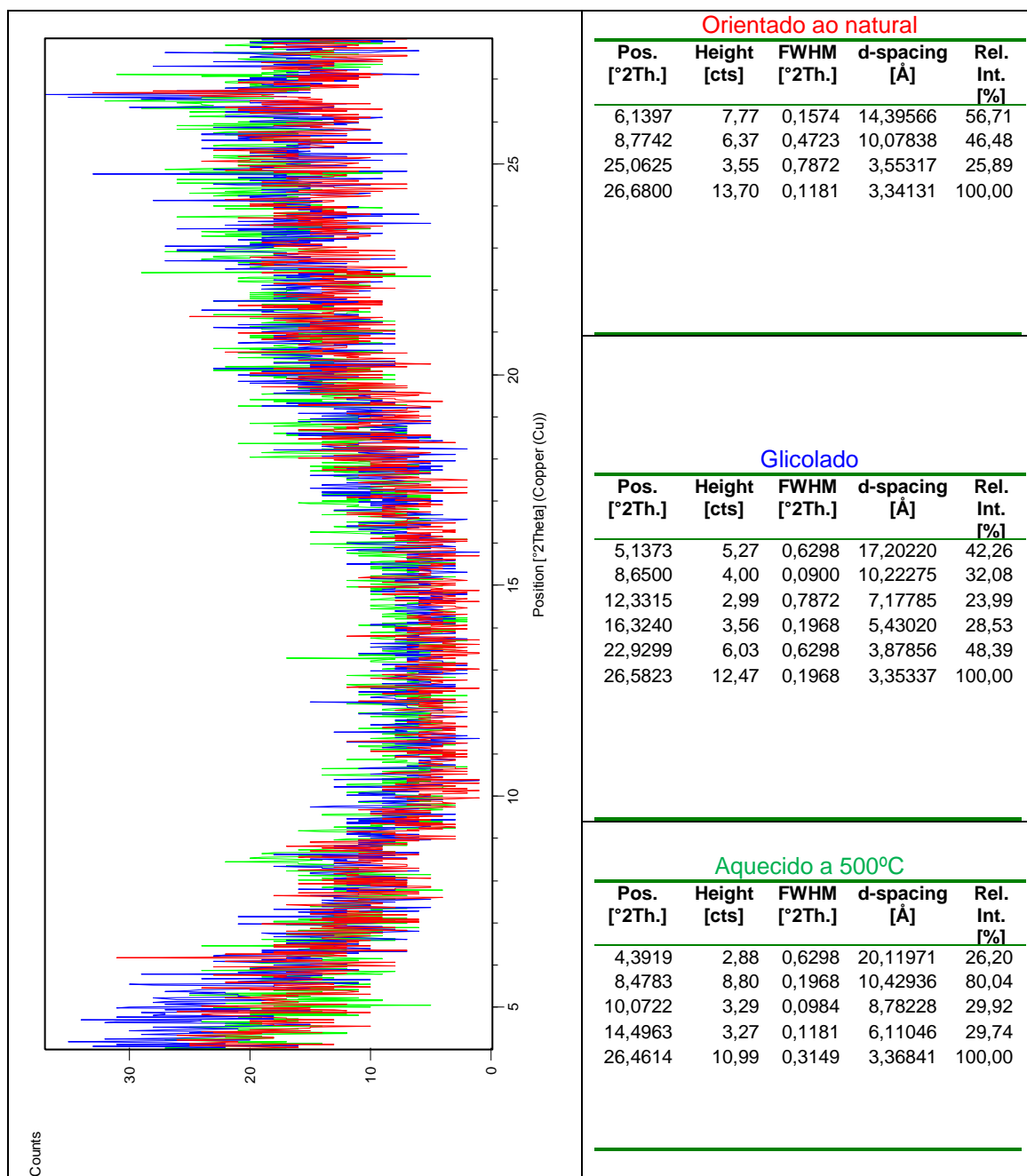


Figura III.75 Difratoformas da fração argilosa carbonatada da amostra CV2, recolhida na fossa em Covas.

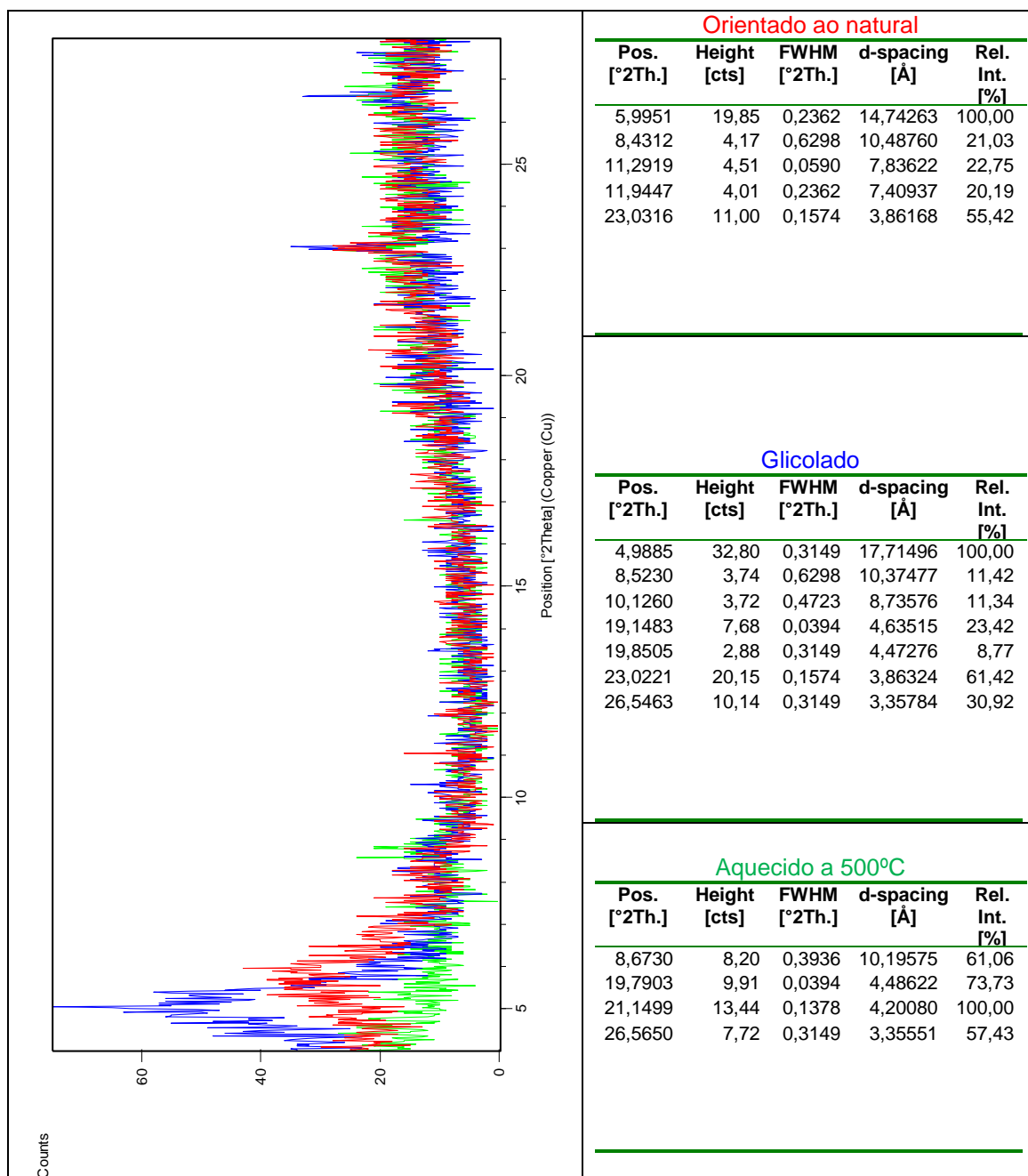


Figura III.76 Difrátogramas da fração argilosa carbonatada da amostra CV3, recolhida na fossa em Covas.

III.3.5 Semiquantificação da fração argilosa

Tabela III.7 Semiquantificação dos minerais argilosos presentes na fração argilosa das amostras recolhidas em Covas.

Contexto	Amostra	Semiquantificação (%)			
		Esmectite	Illite	Caulinite	Paligorsquite
MPr	CV3		74		26
	CV2		54	46	
	CV1		23	50	13
MGeo	CVc		68		32
	CVb		87		13
	CVa		90	10	

III.4 Outeiro Alto

III.4.1 Difractogramas da amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto

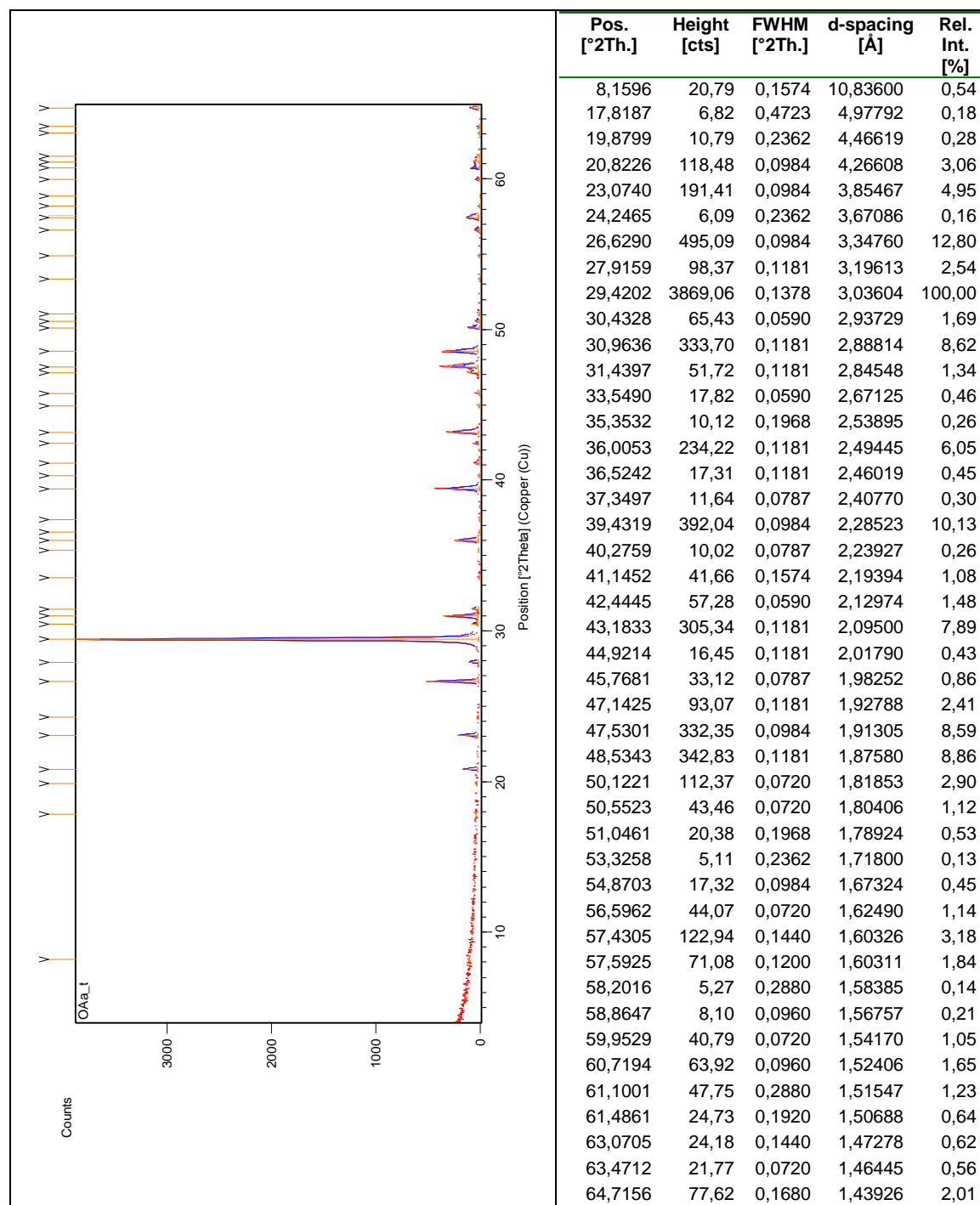


Figura III.77 Difractograma da amostra total OAA, representativa do calcetreto lacustre amostrado no Outeiro Alto.

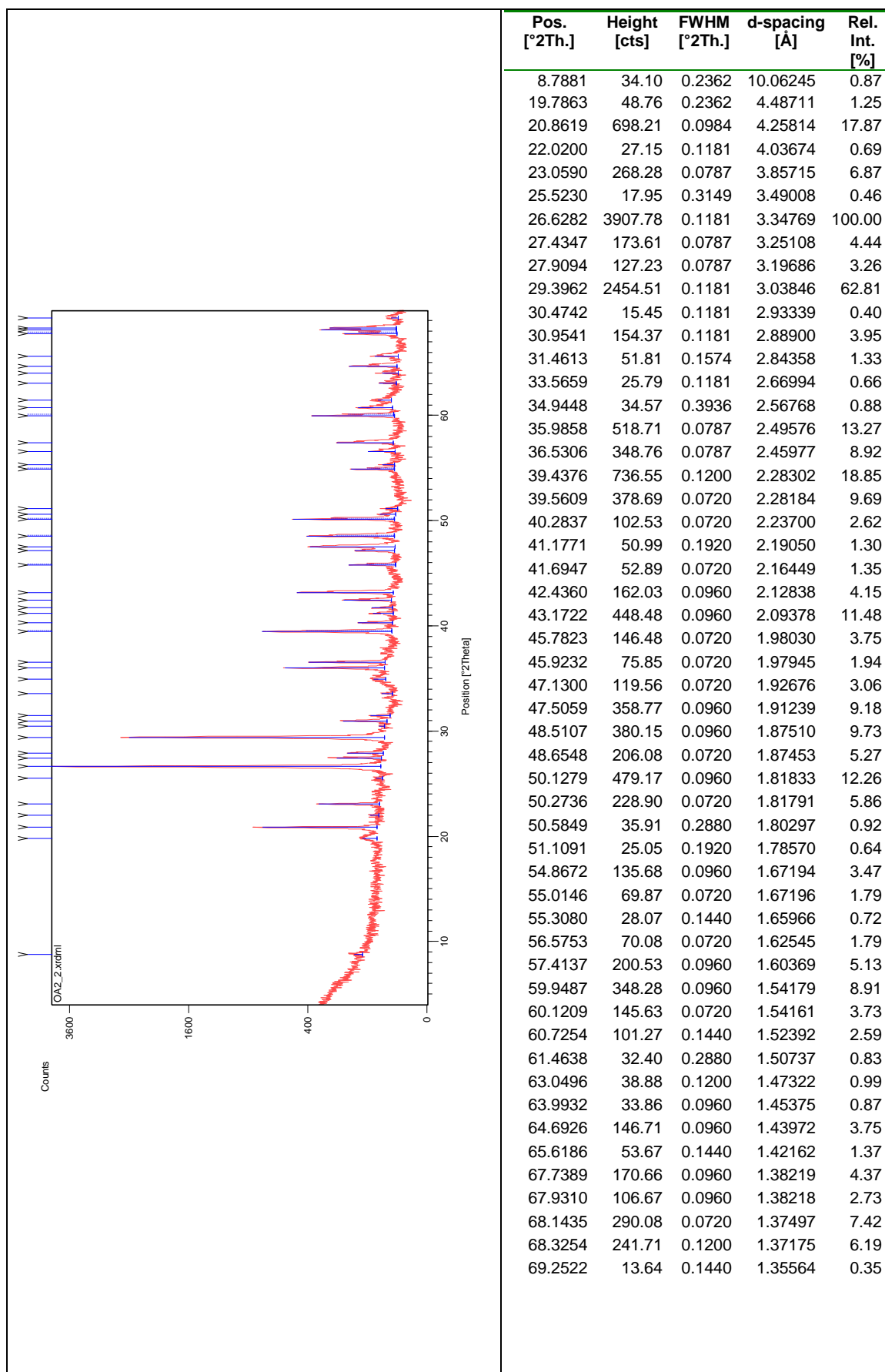


Figura III.78 Difratoograma da amostra total OA1, recolhida a 72 cm na fossa 22 Outeiro Alto.

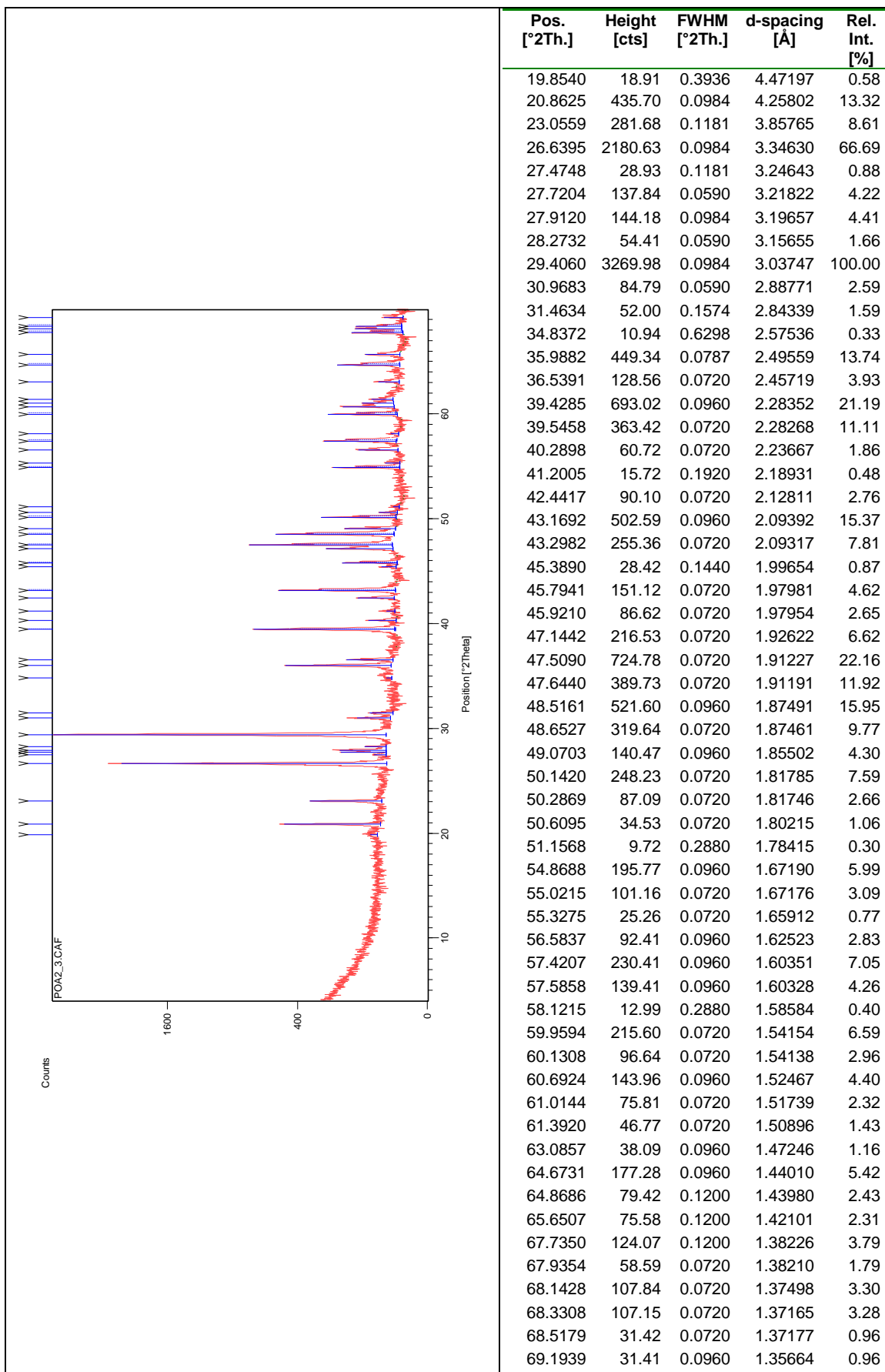


Figura III.79 Difratoograma da amostra total pOA1, recolhida a 69 cm na fossa 22 Outeiro Alto.

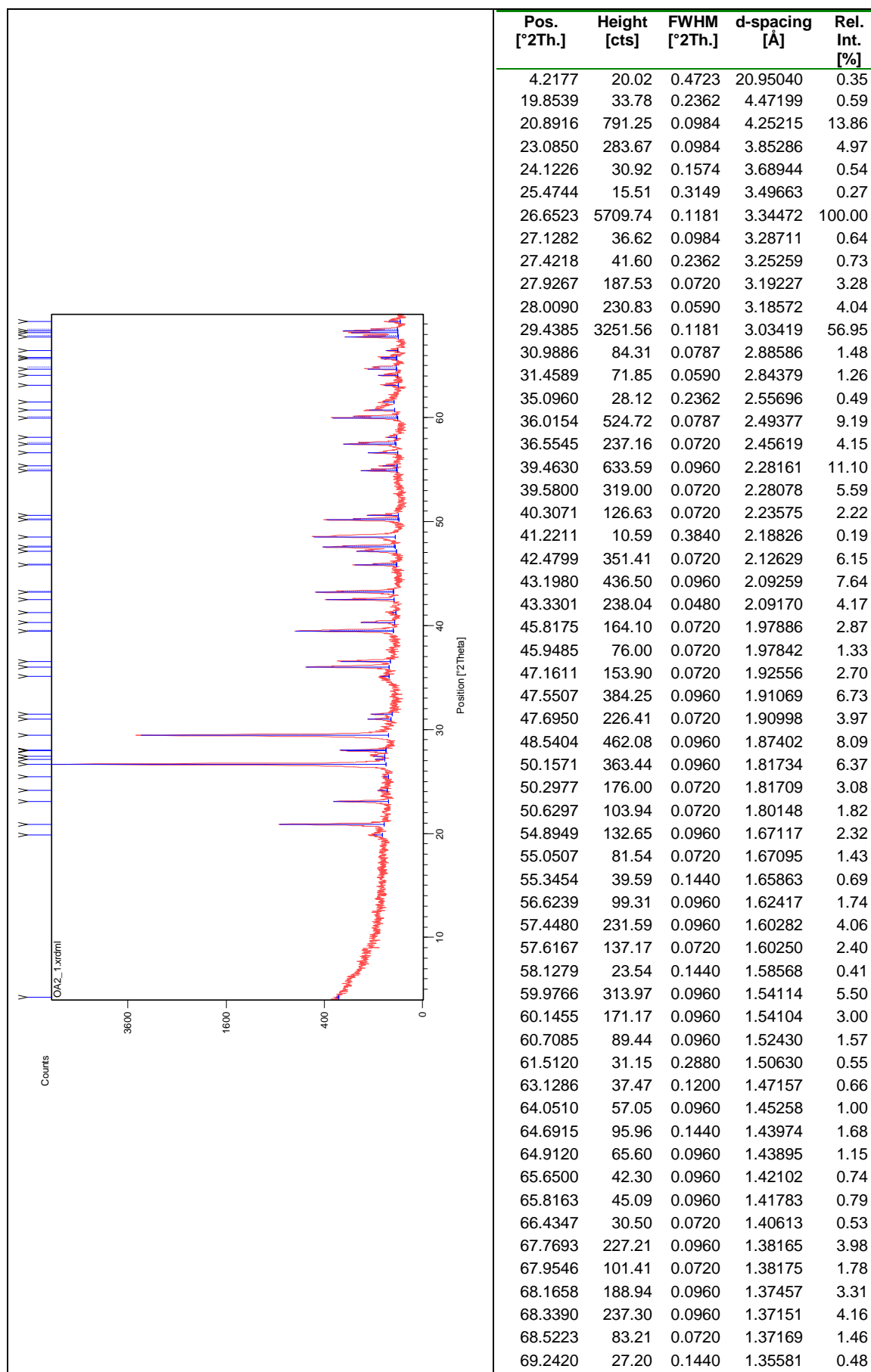


Figura III.80 Difratoograma da amostra total OA2, recolhida a 47 cm na fossa 22 Outeiro Alto.

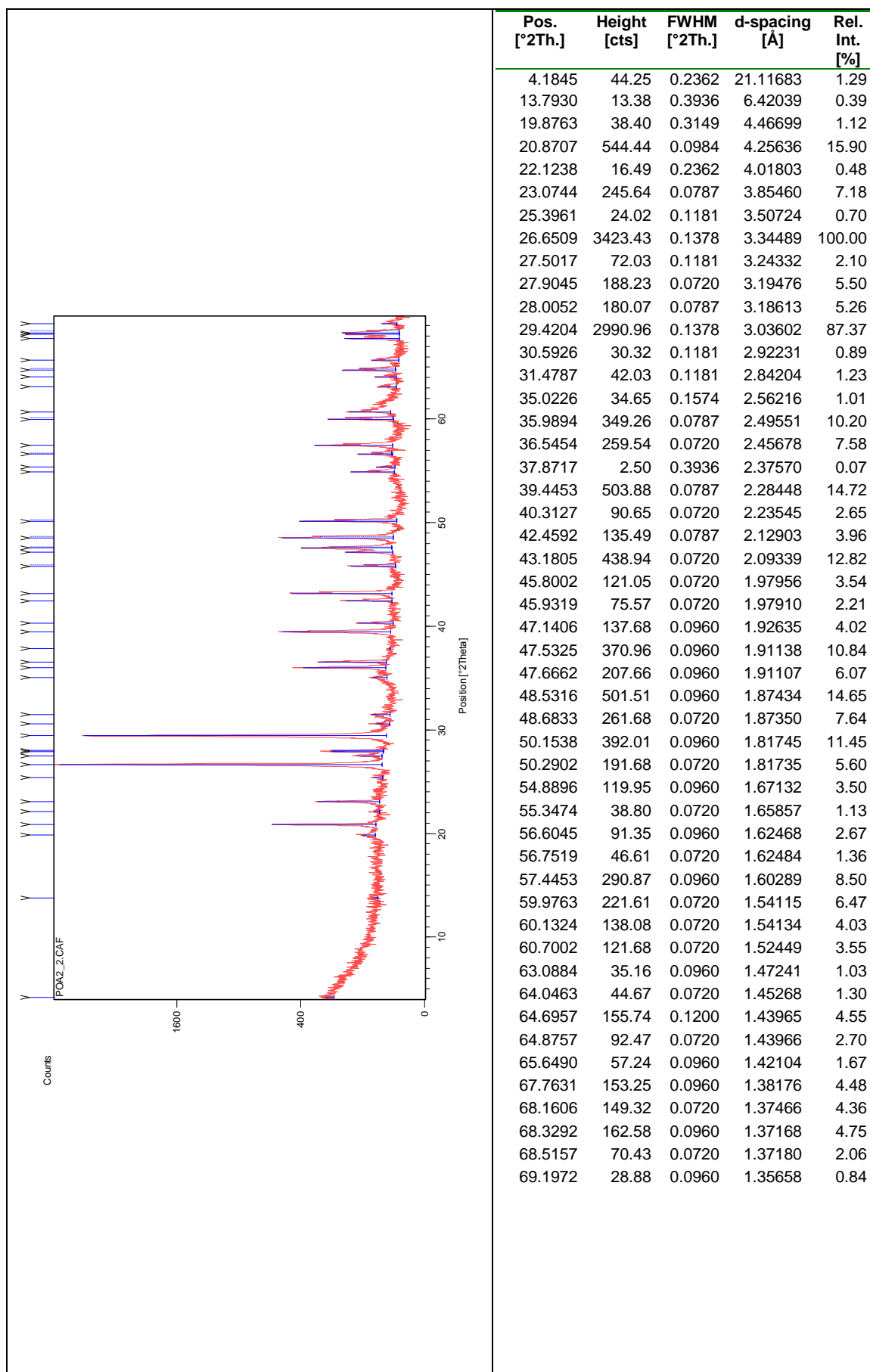


Figura III.81 Difratoograma da amostra total pOA2, recolhida a 38 cm na fossa 22 Outeiro Alto.

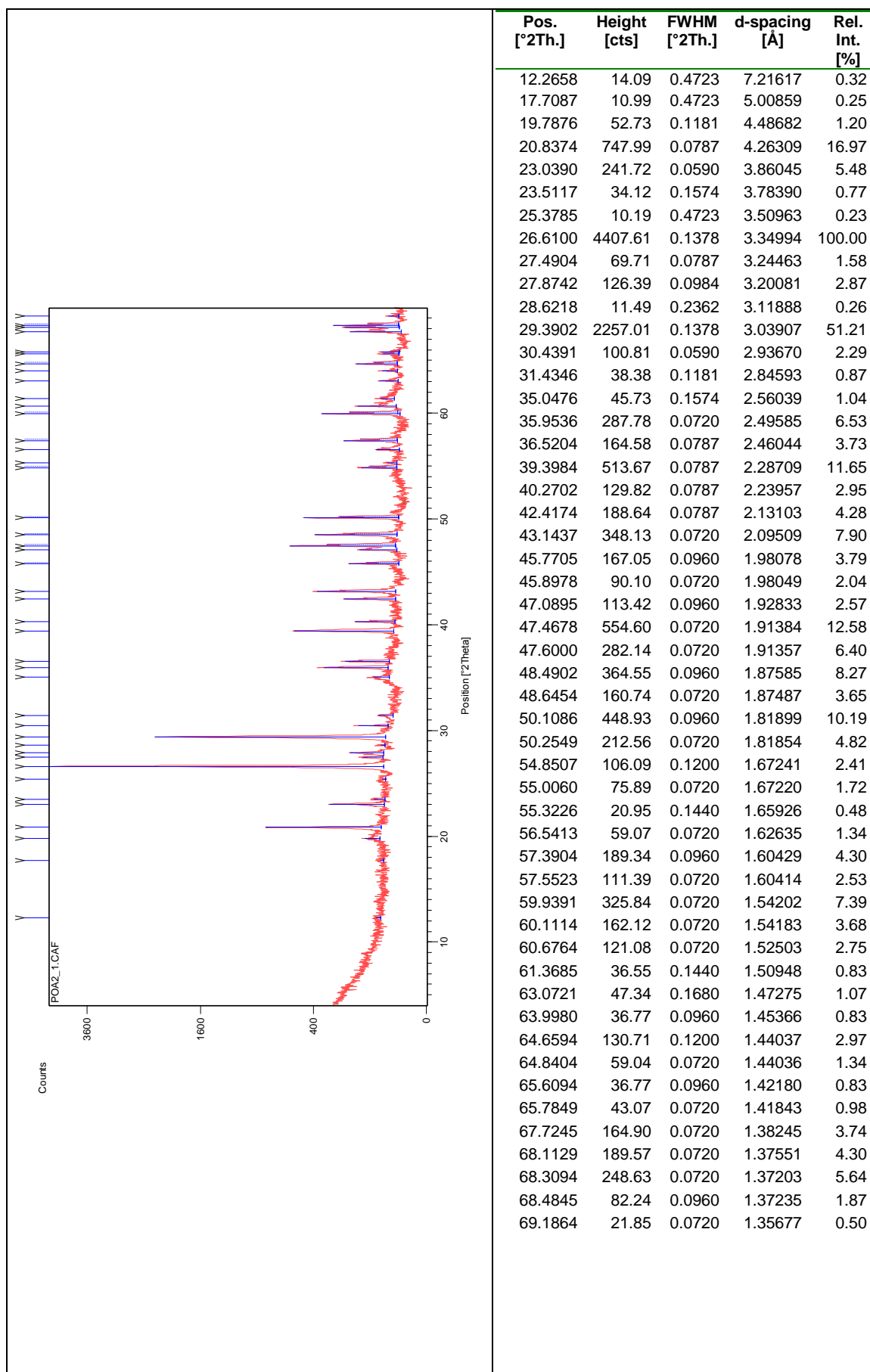


Figura III.82 Difratoograma da amostra total pOA3, recolhida a 12 cm na fossa 22 Outeiro Alto.

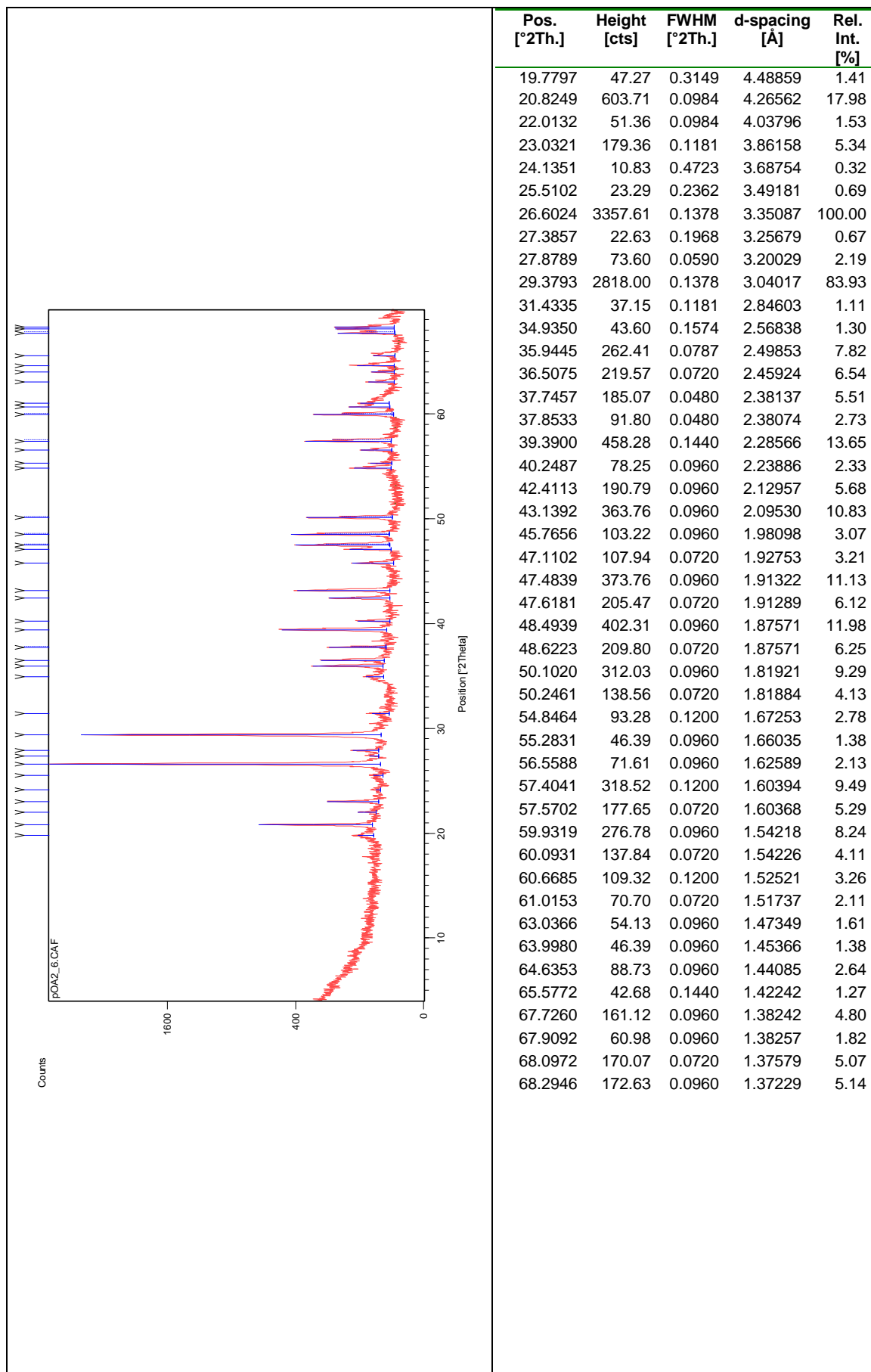


Figura III.83 Difratoograma da amostra total pOA4, recolhida a 96 cm na fossa 30 Outeiro Alto.

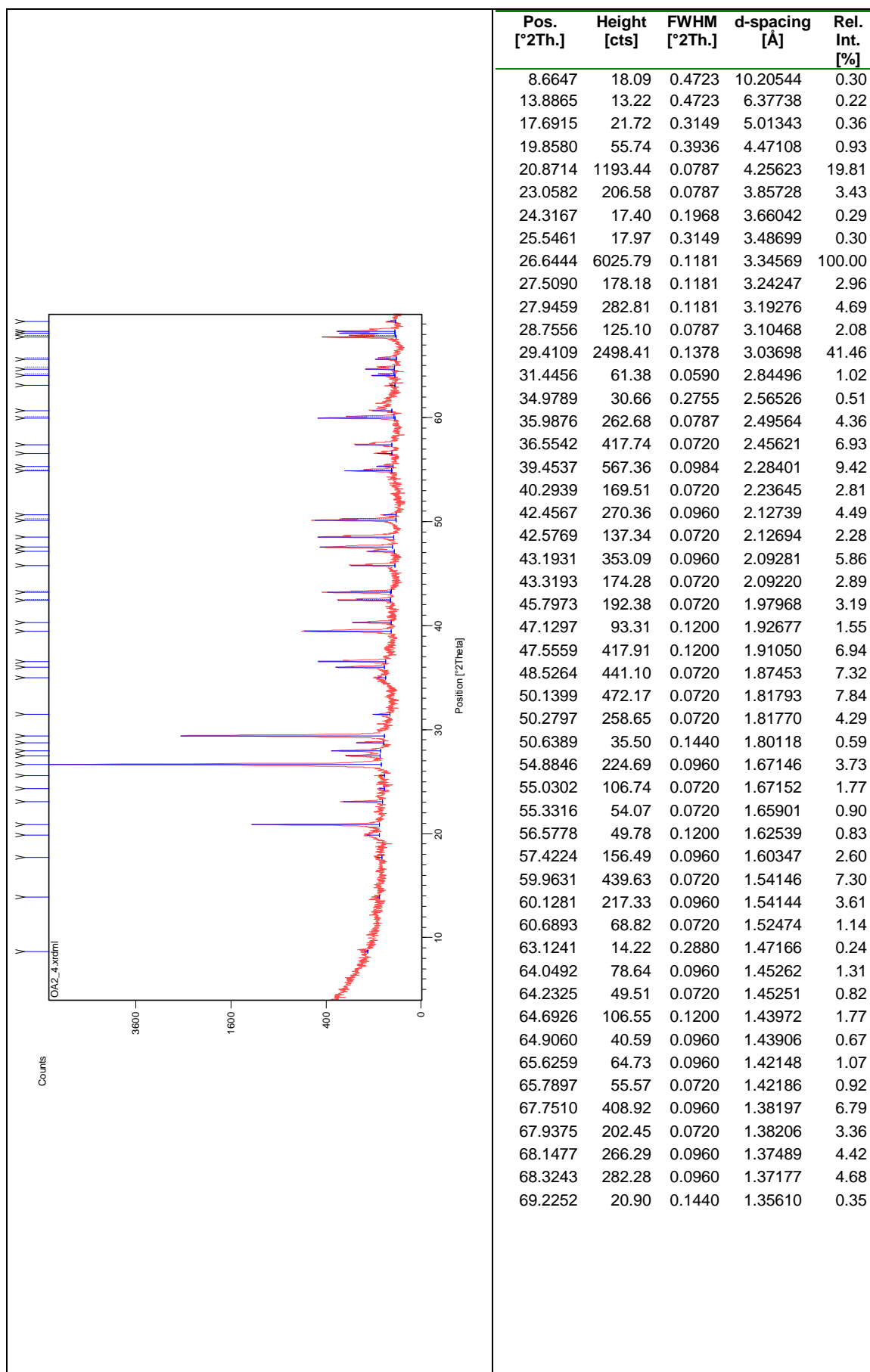


Figura III.84 Difratoograma da amostra total OA4, recolhida a 70 cm na fossa 30 Outeiro Alto.

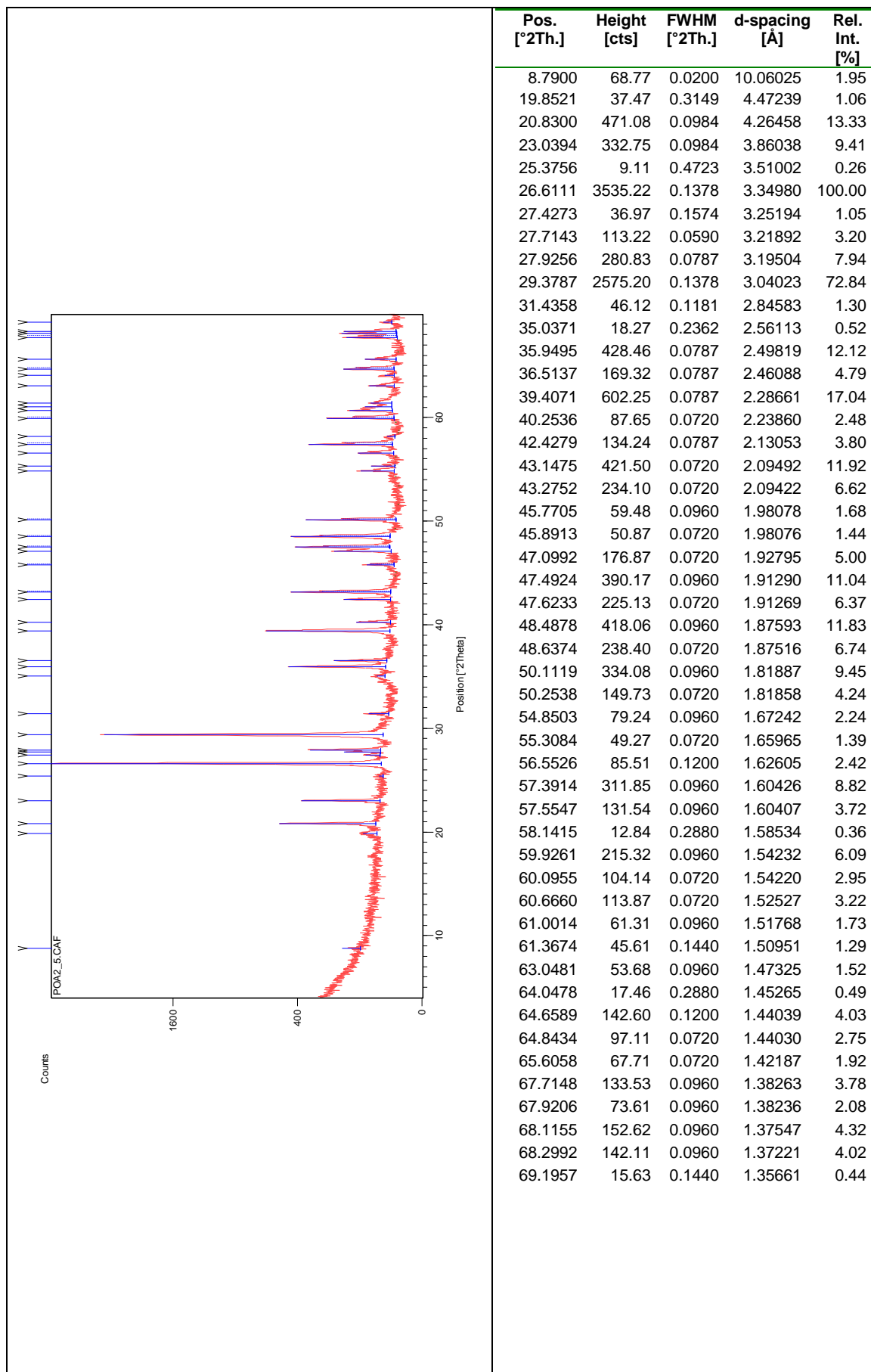


Figura III.85 Difratoograma da amostra total pOA5, recolhida a 55 cm na fossa 30 Outeiro Alto.

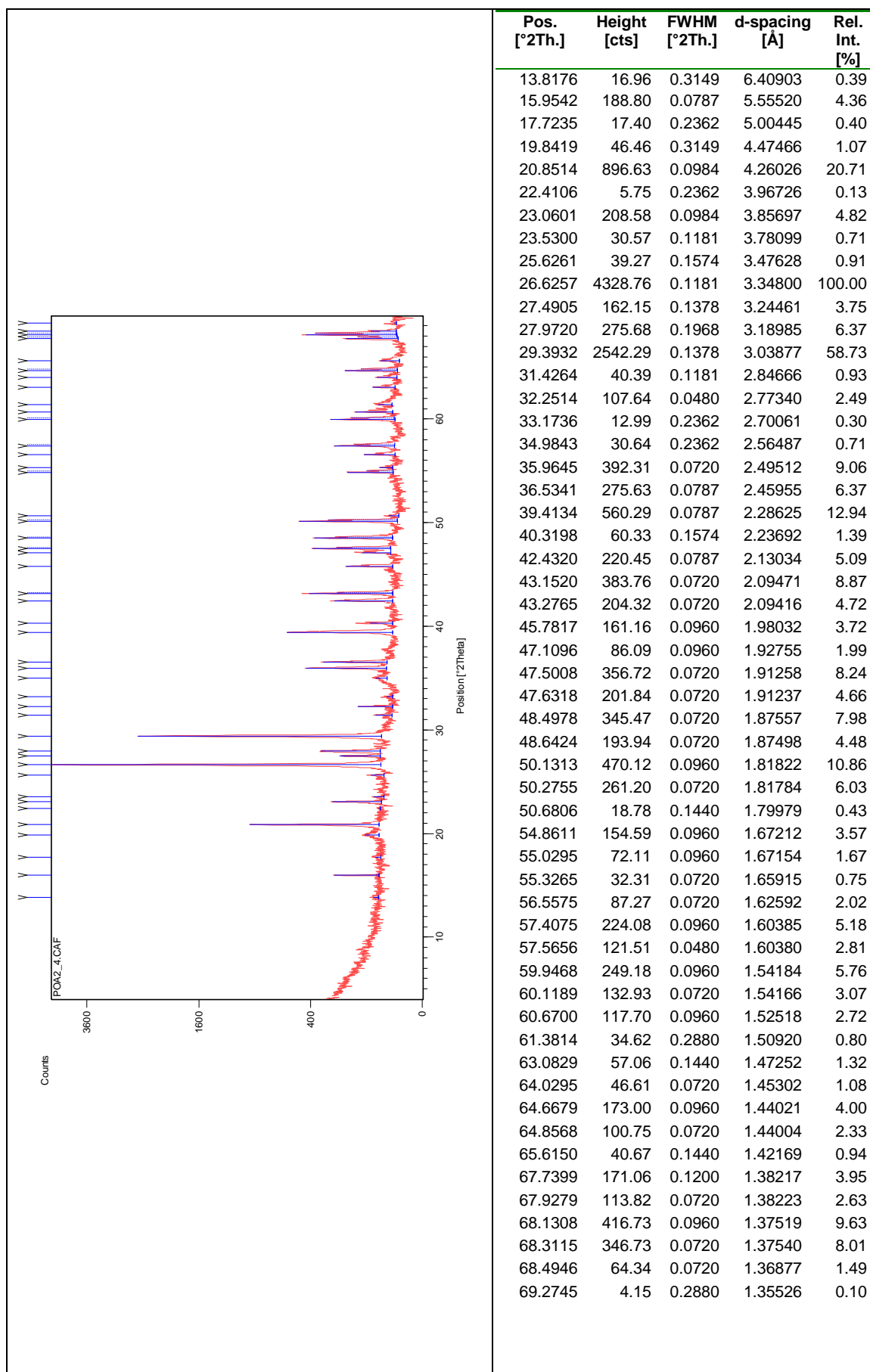


Figura III.86 Difratoograma da amostra total pOA6, recolhida a 17 cm na fossa 30 Outeiro Alto.

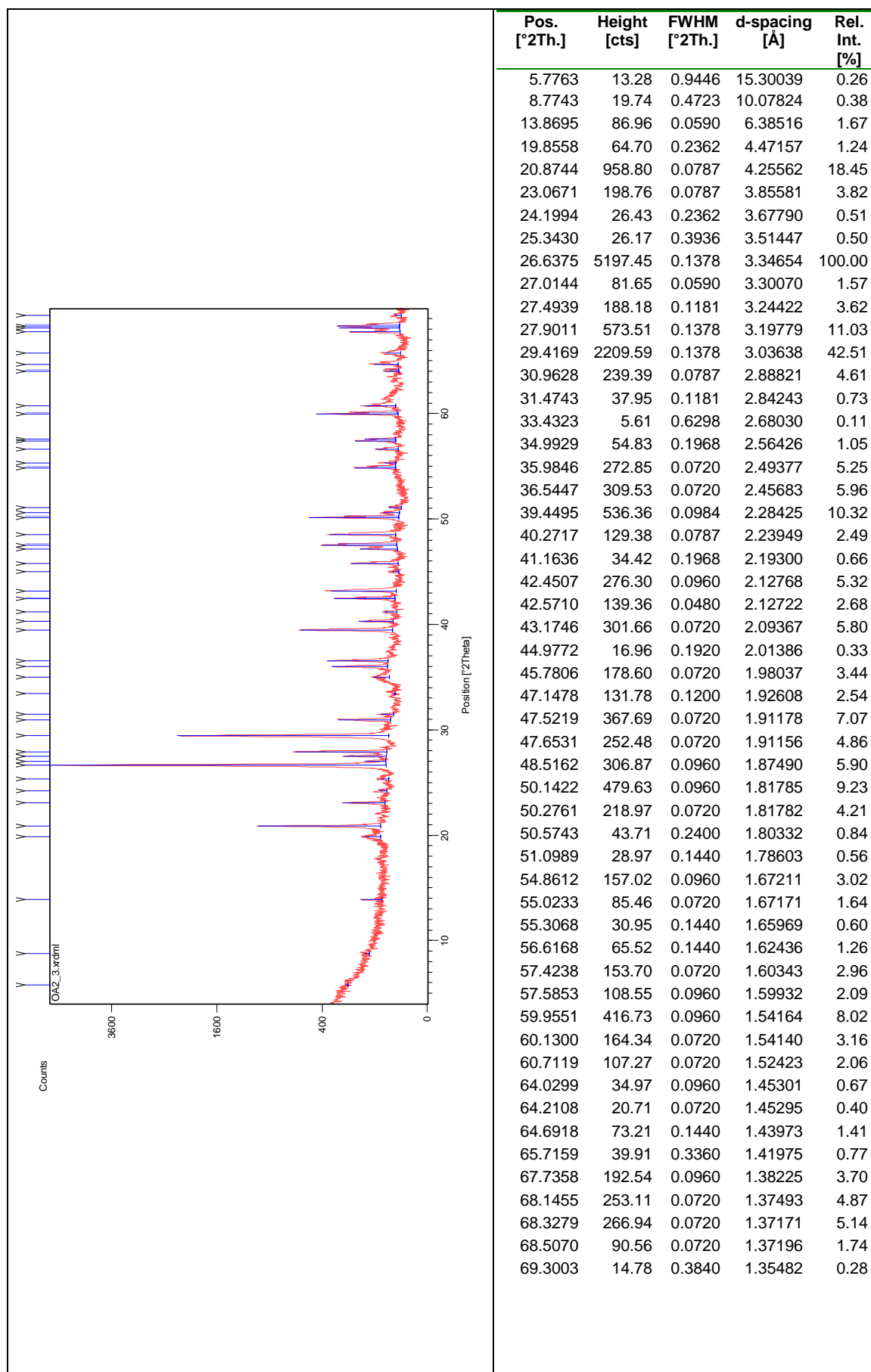


Figura III.87 Difratoograma da amostra total OA3, recolhida no hipogeu no Outeiro Alto.

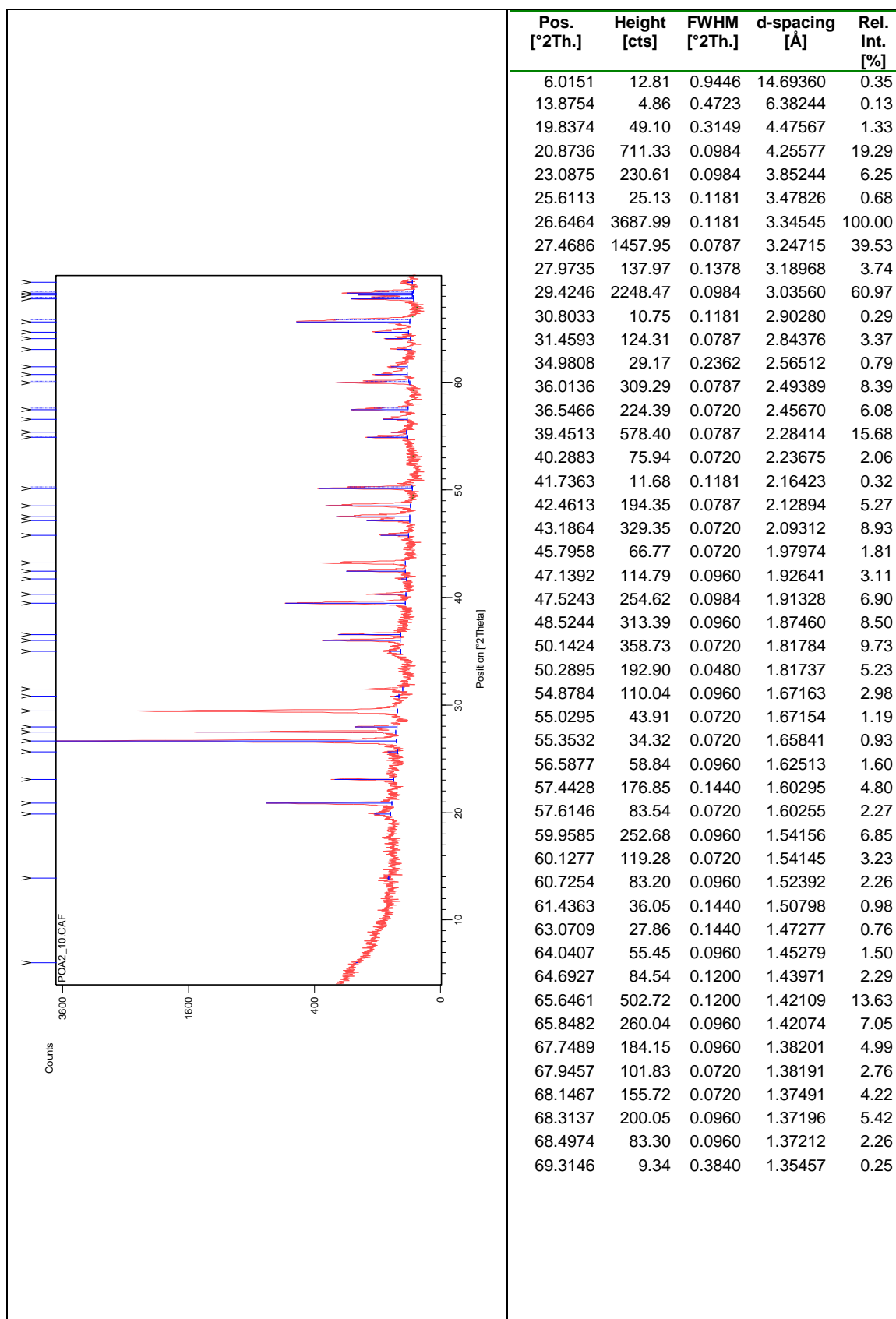


Figura III.88 Difratoograma da amostra total pOA7, recolhida a 93 cm de profundidade na fossa 28 no Outeiro Alto.

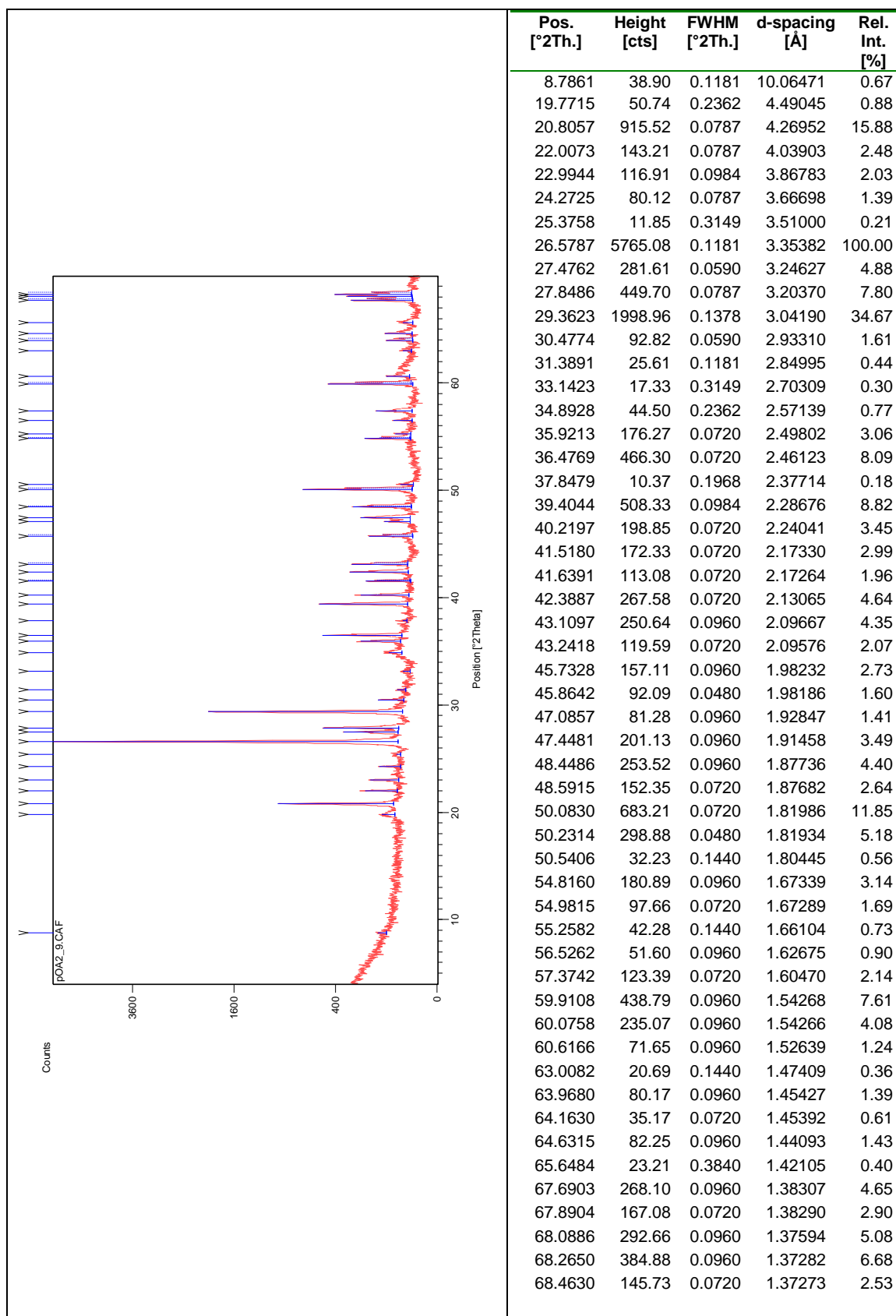


Figura III.89 Difratoograma da amostra total pOA8, recolhida a 78 cm de profundidade na fossa 28 no Outeiro Alto.

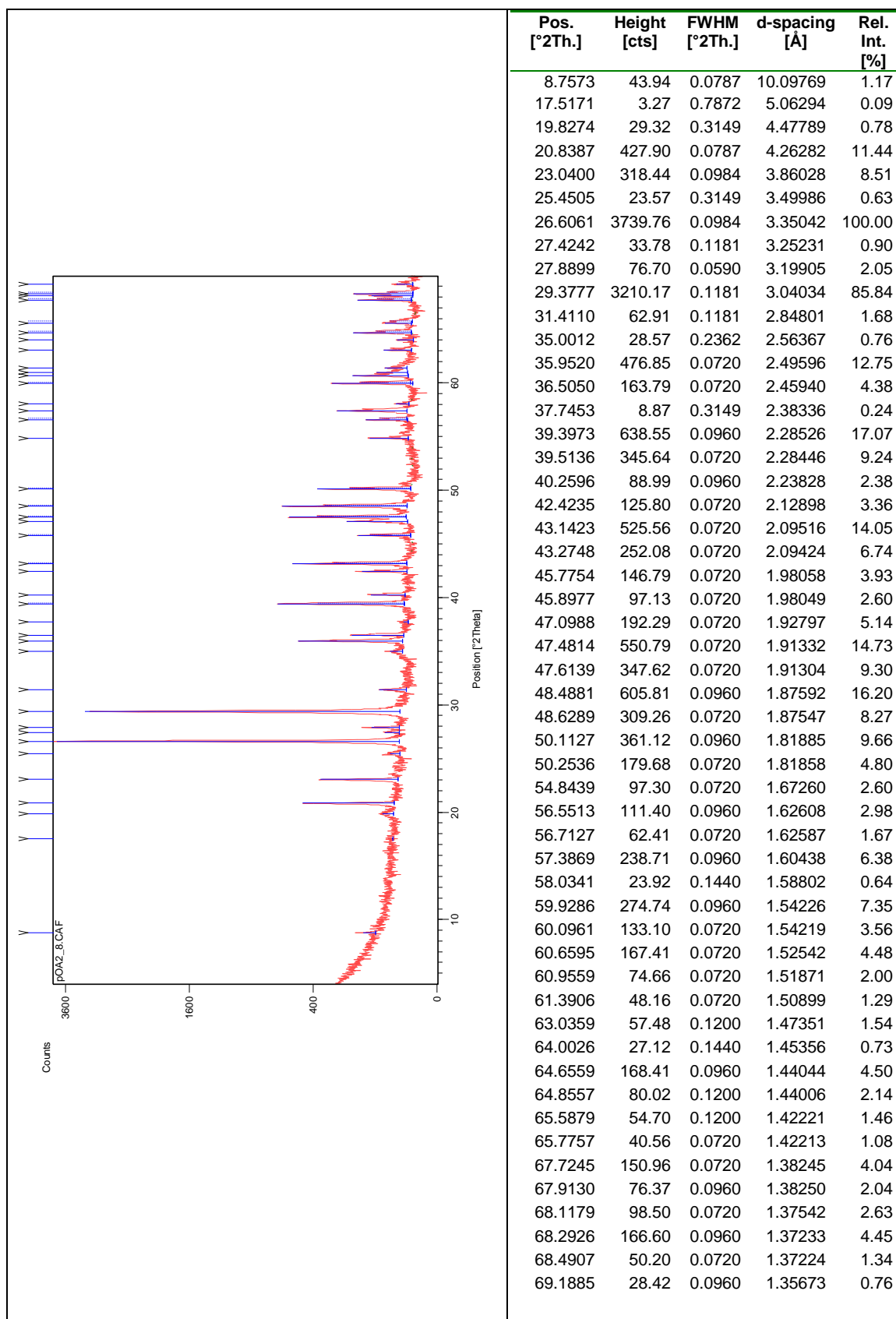


Figura III.90 Difratoograma da amostra total pOA9, recolhida a 52 cm de profundidade na fossa 28 no Outeiro Alto.

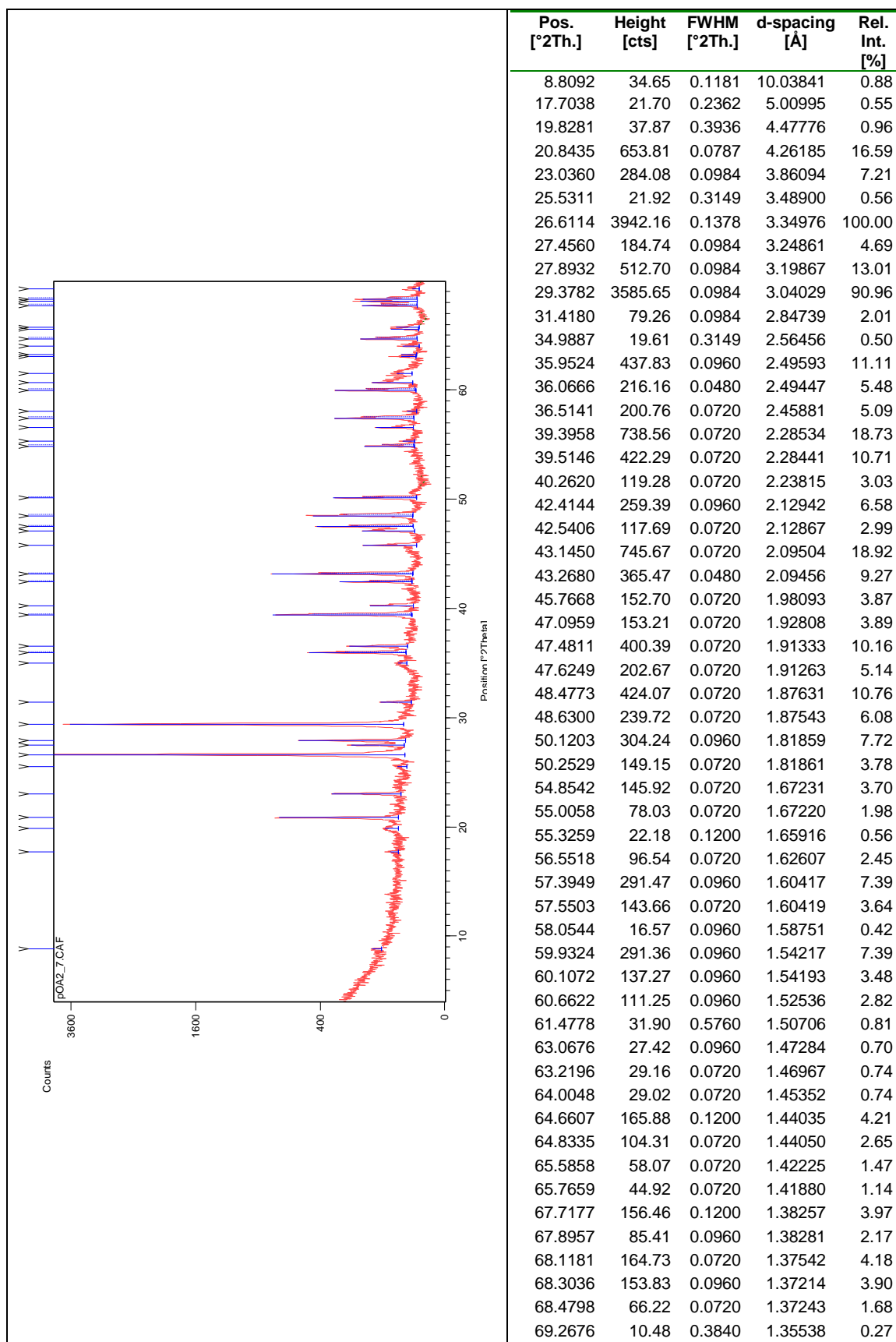


Figura III.91 Difratoograma da amostra total pOA10, recolhida a 18 cm de profundidade na fossa 28 no Outeiro Alto.

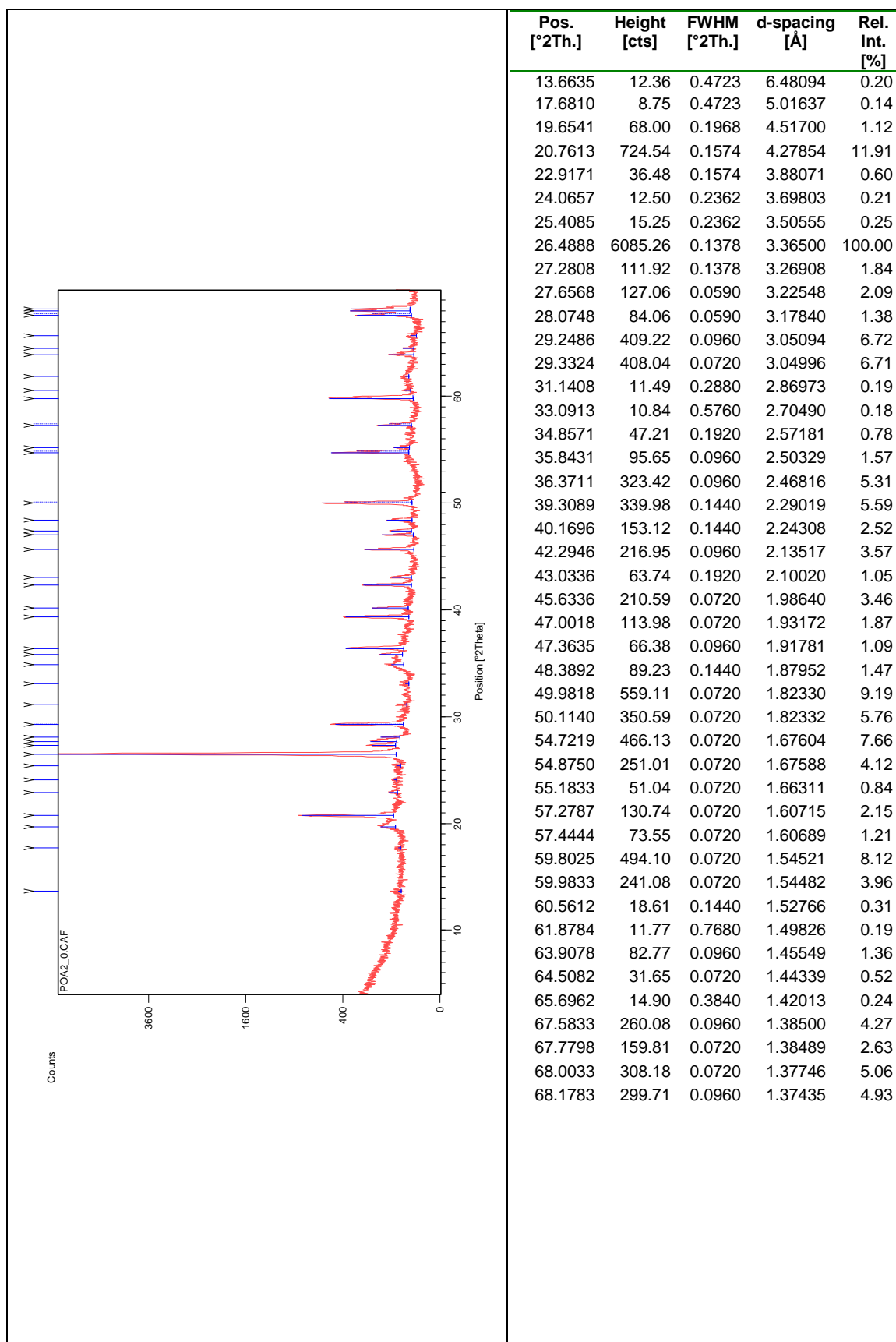


Figura III.92 Difratoograma da amostra total pOA11, solo que cobria todas as estruturas negativas no Outeiro Alto.

III.4.2 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto

Tabela III.8 Semiquantificação e MIA para a amostra total dos materiais recolhidos no Outeiro Alto.

Contexto	Profundidade	Semiquantificação (%)							MIA
		Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase	Hematite	Dolomite	
Solo	0	3	2	91	2	1	1		97
Fossa 22	12	45	9	43	1	2			93
	38	52	15	30	1	2			91
	47	47	10	40	1	2			93
	69	57	1	38	1	3			90
	72	43	17	33	2	2		3	89
Fossa 30	17	36	2	53	2	6	1		87
	55	48	16	32	1	3			89
	70	35	23	37	2	3			88
	96	50	18	30	1	1			94
Fossa 28	18	35	2	56	2	5			89
	52	50	1	47	1	1			96
	78	27	1	65	2	4	1		92
	93	28	2	54	14	2			77
Hipogeu 4/5	114	33	16	38	2	8	1	2	79
MGeo	MGeo	84	3	4	0	2		7	67

III.4.3 Difractogramas da fração argilosa das amostras recolhidas no calcreto e no preenchimento das estruturas negativas

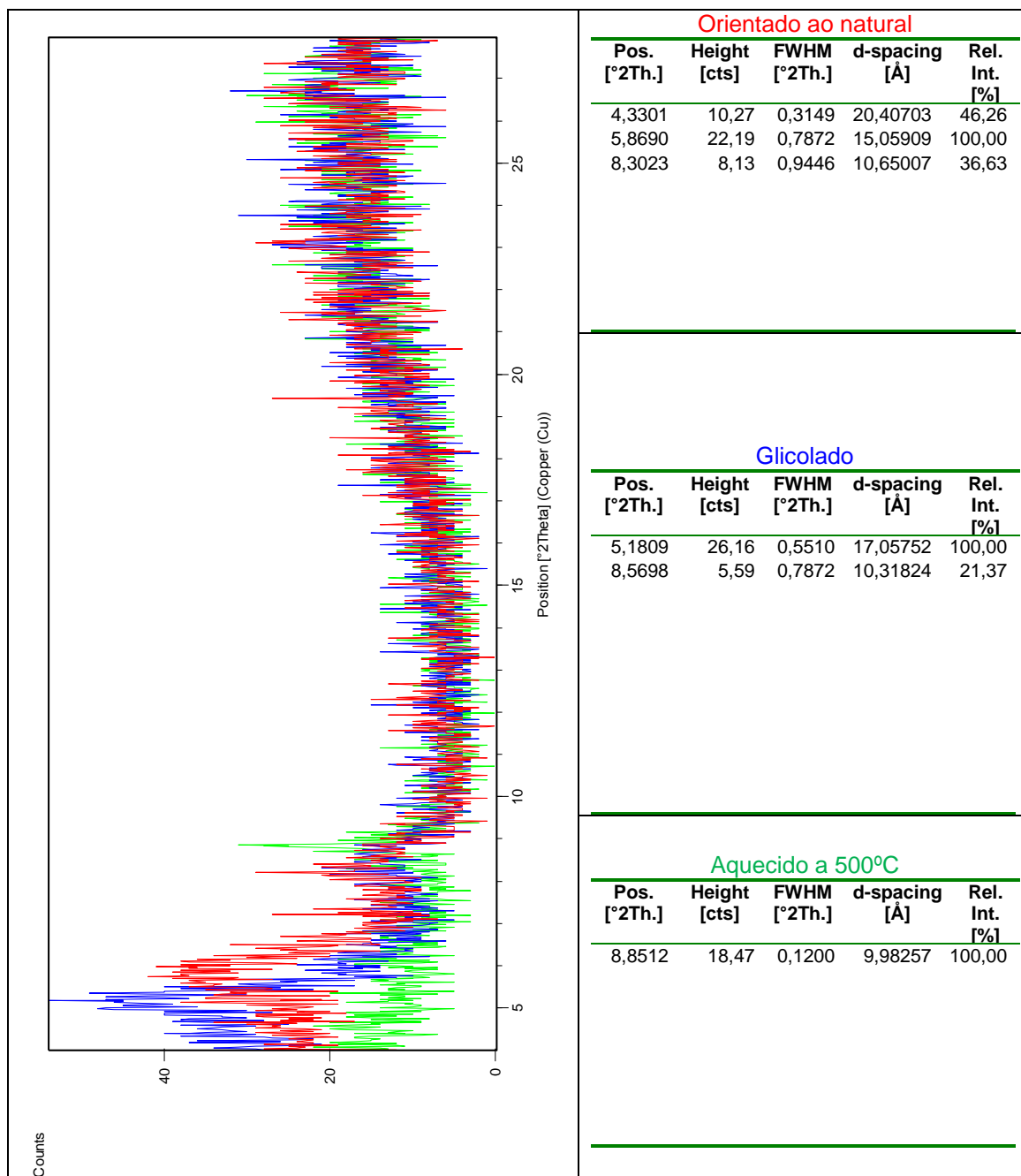


Figura III.93 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra OAa, recolhida no calcreto no Outeiro Alto.

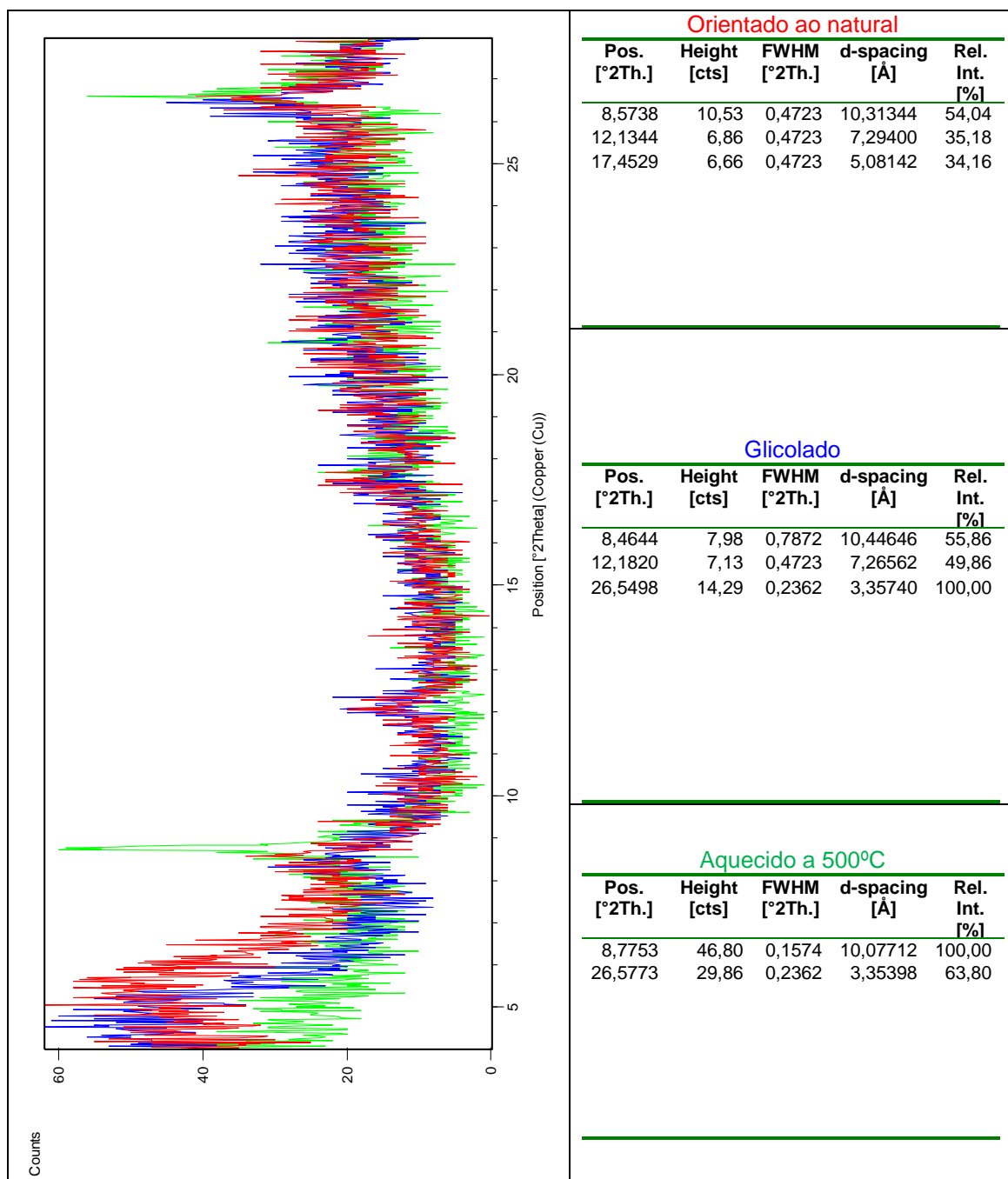


Figura III.94 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra OA1, recolhida na fossa 22 no Outeiro Alto.

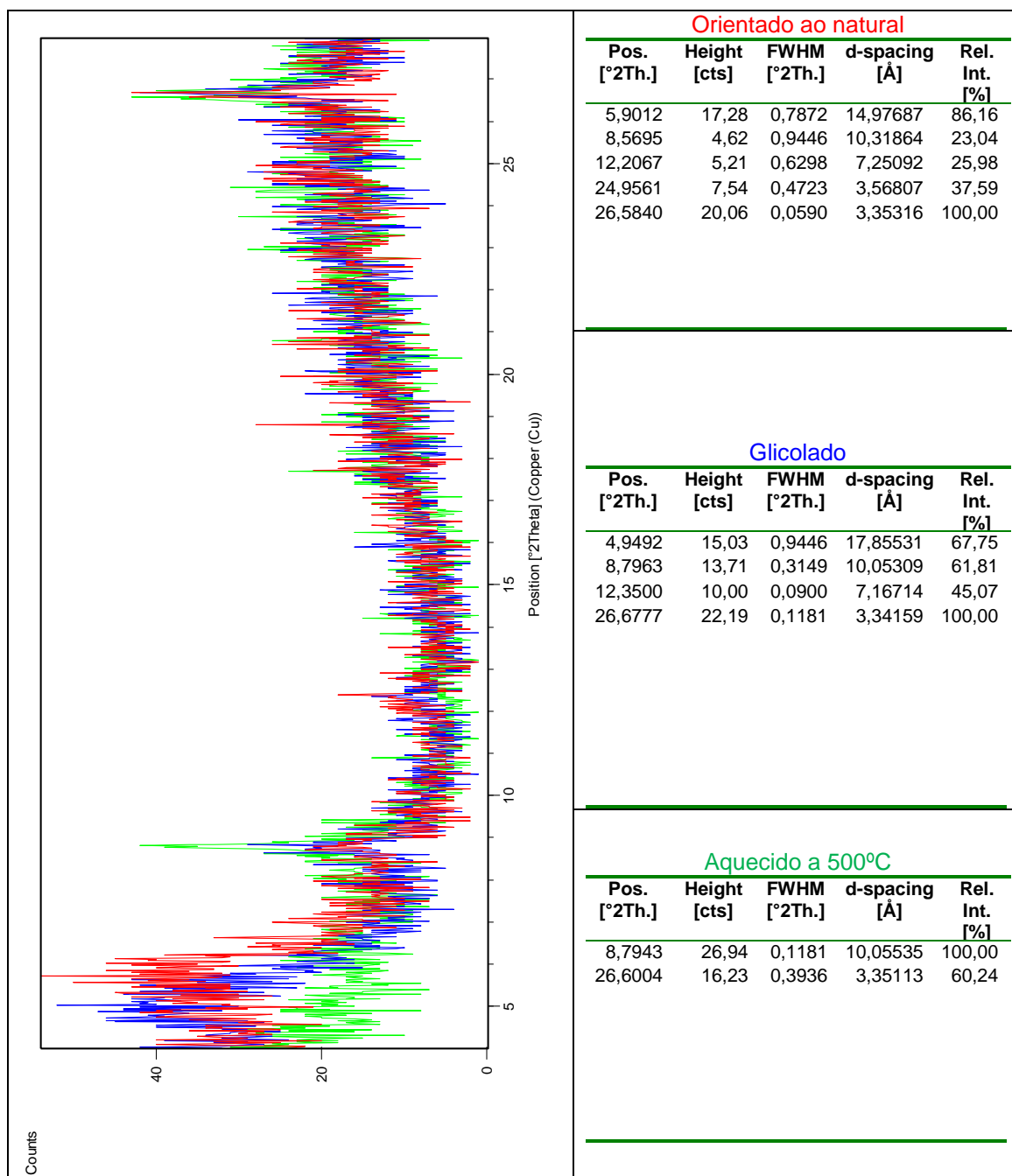


Figura III.95 Difrátogramas da fração argilosa carbonatada da amostra OA2, recolhida na fossa 22 no Outeiro Alto.

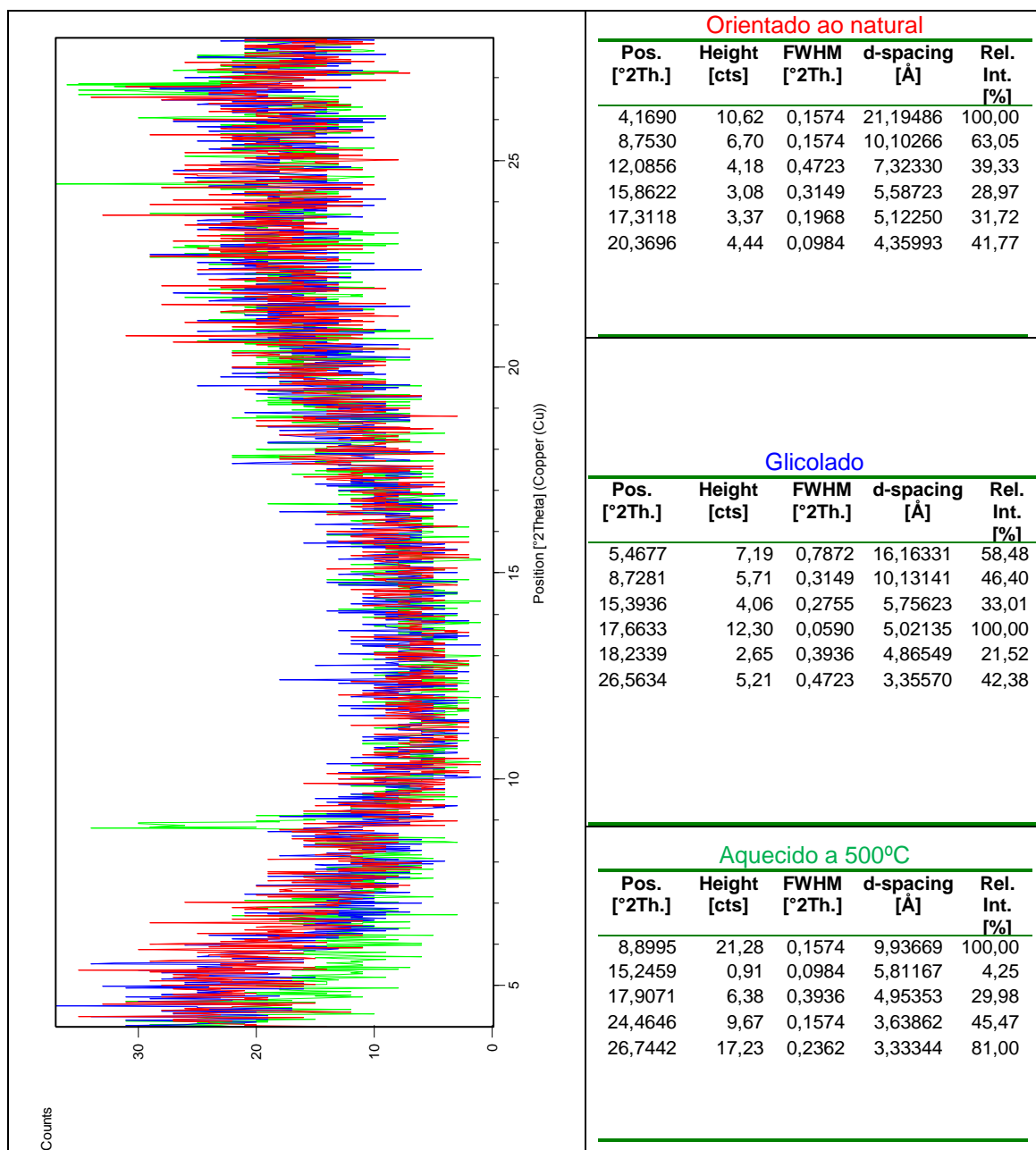


Figura III.96 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra OA3, recolhida no hipogeu no Outeiro Alto.

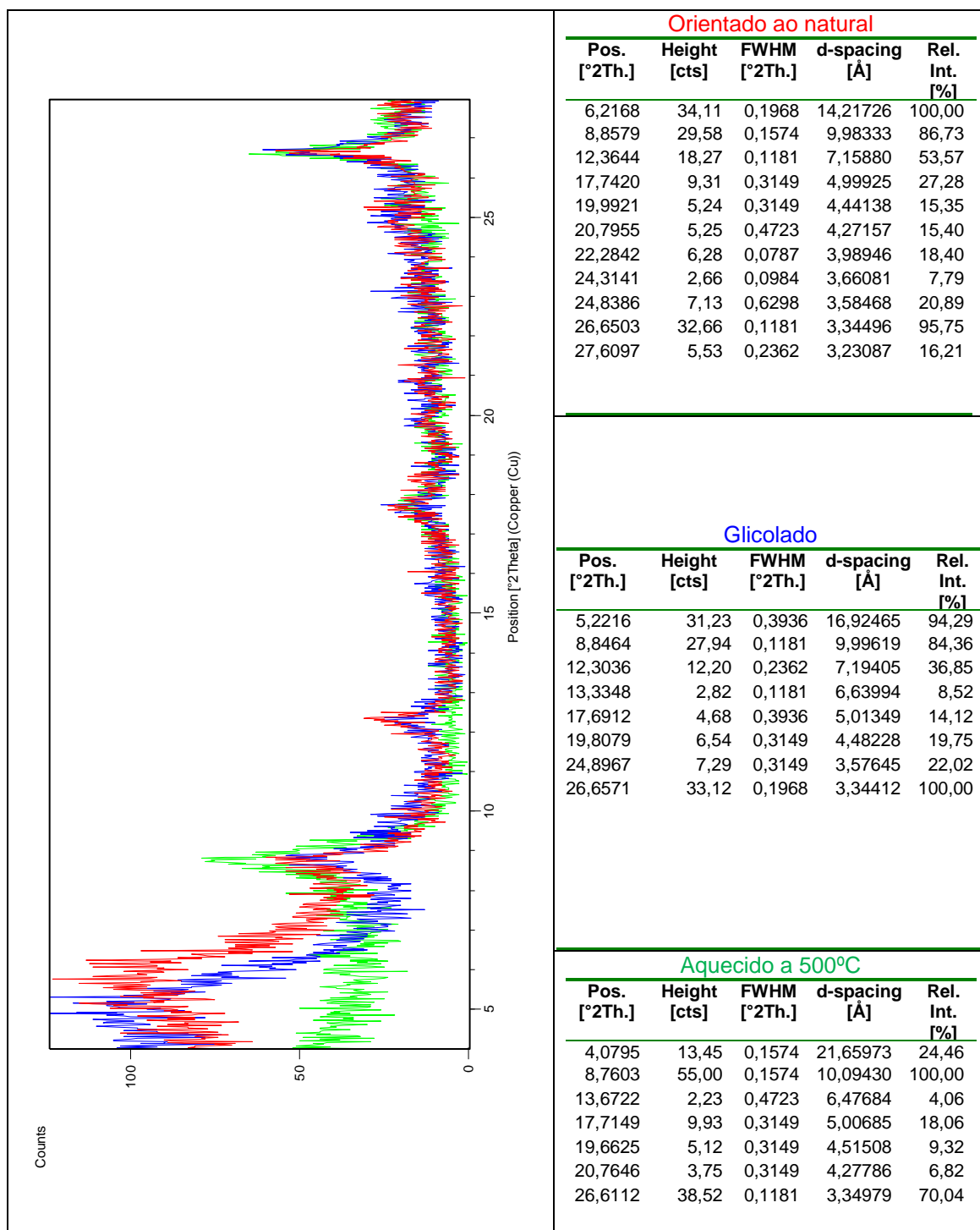


Figura III.97 Difratoformas da fração argilosa carbonatada da amostra OA4, recolhida na fossa 30 no Outeiro Alto.

III.4.4 Semiquantificação da fração argilosa

Tabela III.9 Semiquantificação dos minerais argilosos presentes nos materiais de preenchimento e nos materiais representativos da geologia local recolhidos no Outeiro Alto.

Contexto	Amostra	Semiquantificação (%)			
		Esmectite	Ilite	Caulinite	Paligorsquite
Fossa 22	OA2		80	20	
	OA1	27	66	7	
Hipogeu 4/5	OA3	28	72		
Fossa 30	OA4	24	53	23	
MGeo	OAA	59			41

III.5 Horta dos Quarteirões

III.5.1 Difractogramas da amostra total dos materiais representativos da geologia local

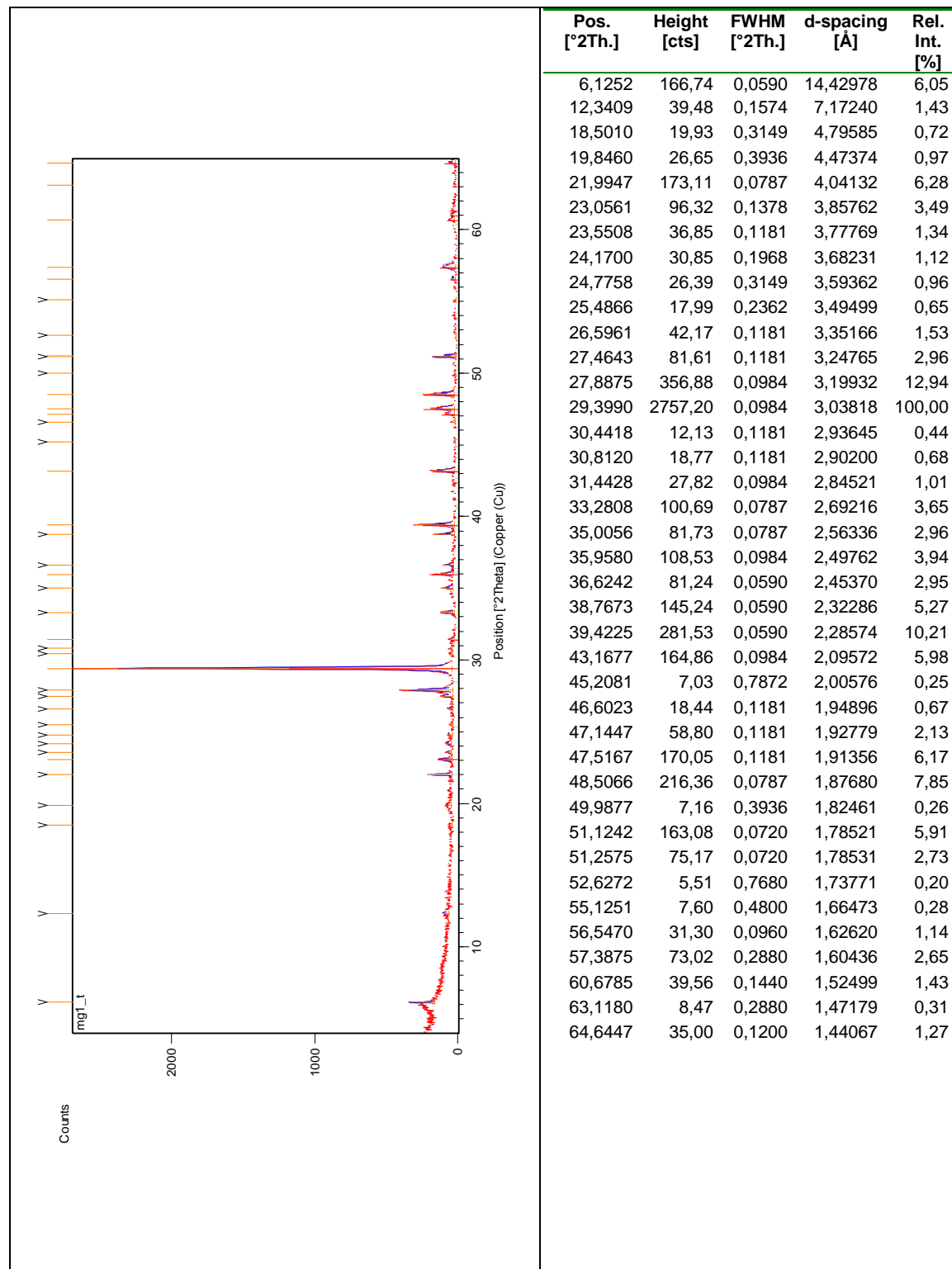


Figura III.98 Difractograma da amostra total Ha, recolhida no perfil norte a 200 cm de profundidade.

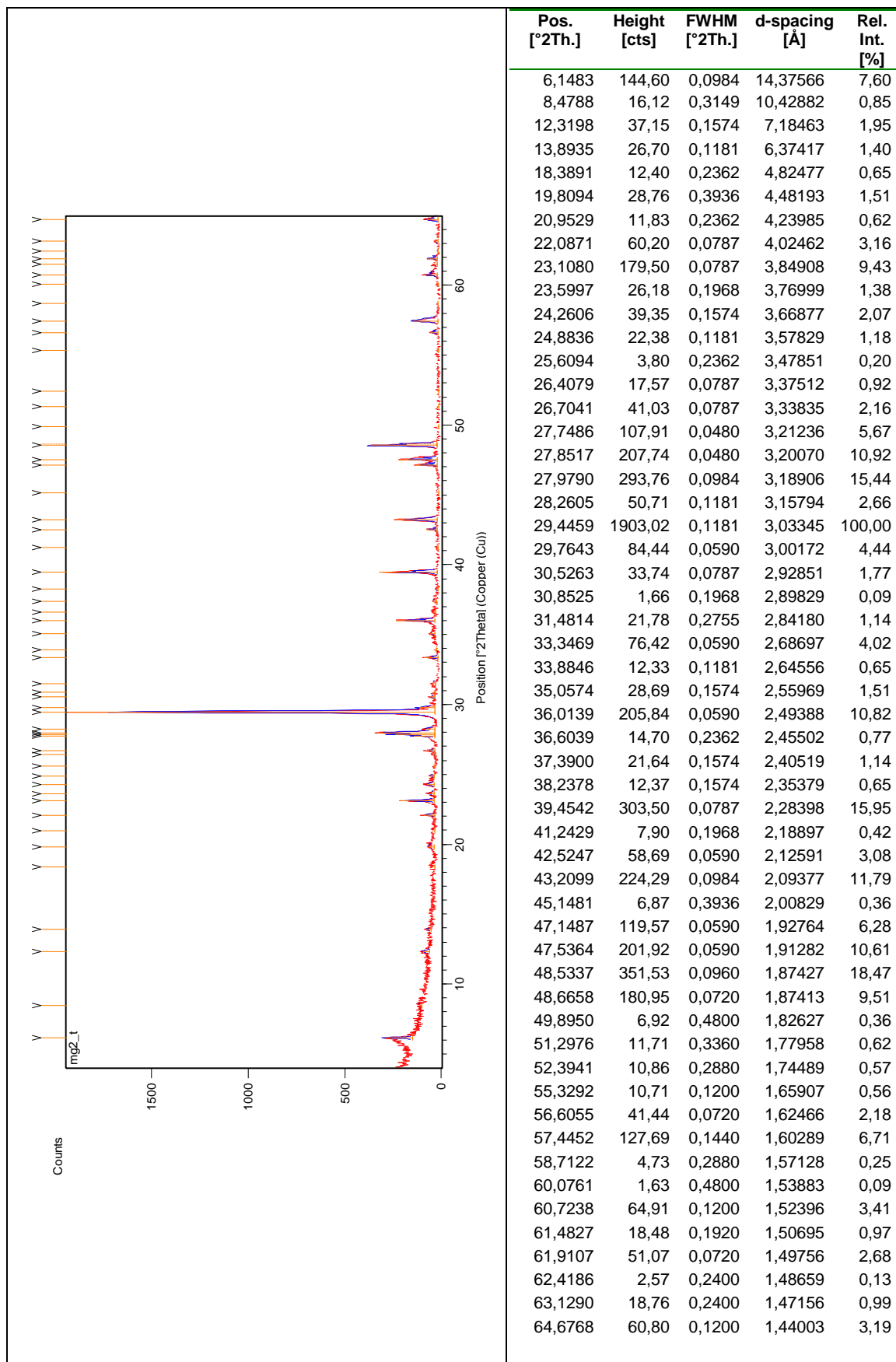


Figura III.99 Difratoograma da amostra total Hb, recolhida no perfil norte a 90 cm de profundidade.

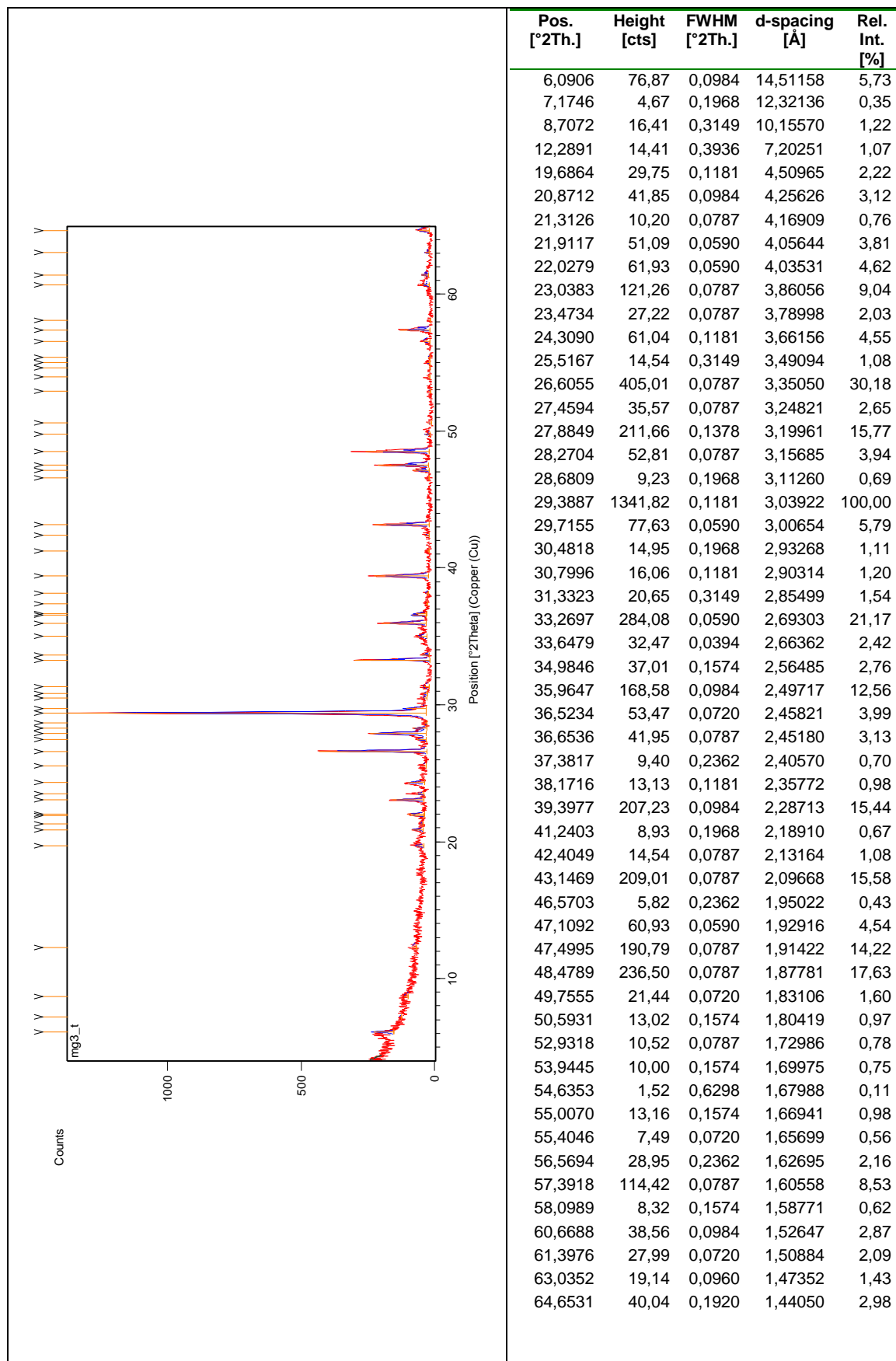
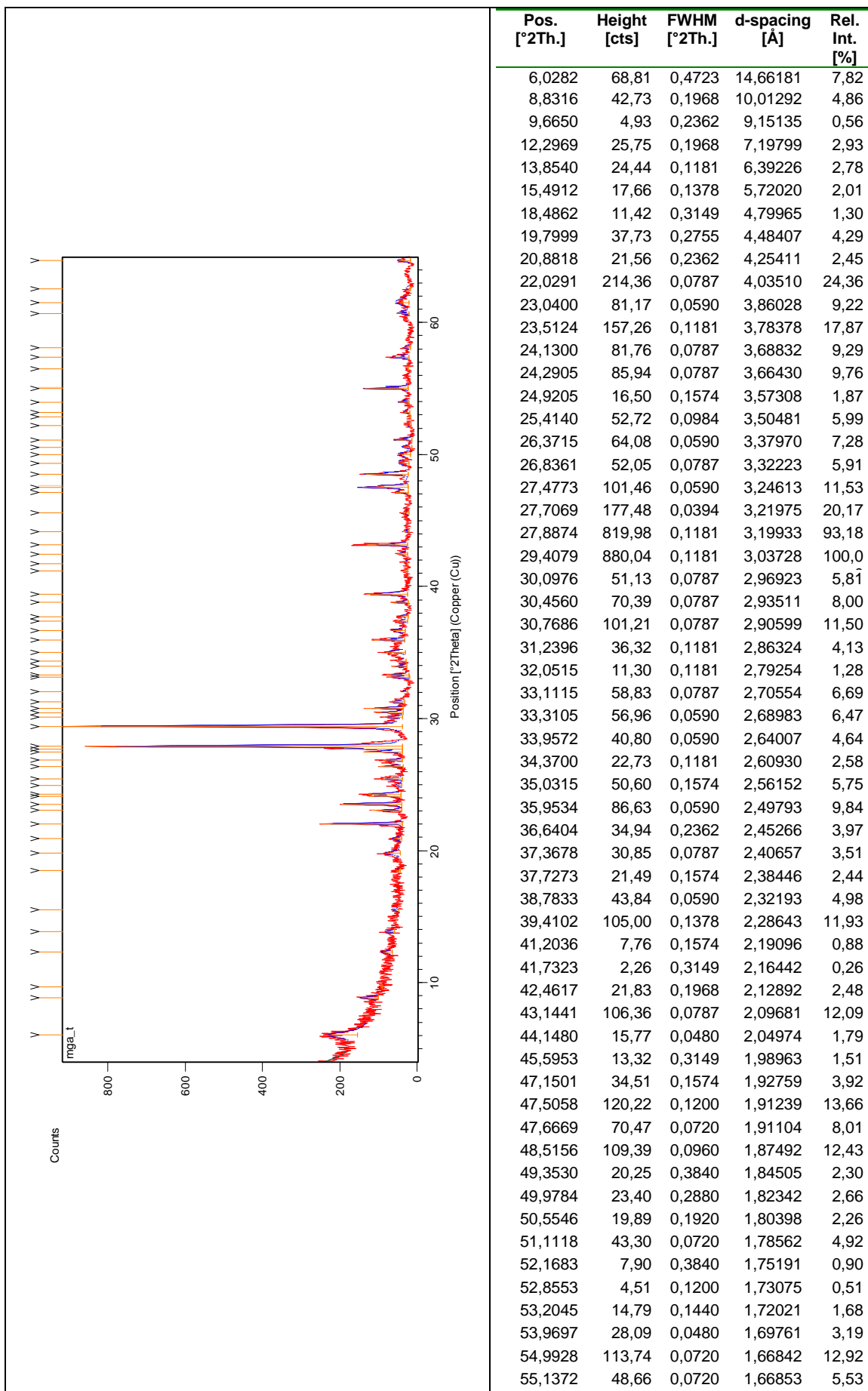


Figura III.100 Difratoograma da amostra total Hc, recolhida no perfil norte a 25 cm de profundidade.



	56,4920	4,44	0,3840	1,62765	0,51
	57,3467	41,58	0,0960	1,60541	4,73
	58,0805	16,81	0,1440	1,58686	1,91
	60,6784	34,54	0,0720	1,52499	3,93
	61,4893	25,13	0,4800	1,50681	2,86
	62,5354	8,71	0,2880	1,48409	0,99
	64,6942	31,65	0,1680	1,43968	3,60

Figura III.101 Difratoograma da amostra total Hd, recolhida no perfil sul a 240 cm de profundidade.

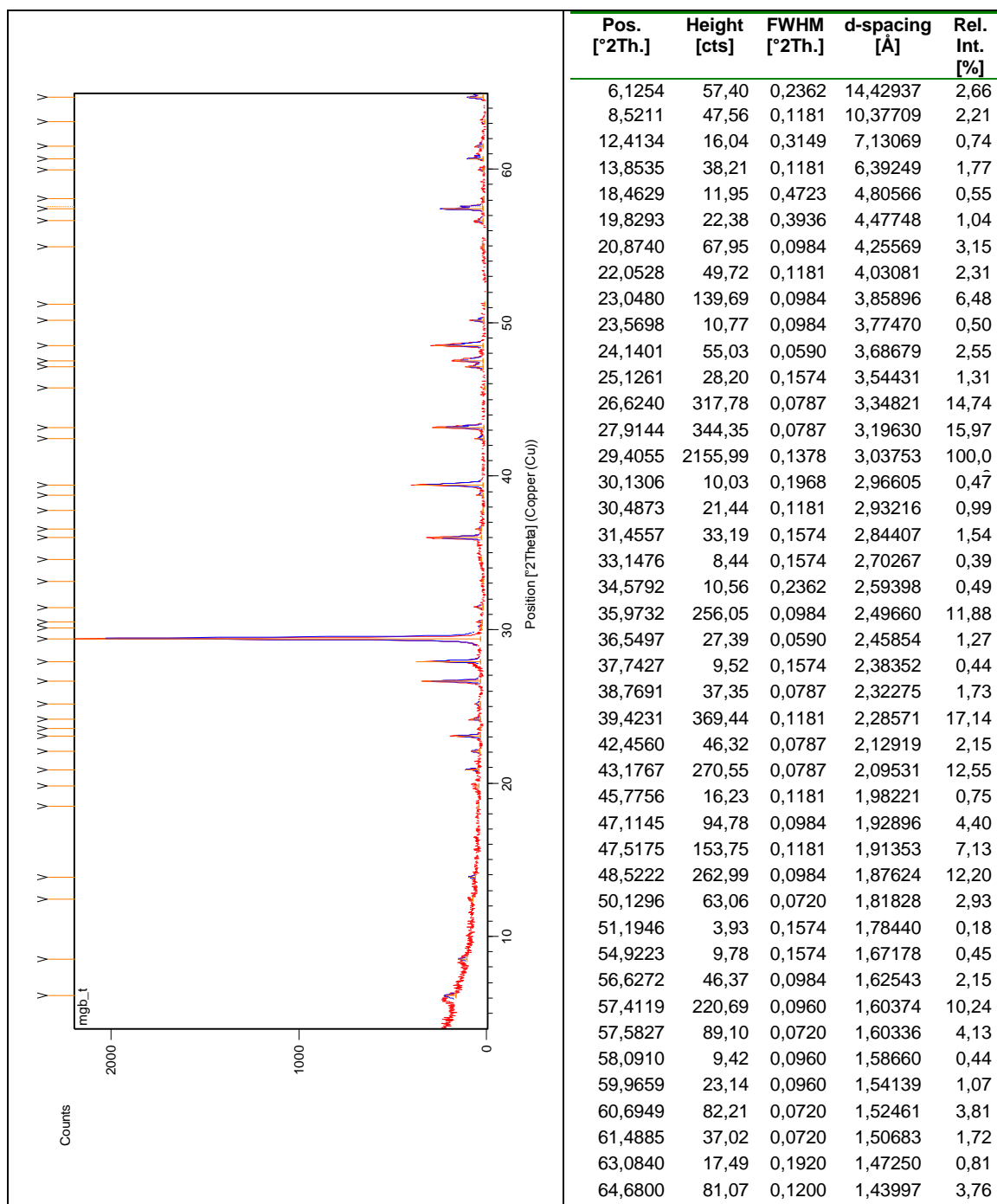


Figura III.102 Difratoograma da amostra total He, recolhida no perfil sul a 125 cm de profundidade.

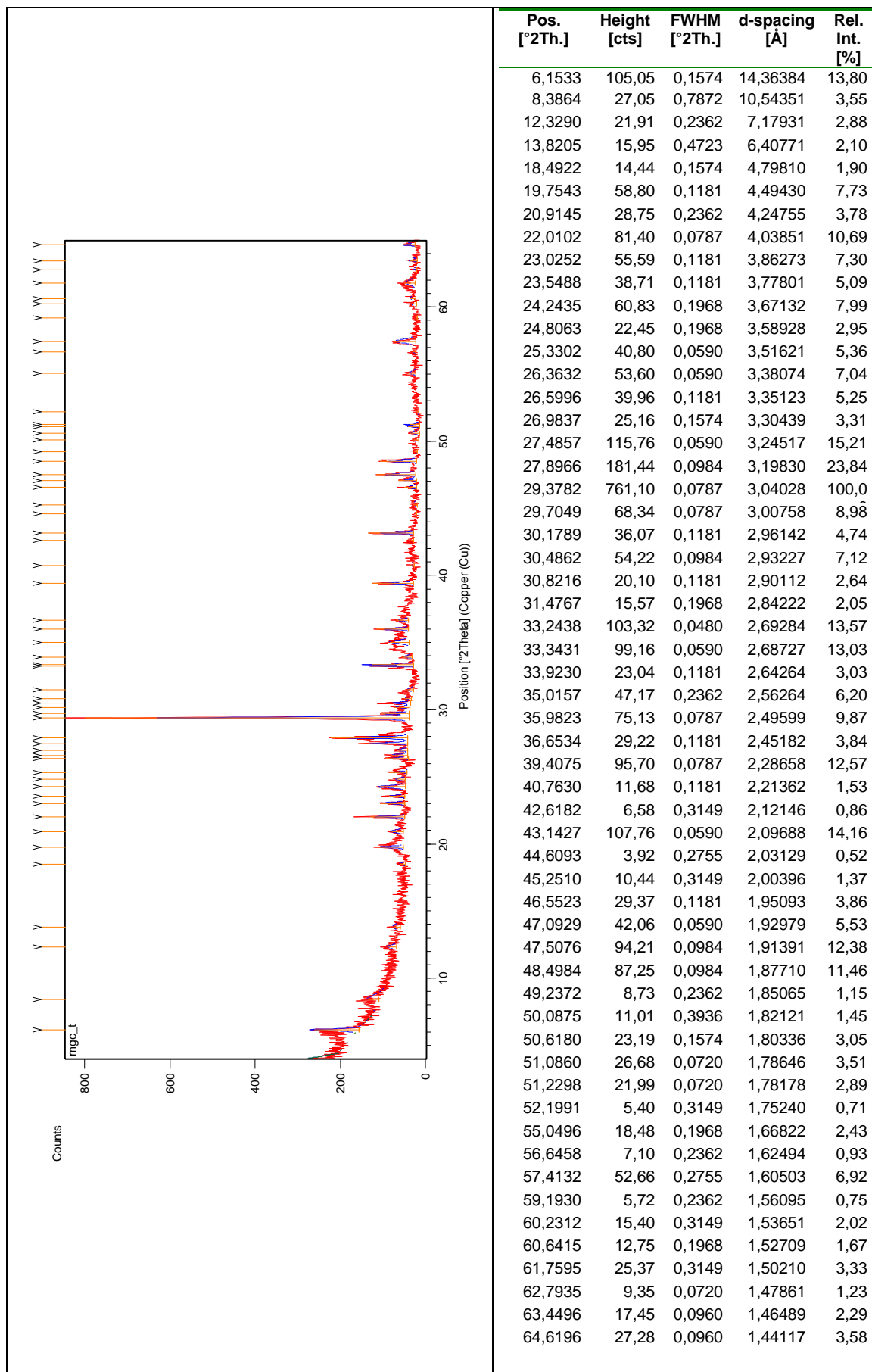
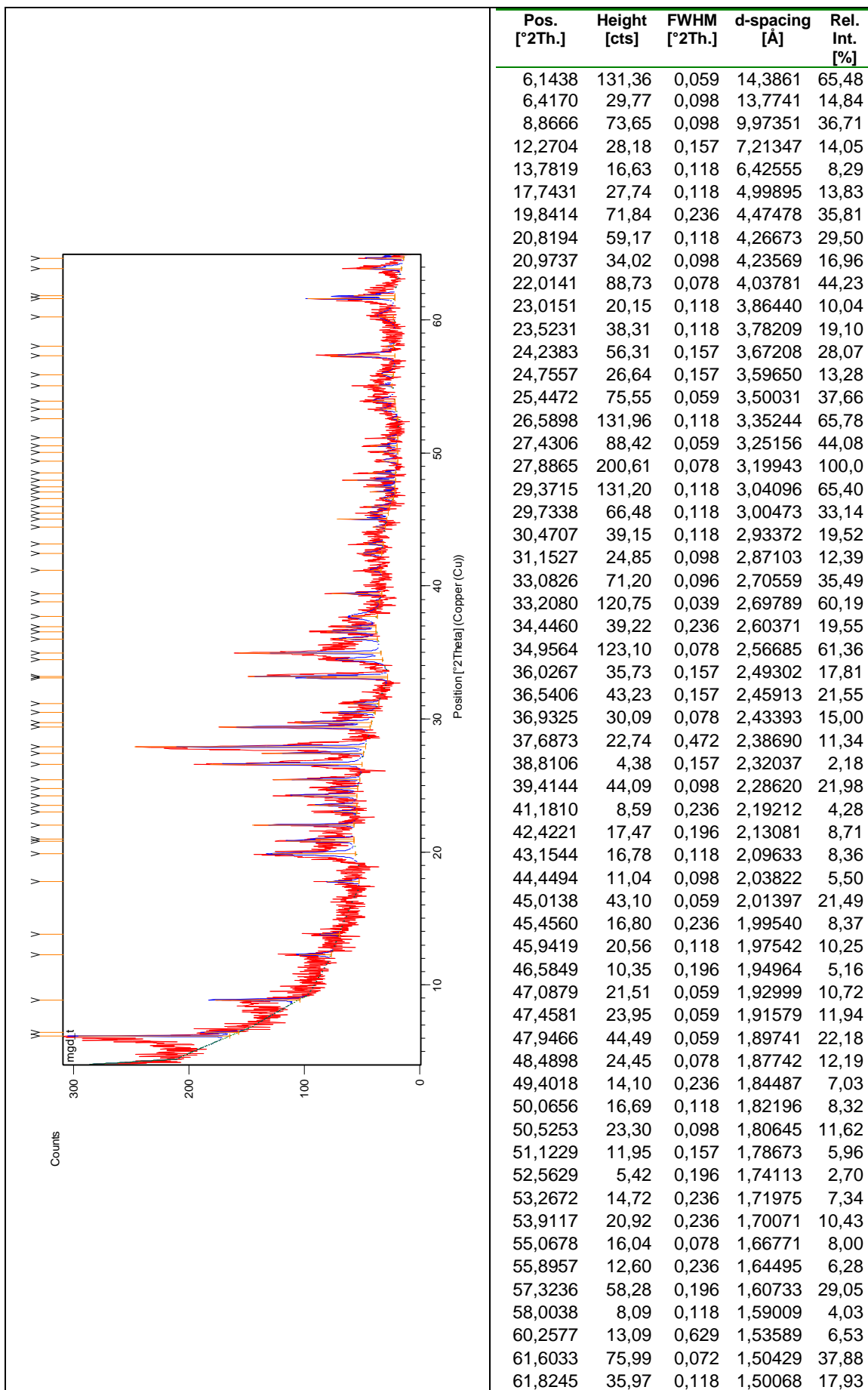
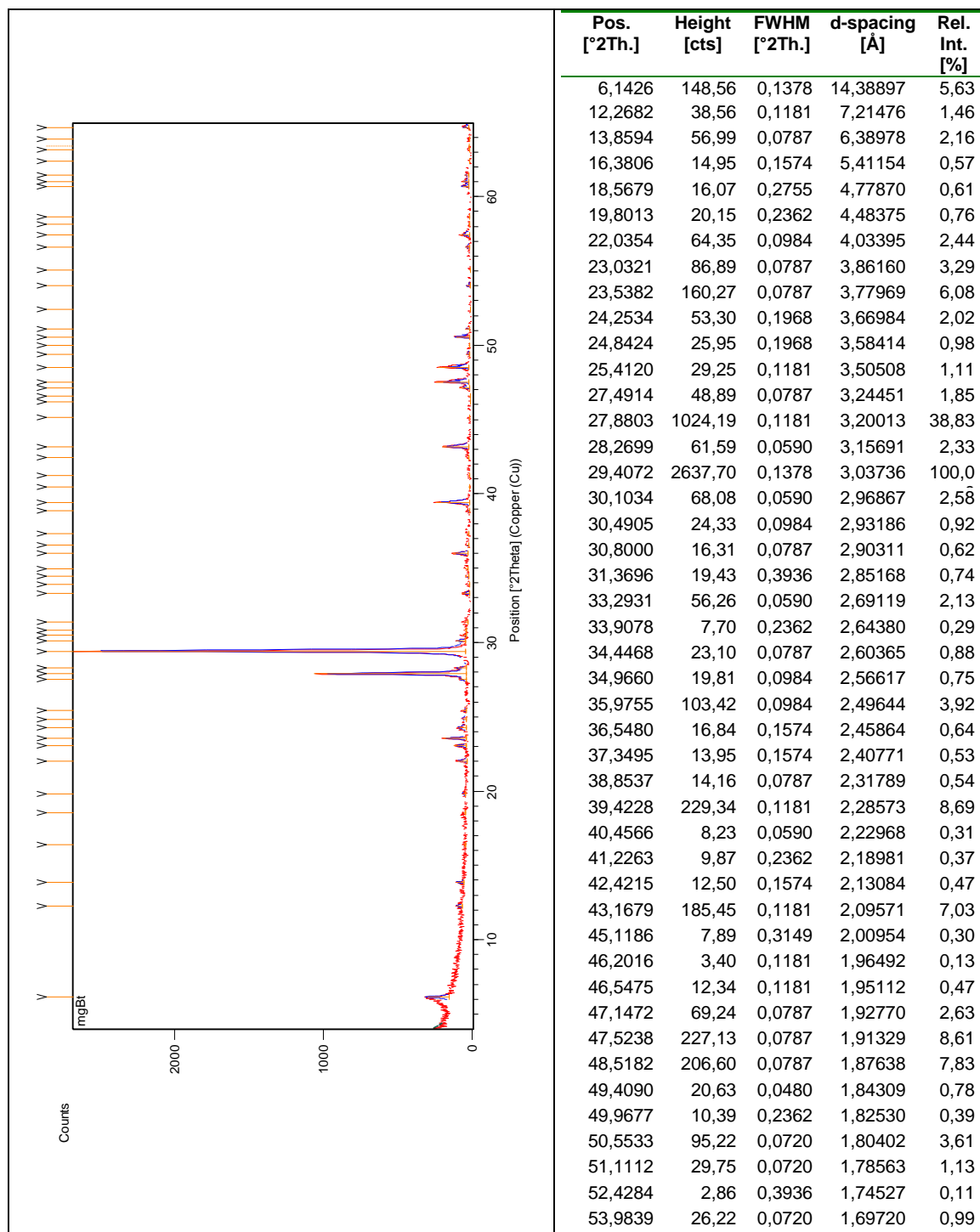


Figura III.103 Difratoograma da amostra total Hf, recolhida no perfil sul a 100 cm de profundidade.



	63,8674	35,83	0,157	1,45752	17,86
	64,6548	32,20	0,120	1,44047	16,05

Figura III.104 Difratoograma da amostra total Hg, recolhida no perfil sul a 40 cm de profundidade.



	55,0484	8,92	0,2362	1,66825	0,34
	56,5847	25,55	0,0720	1,62520	0,97
	57,4213	67,53	0,1181	1,60483	2,56
	58,1343	12,54	0,0787	1,58683	0,48
	58,6519	12,32	0,1574	1,57406	0,47
	60,6913	46,92	0,0720	1,52469	1,78
	61,0148	40,56	0,0787	1,51864	1,54
	61,4220	25,52	0,1181	1,50954	0,97
	62,3920	1,17	0,0984	1,48839	0,04
	63,1352	11,14	0,2880	1,47143	0,42
	63,4394	11,71	0,0960	1,46874	0,44
	63,8462	4,29	0,2880	1,45675	0,16
	64,6522	36,69	0,0480	1,44052	1,39

Figura III.105 Difratoograma da amostra total Hh, recolhida na fácies mais carbonatada.

III.5.2 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais representativos da geologia na Horta dos Quarteirões

Tabela III.10 Semiquantificação e Mia das amostras recolhidas nos perfis norte e sul e na fácies mais carbonatada dos materiais representativos da geologia local na Horta dos Quarteirões.

	Semiquantificação (%)							MIA
	Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase	Hematite	Dolomite	
Hc	55	24	6	1	10	4		35
Hb	57	32	1	0	8	1	1	11
Ha	59	28	1	1	8	2	1	10
Hg	8	75	3	4	8	2		20
Hf	36	45	2	4	11	2		12
He	65	11	0	1	22	1		0
Hd	34	33	2		31	0		6
Hh	36	13	2		48	1		4

III.5.3 Difractogramas dos materiais de preenchimento

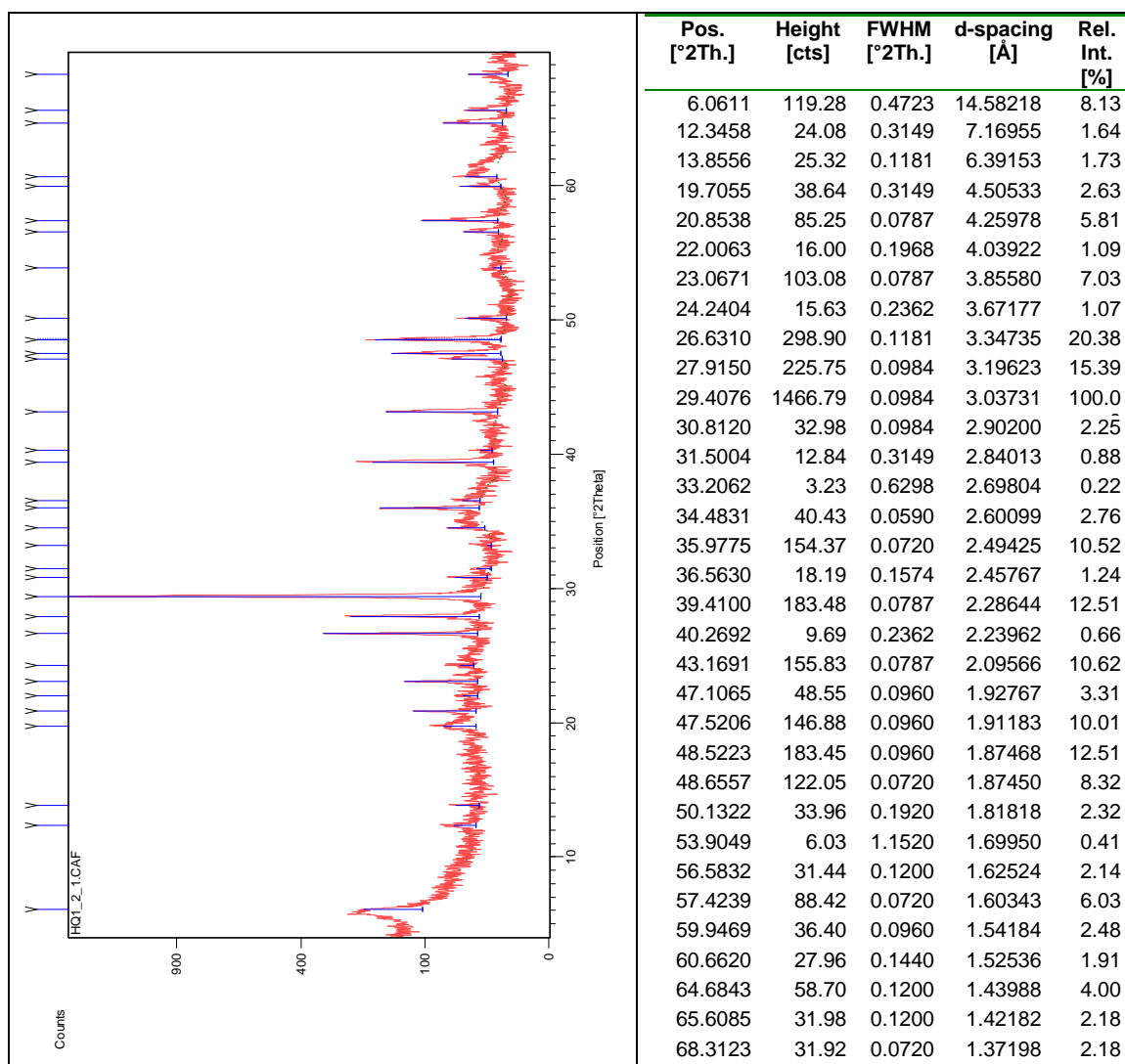


Figura III.106 Difractograma da amostra total H1, recolhida a 148 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

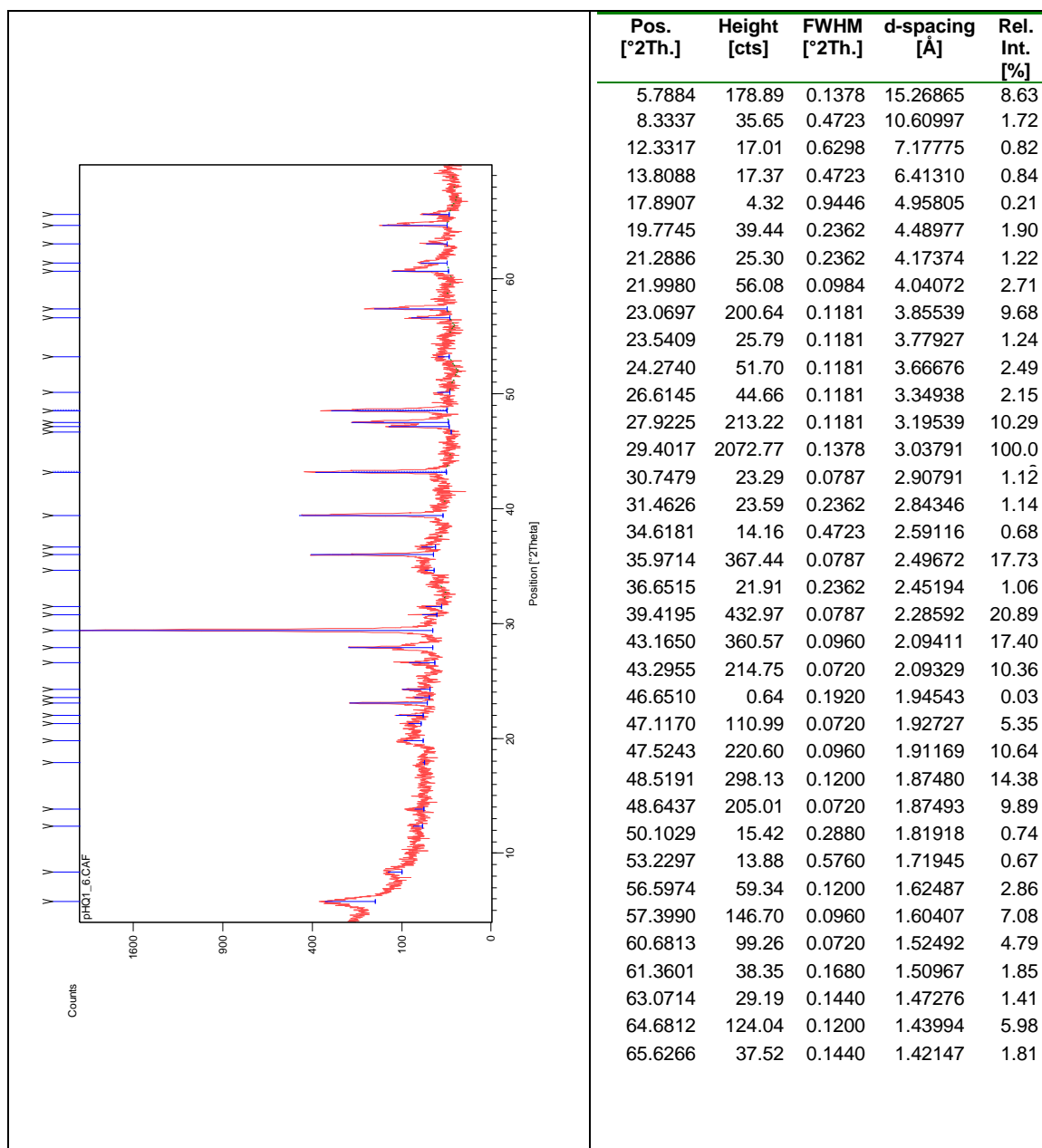


Figura III.107 Difractograma da amostra total pH1, recolhida a 138 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

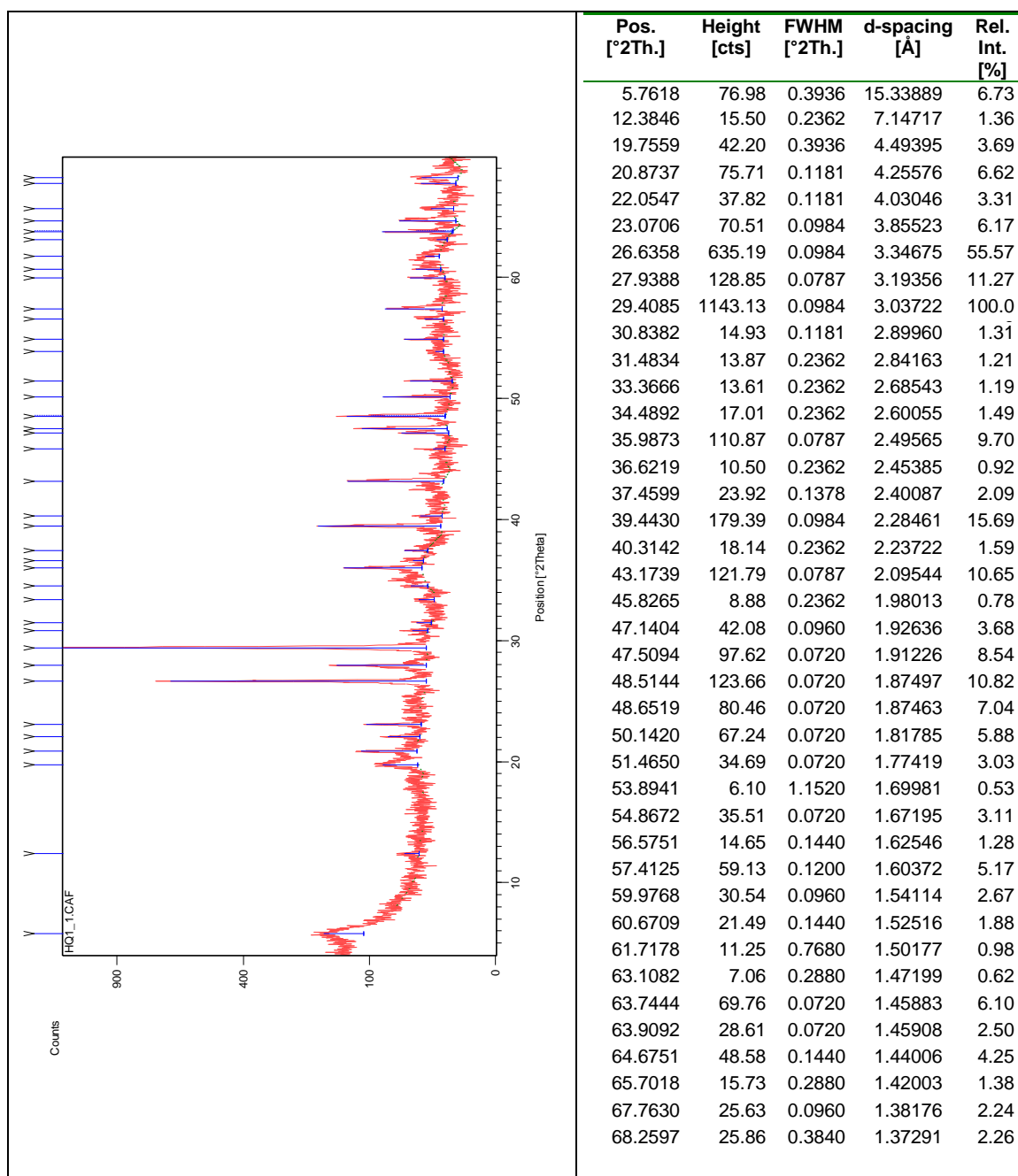


Figura III.108 Difratoograma da amostra total H2, recolhida a 114 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

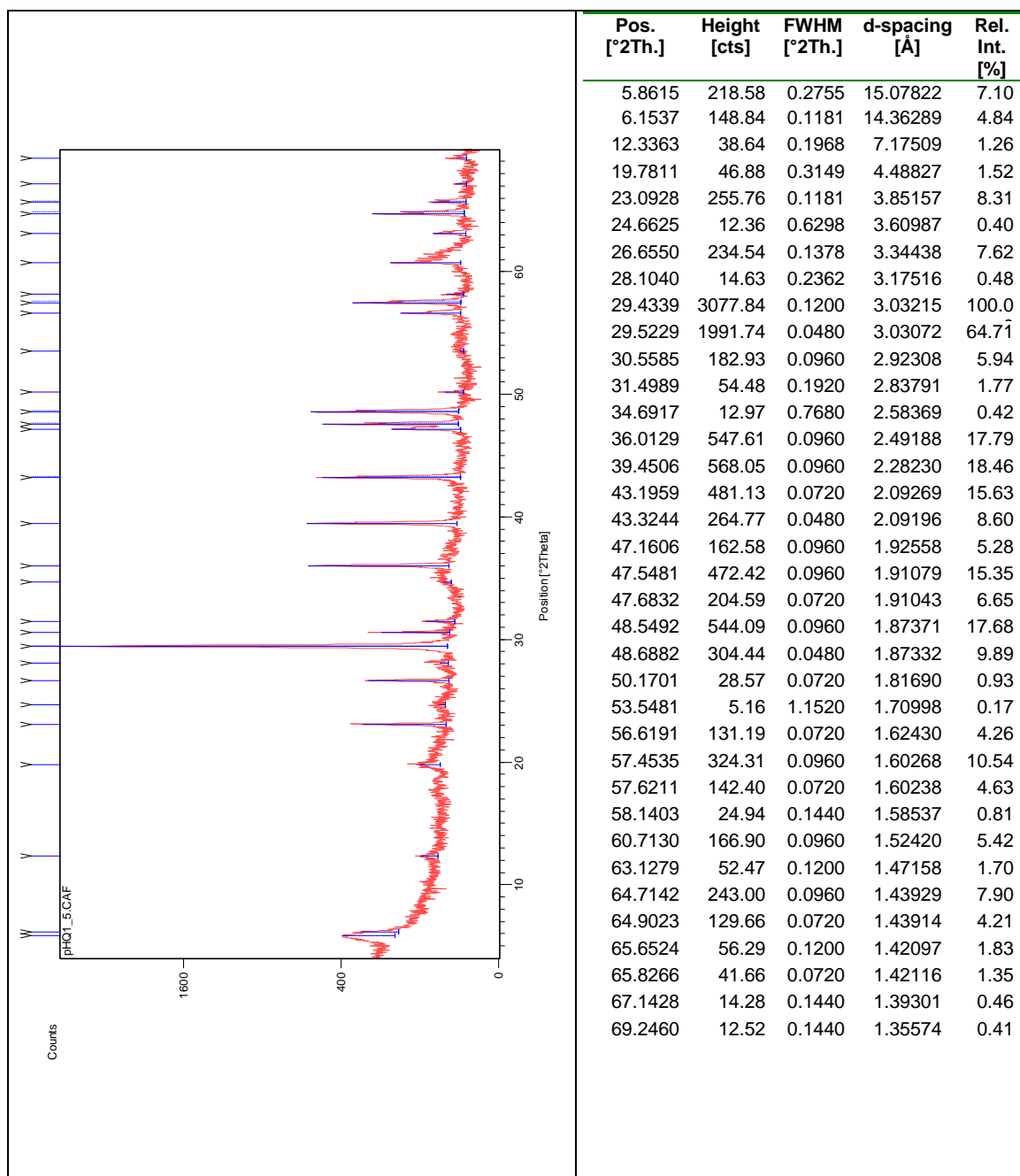


Figura III.109 Difratoograma da amostra total pH2, recolhida a 108 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

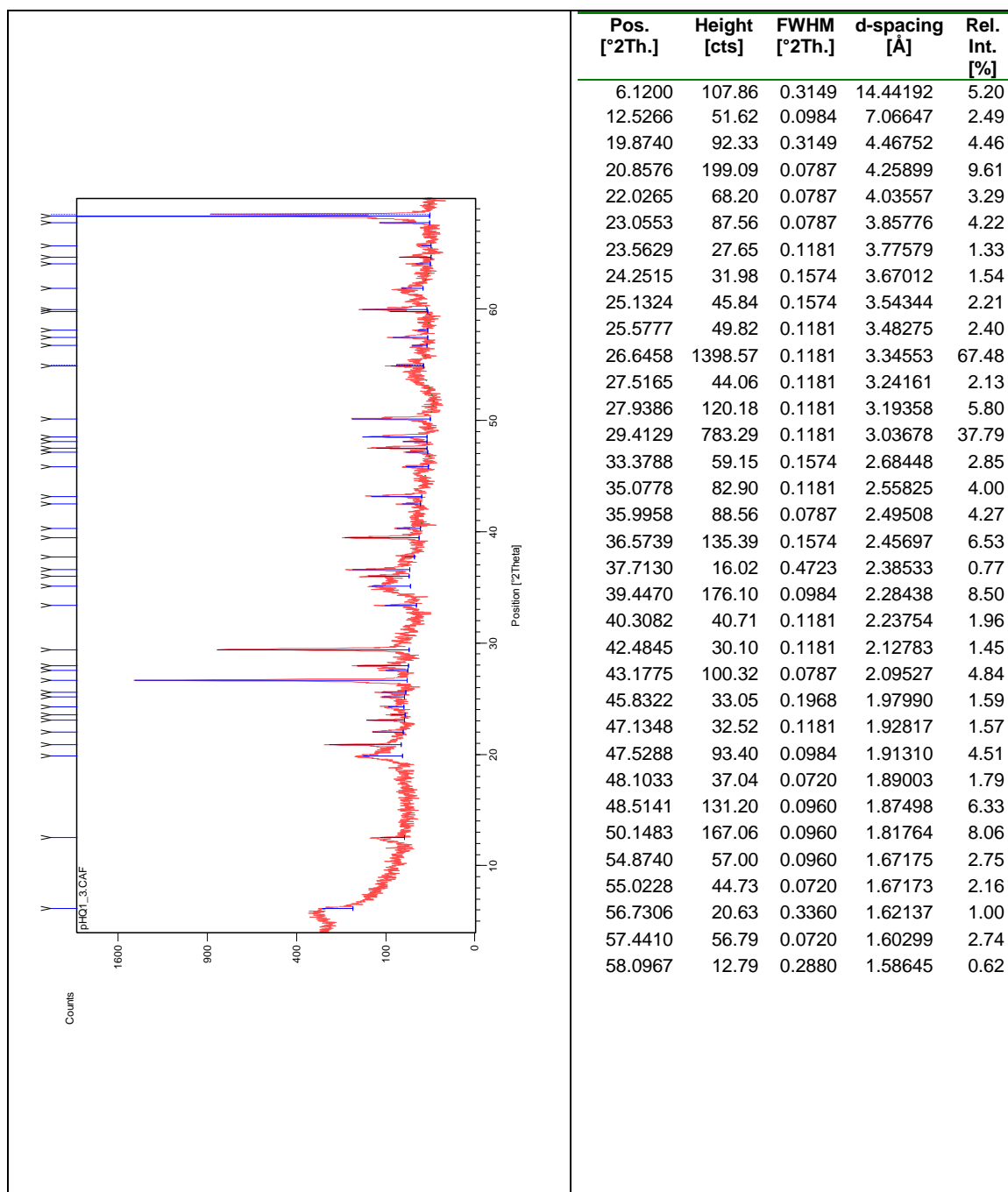


Figura III.110 Difratoograma da amostra total pH3, recolhida a 105 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

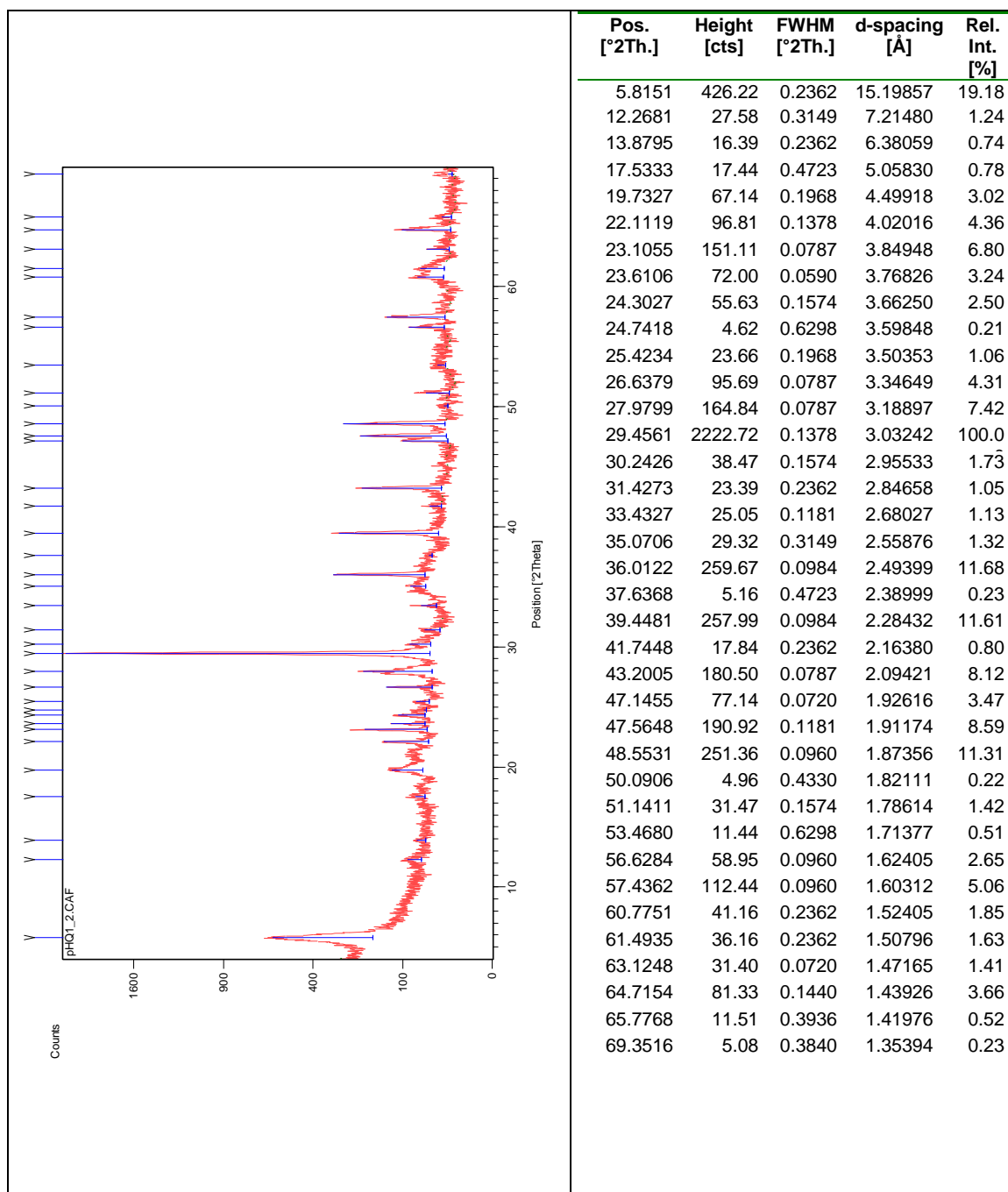


Figura III.111 Difractograma da amostra total pH4, recolhida a 53 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

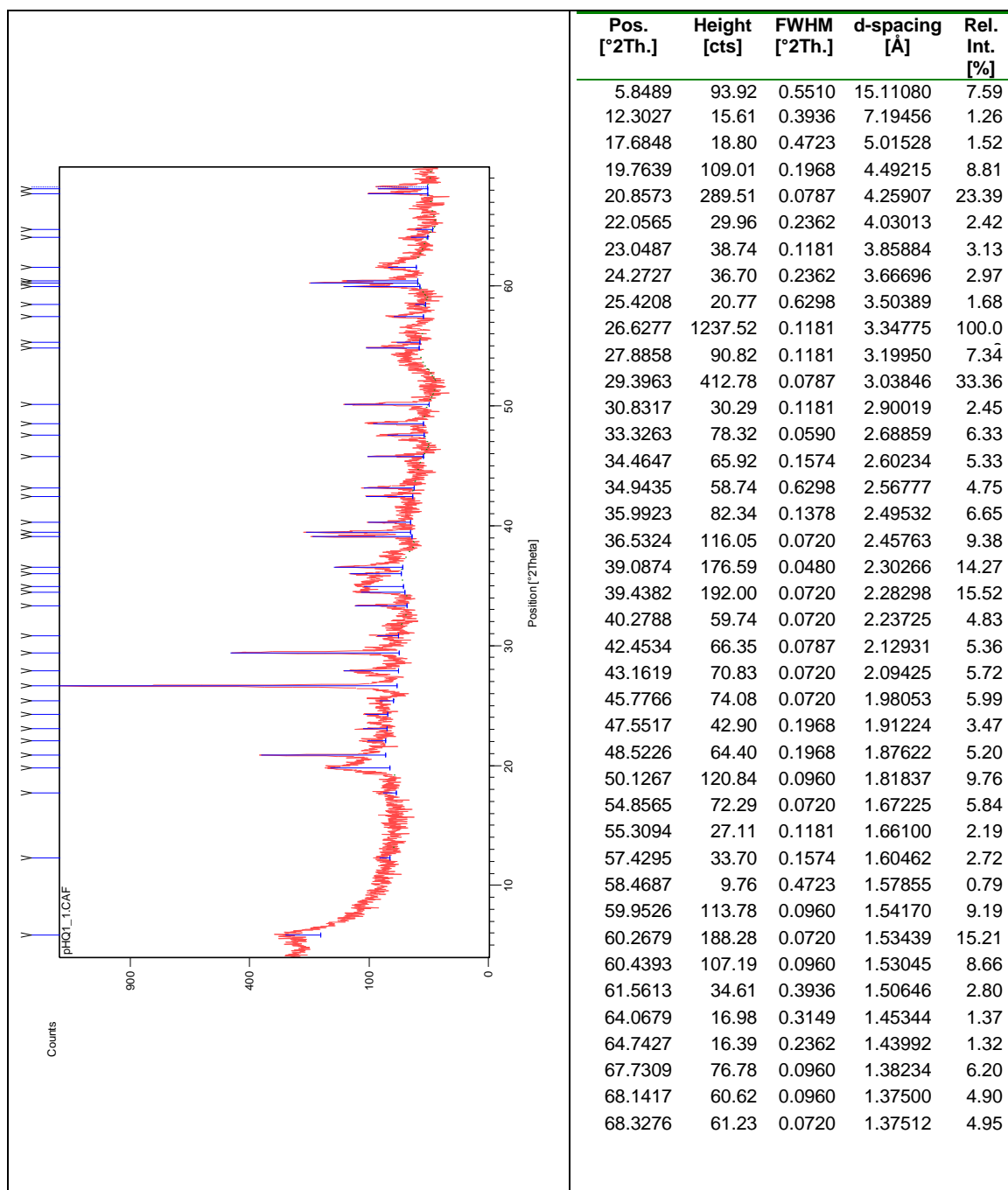


Figura III.112 Difratoograma da amostra total pH6, recolhida a 5 cm de profundidade na área de intersecção dos fossos.

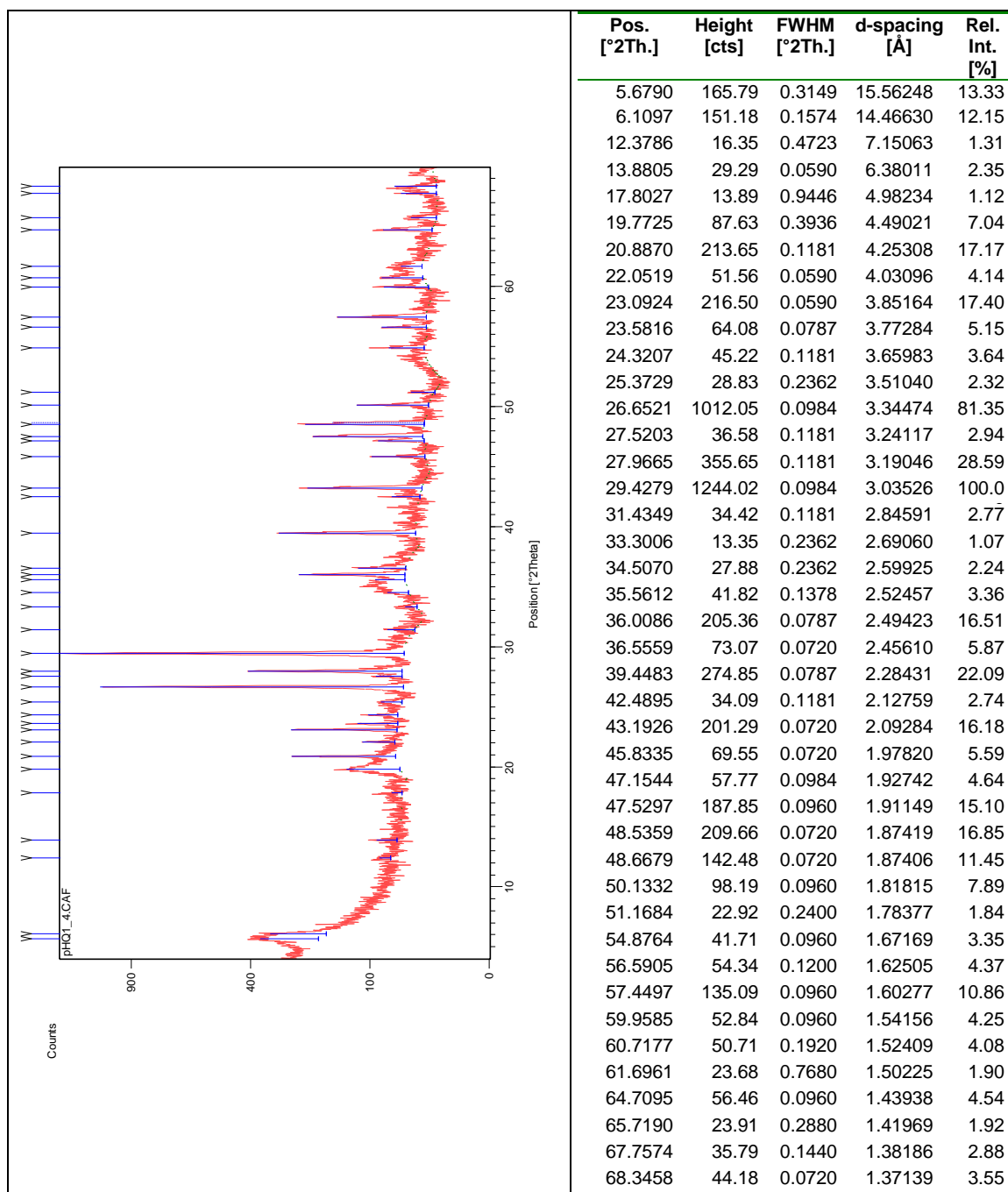


Figura III.113 Difratoograma da amostra total pH5, recolhida a 72 cm de profundidade nalateral do preenchimento da área de intersecção dos fossos.

III.5.4 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais de preenchimento

Tabela III.11 Semiquantificação e MIA para a amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos na área de intersecção dos fossos na Horta dos Quarteirões.

Amostras	Semiquantificação (%)							MIA
	Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase	Hematite	Dolomite	
pH6	10	64	22	3		1		88
pH4	65	30	1	3		1		25
pH3	26	44	21	7		2		75
pH2	68	28	3	1				75
H2	35	50	10		3	1	1	77
pH1	70	23	1	6				14
H1	46	39	6	0	7	1	1	46
pH5	71	20	3	5		1		38

III.5.5 Difractogramas da fração argilosa dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões

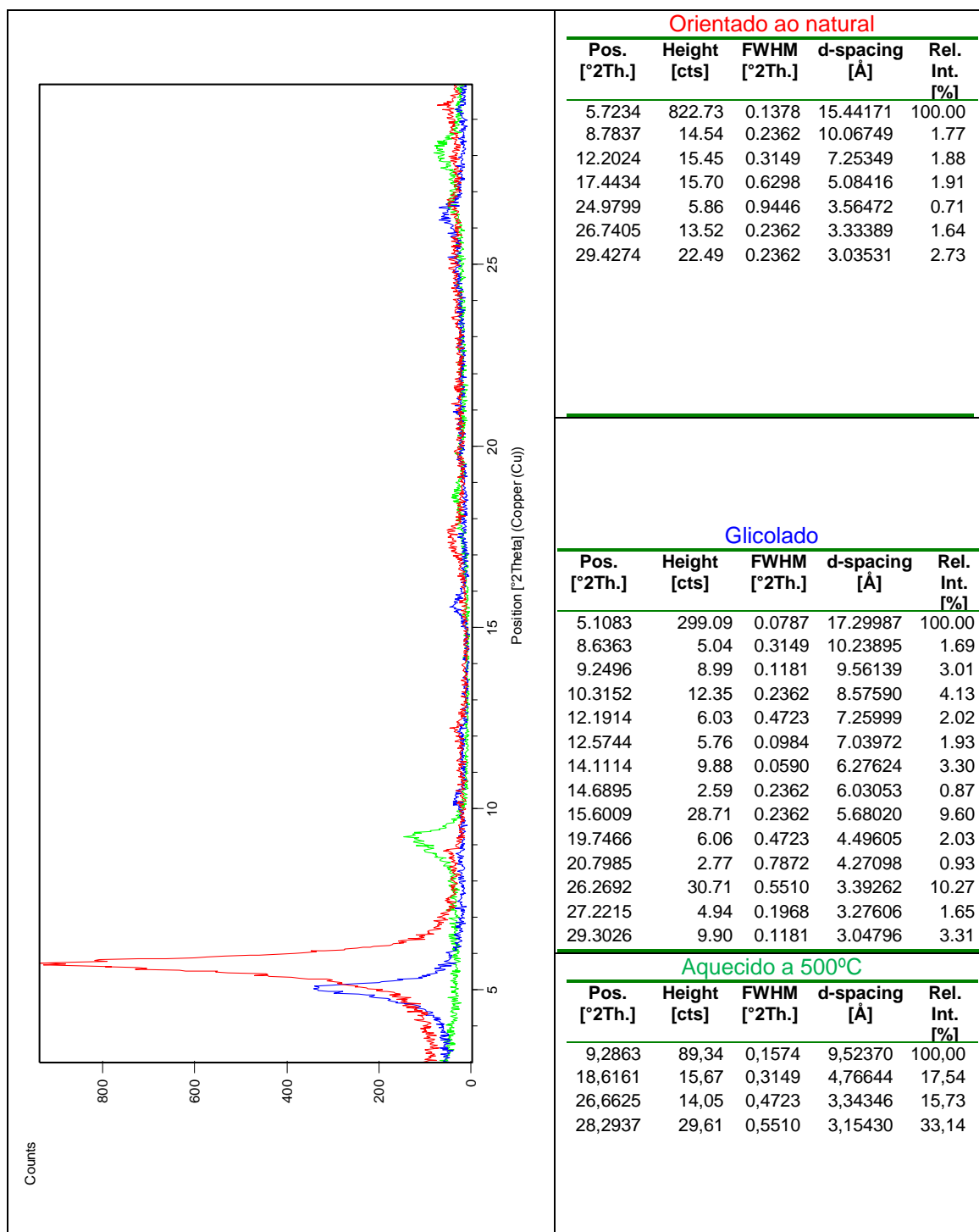


Figura III.114 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra Ha.

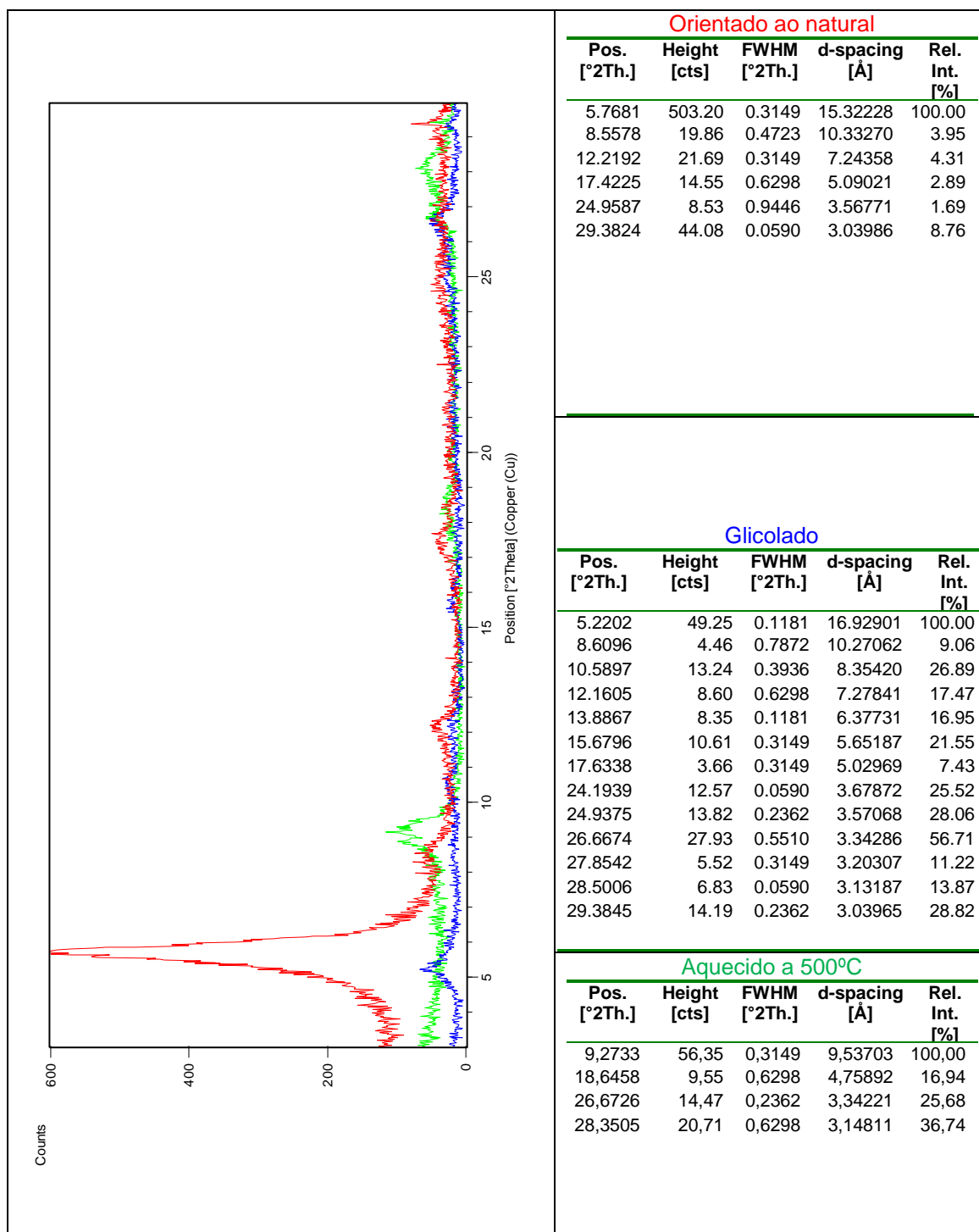


Figura III.115 Difratoogramas da fração argilosa carbonatada da amostra Hb.

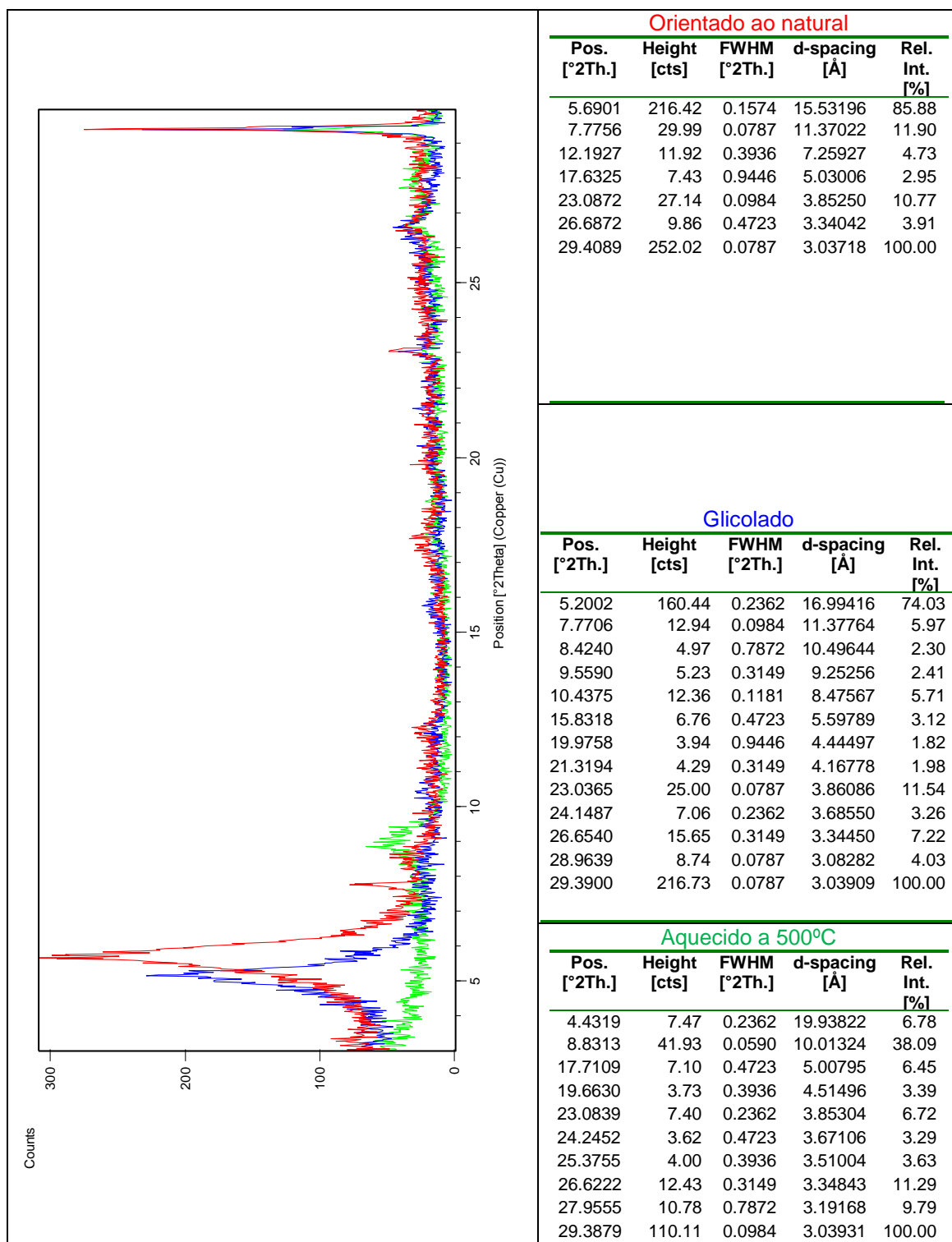


Figura III.116 Difrátogramas da fração argilosa carbonatada da amostra Hc.

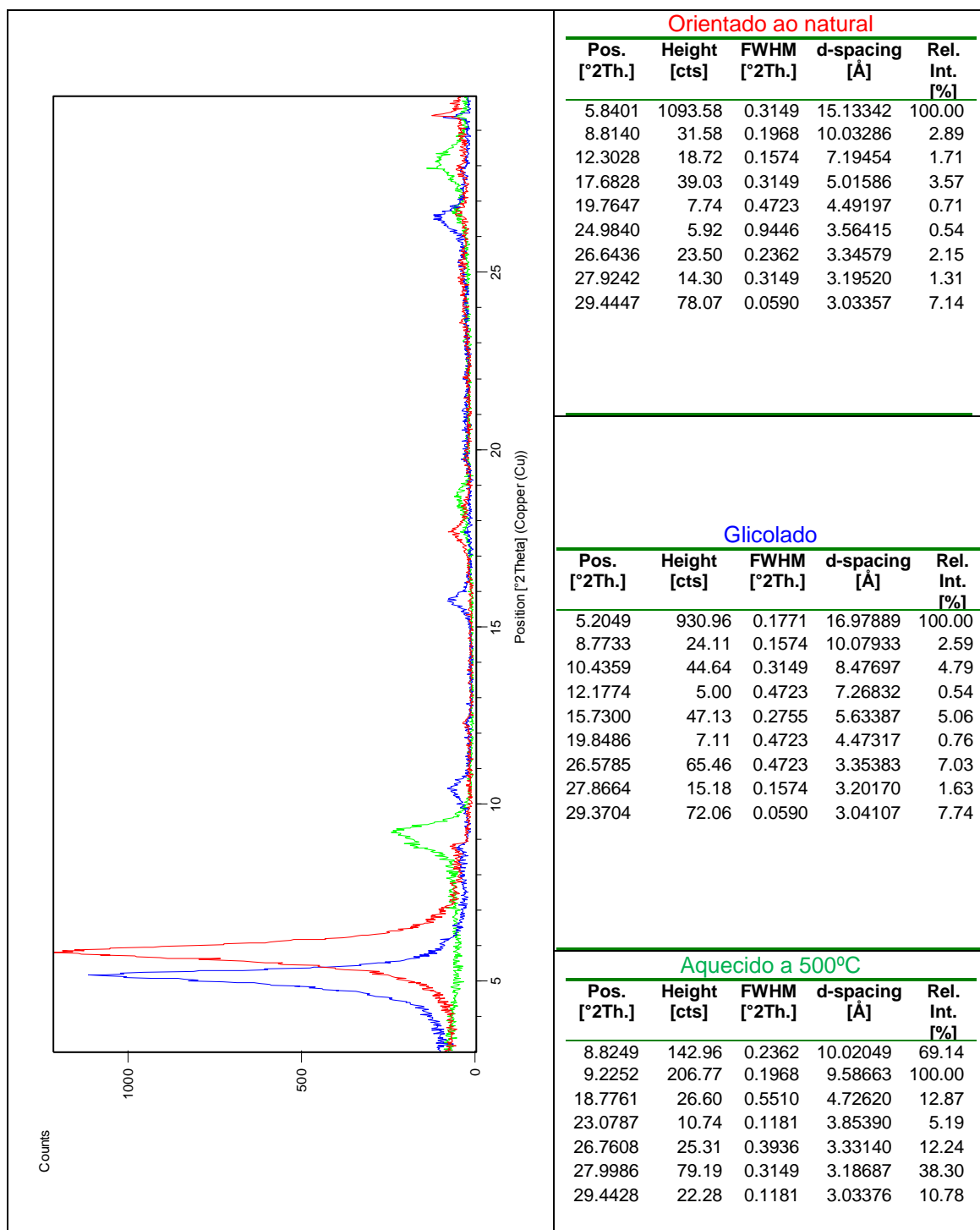


Figura III.117 Difratoogramas da fração argilosa carbonatada da amostra Hd.

Orientado ao natural				
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.7846	1104.56	0.1771	15.27864	100.00
5.9095	1034.13	0.0787	14.95595	93.62
8.7862	19.93	0.3149	10.06462	1.80
12.2471	17.51	0.2362	7.22711	1.59
14.5497	10.64	0.0394	6.08815	0.96
17.7739	42.98	0.1968	4.99034	3.89
18.4881	12.86	0.3149	4.79916	1.16
19.8063	9.28	0.2362	4.48262	0.84
26.7337	17.61	0.2362	3.33472	1.59

Glicolado				
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.1755	1192.88	0.0984	17.07525	100.00
6.1402	58.11	0.1574	14.39457	4.87
8.7378	22.12	0.1574	10.12026	1.85
10.4360	51.56	0.3149	8.47696	4.32
12.2580	9.01	0.4723	7.22073	0.76
15.8445	66.68	0.1378	5.59341	5.59
19.8431	7.14	0.4723	4.47440	0.60
21.0267	7.19	0.4723	4.22513	0.60
25.1171	4.62	0.4723	3.54556	0.39
26.4741	61.47	0.5510	3.36683	5.15

Aquecido a 500°C				
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
3.2298	17.67	0.4723	27.35600	9.54
9.2464	185.10	0.3149	9.56470	100.00
18.6726	45.39	0.3936	4.75214	24.52
26.6539	21.71	0.4723	3.34452	11.73
28.1317	103.81	0.5510	3.17210	56.09
3.2298	17.67	0.4723	27.35600	9.54
9.2464	185.10	0.3149	9.56470	100.00

Figura III.118 Difrátogramas da fração argilosa carbonatada da amostra He.

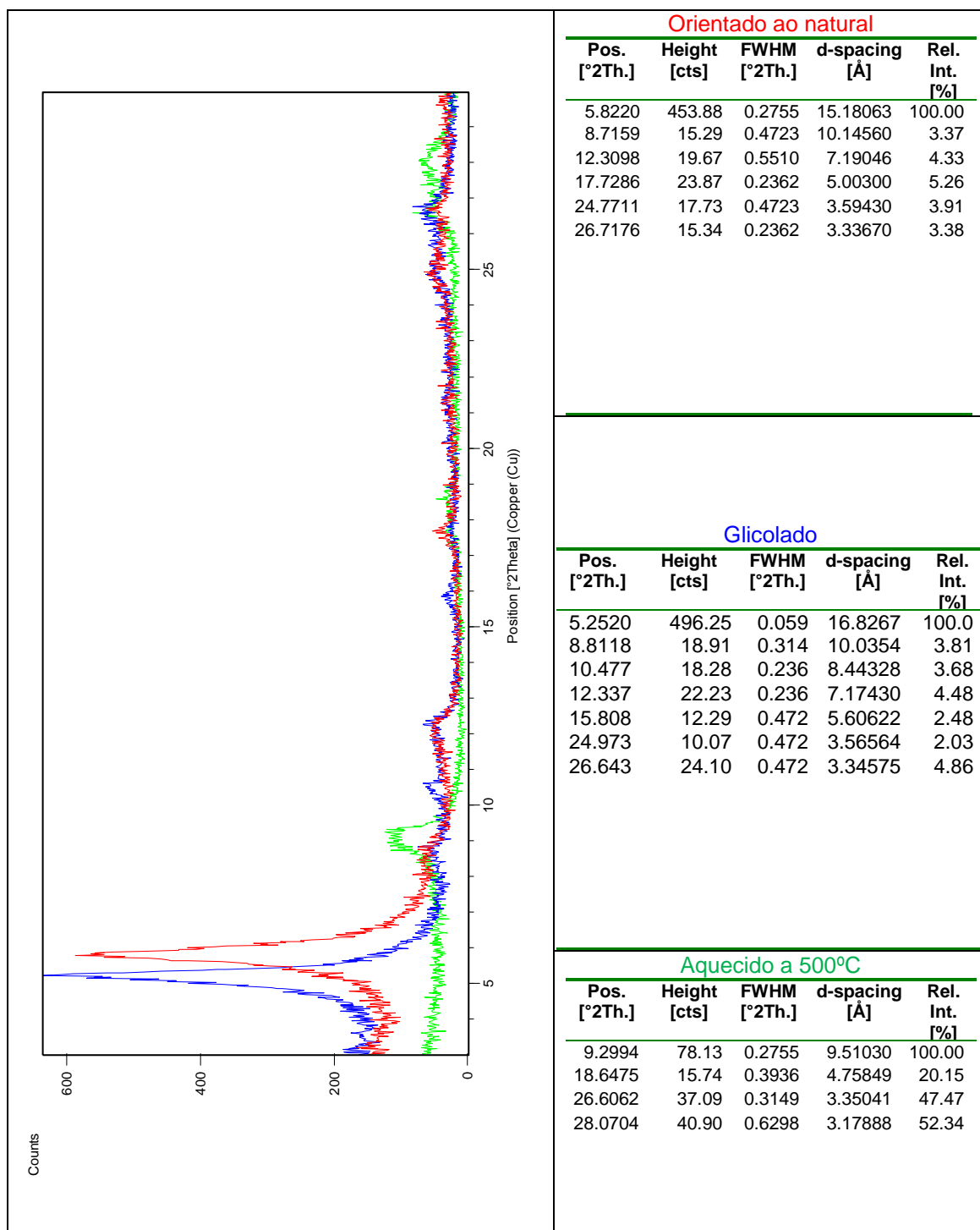


Figura III.119 Difratoformas da fração argilosa carbonatada da amostra Hf.

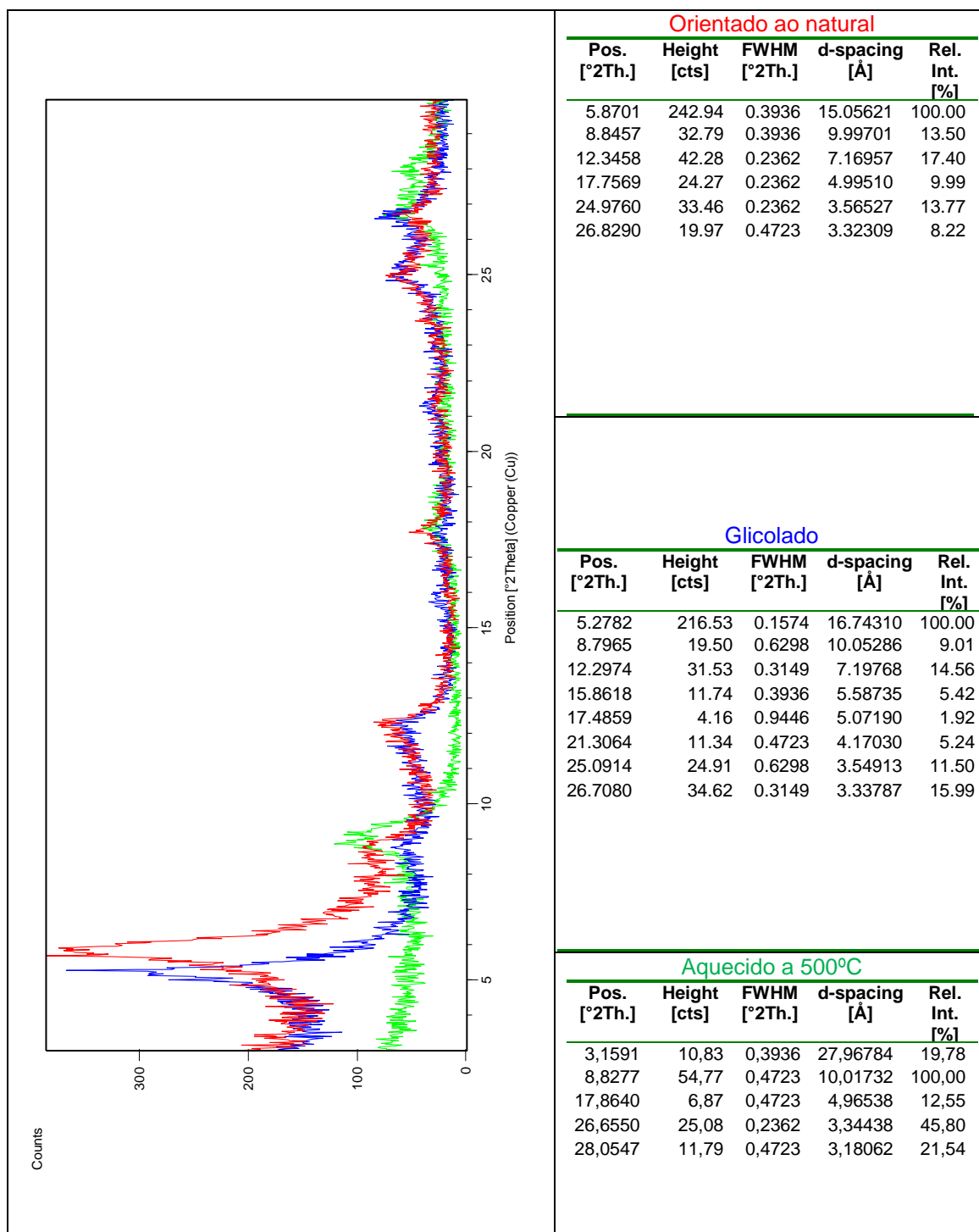


Figura III.120 Difrátogramas da fração argilosa carbonatada da amostra Hg.

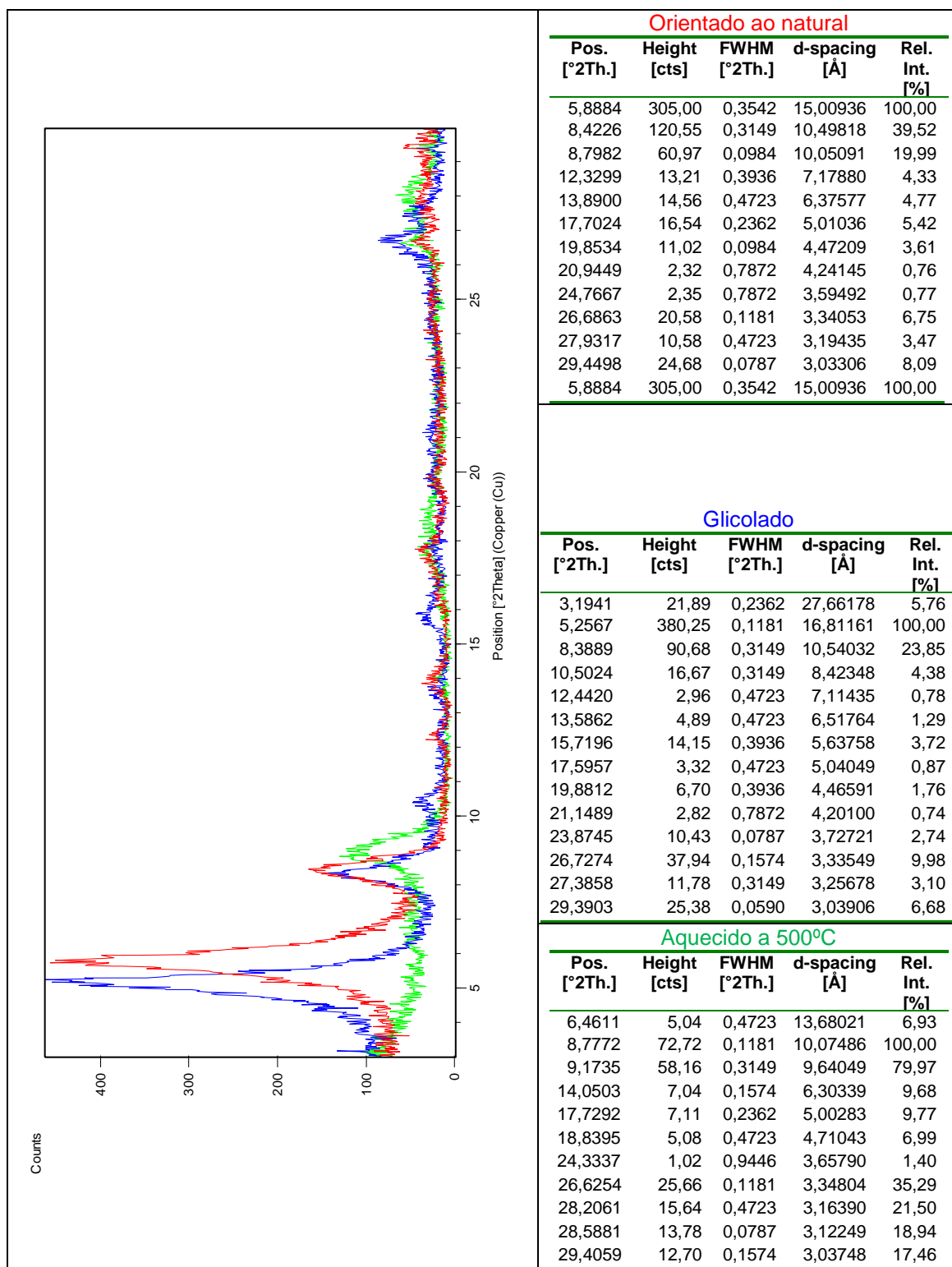


Figura III.121 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra Hh.

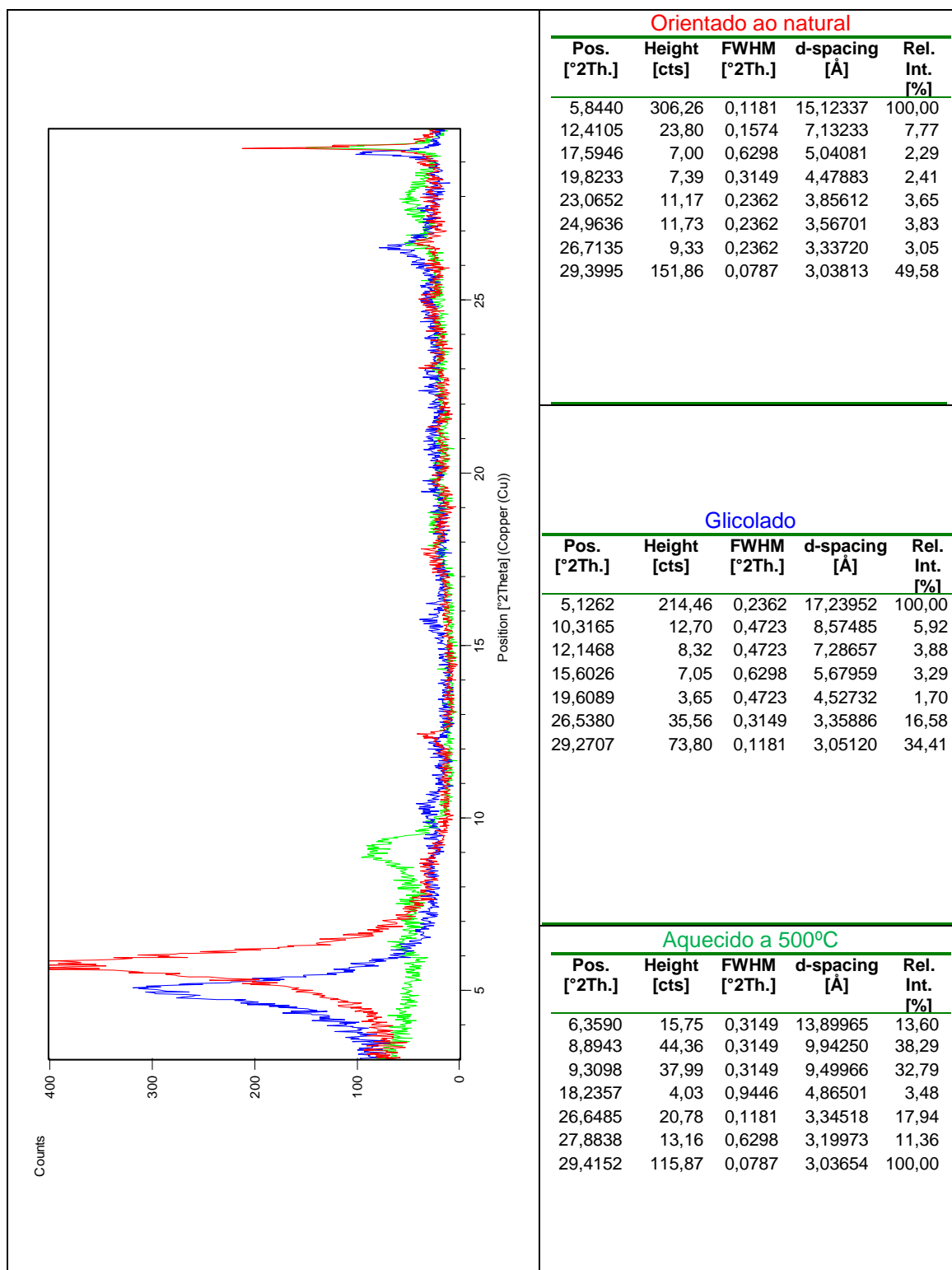


Figura III.122 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra H1.

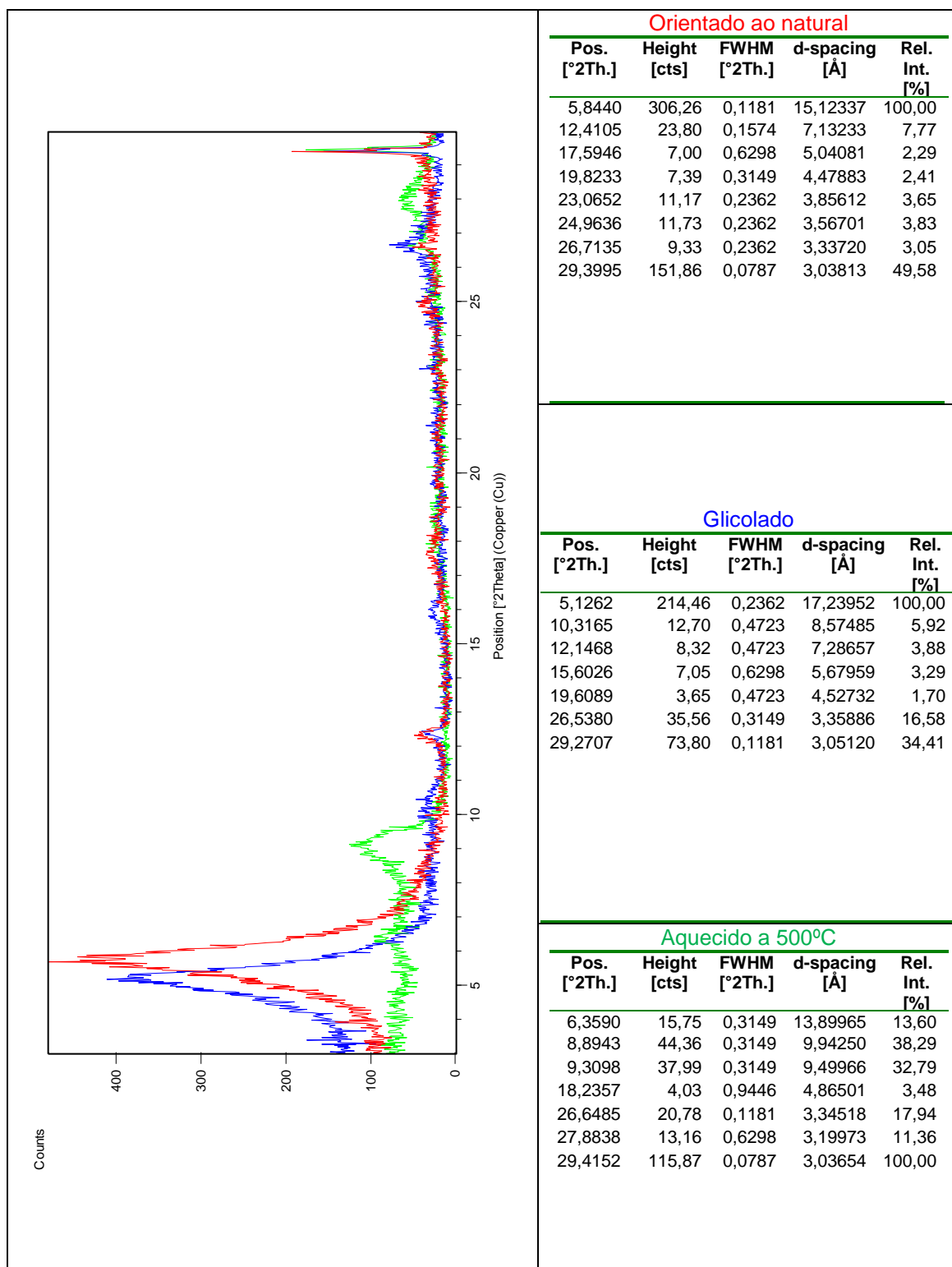


Figura III.123 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra H2.

III.5.6 Semiquantificação dos minerais presentes na fração argilosa

Tabela III.12 Semiquantificação dos minerais presentes na fração argilosa dos materiais recolhidos na Horta dos Quarteirões.

	Semiquantificação (%)				
	Esmectite	Ilite	Caulinite	Vermiculite	Paligorsquite
Hc	54	38	8		
Hb	66	24	10		
Ha	49	27	24		
Hg	20	57	23		
Hf	30	49	21		
He	67	16	10	7	
Hd	80	15	5		
Hh	37	37	5		21
H2	87		13		
H1	76		24		

III.6 Malhada da Orada

III.6.1 Difractogramas da amostra total dos materiais recolhidos no perfil de alteração do granito e dos materiais de preenchimento

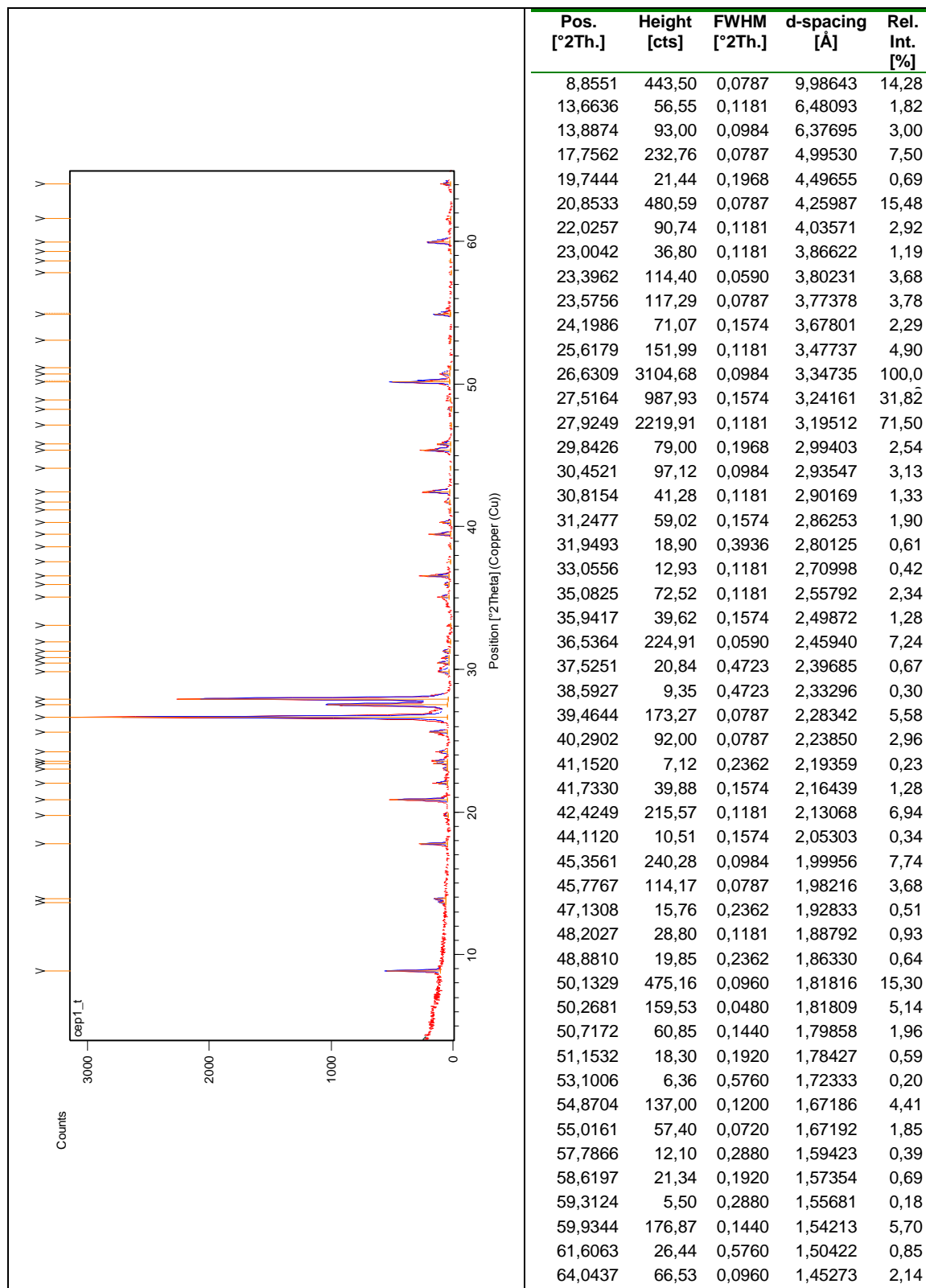


Figura III.124 Difractograma da amostra total MOa, recolhida no perfil de alteração do granito na Malhada da Orada.

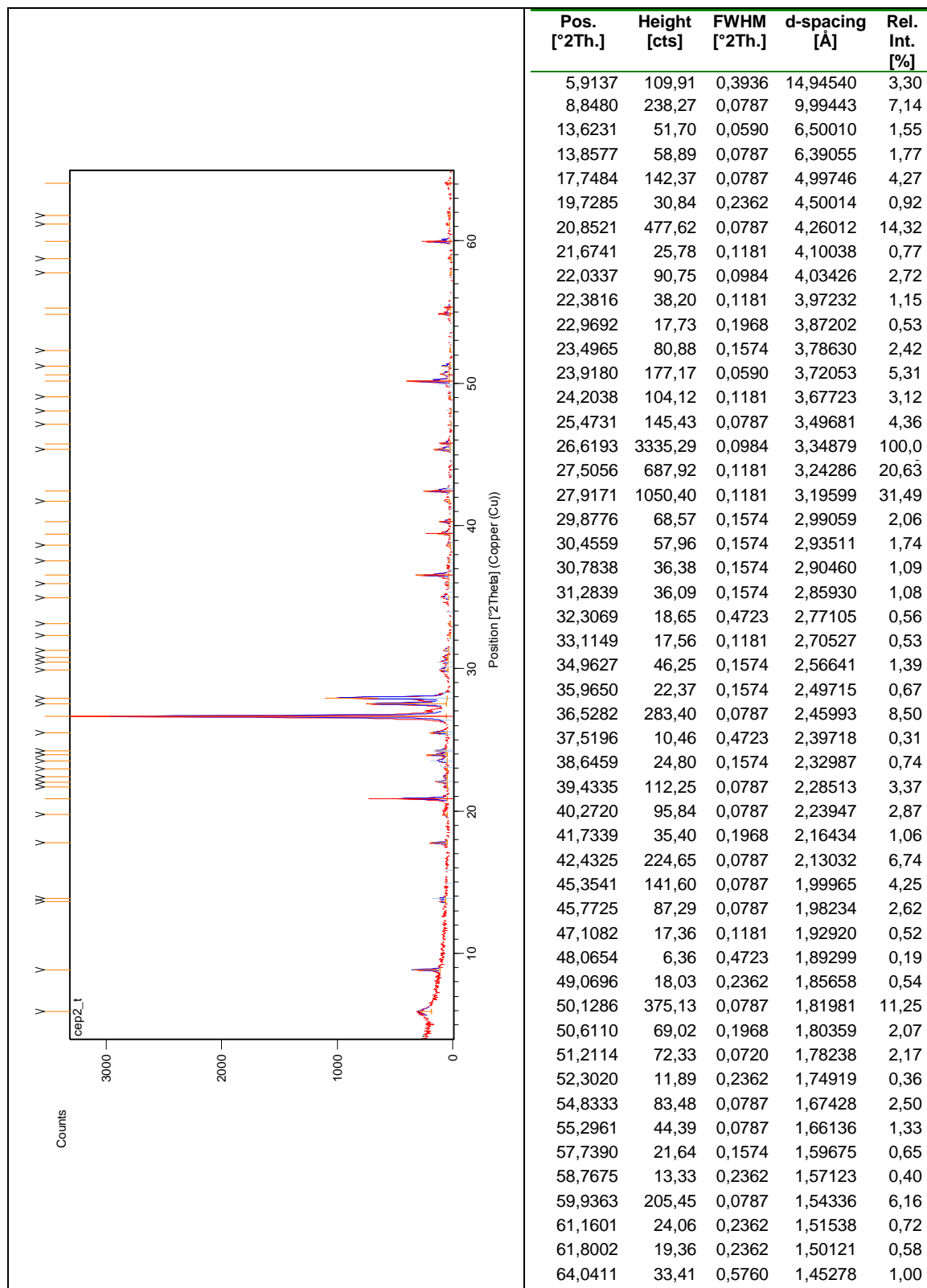


Figura III.125 Difratoograma da amostra total MOB, recolhida no perfil de alteração do granito na Malhada da Orada.

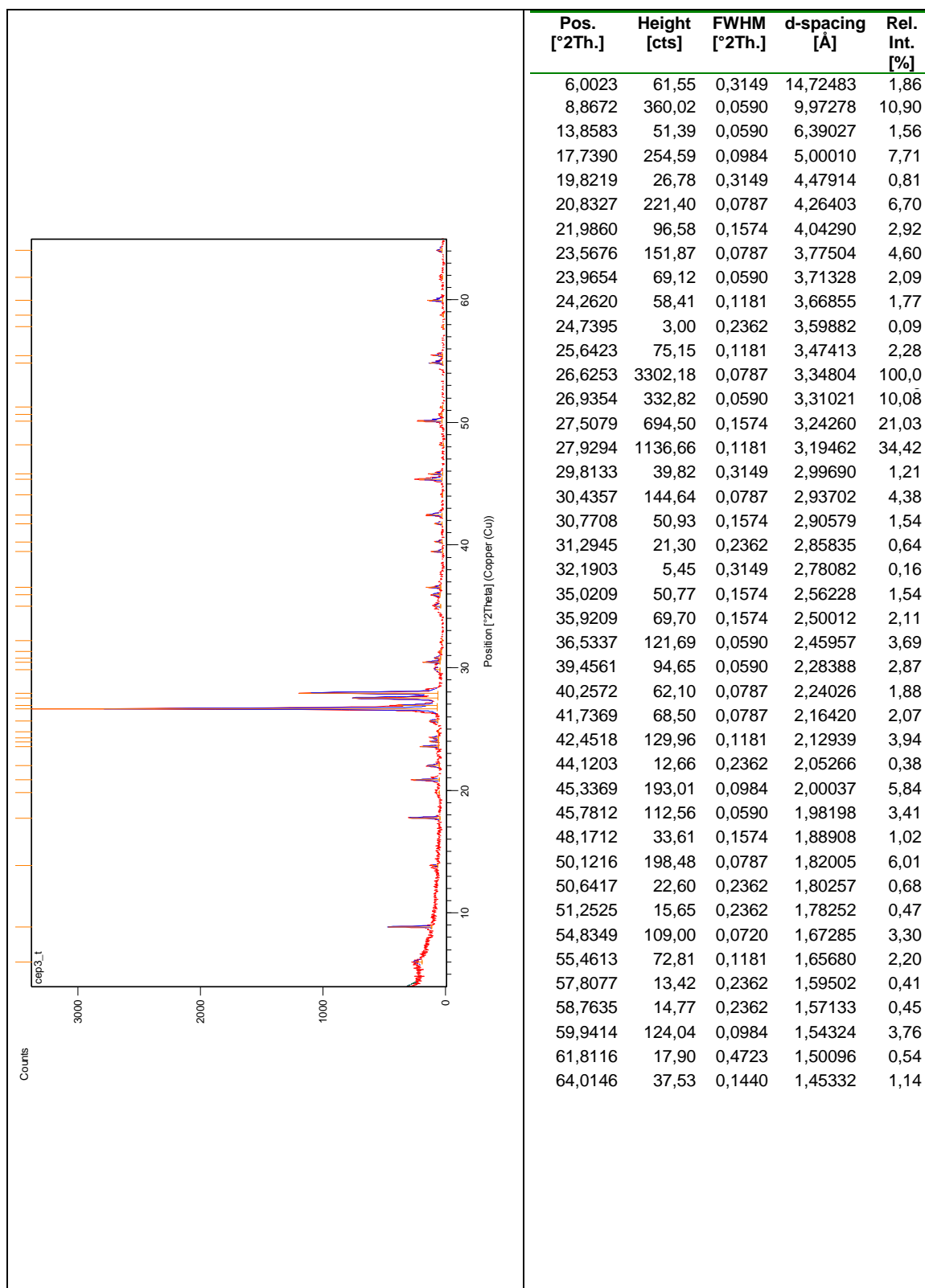


Figura III.126 Difratoograma da amostra total MOC, recolhida no perfil de alteração do granito na Malhada da Orada.

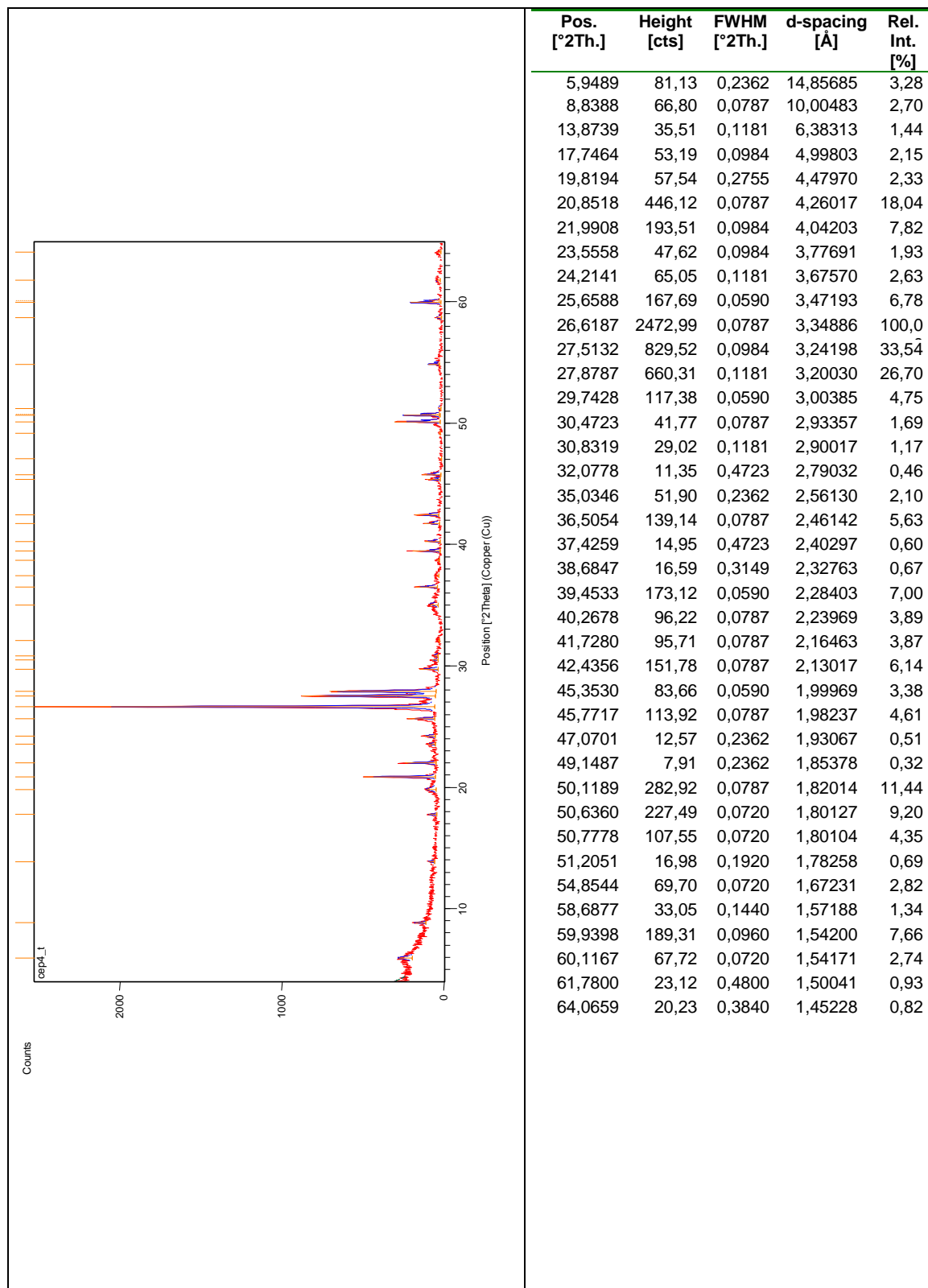


Figura III.127 Difratoograma da amostra total M0d, recolhida no perfil de alteração do granito na Malhada da Orada.

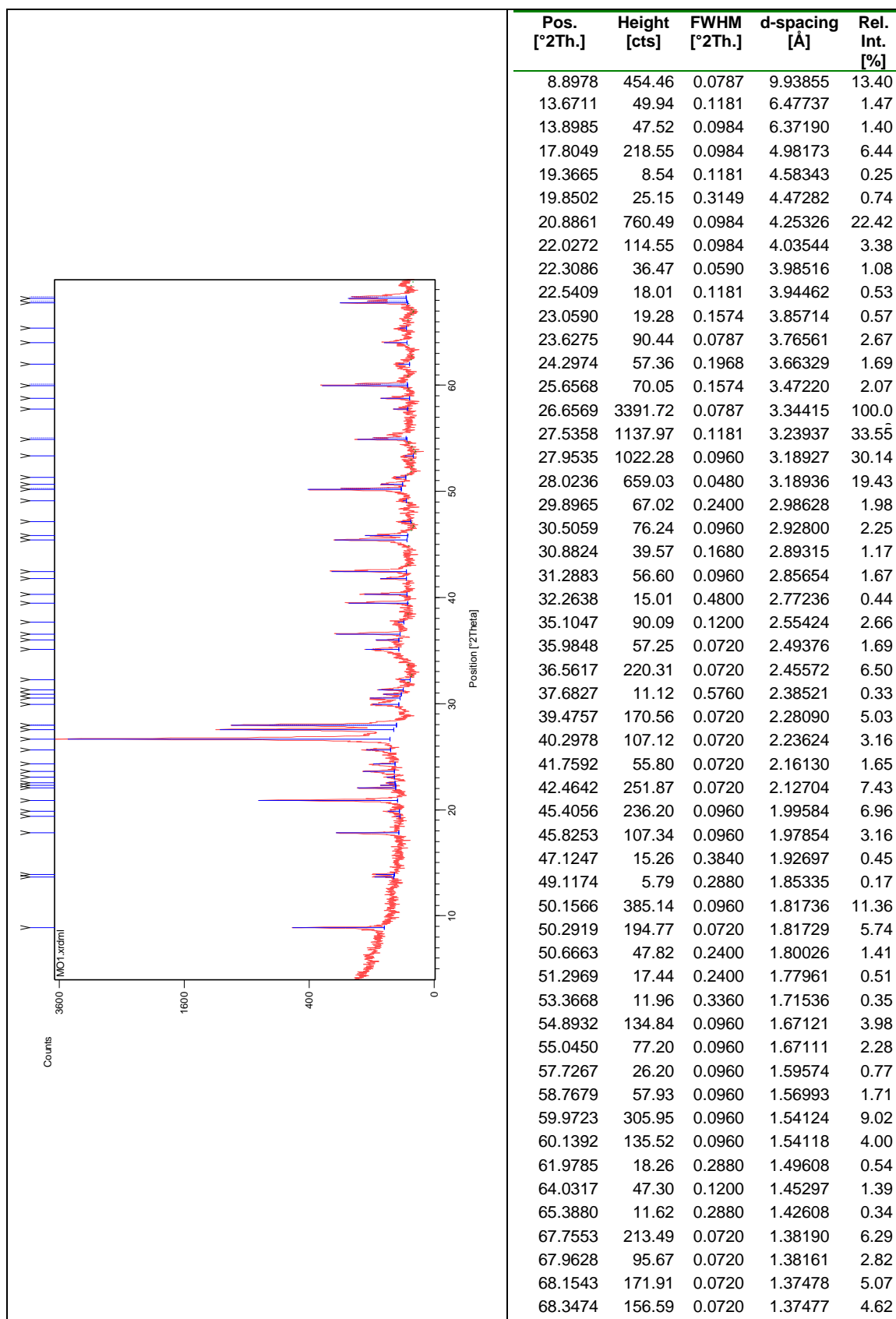


Figura III.128 Difratoograma da amostra total MO1, recolhida nos materiais de preenchimento que cobriam as estruturas negativas na Malhada da Orada.

III.6.2 Semiquantificação e MIA da amostra total

Tabela III.13 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais de preenchimento e representativos da geologia local recolhidos na Malhada da Orada.

Contexto	Amostra	Semiquantificação (%)						MIA
		Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K-Feldspatos	Plagioclase	Hematite	
MPR	MO1	0	18	30	30	22	0	37
	MOd	0	40	21	25	14	0	35
MGeo	MOC	0	26	25	22	27	0	34
	MOb	0	22	34	17	26	1	44
	MOa	0	7	25	25	42	1	27

III.6.3 Difractogramas da fração argilosa

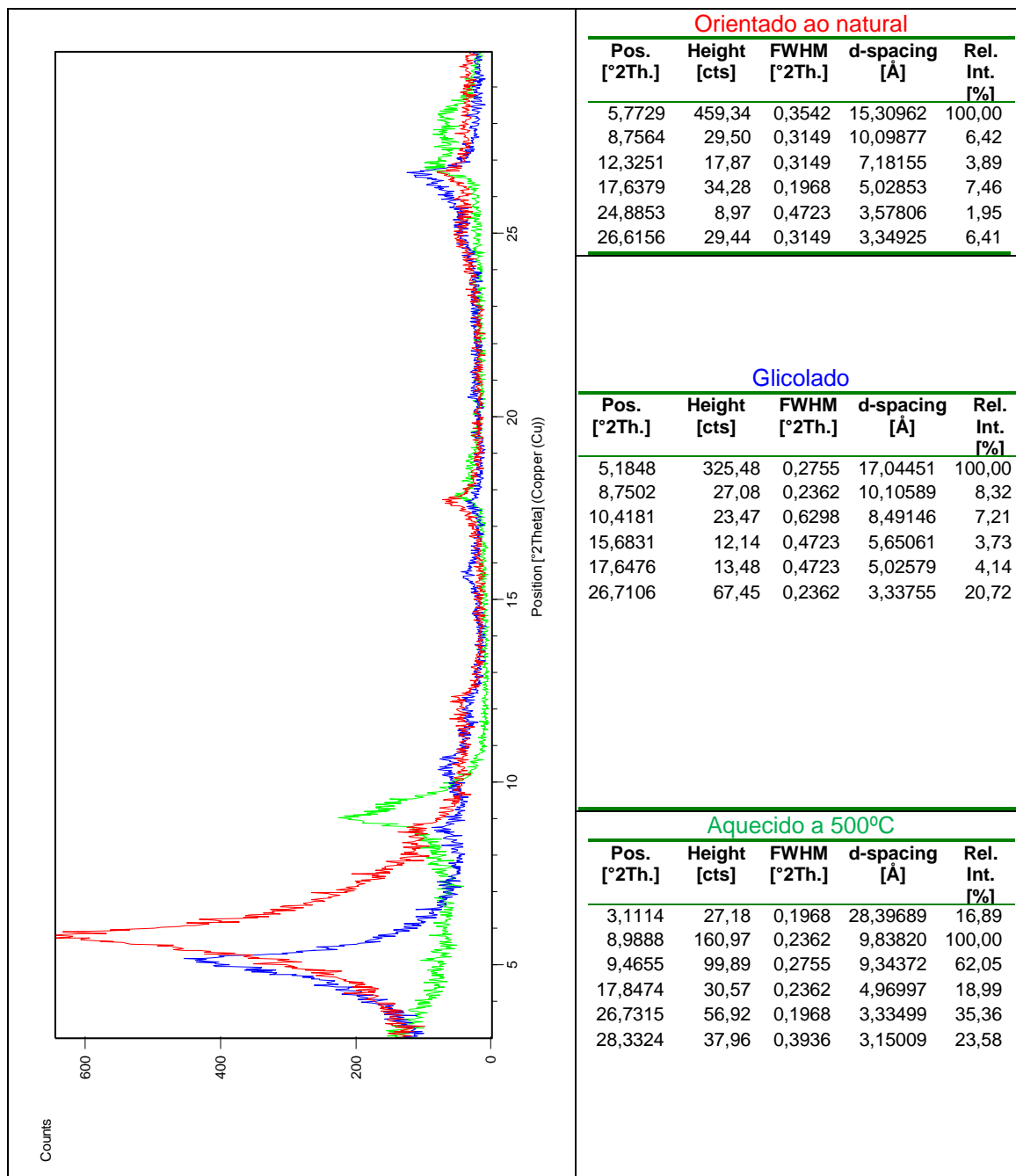


Figura III.129 Difractogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MOd, recolhida no topo do perfil de alteração do granito.

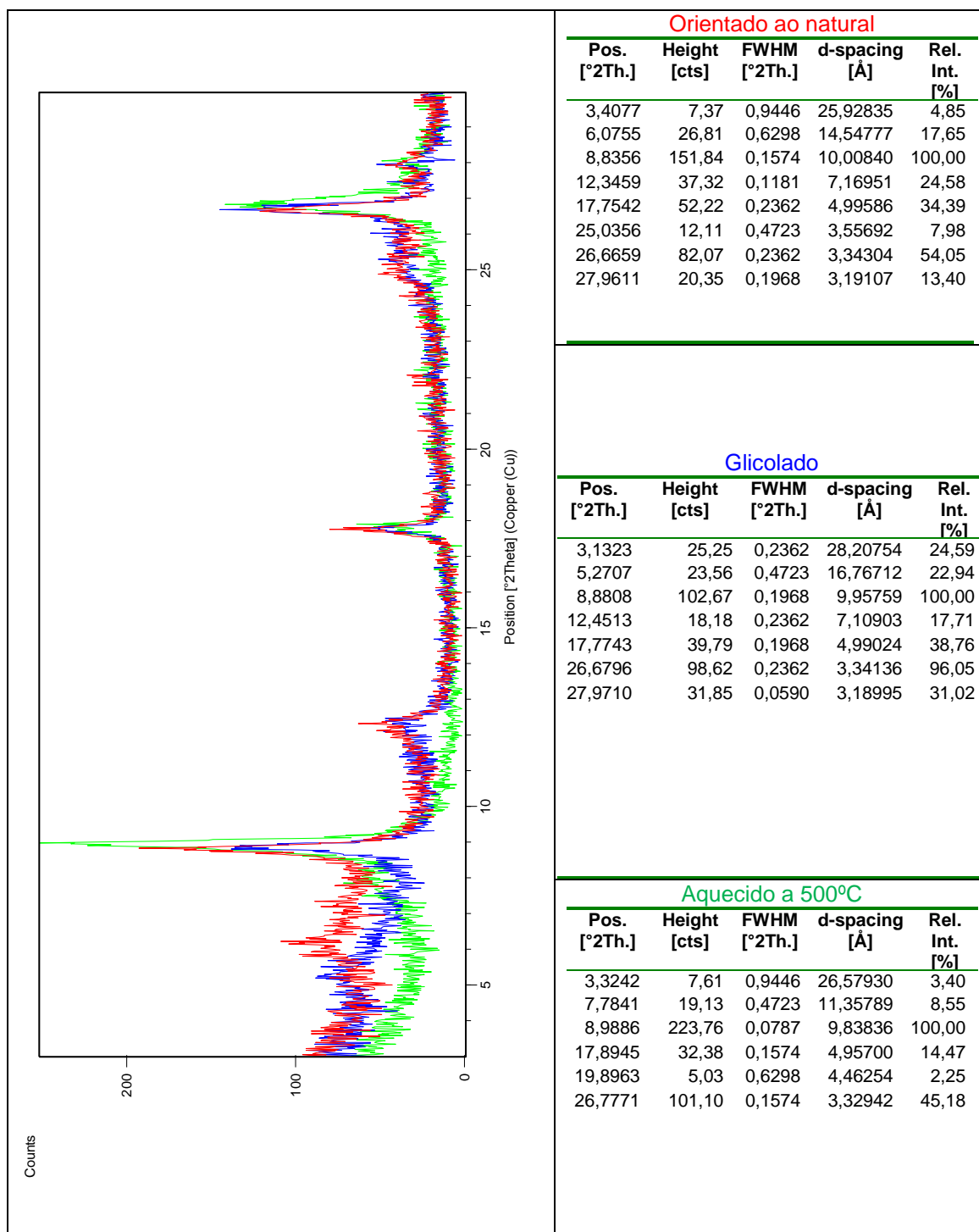


Figura III.130 Difratogramas da fração argilosa carbonatada da amostra MO1, recolhida no preenchimento das estruturas negativas.

III.6.4 Semiquantificação da fração argilosa

Tabela III.14 Semiquantificação dos inerais presentes na fração argilosa dos materiais recolhidos na Malhada da Orada.

Amostra	Semiquantificação (%)		
	Esmectite	Ilite	Caulinite
MO1	6	85	9
MOd	61	35	4

III.7 Povoados dos Perdigões

III.7.1 Difratogramas da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo na área de escavação dos fossos 5 e 12

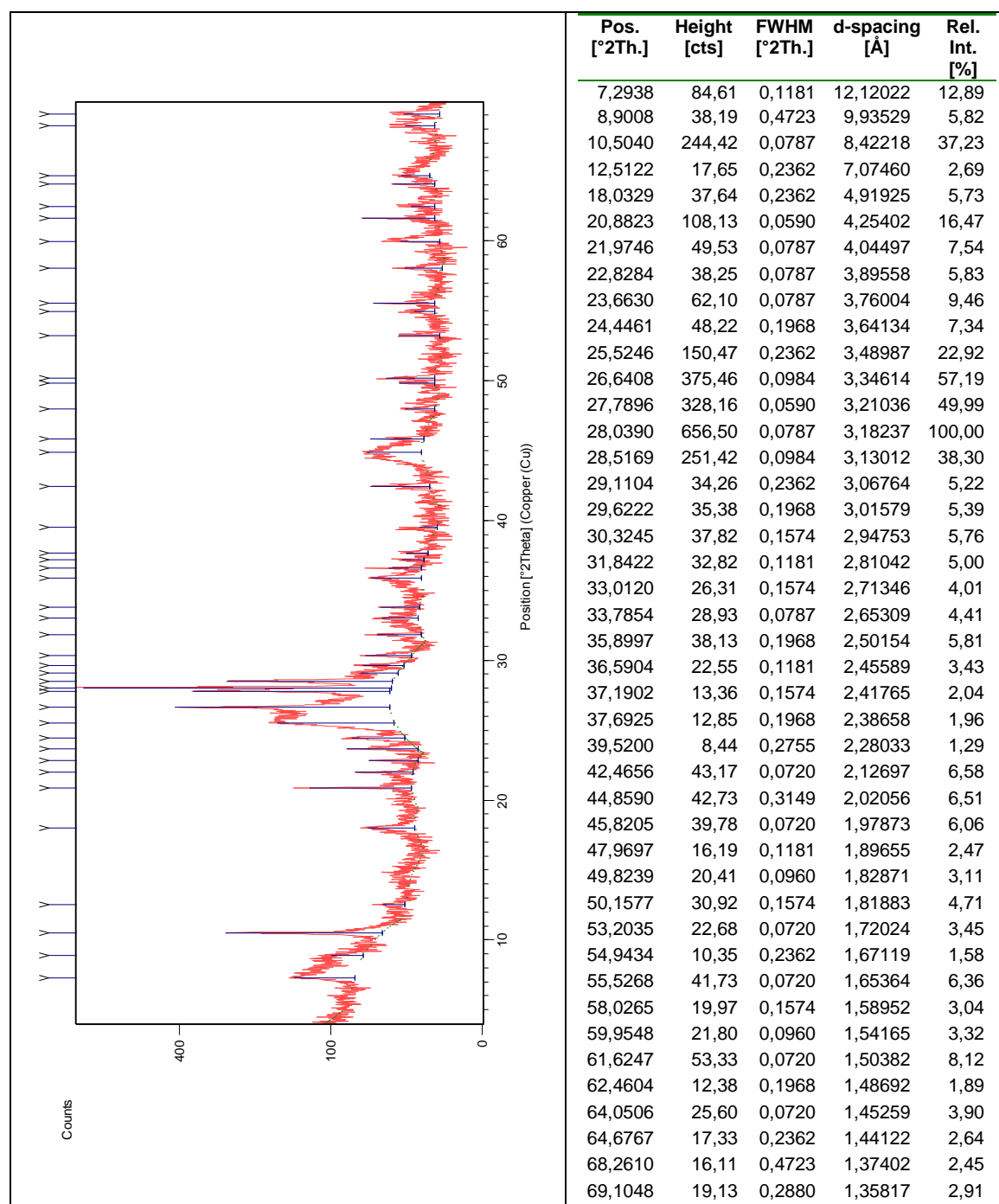


Figura III.131 Difratograma da amostra total PDGa, recolhida no substrato geológico na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

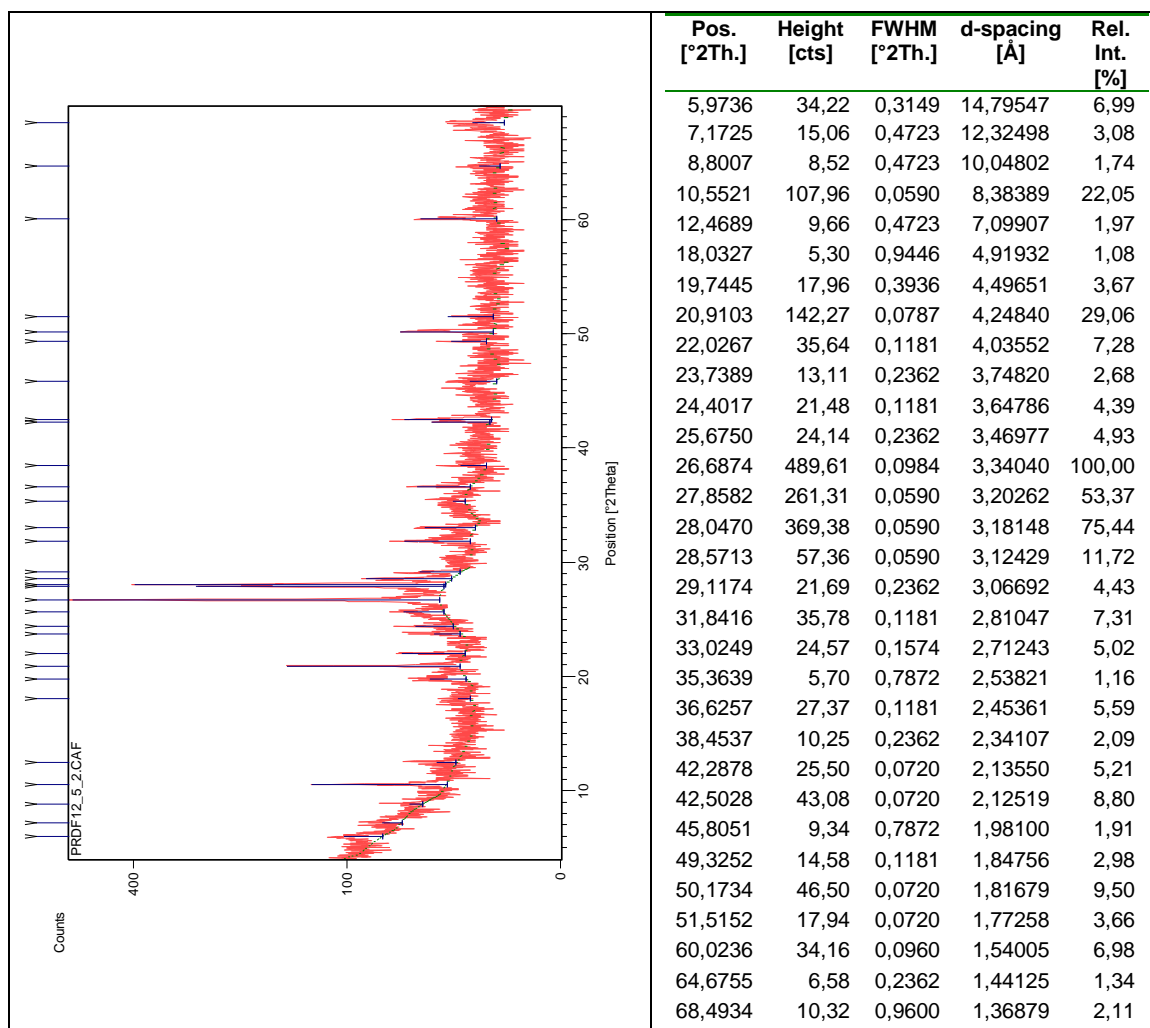


Figura III.132 Difratoograma da amostra total PDGb, recolhida no solo moderno na área de escavação dos fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

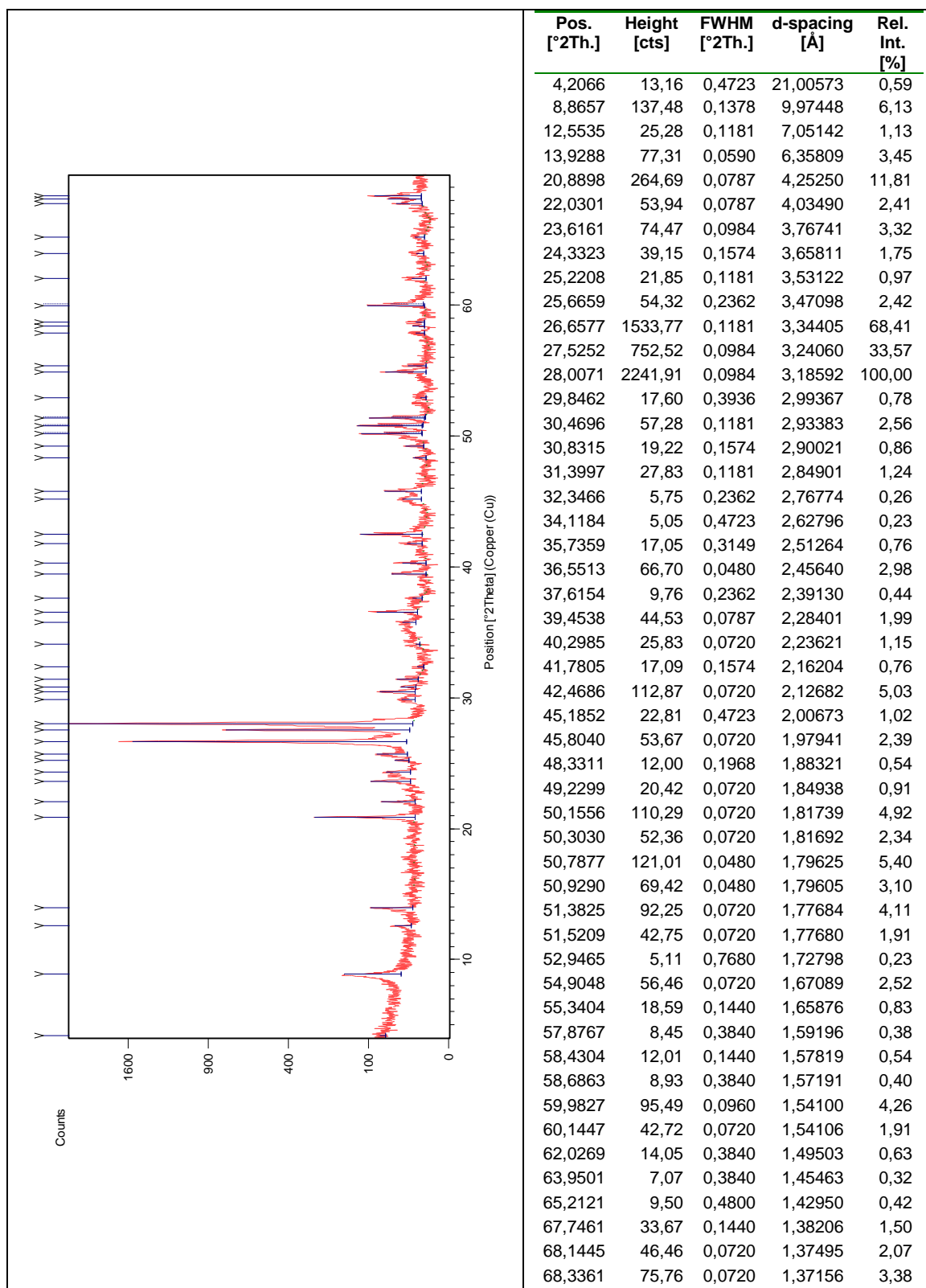


Figura III.133 Difractograma da amostra total PDGc, recolhida na base do perfil de alteração do diorito na parede Norte do fosso 5, a 130 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

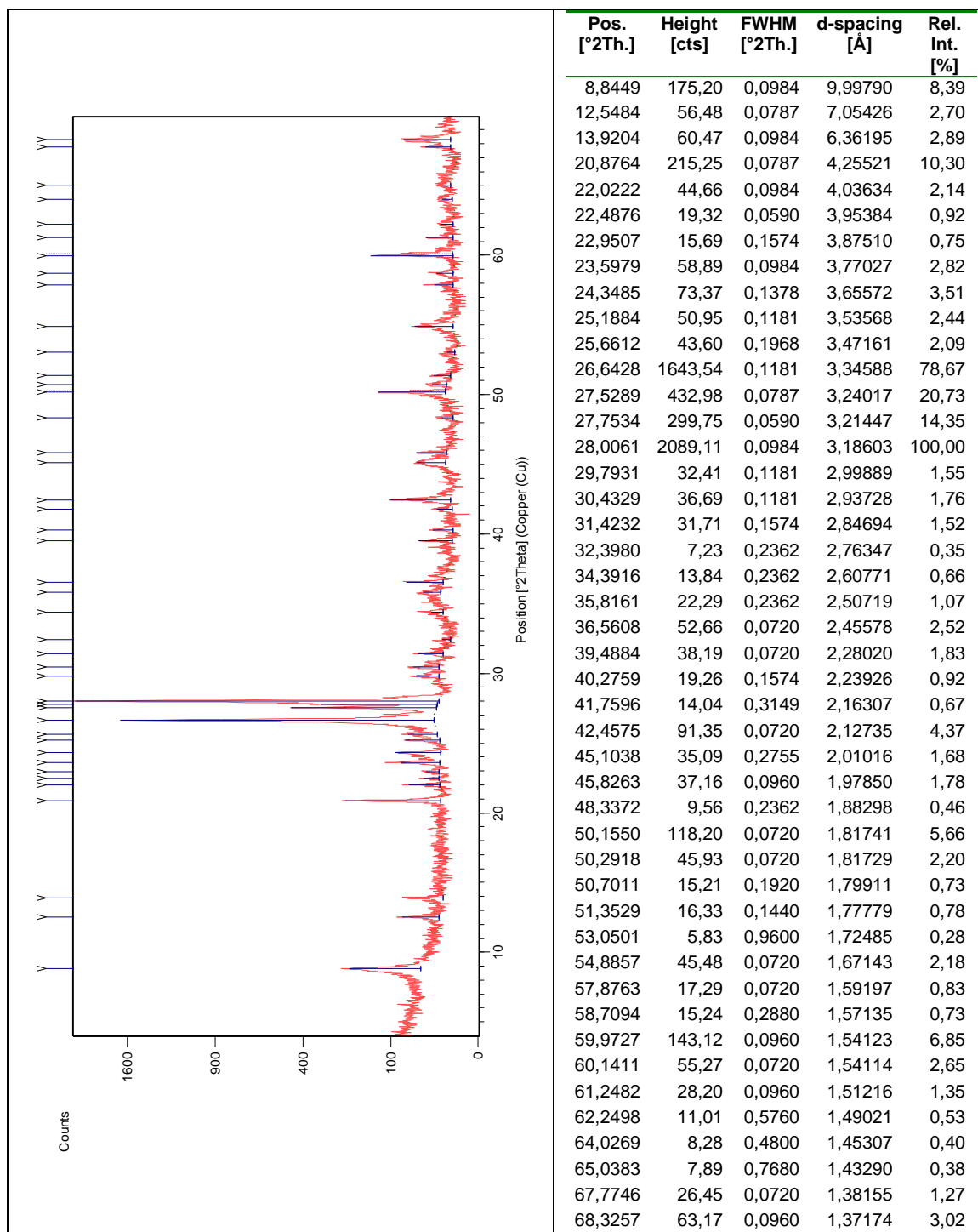


Figura III.134 Difractograma da amostra total PDGd, recolhida no perfil de alteração do diorito na parede Norte do fosso 5, a 95 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

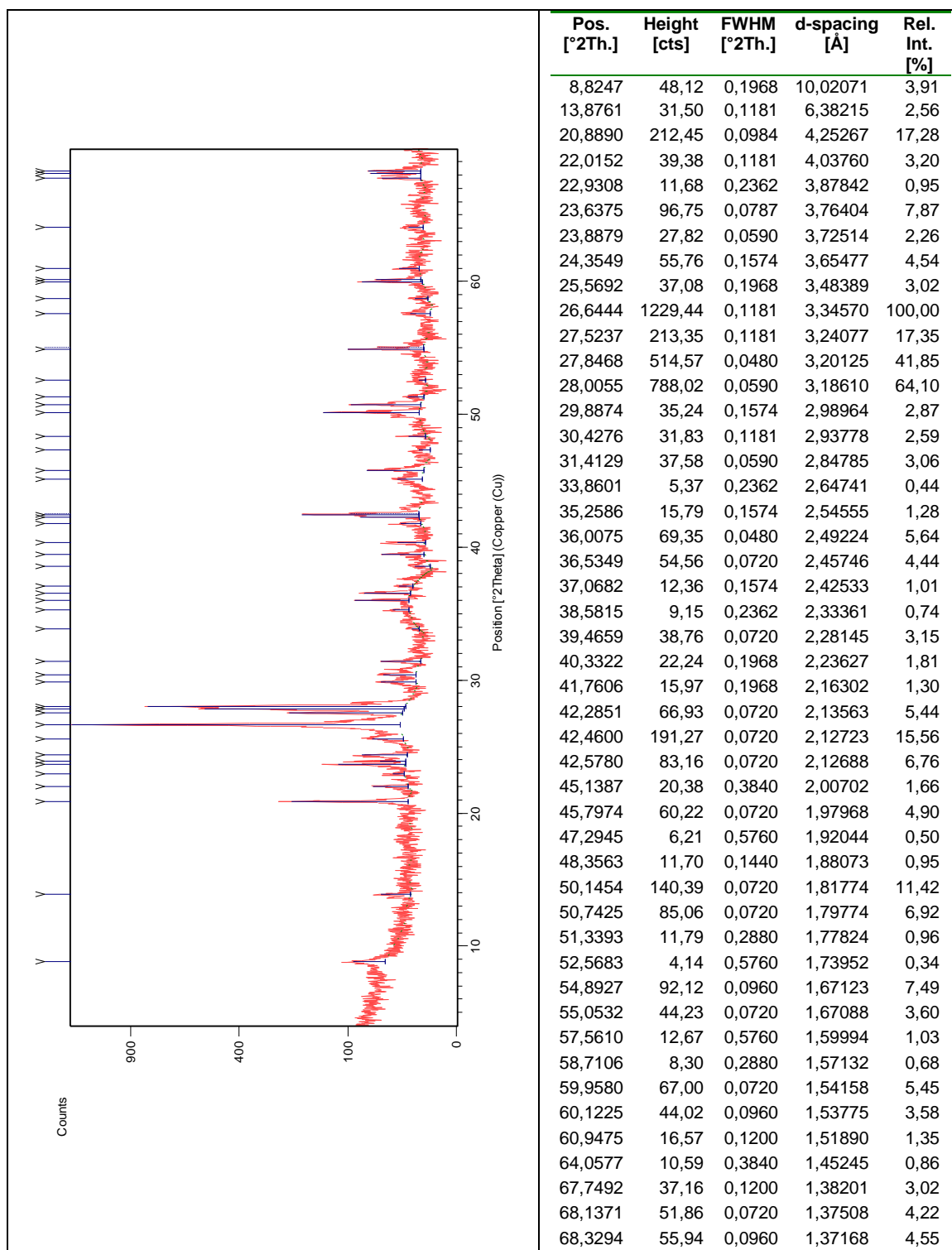


Figura III.135 Difratoograma da amostra total PDGe, recolhida no topo do perfil de alteração do diorito na parede Norte do fosso 5, a 81 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

III.7.2 Difractogramas da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento dos fossos 5 e 12

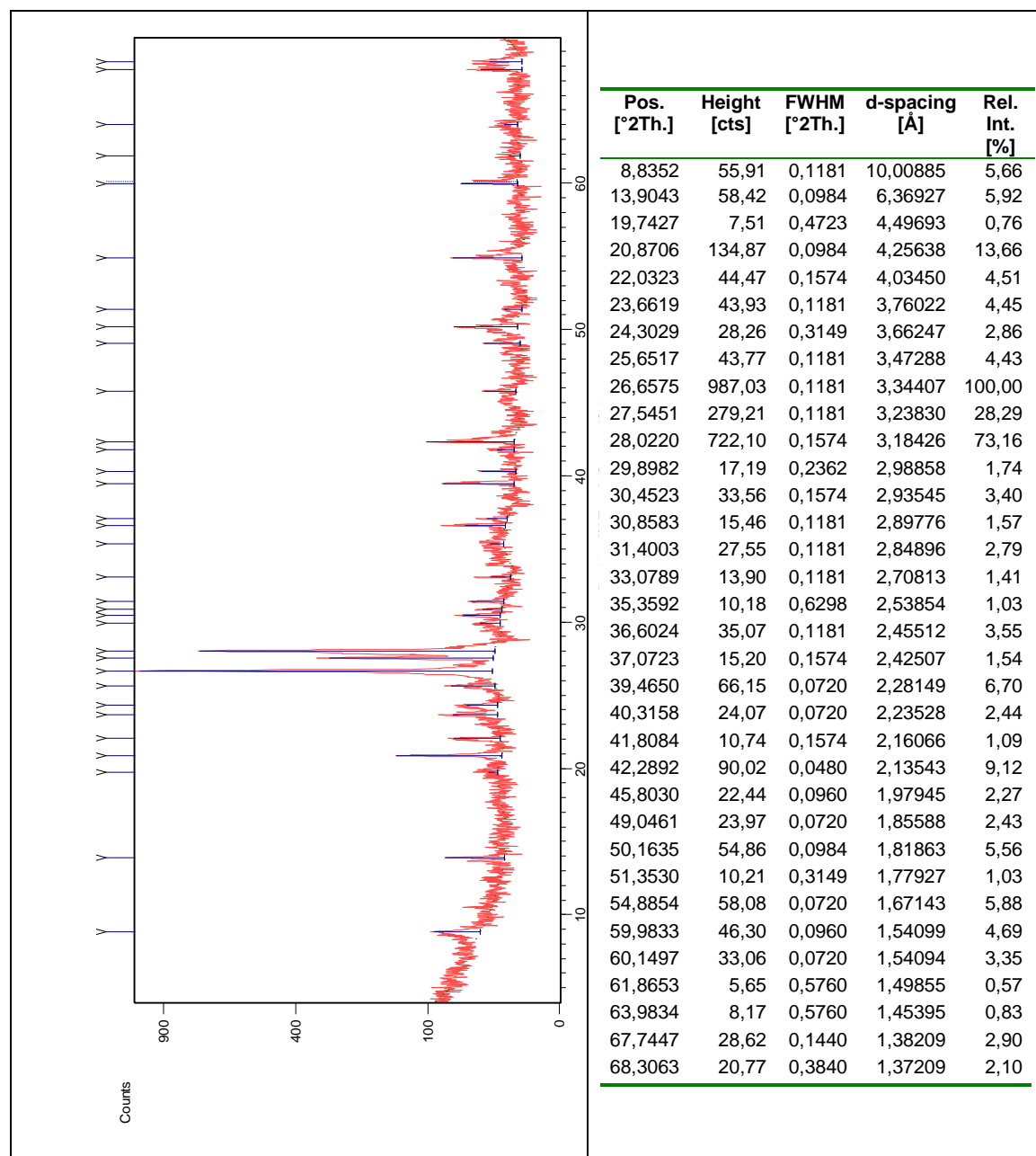


Figura III.136 Difractograma da amostra total PDG1, recolhida nos materiais de preenchimento do fosso 5, a 120 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

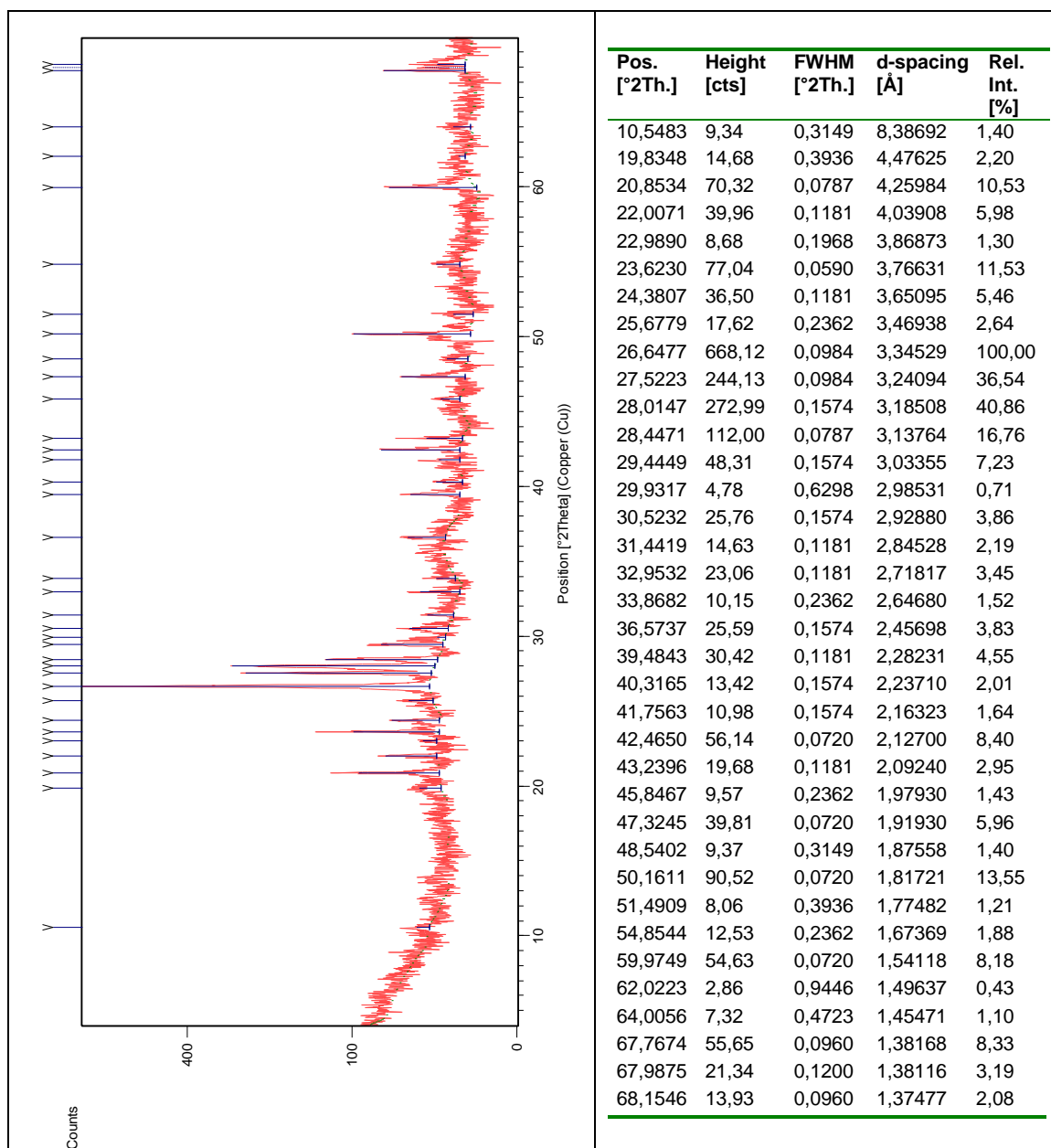


Figura III.137 Difractograma da amostra total PDG2, recolhida nos materiais de preenchimento do fosso 12, a 120 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

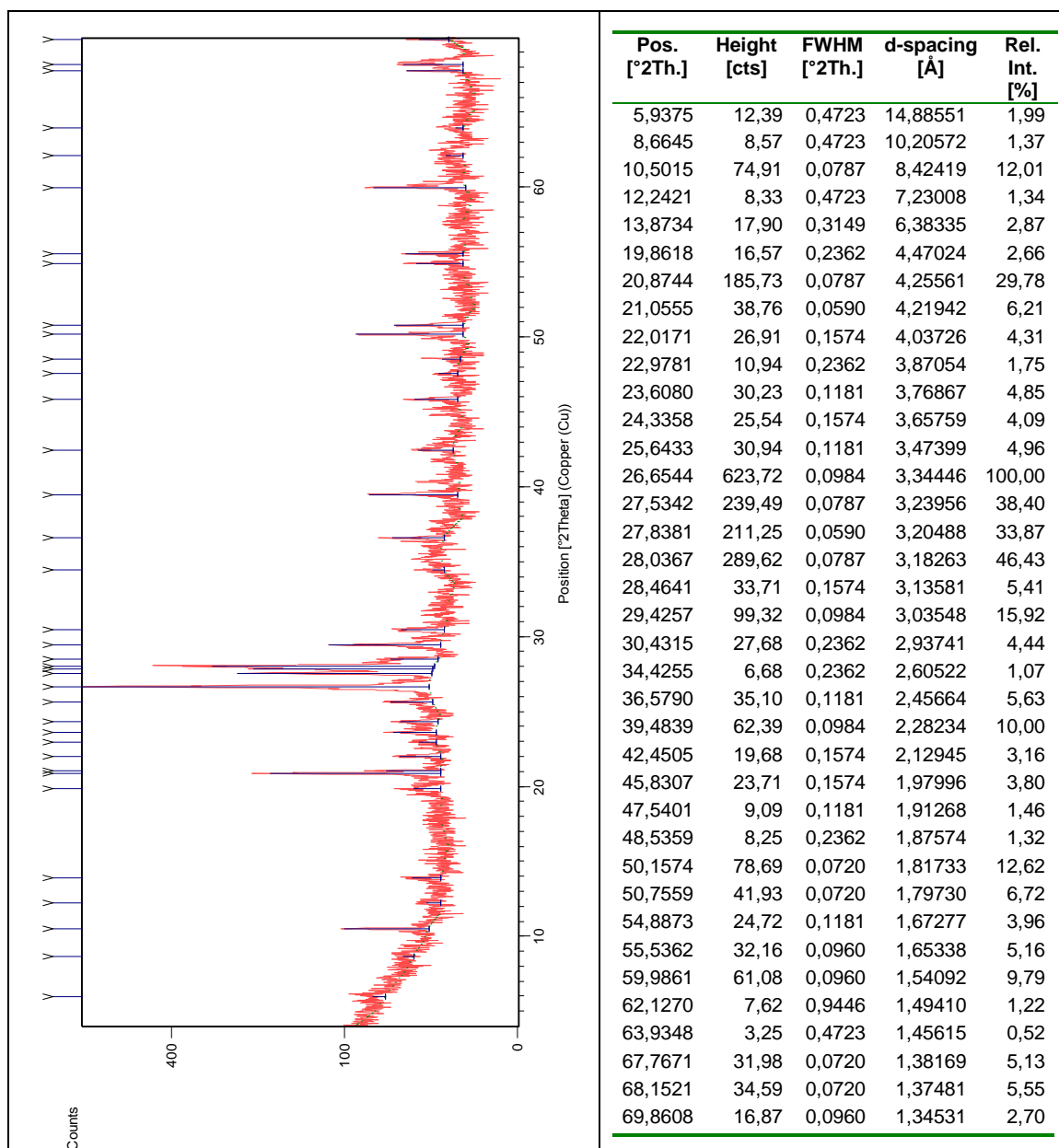


Figura III.138 Difractograma da amostra total PDG3, recolhida nos materiais de preenchimento do fosso 12, a 100 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdígões.

III.7.3 Semiquantificação da amostra total dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 e dos materiais do substrato geológico e solo

Tabela III.15 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos nos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões.

Amostras	Calcite	Filossilicatos	Quartzo	K- Feldspatos	Plagioclase	Anfíbola	Anatase	Micas	MIA
PDGe	-	-	44	15	29	-	-	12	50
PDGd	-	-	25	9	55	-	2	9	28
PDGc	-	-	21	17	52	-	1	9	23
PDGb	-	60	18	0	17	5	-	presentes	51
PDGa	-	-	14	0	39	19	-	28	26
PDG3	8	31	23	14	16	5	3	presentes	43
PDG2	4	33	19	14	25	5	0	-	33
PDG1	0	19	23	13	44	-	2	presentes	29

III.7.4 Difractogramas da fração argilosa dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 e do solo moderno

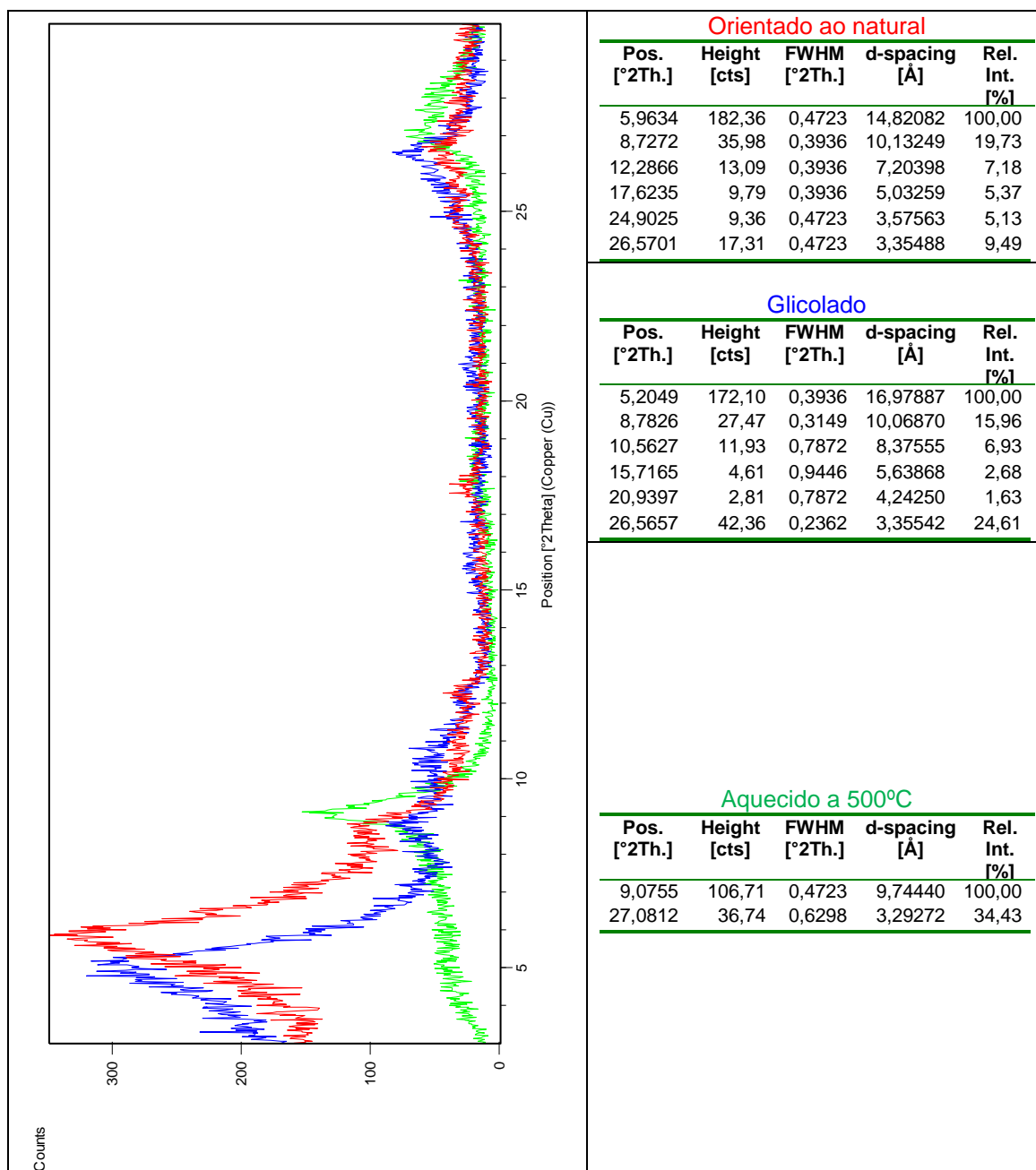


Figura III.139 Difractogramas da fração argilosa da amostra PDG1, recolhida no preenchimento do fosso 5 no Recinto de fossos dos Perdigões.

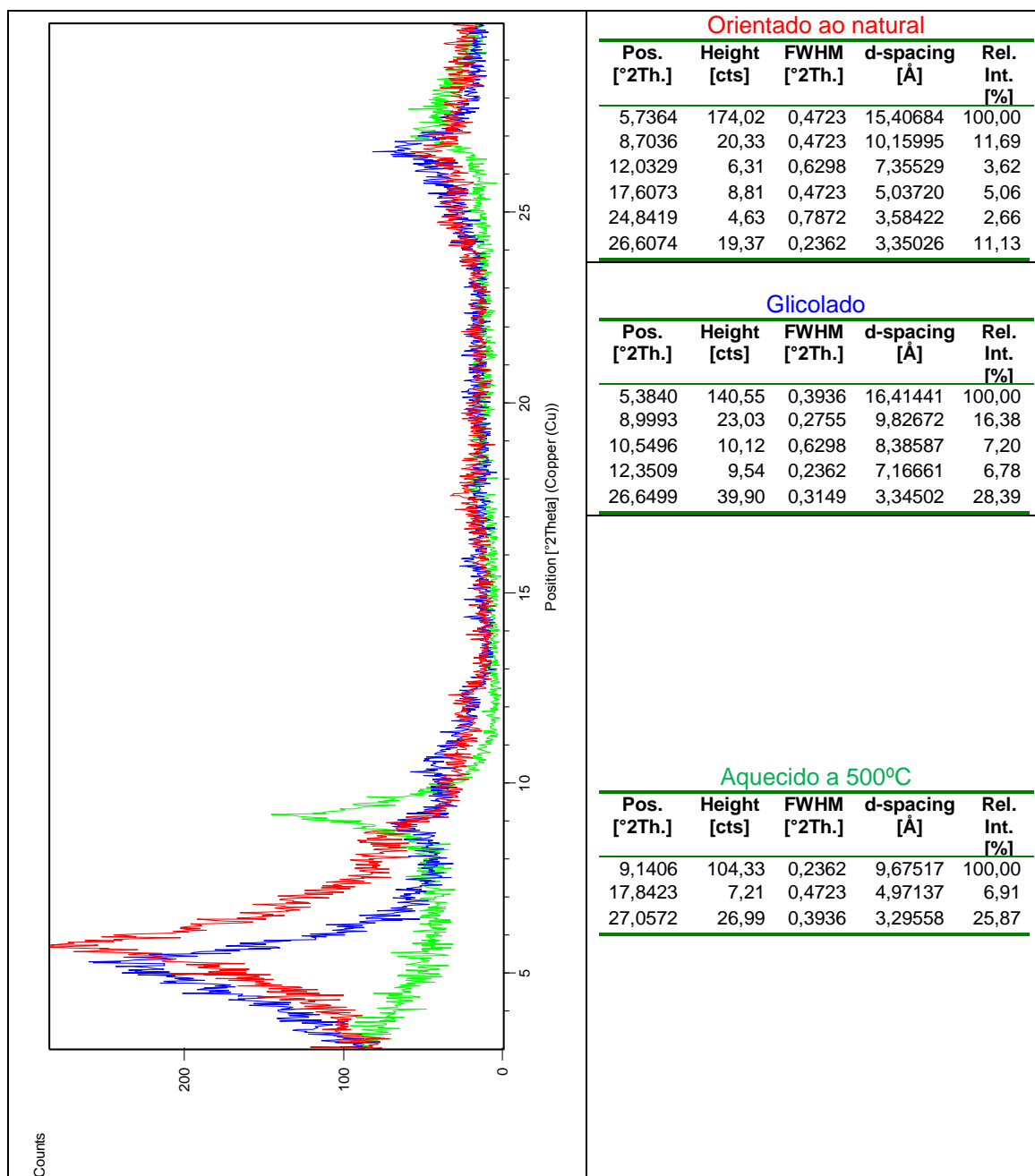


Figura III.140 Difractogramas da fração argilosa da amostra PDG2, recolhida no preenchimento do fosso 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

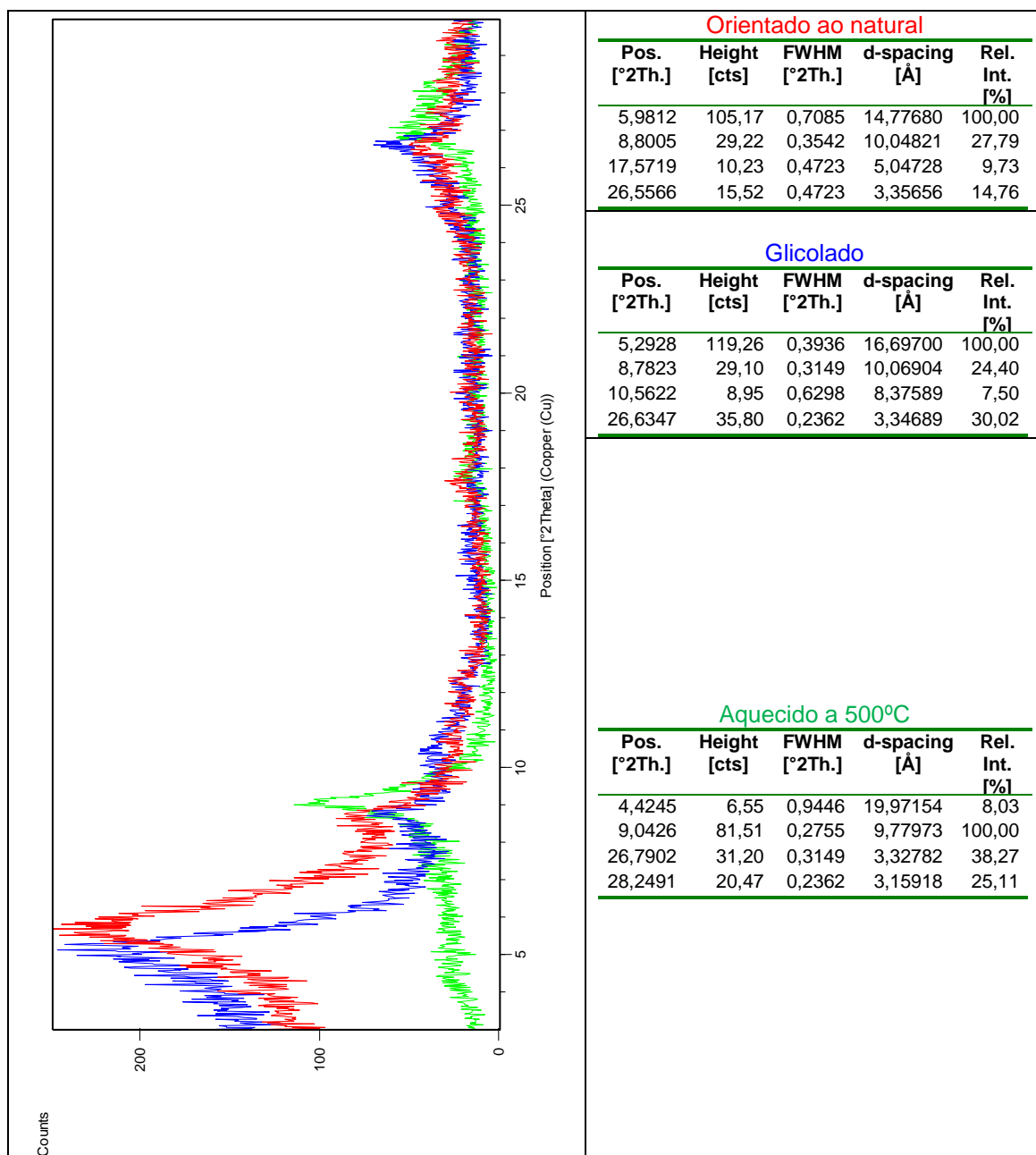


Figura III.141 Difractogramas da fração argilosa da amostra PDG3, recolhida no preenchimento do fosso 12 no Recinto de fossos dos Perdígões.

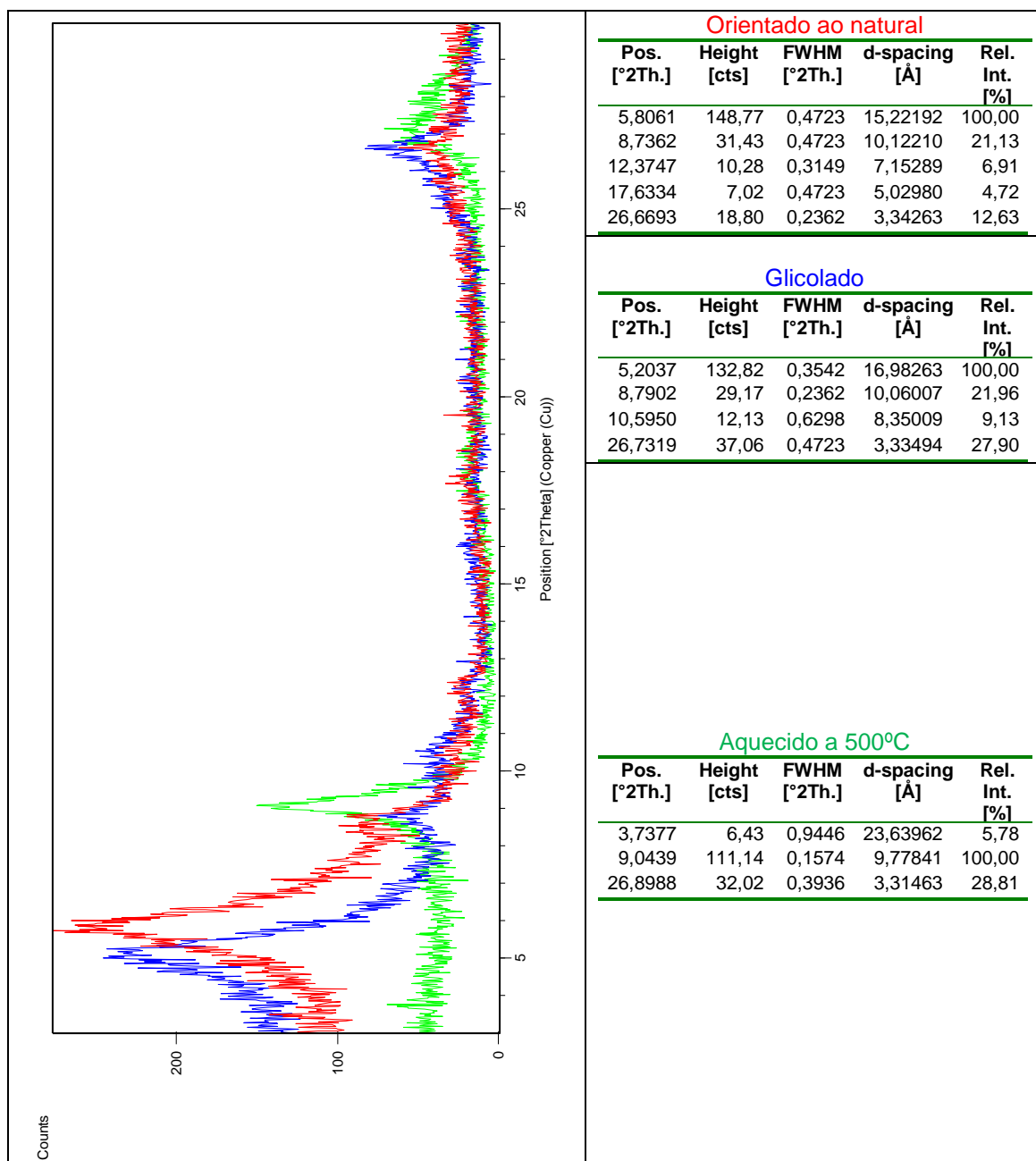


Figura III.142 Difractogramas da fração argilosa da amostra PDGb, recolhida no solo moderno que cobre os fossos 5 e 12 no Recinto de fossos dos Perdigões.

III.7.5 Semiquantificação da fração argilosa dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 e do solo moderno

Tabela III.16 Semiquantificação dos minerais presentes na fração argilosa dos materiais recolhidos no Recinto de fossos dos Perdigões.

Amostra	Esmectite	Ilite
PDGb	46	54
PDG3	39	61
PDG2	52	48
PDG1	49	51

III.7.6 Difractogramas da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo na área de escavação do fosso 8

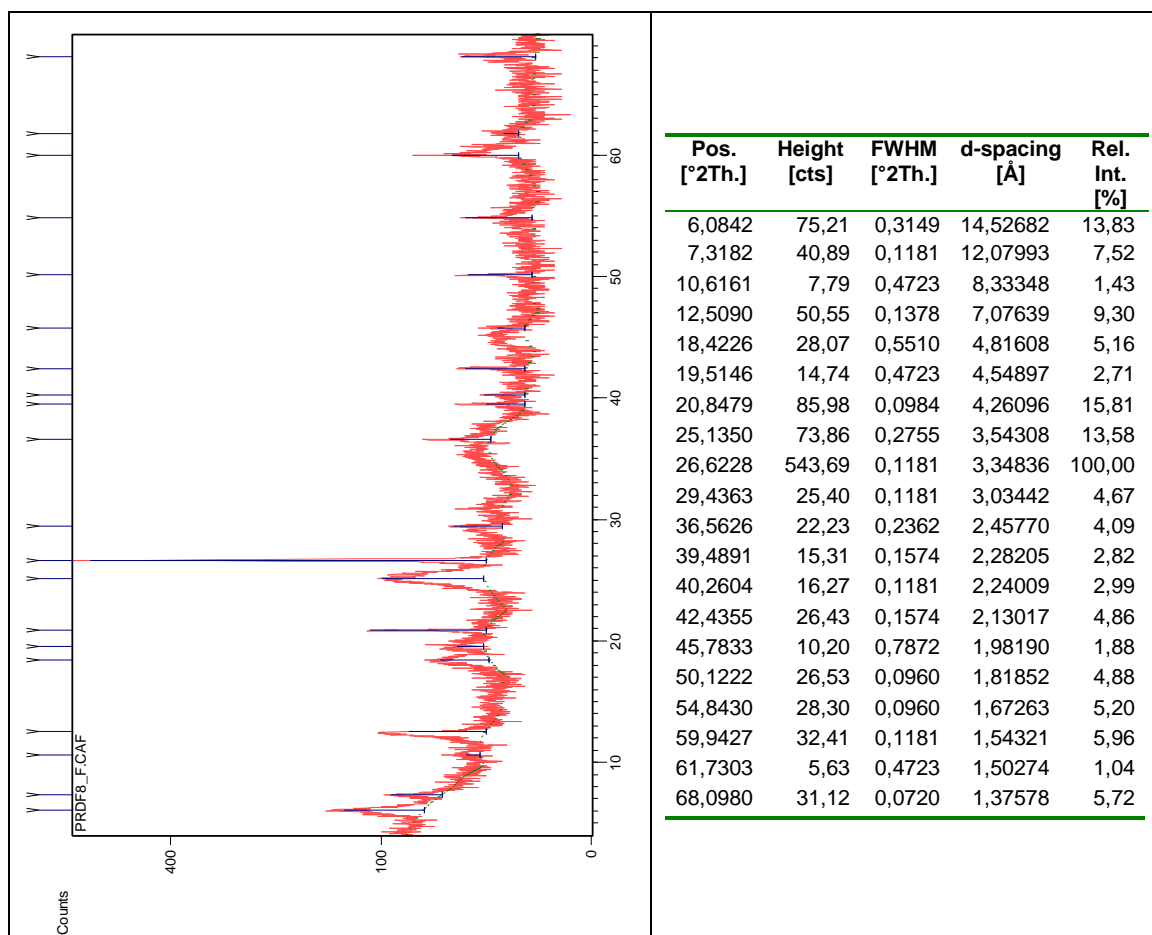


Figura III.143 Difractograma da amostra total PDGf, recolhida no filão rosado na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

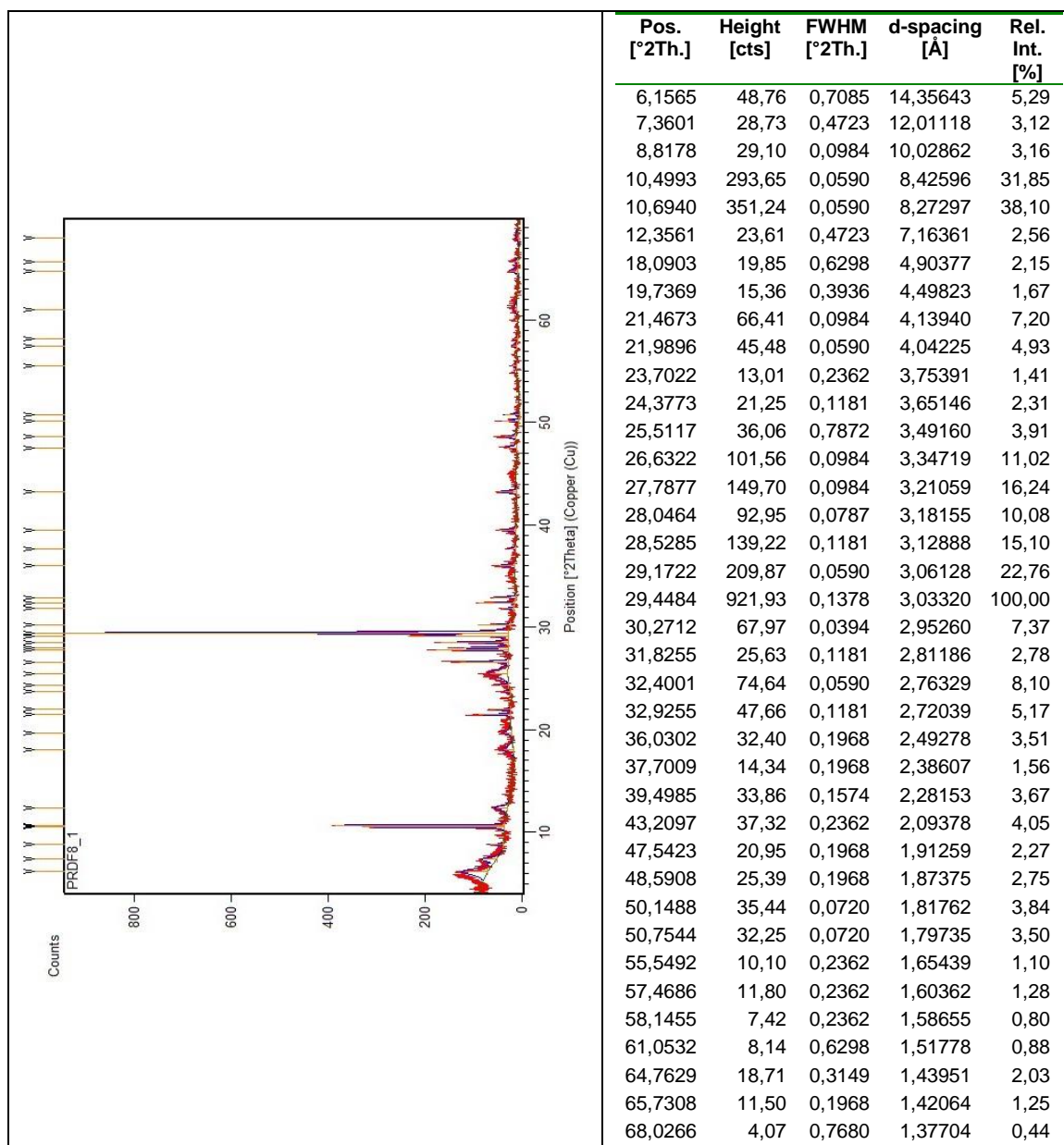


Figura III.144 Difratoograma da amostra total PDGg, recolhida no substrato geológico na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

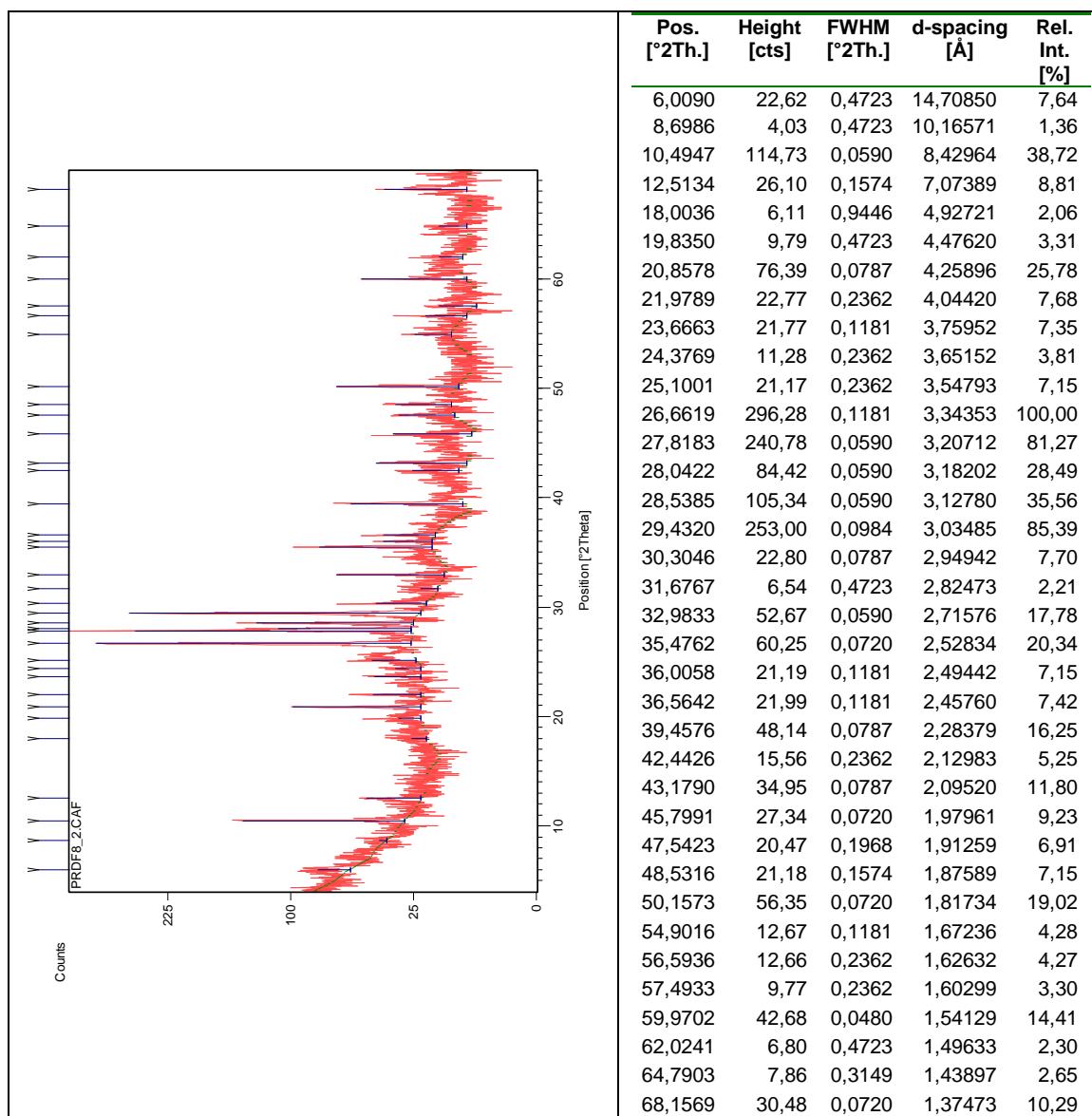


Figura III.145 Difratoograma da amostra total PDGh, recolhida no solo moderno na área de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

III.7.7 Difractogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 8

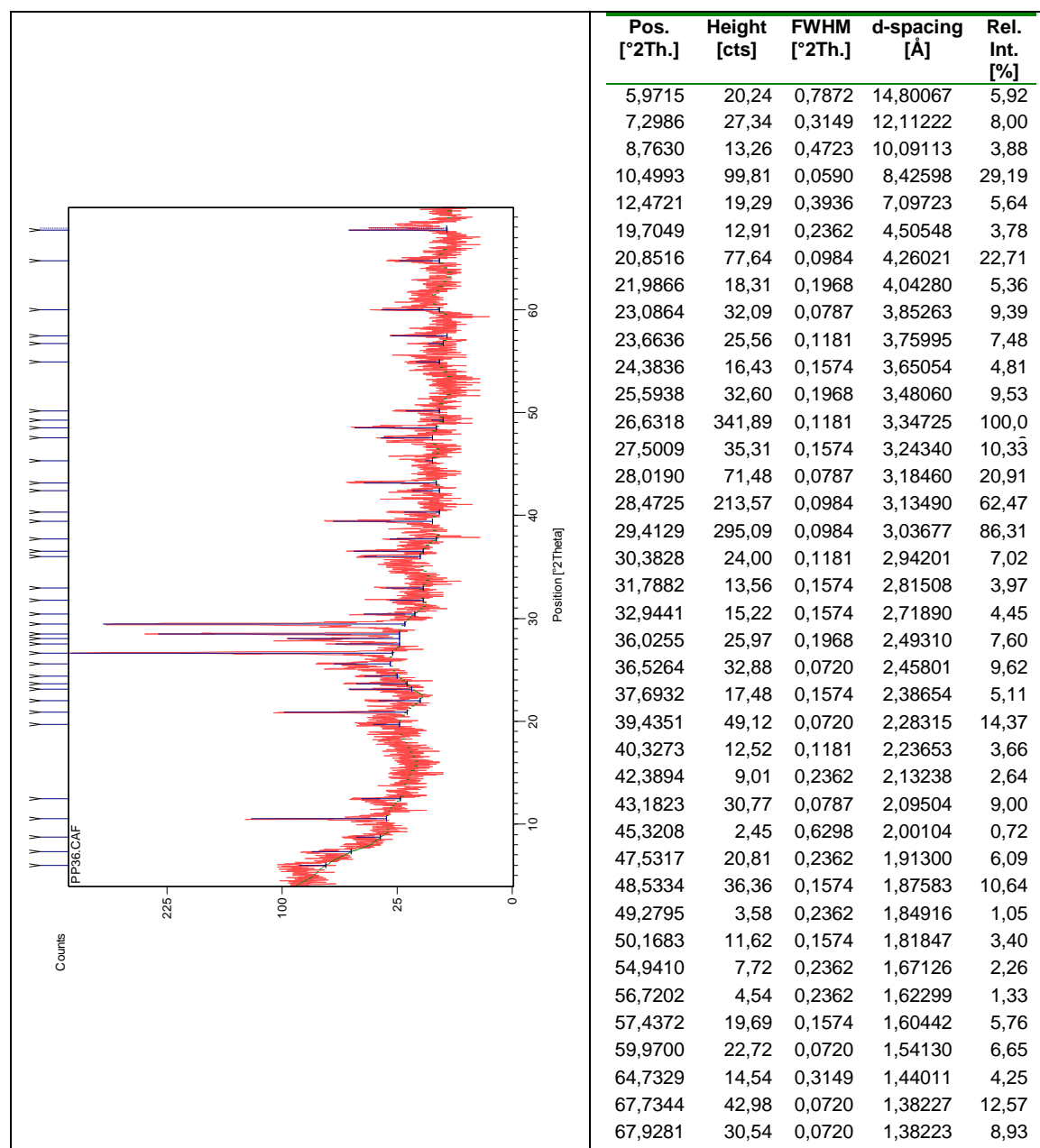


Figura III.146 Difractograma da amostra total PDG4, recolhida na base da sequência de preenchimento do fosso 8, a 116 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

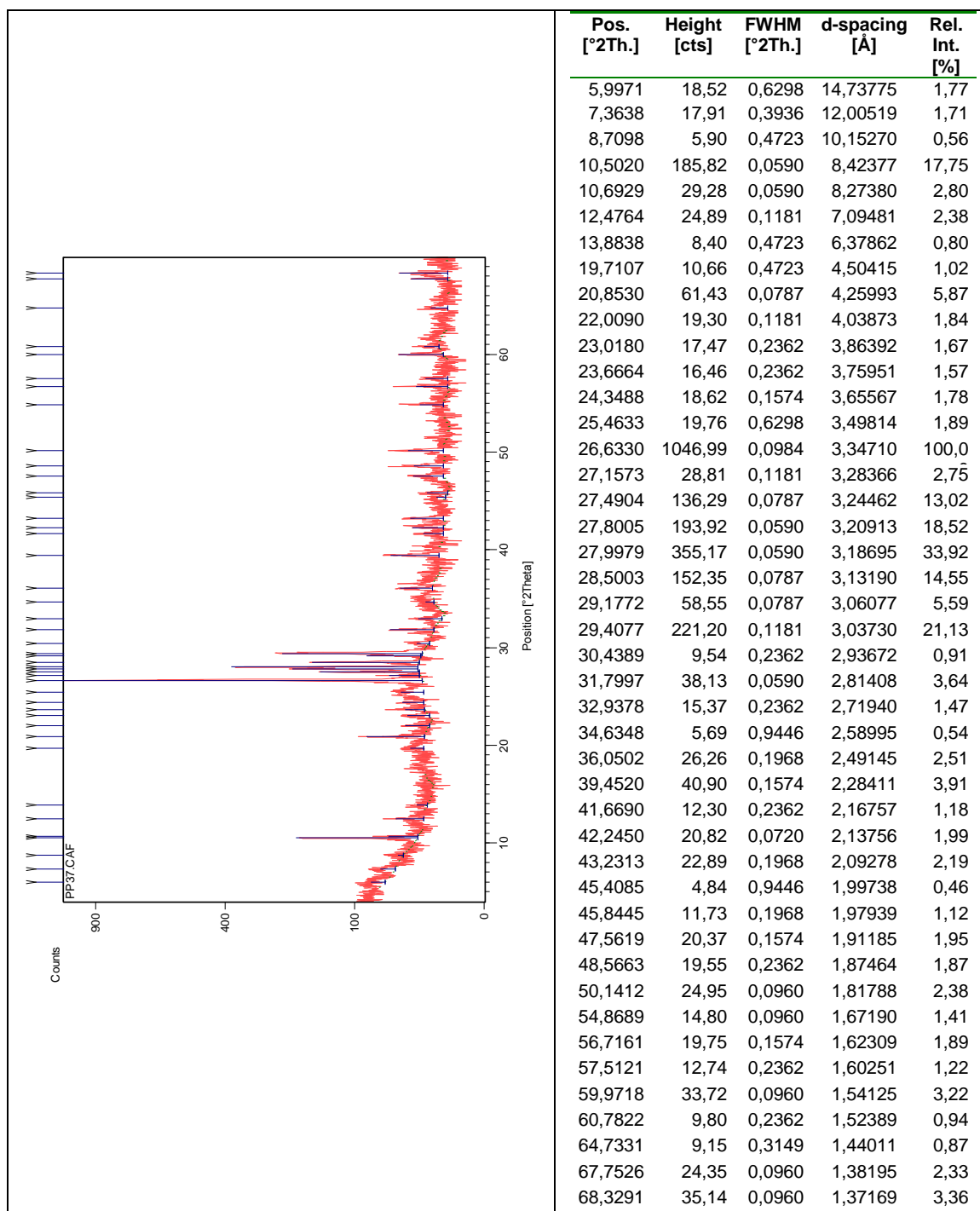


Figura III.147 Difratoograma da amostra total PDG5, recolhida na sequência de preenchimento do fosso 8, a 96 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

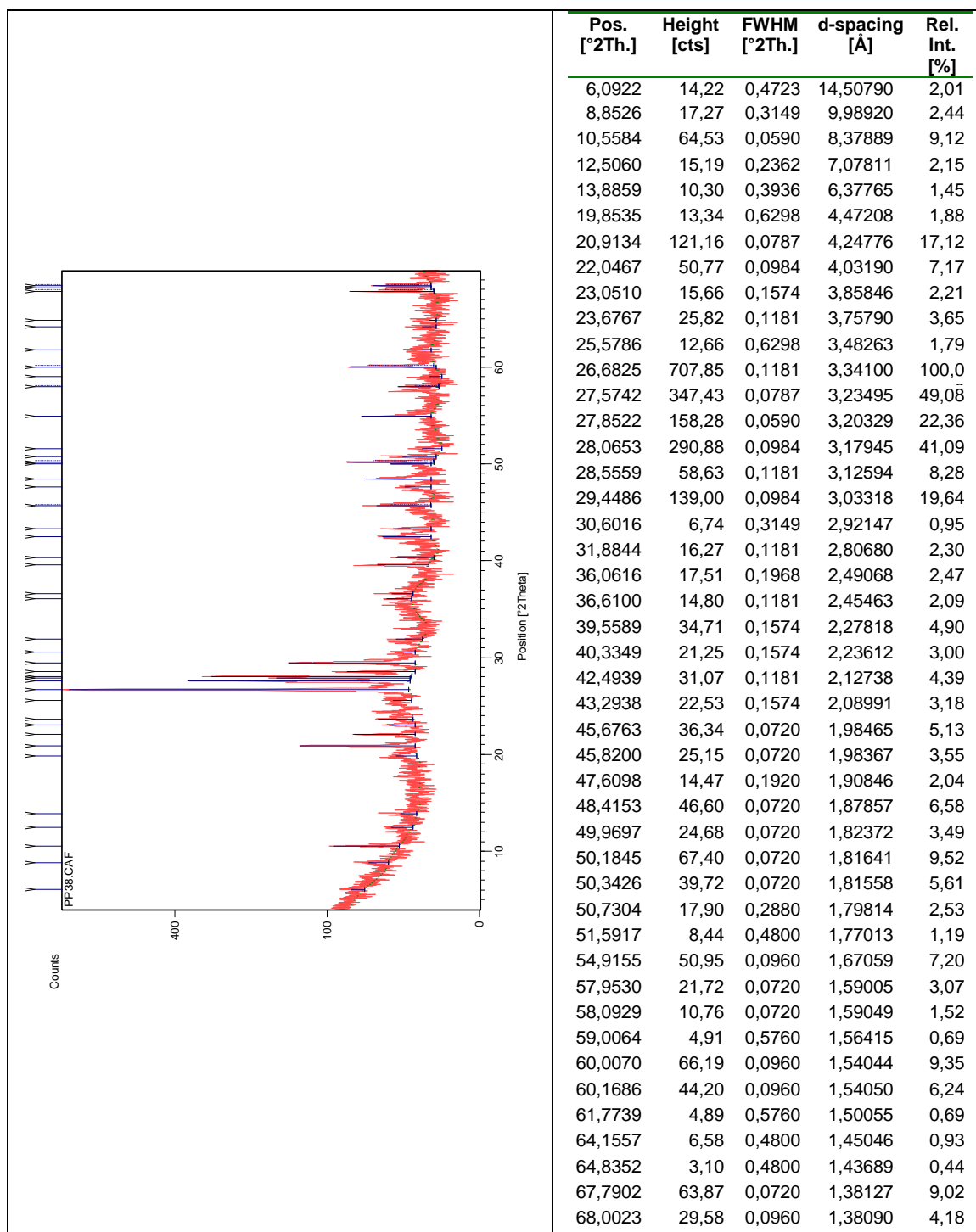


Figura III.148 Difratoograma da amostra total PDG6, recolhida no topo da sequência de preenchimento do fosso 8, a 98 cm de profundidade, no Recinto de fossos dos Perdigões.

III.7.8 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais do substrato geológico e solo e dos materiais de preenchimento do fosso 8

Tabela III.17 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos do substrato geológico e solo e dos materiais de preenchimento do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

Amostras	Calcite	Filossilicatos	Quartzo	Plagioclase	Anfíbola	Rutilo	Anatase	Micas	MIA
PDG6	8	46	22	16	4	-	4	Presentes	58
PDG5	14	27	28	11	7	6	7	Presentes	72
PDG4	25	26	16	5	18	5	5	Presentes	76
PDGh	22	40	16	12	6	-	4	Presentes	57
PDGg	55	28	2	7	8	-	-	Presentes	22
PDGf	5	-	58	-	-	-	37	-	-

III.7.9 Difractogramas e semiquantificação da fração argilosa dos materiais de preenchimento do fosso 8

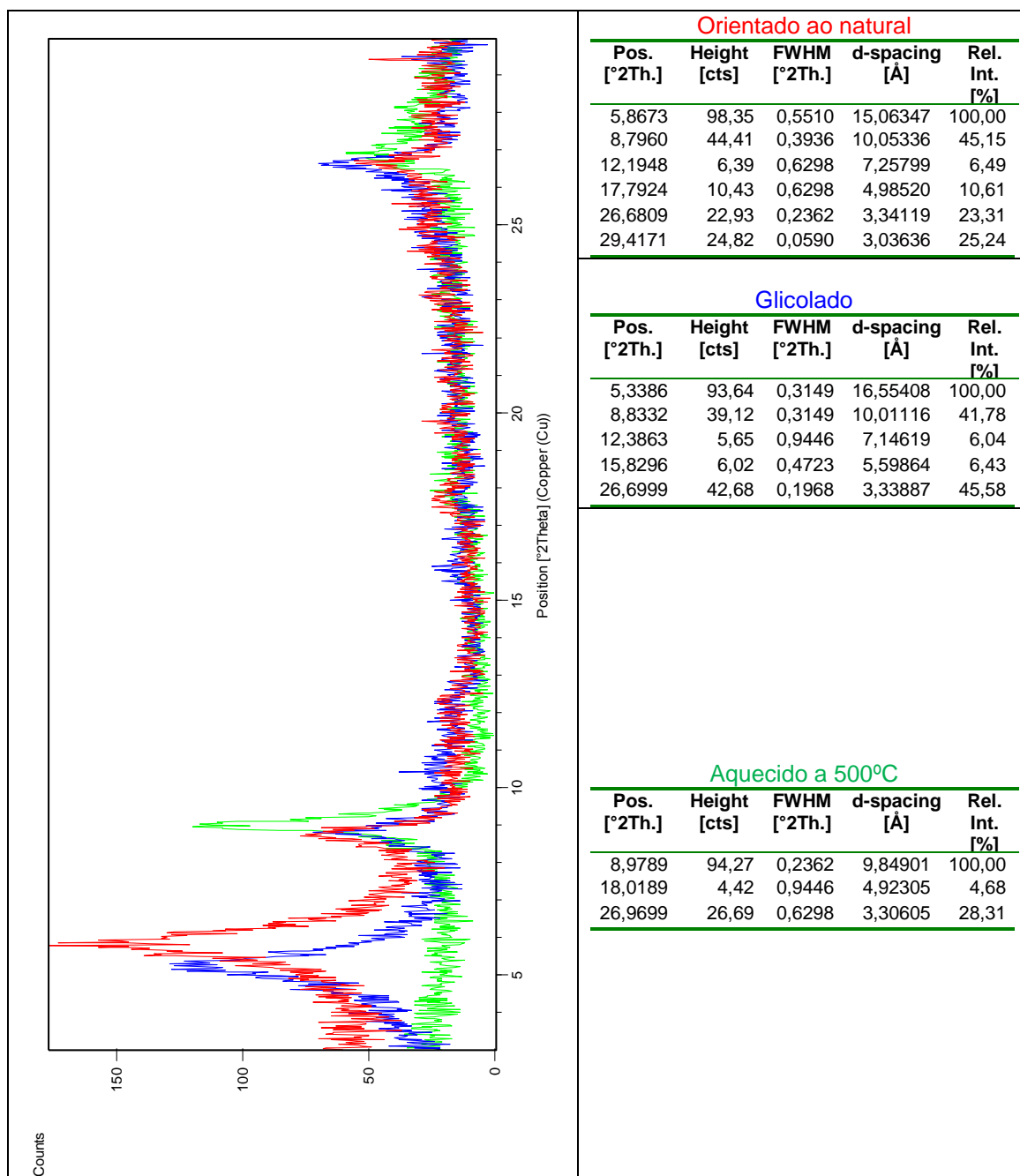


Figura III.149 Difractogramas da fração argilosa da amostra PDG4, recolhida na base do preenchimento do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

Tabela III.18 Semiquantificação dos minerais presentes na fração argilosa dos materiais recolhidos no preenchimento do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões.

Amostra	Esmectite	Ilite	Caulinite
PDG4	66	20	14

III.7.10 Difractogramas da amostra total dos materiais do substrato geológico recolhidos nas paredes do fosso 6

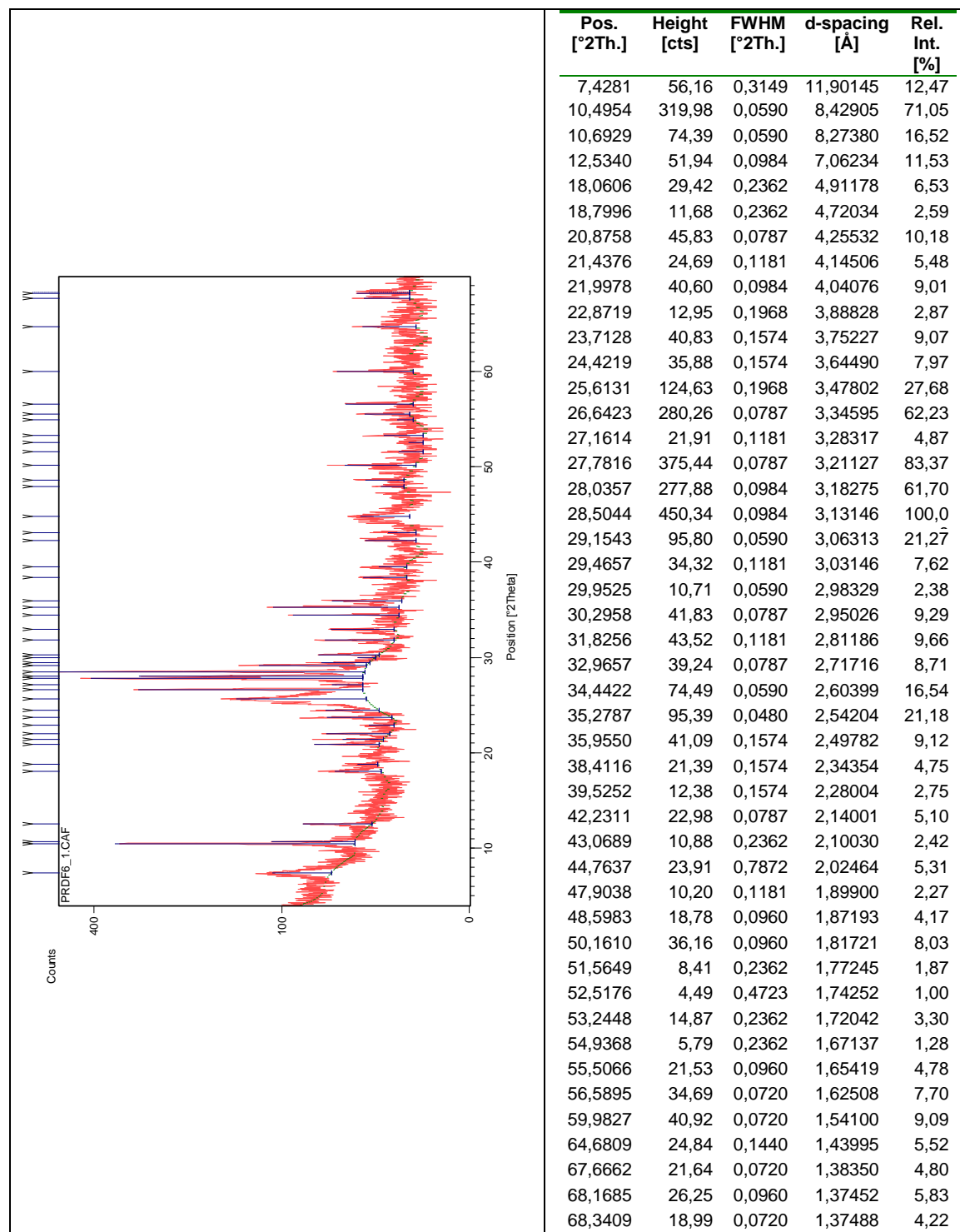


Figura III.150 Difractograma da amostra total PDGM, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

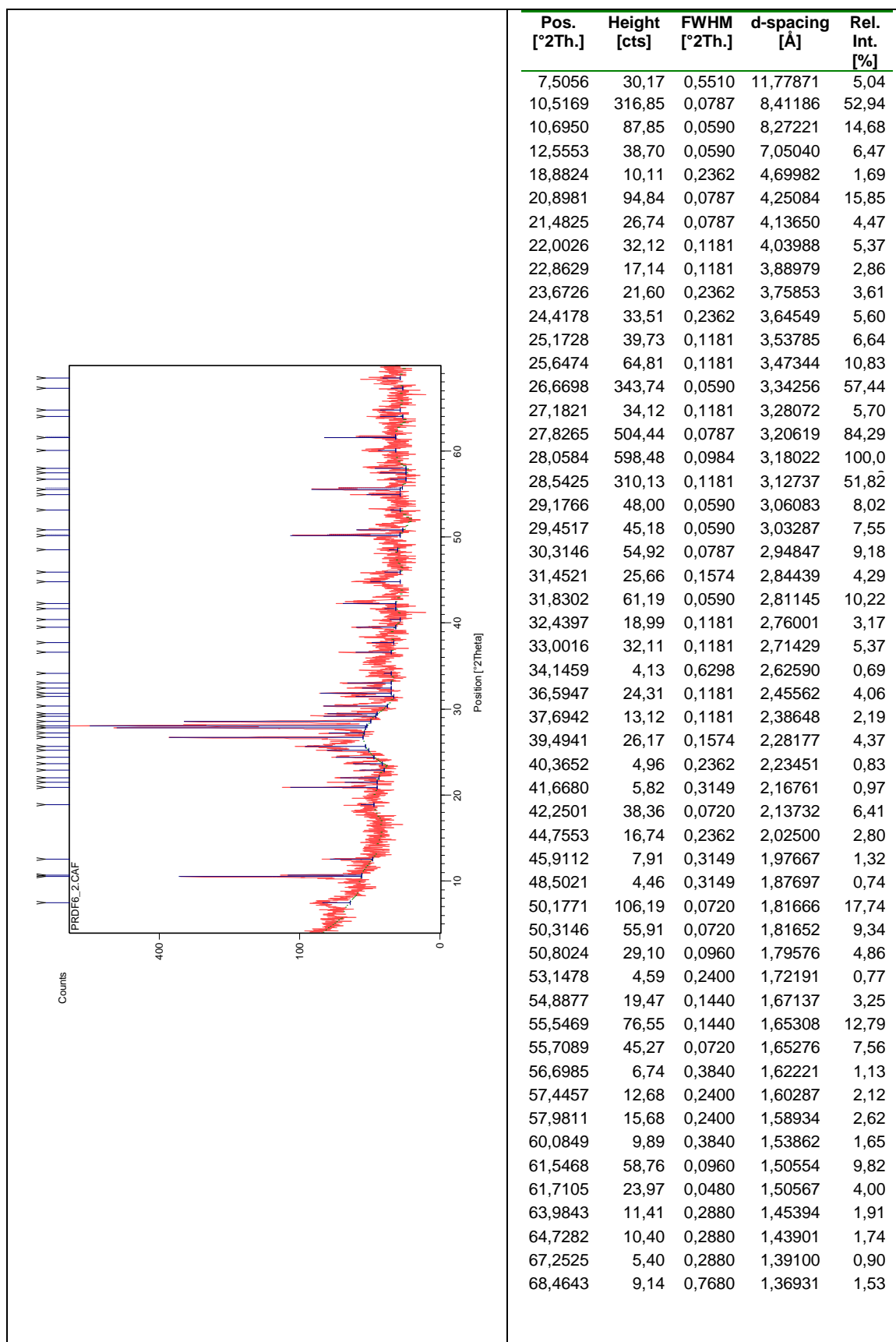


Figura III.151 Difratoograma da amostra total PDGn, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

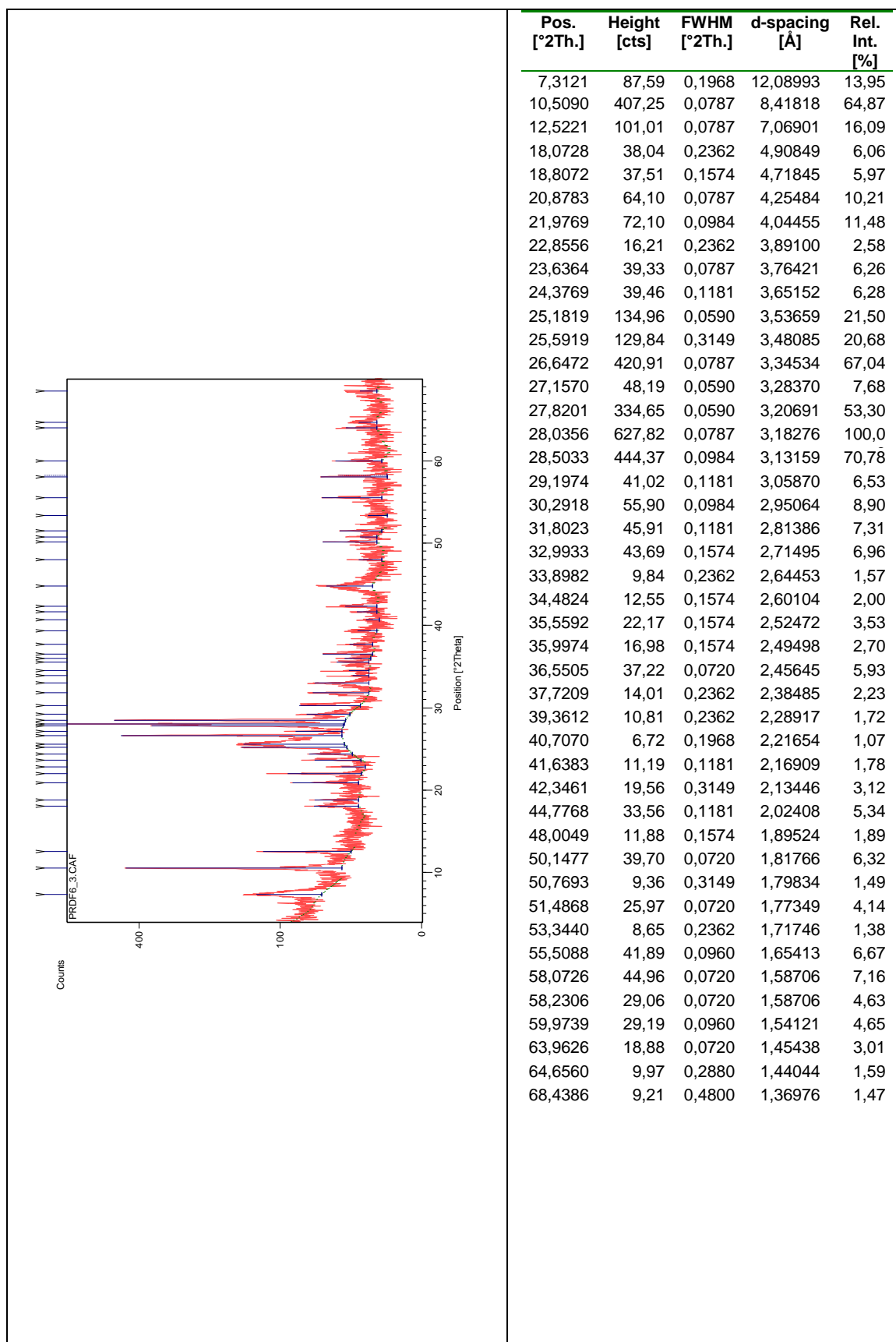


Figura III.152 Difratoograma da amostra total PDGo, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

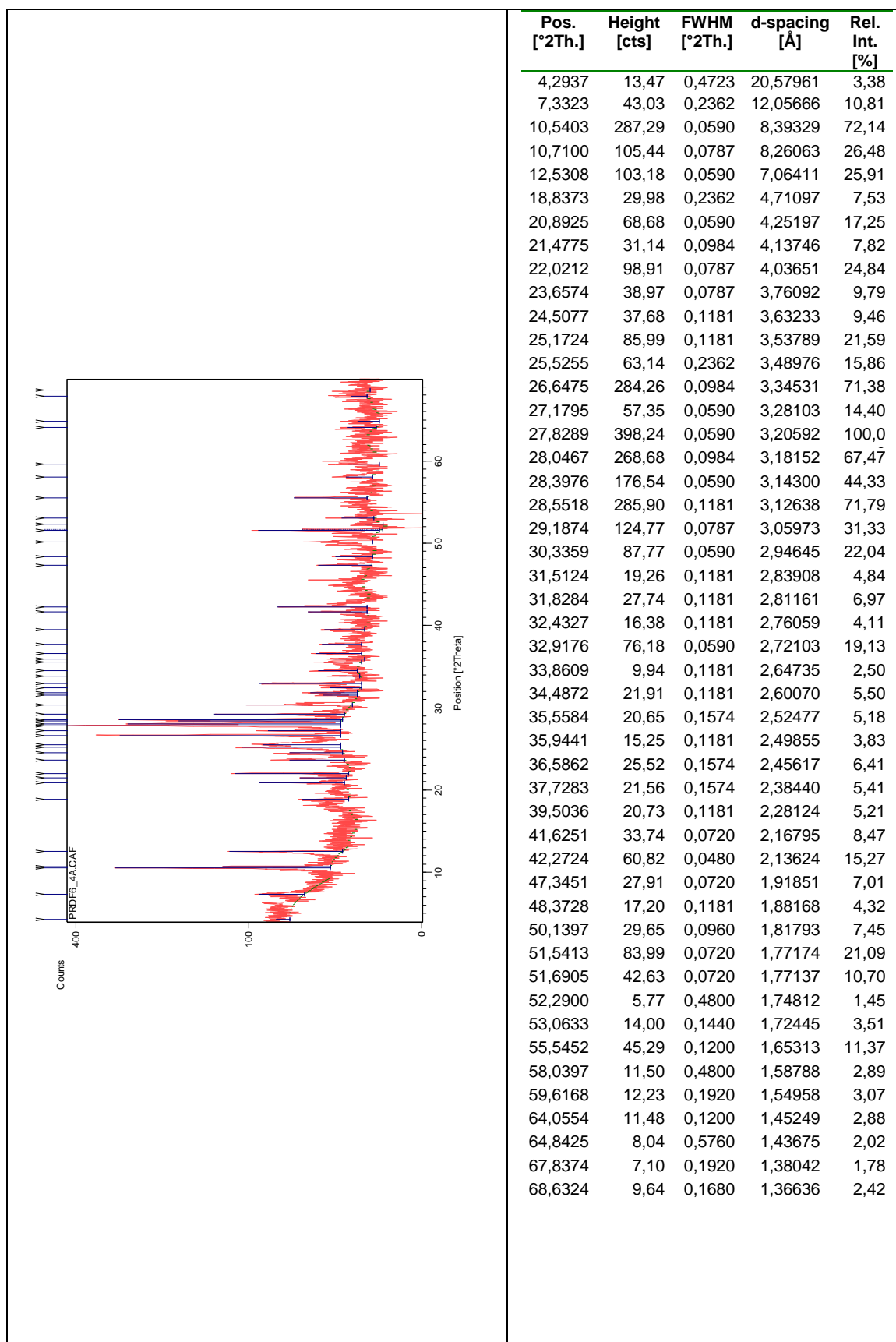


Figura III.153 Difratoograma da amostra total PDGp, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

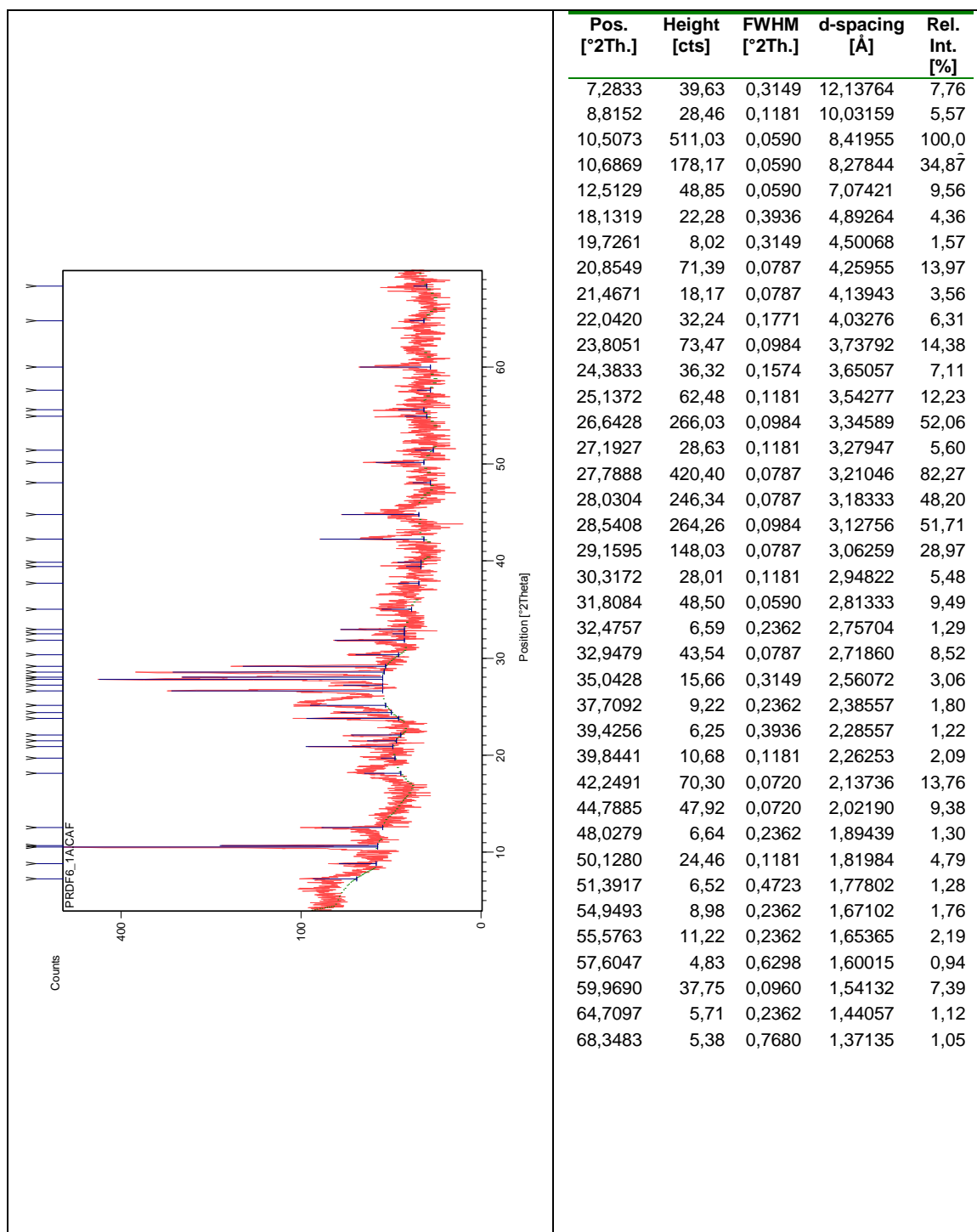


Figura III.154 Difratoograma da amostra total PDGi, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

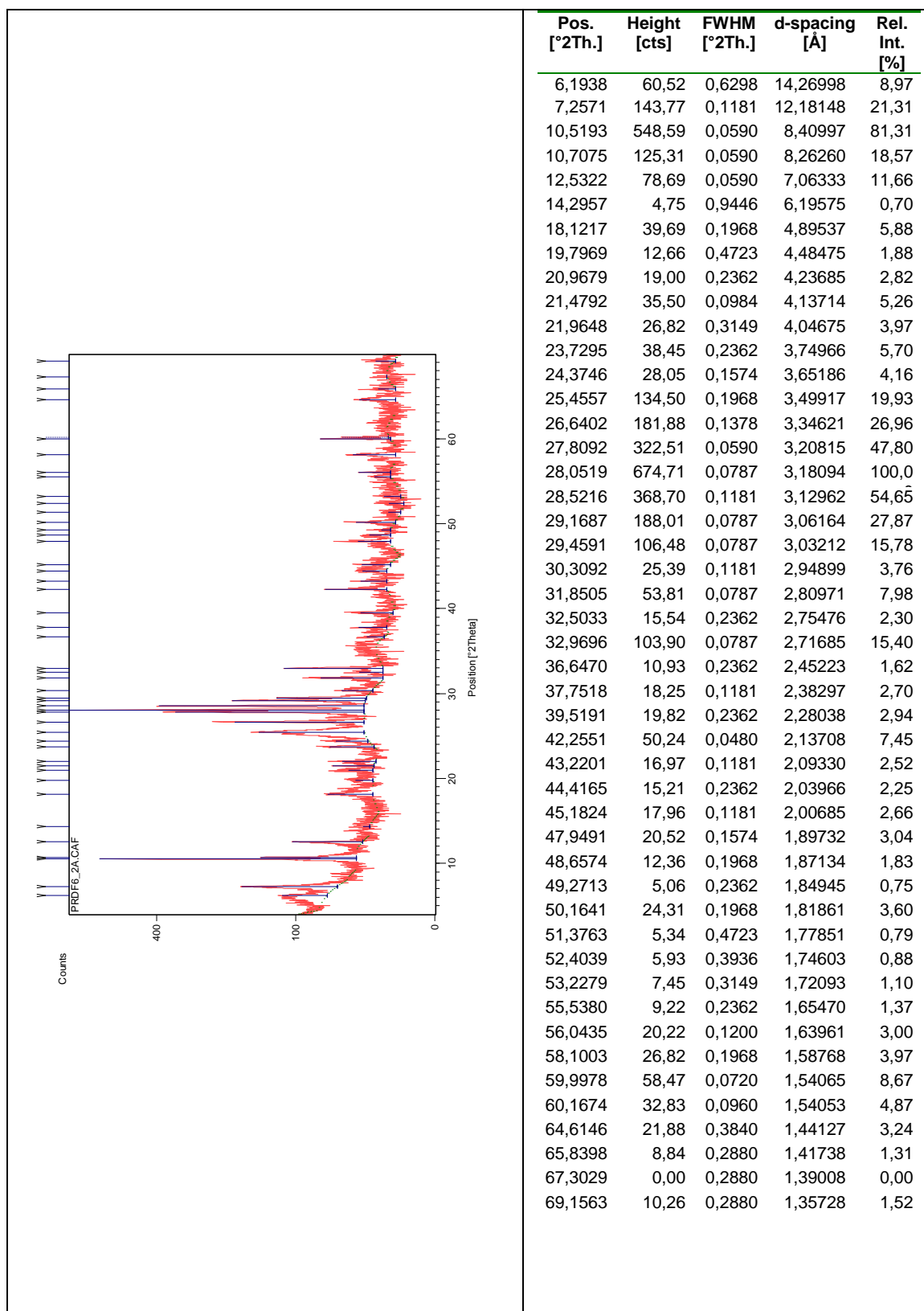


Figura III.155 Difratoograma da amostra total PDGj, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

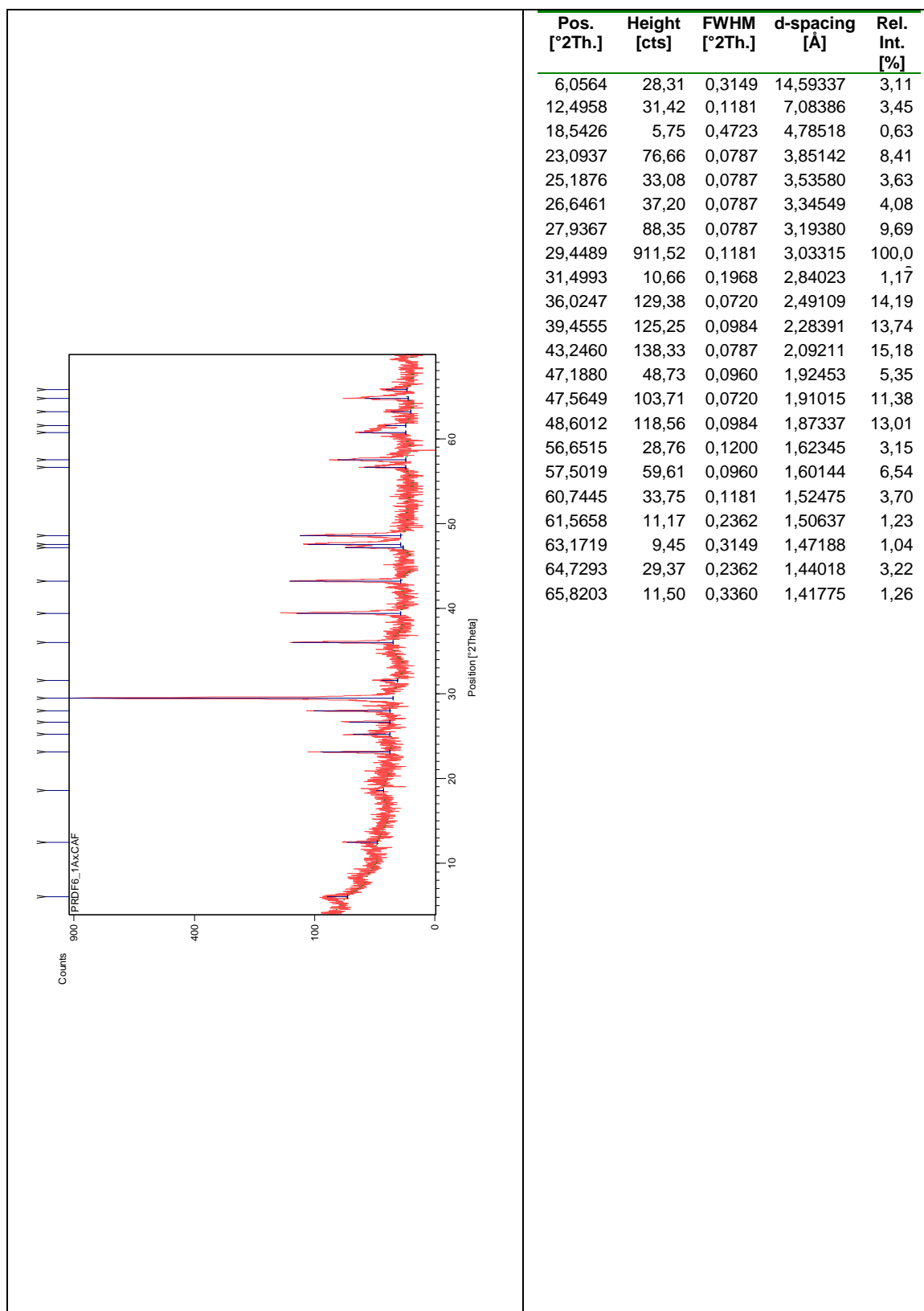


Figura III.156 Difratoograma da amostra total PDGk, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

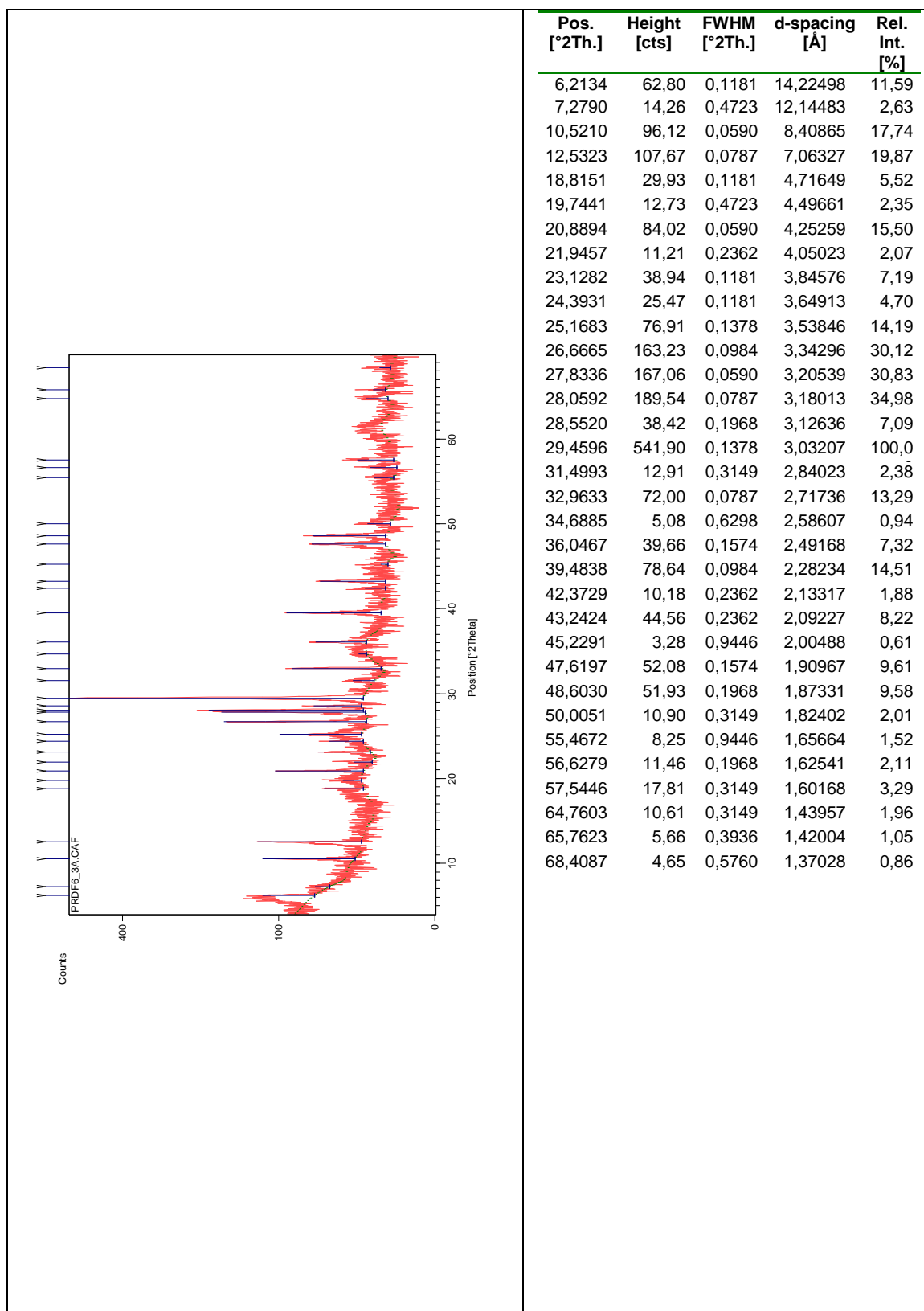


Figura III.157 Difratoograma da amostra total PDGI, recolhida na parede do fosso 6 no Recinto de fossos dos Perdigões.

III.7.11 Difratogramas da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 6

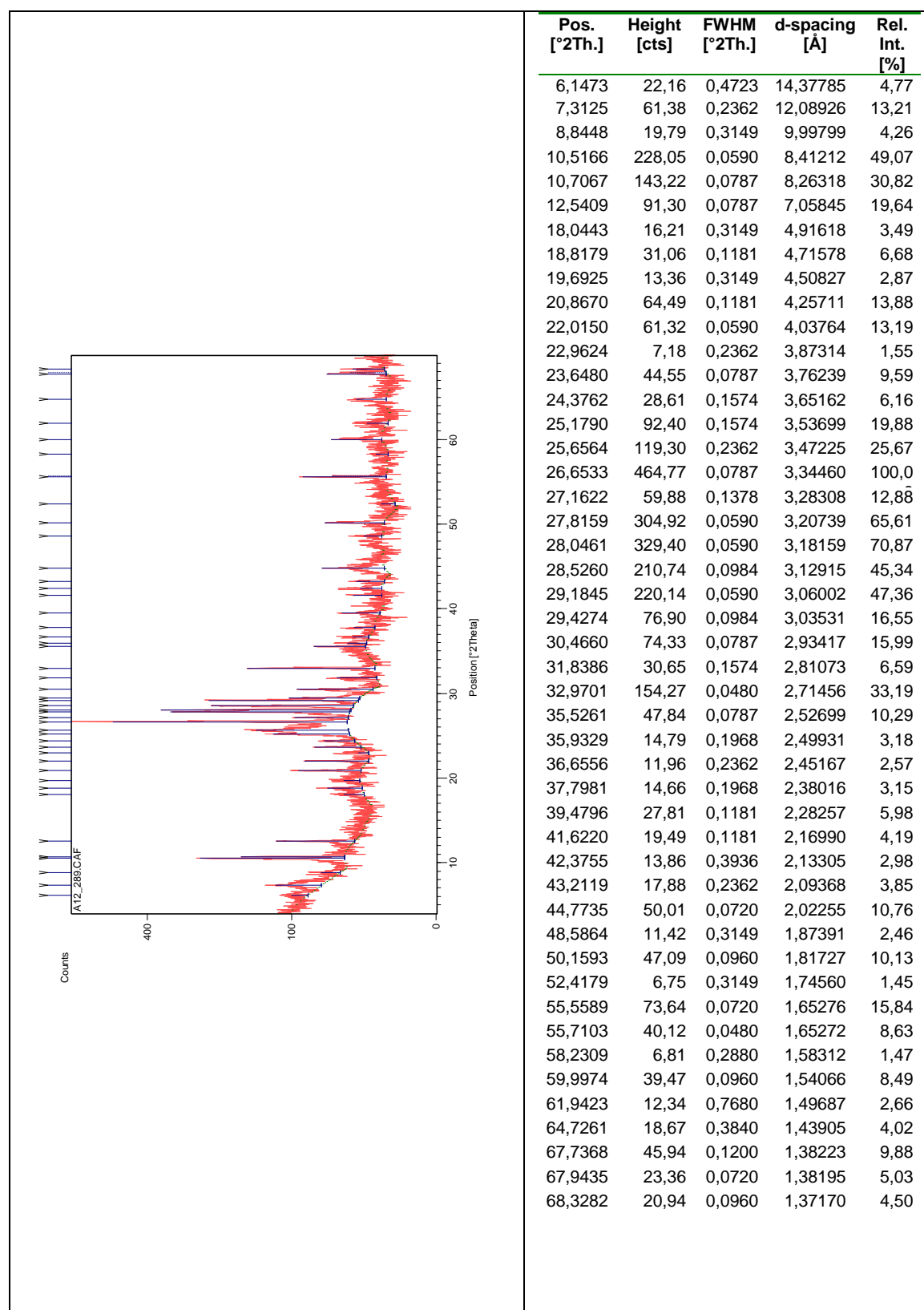


Figura III.158 Difratograma da amostra total PDG6_1, recolhida no preenchimento do fosso 6.

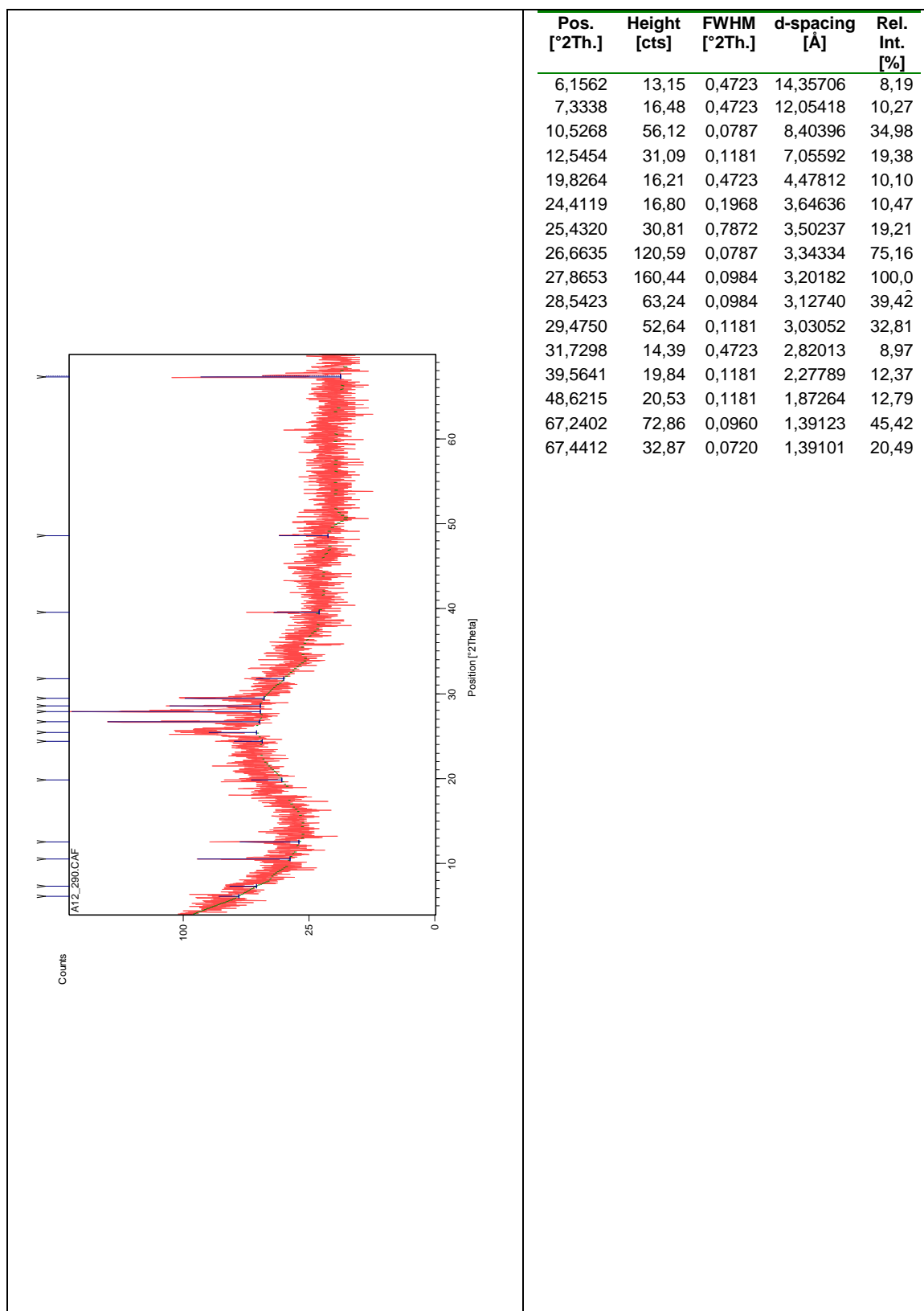


Figura III.159 Difratoograma da amostra total PDG6_2, recolhida no preenchimento do fosso 6.

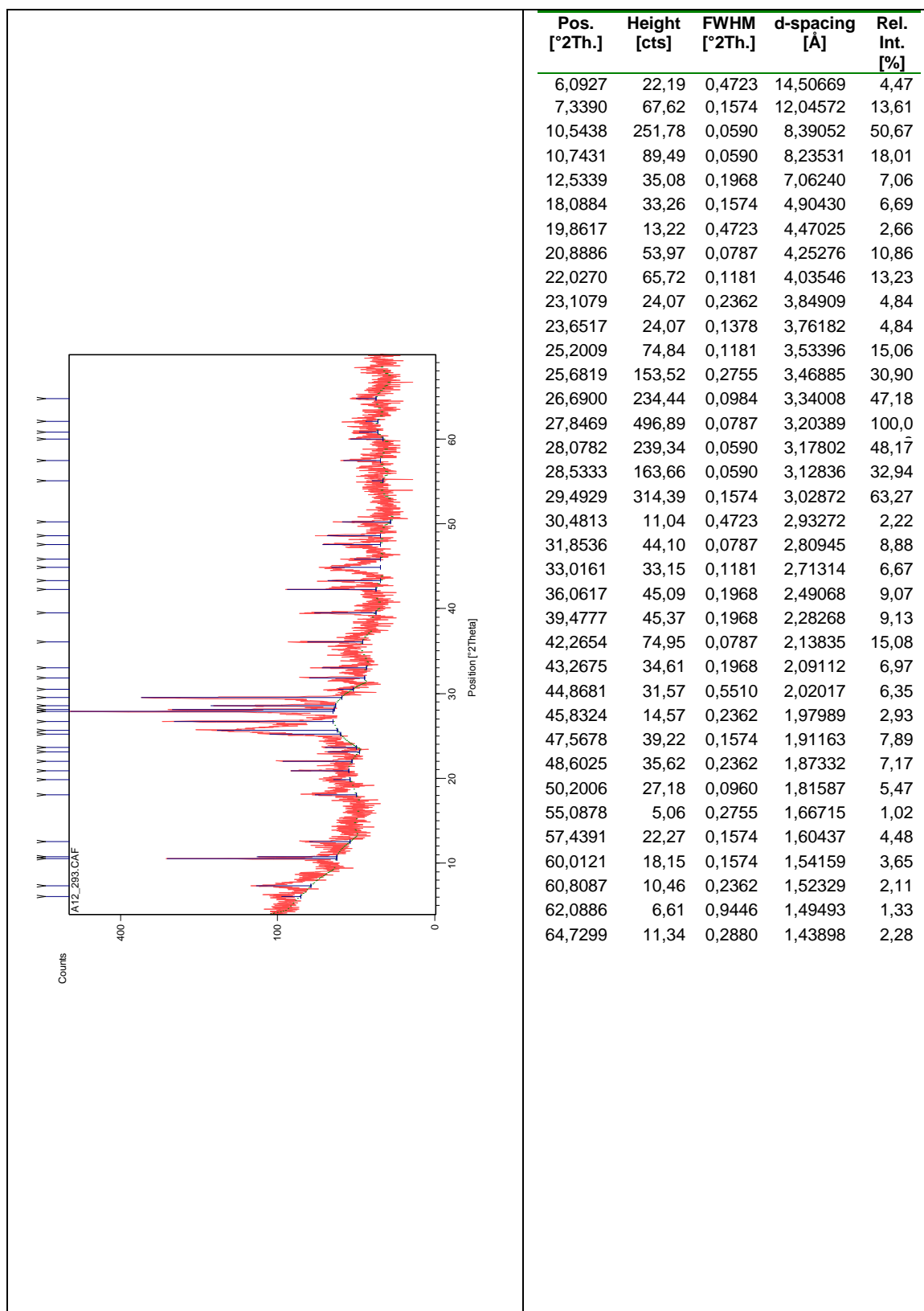


Figura III.160 Difractograma da amostra total PDG6_3, recolhida no preenchimento do fosso 6.

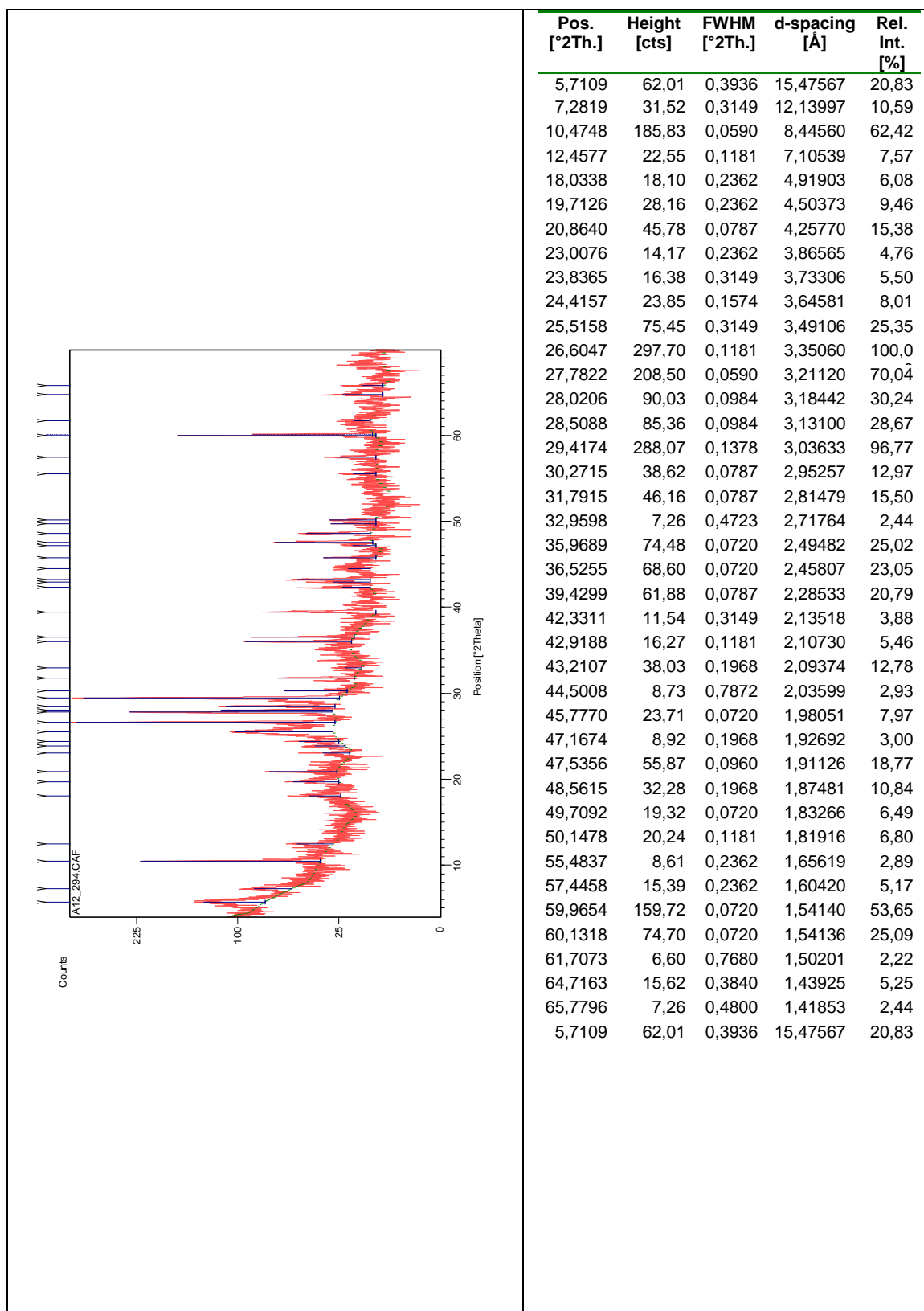


Figura III.161 Difractograma da amostra total PDG6_4, recolhida no preenchimento do fosso 6.

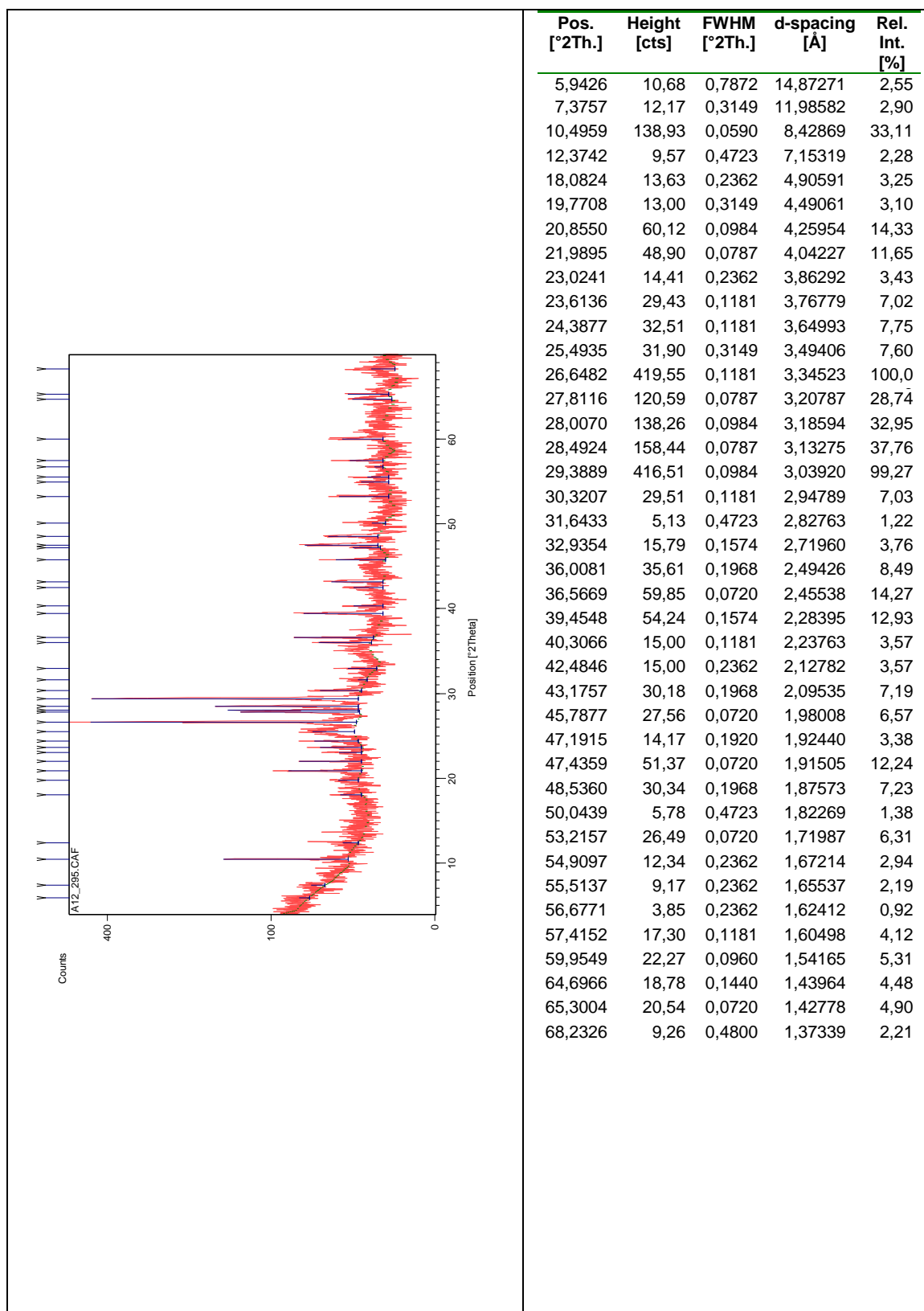


Figura III.162 Difractograma da amostra total PDG6_5, recolhida no preenchimento do fosso 6.

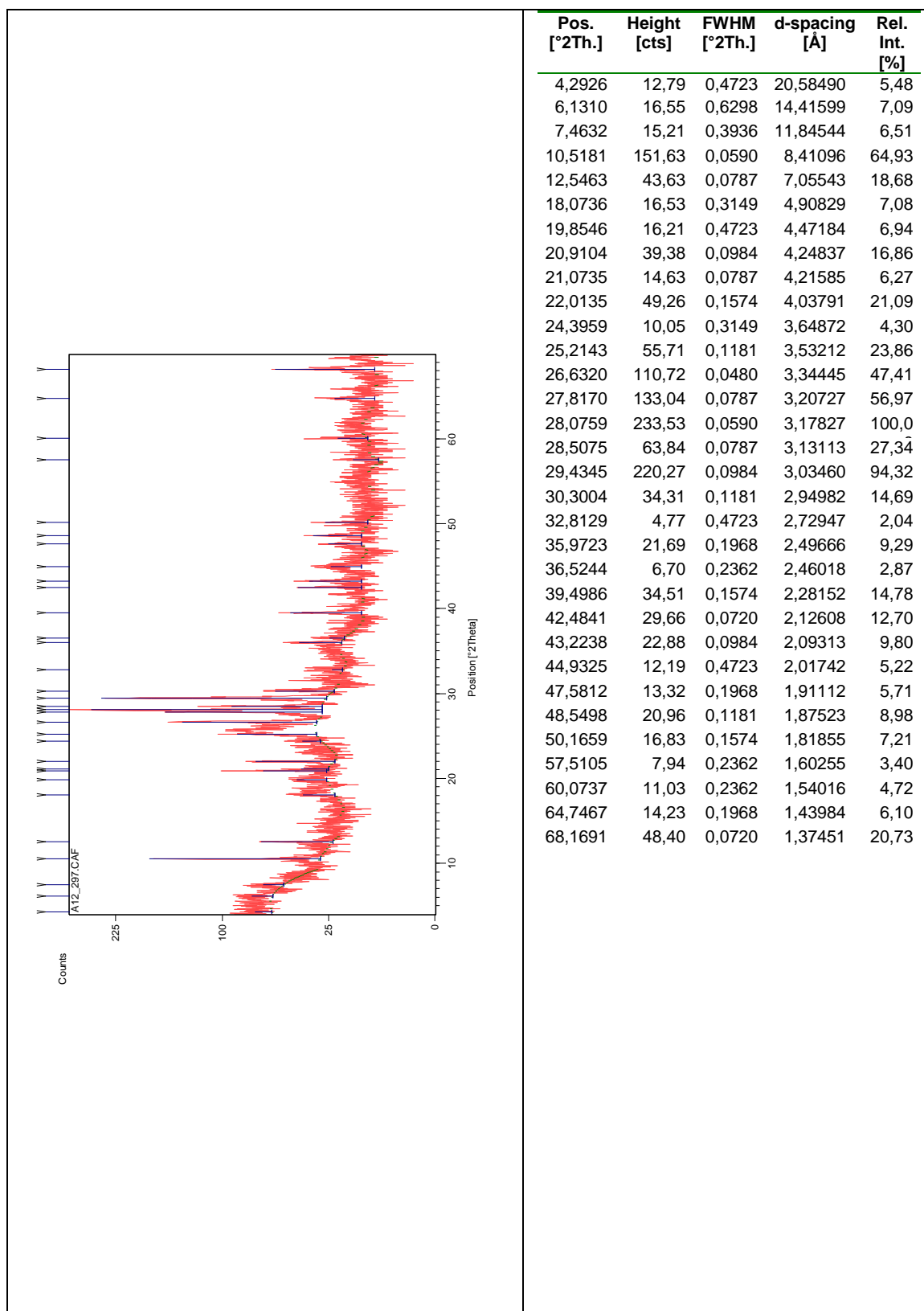


Figura III.163 Difractograma da amostra total PDG6_6, recolhida no preenchimento do fosso 6.

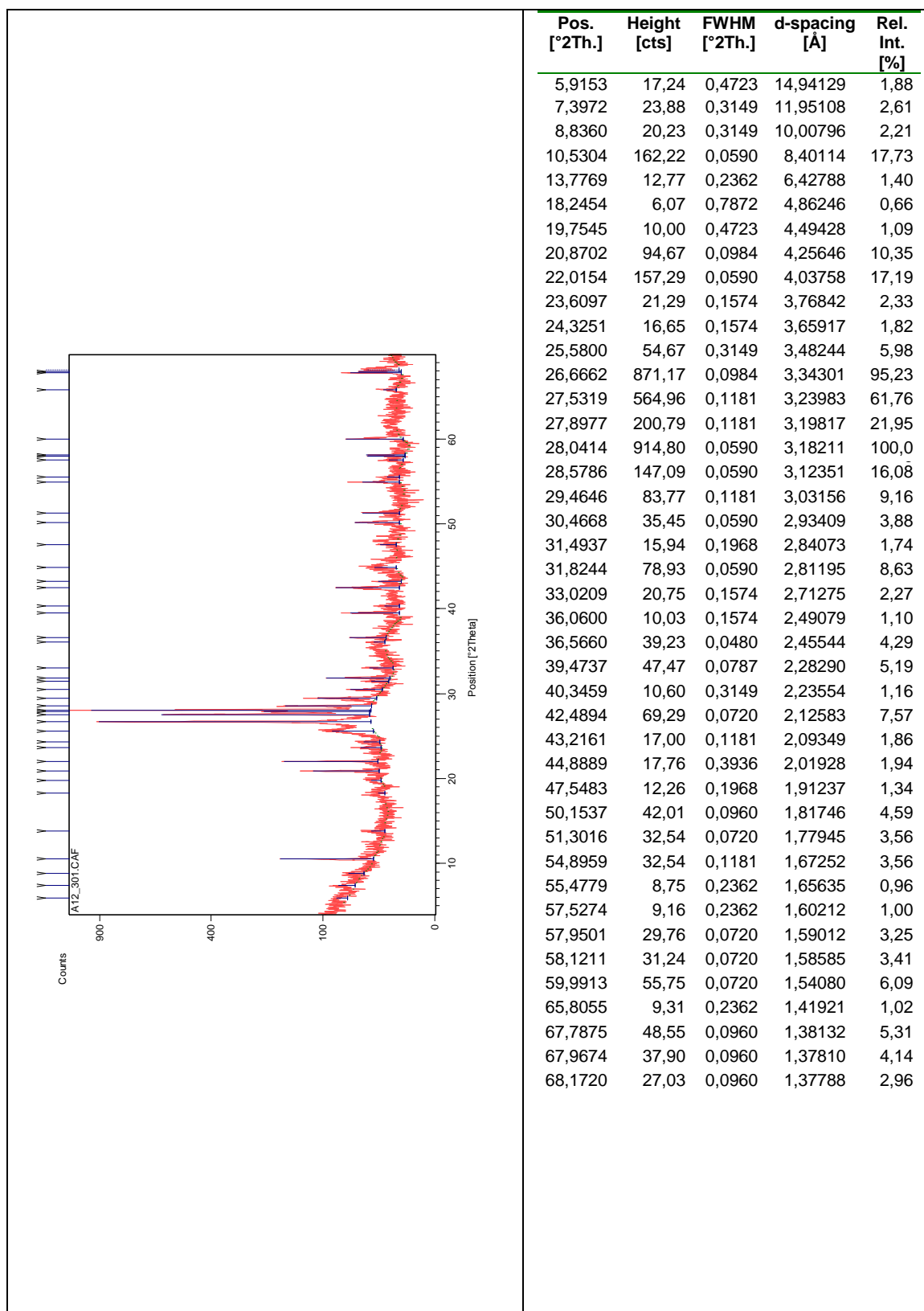


Figura III.164 Difratoograma da amostra total PDG6_7, recolhida no preenchimento do fosso 6.

III.7.12 Semiquantificação e MIA dos materiais recolhidos no fosso 6

Tabela III.19 Semiquantificação e MIA dos materiais recolhidos no fosso 6 do recinto de fossos dos Perdigões

Amostras	Semiquantificação (%)							MIA
	Calcite	Filossilicatos	Quartzo	Plagioclase	Anfíbola	Rutilo	Anatase	
PDGp		1	22	35	26		16	39
PDGo		1	12	34	29	18	6	26
PDGn	2	1	10	57	25		5	15
PDGm		4	10	26	38		22	28
PDGI	42	35	5	9	3		6	36
PDGk	90	1	1	6			2	14
PDGj	4	31	7	28	16		14	20
PDGi		23	12	30	28		7	29
PDG6_7	30	30	17	10	6		7	63
PDG6_6	4	19	17	22	4	27	7	44
PDG6_5	24	39	10	7	6		14	59
PDG6_4	27	34	6	20	8		5	23
PDG6_3	17	59	2	10	7		5	17
PDG6_2	5	58	4	12	3		18	25
PDG6_1	6	36	15	17	14		12	47

III.7.13 Difratomogramas dos materiais recolhidos na estrutura circular

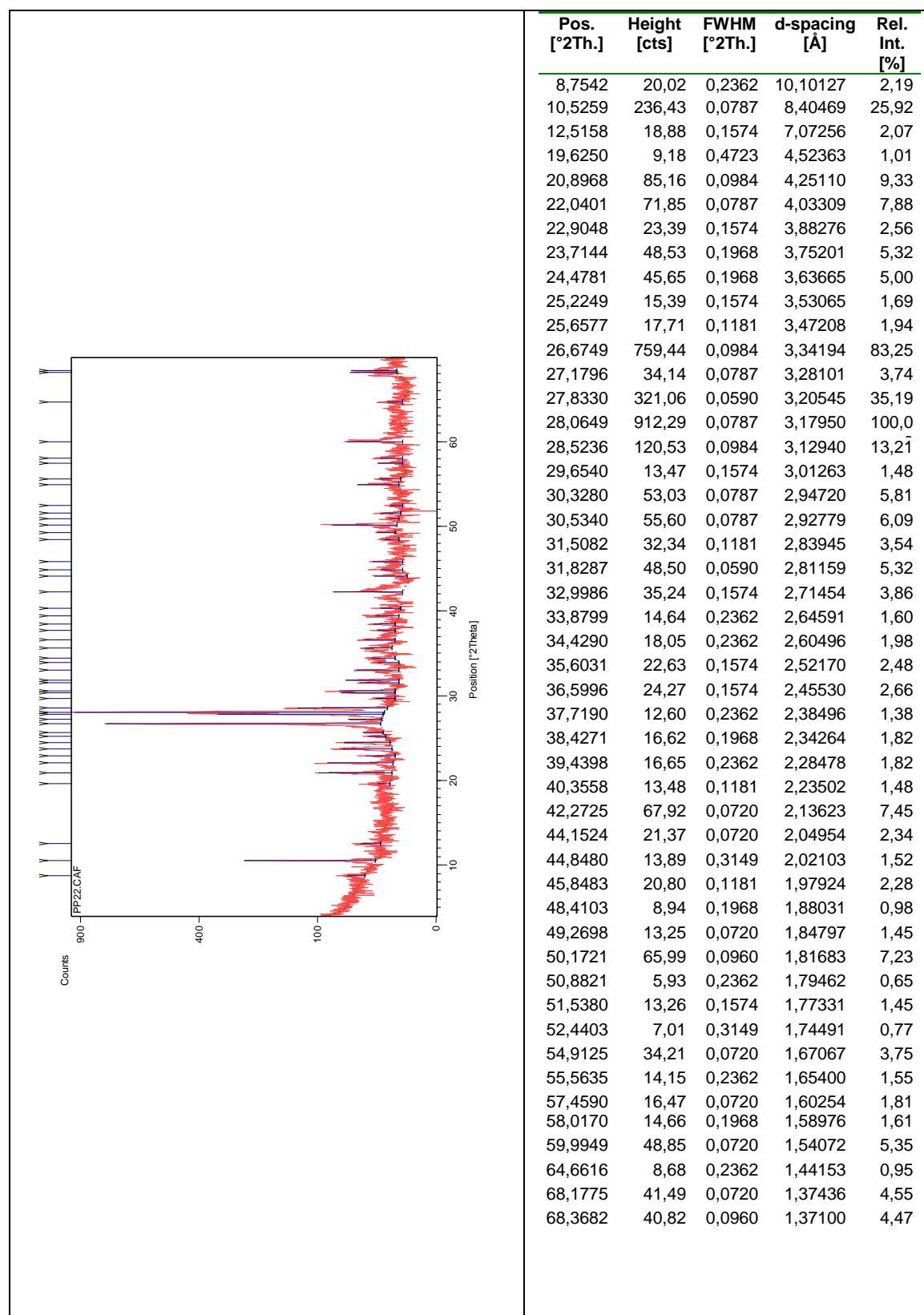


Figura III.165 Difratomograma da amostra total PDG7, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

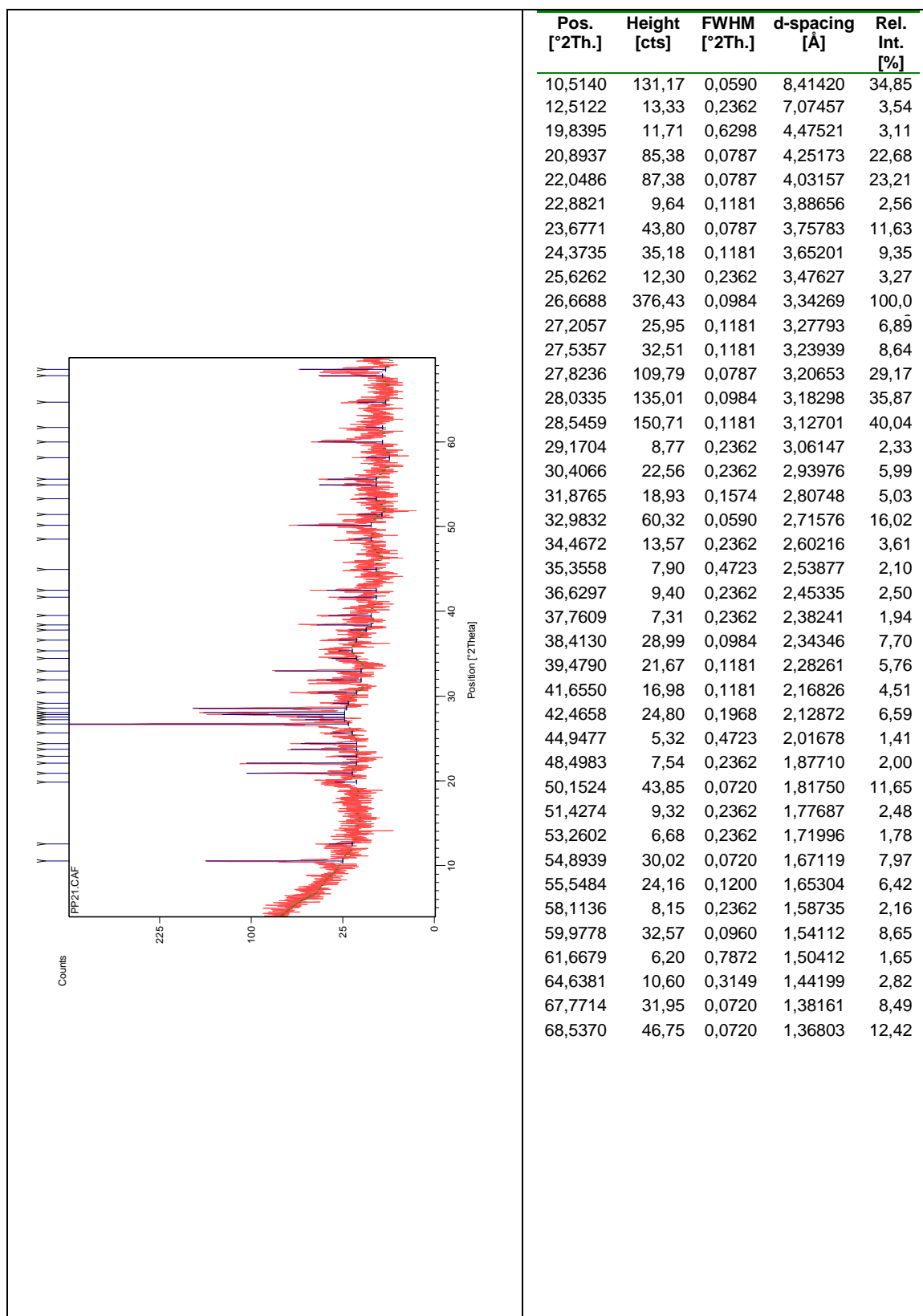


Figura III.166 Difratograma da amostra total PDG8, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

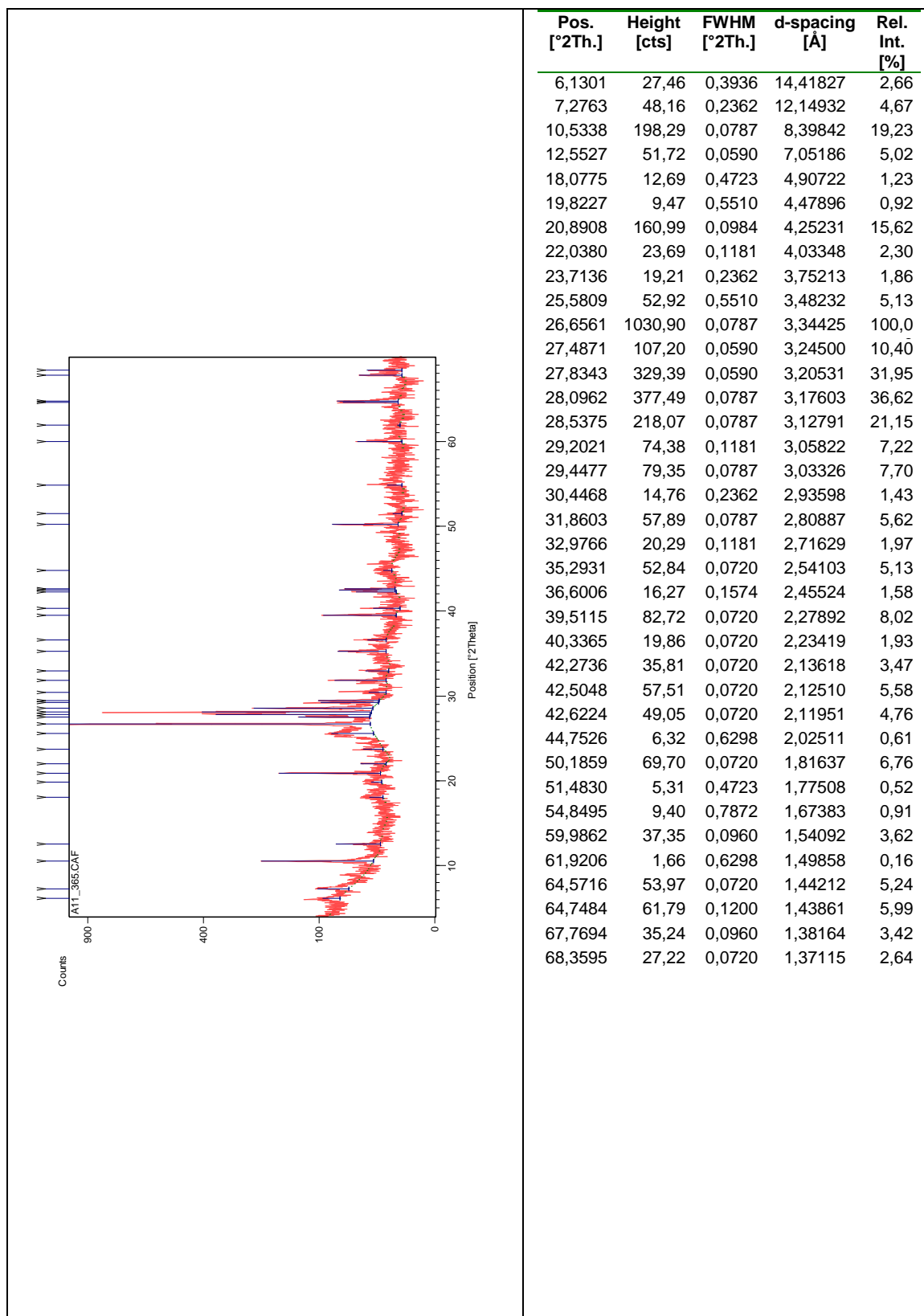


Figura III.167 Difractograma da amostra total pPDG1, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

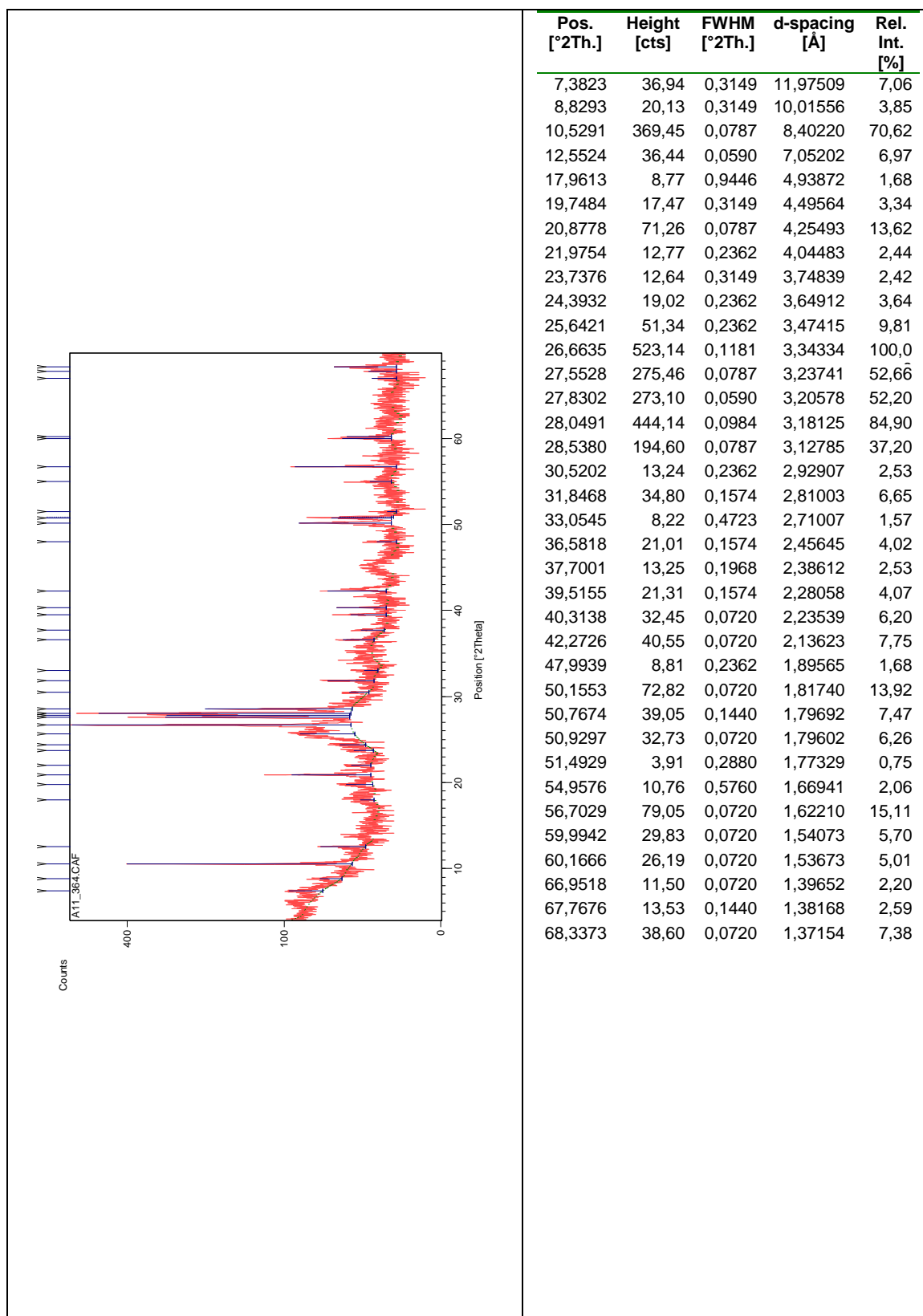


Figura III.168 Difratoograma da amostra total pPDG2, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

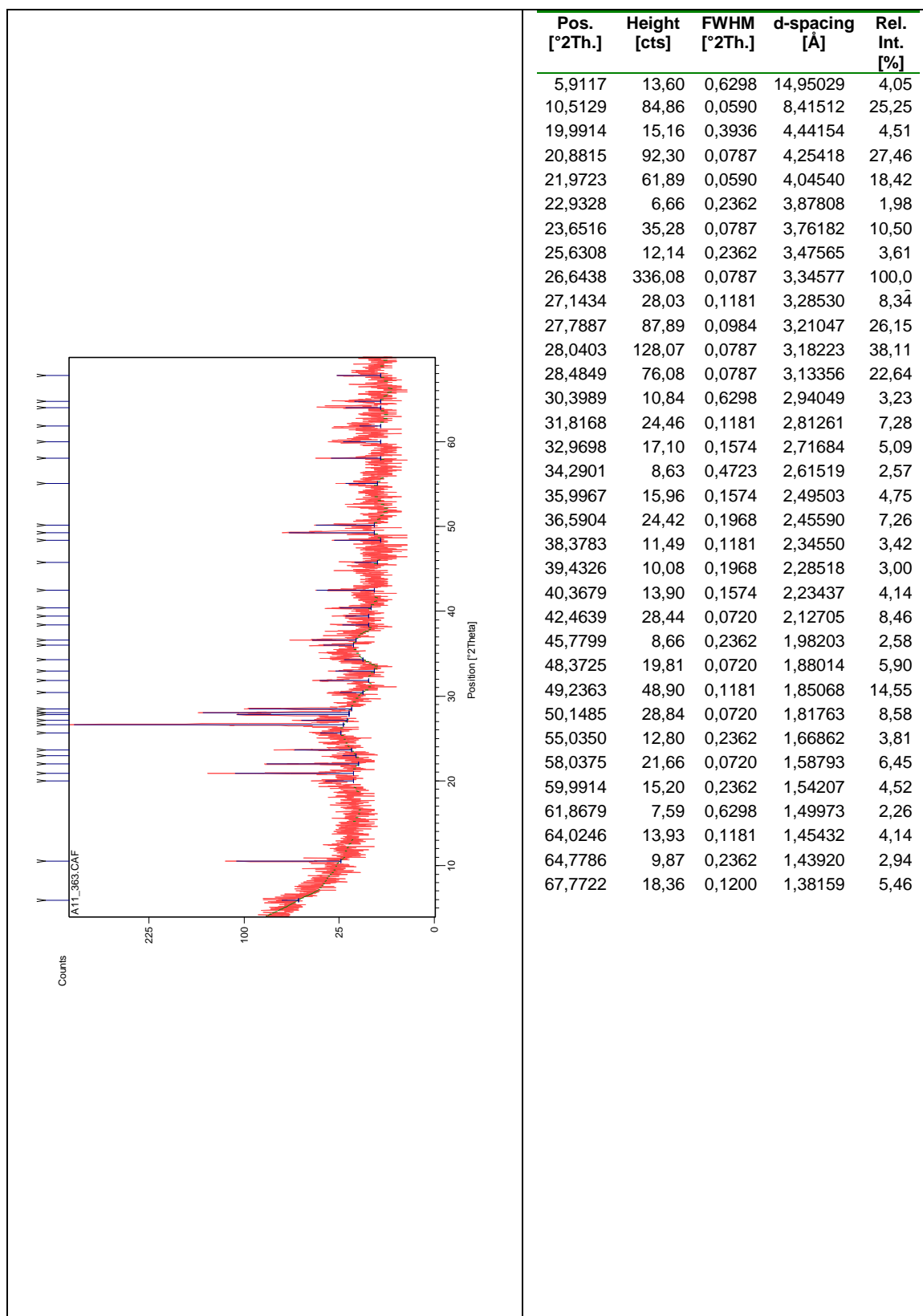


Figura III.169 Difratoograma da amostra total pPDG3, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

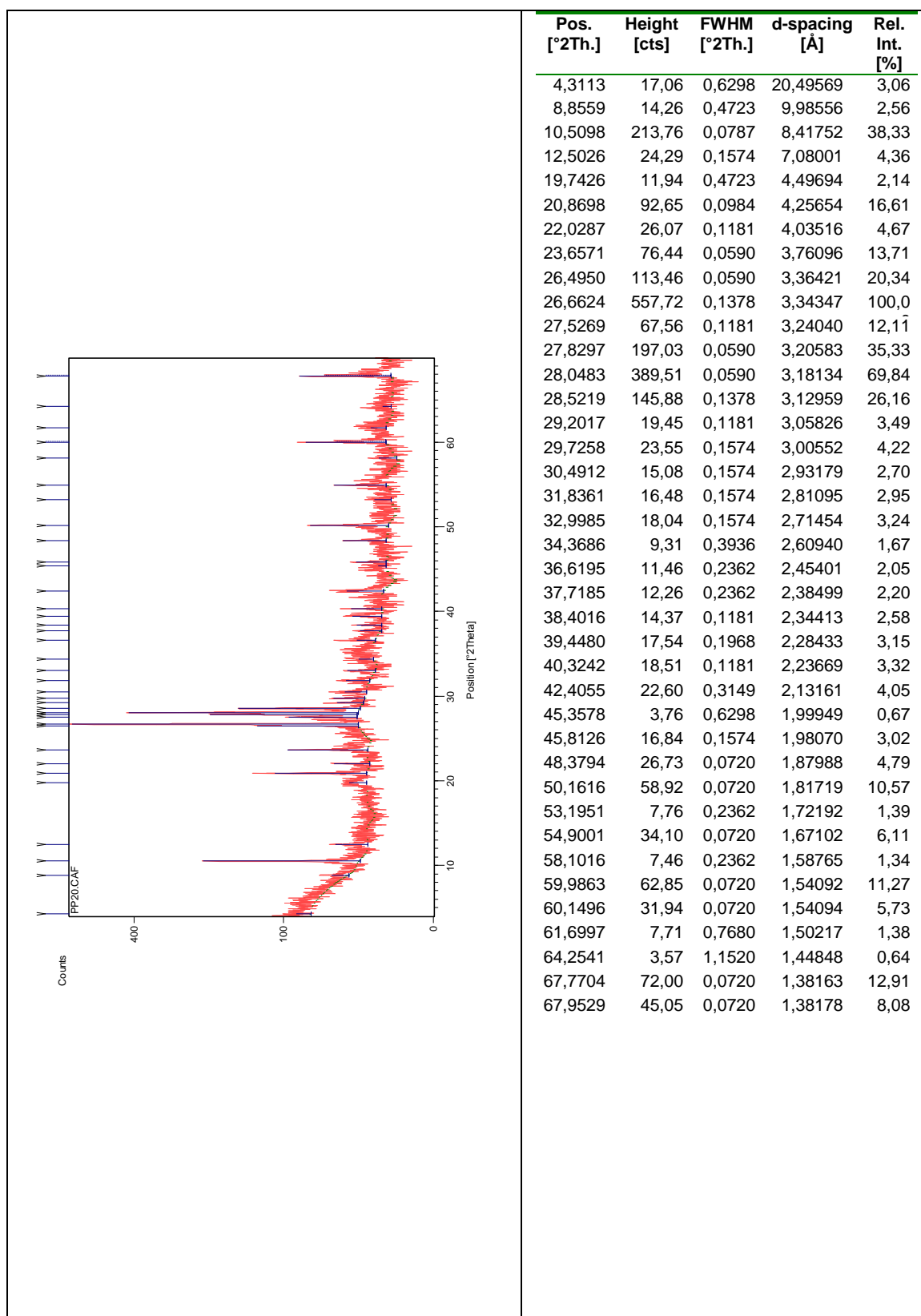


Figura III.170 Difratoograma da amostra total pPDG4, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

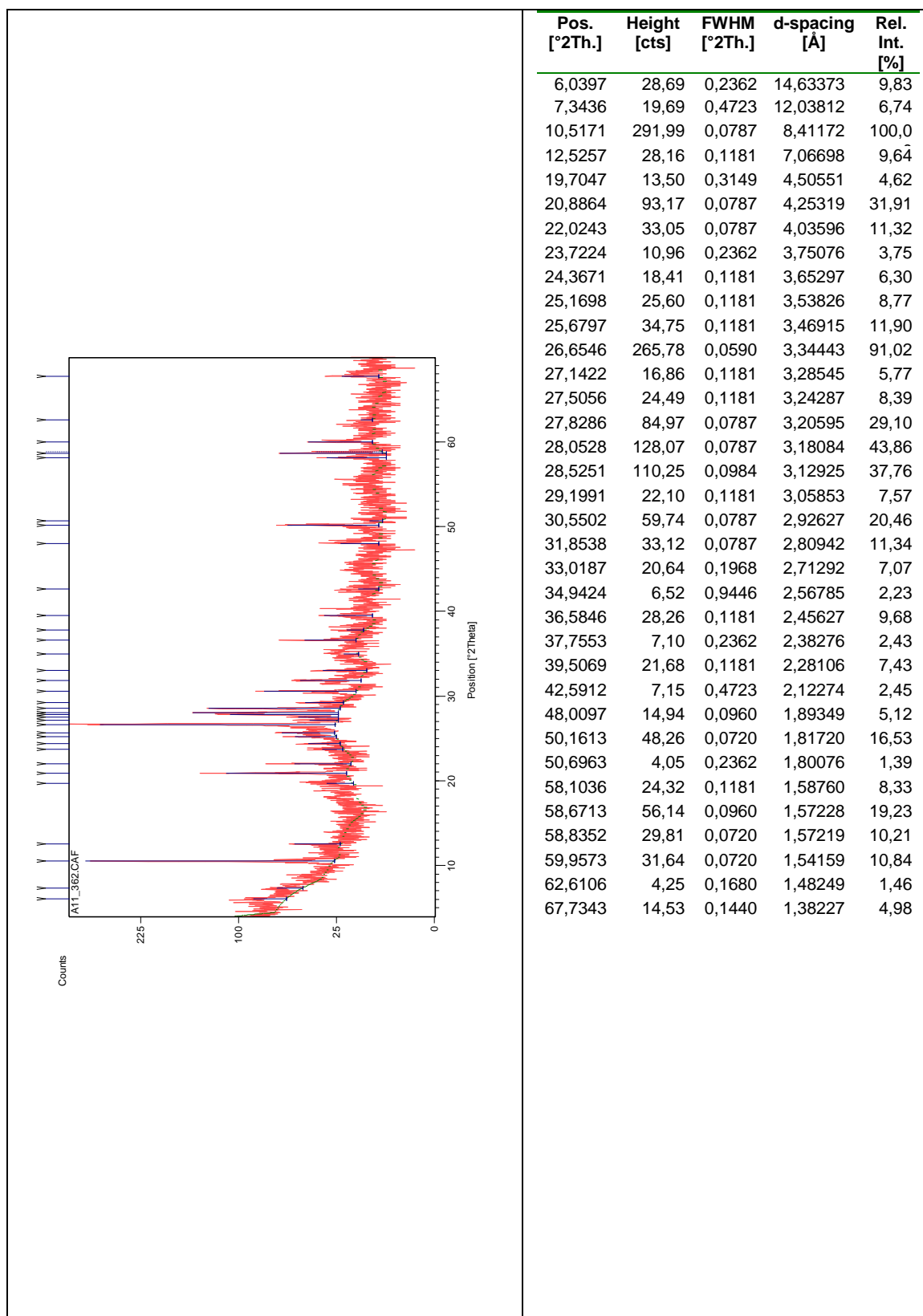


Figura III.171 Difratograma da amostra total PDG9, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

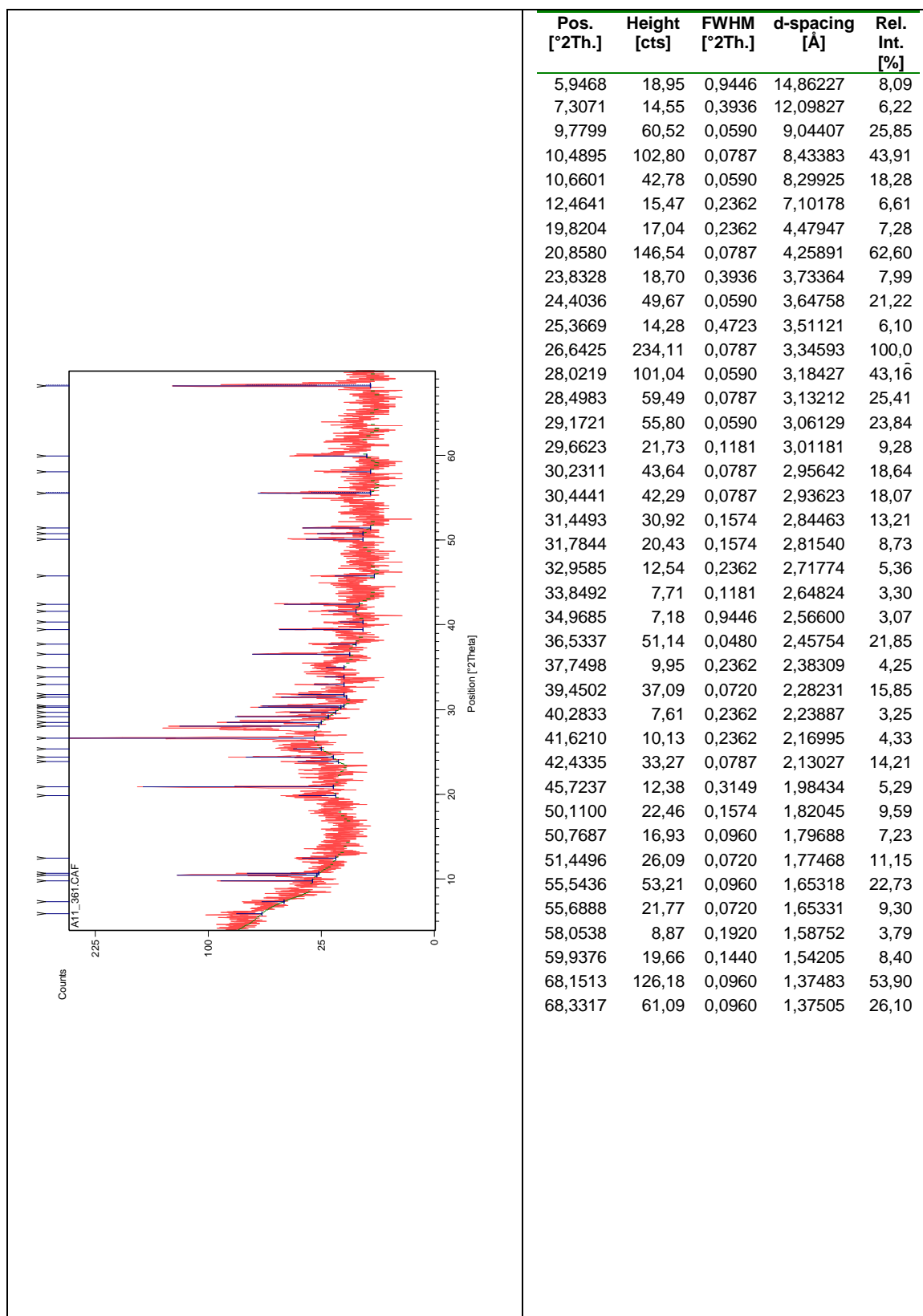


Figura III.172 Difratoograma da amostra total pPDG5, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

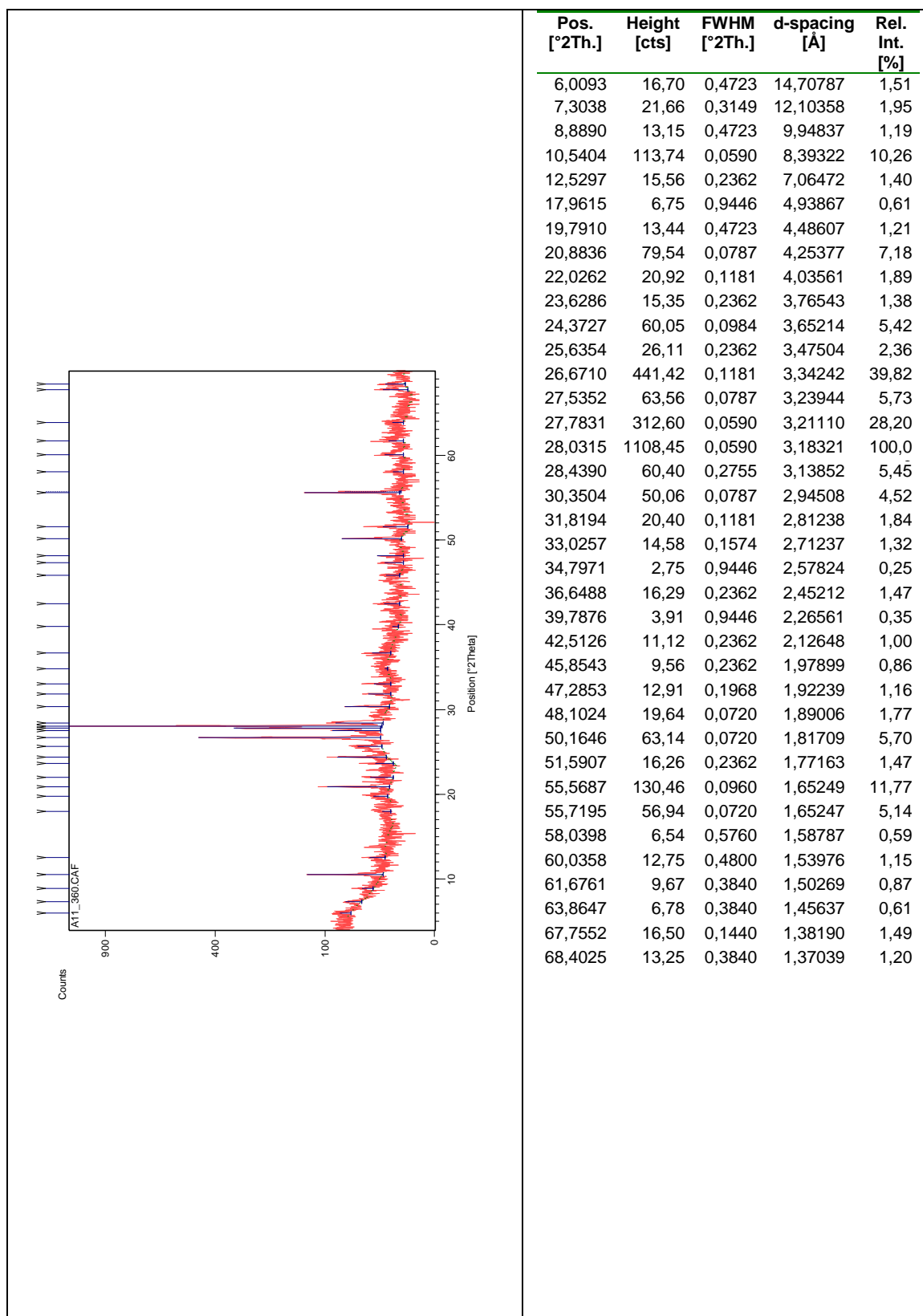


Figura III.173 Difratoograma da amostra total pPDG6, recolhida no preenchimento da estrutura circular.

III.7.14 Semiquantificação e MIA da amostra total

Tabela III.20 Semiquantificação e MIA da amostra total dos materiais recolhidos na estrutura circular do Recinto de fossos dos Perdigões

Amostras	Semiquantificação (%)						MIA
	Filossilicatos	Quartzo	Plagioclase	Anfíbola	Rutilo	Anatase	
pPDG6	36	15	37	9	3	0	29
pPDG5	56	13	9	12	0	10	59
PDG9	40	27	16	12	6	0	63
pPDG4	49	9	12	26	0	4	43
pPDG3	64	15	11	6	4	0	58
pPDG2	31	17	24	16	12	0	41
pPDG1	36	27	21	11	5	0	56
PDG8	63	16	11	7	3	0	59
PDG7	25	22	41	11	0	1	35

IV Composição química das amostras estudadas

IV.1 Monte Carrascal

IV.1.1 Amostra total e fração argilosa dos materiais geológicos

Tabela IV.1 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total e fração <2 µm da amostra MCa, representativa da geologia local no Monte Carrascal, determinados por AAN e FRX e valores médios para a crosta continental terrestre (UCC – Upper Continental Crust). Valores em células cinzentas correspondem a valores fora do limite de deteção do método experimental utilizado. As células em branco correspondem a elementos que não foram determinados. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). RC – razão de calcificação. RD – razão de dolomitização. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química)

%	MCa	MCa<2µm	UCC	mg/Kg	MCa	MCa<2µm	UCC
Na₂O	0,032	0,168	3,270	Sc	0,817	16,500	14,000
MgO	1,227		2,480	V	nd		97,000
Al₂O₃	0,490		15,400	Cr	8,070	126,000	92,000
SiO₂	2,847		66,600	Mn	17,658	168,000	
P₂O₅	0,013		0,150	Co	1,920	13,500	17,300
SO₃	0,044			Ni	2,400		47,000
K₂O	0,040	0,465	2,800	Cu	7,200		28,000
CaO	60,244		3,590	Zn	2,970	92,000	67,000
TiO₂	0,040		0,640	Ga	3,190	12,200	17,500
Fe₂O₃ Total	0,203	3,950	5,040	As	0,180	2,050	4,800
LOI	35			Br	4,410	6,340	1,600
CaCO₃	78			Rb	1,610	28,200	84,000
CaO*	13			Sr	97,800		320,000
	Índices			Y	nd		21,000
CIA (%)	3			Zr	15,736	160,000	193,000
RC	126			Nb	nd		12,000
RD	0,02			Mo	1,100		1,100
Eu/Eu*	0,46	0,33	0,64	Cd	nd		0,009
Ce/Ce*	0,65	0,39	0,97	Sn	nd		2,100
(La/Sm)_N	1,73	2,17	4,14	Sb	0,044	0,389	0,400
(La/Yb)_N	4,21	9,21	10,74	I	17,700		1,400
				Cs	0,068	1,630	4,900
				Ba	308,007	159,000	624,000
				La	0,598	5,200	31,000
				Ce	0,975	9,200	63,000
				Nd	1,070	32,800	27,000
				Sm	0,217	1,500	4,700
				Eu	0,029	0,192	1,000
				Tb	0,018	0,384	0,700
				Dy	0,374	2,080	3,900
				Yb	0,098	0,391	2,000
				Lu	0,014	0,058	0,310
				Hf	0,081	1,510	5,300
				Ta	0,047	0,273	0,900
				W	1,760	1,480	1,900
				Pb	2,500		17,000
				Th	0,232	1,620	10,500
				U	0,457	0,161	2,700

IV.1.2 Amostra total dos materiais de preenchimento

Tabela IV.2 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos entre 0 e 50 cm de profundidade na estrutura negativa do Monte Carrascal, determinados por AAN e FRX. Valores em células cinzentas correspondem a valores fora do limite de deteção do método experimental utilizado. As células em branco correspondem a elementos que não foram determinados. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). RC – razão de calcificação. RD – razão de dolomitização. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química)

Profundidade (cm)	0	28	37	50	Profundidade (cm)	0	28	37	50
				MC4					MC4
%					mg/Kg				
Na₂O	0,495	0,411	0,406	0,378	Sc	9,710	7,370	7,630	6,860
MgO				1,360	V				42,600
Al₂O₃				4,940	Cr	48,600	32,500	31,100	29,500
SiO₂				16,590	Mn				173,000
P₂O₅				0,110	Co	11,500	8,150	7,960	7,480
SO₃				0,080	Ni				11,900
K₂O	0,678	0,359	0,352	0,324	Cu				18,400
CaO				41,310	Zn	24,400	108,000	145,000	15,300
TiO₂				0,250	Ga	10,400	5,330	5,400	4,730
Fe₂O₃ Total	3,070	1,960	1,890	1,780	As	3,830	2,220	0,727	1,060
LOI				30	Br	21,000	31,400	27,200	28,300
CaCO₃				67	Rb	39,400	19,000	18,700	15,600
CaO*				13	Sr				123,700
					Y				4,200
					Zr	89,322	58,297	40,019	52,144
					Nb				0,900
					Mo				0,900
					Cd				3,800
					Sn				nd
					Sb	0,632	0,248	0,240	0,154
					I				30,300
					Cs	1,880	0,925	0,945	0,928
					Ba	123,380	75,403	93,201	81,827
					La	10,100	5,080	5,000	4,600
					Ce	21,407	10,926	11,129	9,627
					Nd	9,295	7,551	6,193	4,809
					Sm	1,470	1,610	0,959	0,904
					Eu	0,493	0,265	0,273	0,254
					Tb	0,272	0,291	0,150	0,149
					Dy				0,830
					Yb	0,790	0,467	0,450	0,414
					Lu	0,103	0,058	0,057	0,052
					Hf	2,080	1,320	1,100	1,490
					Ta	0,400	0,152	0,178	0,130
					W	1,620	0,883	5,450	nd
					Pb				5,900
					Th	3,360	1,730	1,680	1,390
					U	2,650	2,140	2,100	1,070

Tabela IV.3 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos entre 70 e 100 cm de profundidade na estrutura negativa do Monte Carrascal, determinados por AAN e FRX. Valores em células cinzentas correspondem a valores fora do limite de deteção do método experimental utilizado. As células em branco correspondem a elementos que não foram determinados. nd (não detetado).

Profundidade (cm)	70	84	92	100	Profundidade (cm)	70	84	92	100
%					mg/Kg				
Na ₂ O	0,399	0,377	0,471	0,552	Sc	7,170	5,560	6,490	5,850
MgO					V				
Al ₂ O ₃					Cr	30,700	27,500	31,900	30,200
SiO ₂					Mn				
P ₂ O ₅					Co	8,410	6,130	7,170	6,510
SO ₃					Ni				
K ₂ O	0,346	0,262	0,287	0,253	Cu				
CaO					Zn	867,000	211,000	928,000	575,000
TiO ₂					Ga	3,460	3,550	5,170	4,400
Fe ₂ O ₃ Total	1,920	1,430	1,640	1,530	As	1,220	0,658	0,540	0,991
Eu/Eu*	0,84	0,98	0,92	0,82	Br	15,800	13,700	16,100	15,700
Ce/Ce*	0,91	0,90	0,87	0,91	Rb	17,000	14,200	15,000	12,600
(La/Sm) _N	3,58	3,80	3,61	3,31	Sr				
(La/Yb) _N	7,23	7,33	9,24	6,58	Y				
					Zr	47,598	22,464	40,275	25,104
					Nb				
					Mo				
					Cd				
					Sn				
					Sb	0,232	0,263	0,286	0,160
					I				
					Cs	0,829	0,675	0,735	0,608
					Ba	77,165	73,806	77,299	69,407
					La	4,820	3,670	4,440	4,000
					Ce	10,723	7,920	9,605	7,741
					Nd	7,809	5,684	7,790	3,757
					Sm	0,844	0,606	0,772	0,758
					Eu	0,245	0,200	0,230	0,210
					Tb	0,152	0,096	0,103	0,127
					Dy				
					Yb	0,462	0,347	0,333	0,421
					Lu	0,057	0,042	0,047	0,050
					Hf	0,841	0,850	0,722	0,755
					Ta	0,175	0,133	0,144	0,120
					W	0,937	0,855	0,945	0,782
					Pb				
					Th	1,740	1,280	1,620	1,300
					U	2,250	2,110	2,240	1,200

Tabela IV.4 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos entre 115 e 170 cm de profundidade na estrutura negativa do Monte Carrascal, determinados por AAN e FRX. Valores em células cinzentas correspondem a valores fora do limite de deteção do método experimental utilizado. As células em branco correspondem a elementos que não foram determinados. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). RC – razão de calcificação. RD – razão de dolomitização. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química)

Profundidade (cm)	115	130	155	170	Profundidade (cm)	115	130	155	170		
%	MC3				MC2	mg/Kg	MC3				MC2
Na ₂ O	0,476	0,756	0,502	0,597	Sc	6,840	10,500	6,290	5,440		
MgO		1,940		1,810	V		69,000		62,400		
Al ₂ O ₃		6,140		4,610	Cr	31,200	40,600	28,200	26,800		
SiO ₂		24,420		18,980	Mn		248,601		198,261		
P ₂ O ₅		0,170		0,120	Co	7,740	10,600	6,520	8,160		
SO ₃		0,070		0,070	Ni		15,700		11,400		
K ₂ O	0,257	0,361	0,332	0,331	Cu		20,700		19,400		
CaO		35,220		40,430	Zn	325,000	21,200	27,200	12,900		
TiO ₂		0,370		0,330	Ga	4,190	7,810	4,030	3,560		
Fe ₂ O ₃ Total	1,670	2,460	1,600	1,500	As	1,010	1,280	1,080	0,822		
LOI		31		29	Br	16,700	13,800	10,800	10,300		
CaCO ₃		71		65	Rb	14,000	18,900	14,400	14,600		
CaO*		12		12	Sr		158,500		140,400		
	Índices				Y		4,500		3,700		
CIA (%)		31		27	Zr	38,123	34,866	40,017	24,061		
RC		6		9	Nb		0,900		1,100		
RD		0,06		0,05	Mo		1,000		1,100		
Eu/Eu*	0,89	0,84	0,87	0,81	Cd		4,200		4,400		
Ce/Ce*	0,86	0,91	1,01	0,89	Sn		nd		4,100		
(La/Sm) _N	3,01	3,36	3,06	3,37	Sb	0,179	0,241	0,484	0,678		
(La/Yb) _N	4,22	7,65	7,00	5,87	I		27,700		25,000		
					Cs	0,639	0,832	0,685	0,614		
					Ba	75,265	69,765	64,645	67,609		
					La	3,690	5,620	3,710	3,450		
					Ce	8,131	12,111	8,272	6,991		
					Nd	7,121	8,129	4,152	4,341		
					Sm	0,769	1,050	0,761	0,642		
					Eu	0,229	0,299	0,219	0,184		
					Tb	0,121	0,174	0,116	0,126		
					Dy		0,900		0,830		
					Yb	0,606	0,509	0,367	0,407		
					Lu	0,105	0,070	0,069	0,048		
					Hf	0,691	1,140	1,100	0,727		
					Ta	0,125	0,174	0,140	0,135		
					W	0,745	0,609	0,730	0,000		
					Pb		5,800		5,900		
					Th	1,380	1,960	1,200	1,220		
					U	1,090	1,020	0,540	0,545		

Tabela IV.5 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos entre 176 e 213 cm de profundidade na estrutura negativa do Monte Carrascal, determinados por AAN e FRX. Valores em células cinzentas correspondem a valores fora do limite de deteção do método experimental utilizado. As células em branco correspondem a elementos que não foram determinados. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). RC – razão de calcificação. RD – razão de dolomitização. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química)

Profundidade (cm)	176	190	207	213	Profundidade (cm)	176	190	207	213
%	MC1				mg/Kg	MC1			
Na ₂ O	0,844	0,363	0,596	0,709	Sc	7,000	5,100	10,100	9,180
MgO			1,990		V			57,400	
Al ₂ O ₃			5,820		Cr	36,600	26,900	33,400	39,700
SiO ₂			20,590		Mn			197,487	
P ₂ O ₅			0,080		Co	9,150	8,300	8,940	9,100
SO ₃			0,060		Ni			14,800	
K ₂ O	0,307	0,306	0,263	0,433	Cu			20,400	
CaO			38,830		Zn	586,000	214,000	14,900	376,000
TiO ₂			0,310		Ga	4,840	5,560	5,380	5,510
Fe ₂ O ₃ Total	1,780	1,410	2,150	2,310	As	1,100	0,950	0,990	1,160
LOI			33		Br	11,900	12,200	10,900	12,500
CaCO ₃			76		Rb	14,600	13,500	13,900	20,400
CaO*			10		Sr			147,300	
	Índices				Y			4,800	
CIA (%)			30		Zr	17,631	16,258	27,285	47,228
RC			7		Nb			1,300	
RD			0,05		Mo			1,100	
Eu/Eu*	0,81	0,71	0,85	0,84	Cd			0,000	
Ce/Ce*	0,94	0,97	1,01	1,14	Sn			0,000	
(La/Sm) _N	3,11	3,45	3,46	3,25	Sb	0,217	0,182	0,164	0,267
(La/Yb) _N	6,72	7,05	8,28	7,29	I			28,200	
					Cs	0,651	0,717	0,618	1,080
					Ba	75,260	68,589	83,832	104,422
					La	3,940	4,030	4,170	5,860
					Ce	8,767	9,435	9,101	13,852
					Nd	5,742	6,248	4,228	4,862
					Sm	0,795	0,732	0,755	1,130
					Eu	0,225	0,162	0,214	0,310
					Tb	0,145	0,085	0,118	0,163
					Dy			0,750	
					Yb	0,406	0,396	0,349	0,557
					Lu	0,074	0,069	0,044	0,095
					Hf	1,050	0,623	0,885	1,330
					Ta	0,165	0,131	0,147	0,269
					W	1,080	0,676	nd	1,020
					Pb			7,200	
					Th	1,450	1,620	1,220	2,040
					U	1,360	1,150	1,310	1,270

Tabela IV.6 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos 223 cm de profundidade e a 134 e 76, lateralmente em relação ao perfil central, na estrutura negativa do Monte Carrascal, determinados por AAN. Valores em células cinzentas correspondem a valores fora do limite de deteção do método experimental utilizado. As células em branco correspondem a elementos que não foram determinados.

Profundidade (cm)	223	134	76	Profundidade (cm)	223	134	76
%	pMC14 pMC15 Contexto lateral			mg/Kg	pMC14 pMC15 Contexto lateral		
Na₂O	0,640	0,403	0,384	Sc	9,180	11,000	7,210
MgO				V			
Al₂O₃				Cr	39,700	20,500	25,000
SiO₂				Mn			
P₂O₅				Co	9,100	12,100	6,500
SO₃				Ni			
K₂O	0,094	0,283	0,298	Cu			
CaO				Zn	376,000	226,000	431,000
TiO₂				Ga	5,510	3,250	3,950
Fe₂O₃ Total	2,310	1,540	1,620	As	1,160	0,364	1,250
Eu/Eu*	1,12	0,80	0,81	Br	12,500	3,730	14,400
Ce/Ce*	1,57	0,91	0,94	Rb	20,400	4,280	14,500
(La/Sm)_N	2,10	3,22	3,26	Sr			
(La/Yb)_N	5,88	8,27	8,29	Y			
				Zr	47,228	46,166	43,469
				Nb			
				Mo			
				Cd			
				Sn			
				Sb	0,267	0,085	0,140
				I			
				Cs	1,080	0,259	0,691
				Ba	104,422	35,796	77,441
				La	5,860	2,200	3,880
				Ce	13,852	9,132	8,198
				Nd	4,862	4,570	5,360
				Sm	1,130	0,657	0,756
				Eu	0,310	0,257	0,218
				Tb	0,163	0,123	0,155
				Dy			
				Yb	0,557	0,259	0,325
				Lu	0,095	0,067	0,064
				Hf	1,330	0,411	0,756
				Ta	0,269	0,054	0,125
				W	1,020	0,908	0,708
				Pb			
				Th	2,040	0,584	1,190
				U	1,270	1,050	1,140

IV.1.3 Fração argilosa dos materiais de preenchimento

Tabela IV.7 Teor em elementos maiores, menores e traço na fração inferior a 2 µm carbonatada e descarbonatada, dos materiais de preenchimento selecionadas para datação, recolhidos a 50, 130, 170 e 207 cm de profundidade, na estrutura negativa do Monte Carrascal, determinados por AAN.

Profundidade (cm) %	50	130	170	207	50	130	170	207
	Fração <2 µm carbonatada				Fração <2 µm descarbonatada			
	MC4	MC3	MC2	MC1	MC4	MC3	MC2	MC1
Na₂O	0,10	0,66	1,11	0,44	0,14	0,16	0,17	0,17
K₂O	0,44	0,58	0,54	0,51	0,99	0,99	0,81	0,92
Fe₂O₃ Total	3,59	5,47	5,20	4,14	7,84	8,70	7,45	6,82
mg/Kg								
Sc	15,40	24,00	21,00	19,40	33,90	37,80	30,60	33,80
Cr	59,90	95,50	102,00	64,80	127,00	152,00	155,00	106,00
Mn	256,00	264,00	215,00	276,00	539,00	449,00	407,00	408,00
Co	14,00	18,00	18,50	15,70	33,90	30,80	28,80	28,40
Zn	35,70	59,60	50,20	39,60	91,20	91,60	86,90	68,40
Ga	10,20	14,20	14,60	9,29	22,90	20,30	16,90	19,70
As	2,36	2,54	2,78	2,63	5,06	4,01	3,35	3,77
Br	43,80	20,30	17,10	14,00	83,20	27,30	17,00	14,10
Rb	27,90	37,80	33,70	29,60	57,70	53,00	43,80	43,40
Zr	40,10	40,10	40,10	40,10	75,70	107,00	90,60	82,60
Sb	0,30	0,35	0,48	0,27	0,70	0,73	0,49	0,43
Cs	1,96	2,34	2,19	1,94	4,22	3,49	3,06	3,13
Ba	118,00	147,00	135,00	131,00	128,00	169,00	126,00	136,00
La	5,65	6,18	5,44	4,52	15,50	13,60	13,00	14,50
Ce	12,20	12,00	9,80	10,60	28,90	16,20	25,80	33,30
Nd	6,00	5,50	3,40	3,90	14,30	8,80	14,10	19,00
Sm	1,33	1,47	1,01	0,75	3,88	3,36	2,47	3,13
Eu	0,26	0,32	0,27	0,18	0,78	0,85	0,70	0,86
Tb	0,18	0,18	0,15	0,12	0,69	0,41	0,41	0,49
Dy	1,18	1,12	0,65	0,71	3,15	2,78	2,97	3,67
Yb	0,43	0,35	0,39	0,25	1,15	1,04	0,94	1,01
Lu	0,06	0,08	0,07	0,05	0,18	0,20	0,16	0,17
Hf	0,61	0,79	0,71	0,62	1,22	1,16	1,03	1,15
Ta	0,21	0,24	0,27	0,29	0,46	0,36	0,35	0,35
W	1,34	0,98	1,84	1,11	3,12	2,23	1,84	2,69
Th	1,69	2,04	1,86	1,63	4,28	4,31	3,92	3,80
U	0,56	0,36	0,10	1,63	0,86	0,76	0,59	0,81
Eu/Eu*	0,61	0,70	0,79	0,73	0,58	0,80	0,83	0,82
Ce/Ce*	0,99	0,92	0,90	1,12	0,88	0,60	0,90	1,00
(La/Sm)N	2,66	2,64	3,38	3,76	2,50	2,54	3,30	2,90
(La/Yb)N	9,08	12,16	9,61	12,43	9,34	9,06	9,54	9,95

IV.2 Monte de Cortes

IV.2.1 Amostra total dos materiais geológicos

Tabela IV.8 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais recolhidos no perfil de calcreto no Monte de Cortes, determinados por AAN e FRX. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). RC – razão de calcificação. RD – razão de dolomitização. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química)

nd – não detetado

%	CORa	CORb	CORc	mg/Kg	CORa	CORb	CORc
Na₂O	0,698	0,201	0,767	Sc	12,1	4,34	8,87
MgO	1,586	2,711	1,416	V	78,7	28,3	68,6
Al₂O₃	16,075	6,48	14,106	Cr	59,7	23,7	47,3
SiO₂	37,712	13,609	33,666	Mn	267,1877	229,2393	472,4188
P₂O₅	0,033	0,03	0,105	Co	13,3	5,47	11,2
SO₃	0,053	0,063	0,094	Ni	20,9	9,3	19,7
K₂O	2,84	0,892	1,73	Cu	27,5	13,5	18,9
CaO	19,013	40,818	22,629	Zn	66	20,1	48,1
TiO₂	0,562	0,238	0,602	Ga	19,5	7,3	14,7
Fe₂O₃ Total	4,8	1,69	3,74	As	10,2	4,71	15,2
LOI	18	33	21	Br	5,29	15,3	15,7
CaCO₃	40	76	49	Rb	114	32	80,3
CaO*	11	10	12	Sr	98,9	139,8	75,4
	Índices			Y	19,9	8,8	20,5
CIA (%)	40	25	37	Zr	101,2608	49,04232	167,596
RC	1,3	6,7	1,7	Nb	12,8	4,9	16,9
RD	0,08	0,07	0,06	Mo	nd	1,1	nd
Eu/Eu*	0,58	0,59	0,62	Cd	nd	nd	nd
Ce/Ce*	0,88	0,89	0,90	Sn	4,4	nd	nd
(La/Sm)_N	4,70	4,35	3,84	Sb	0,527	0,299	0,915
(La/Yb)_N	14,2	12,1	13,4	I		17,5	17
				Cs	3,13	1,62	3,85
				Ba	350,9728	154,6412	299,0887
				La	45,8	18,1	43
				Ce	82,66024	32,923	82,3438
				Nd	35,02844	13,55853	40,6153
				Sm	6,11	2,61	7,03
				Eu	1,12	0,513	1,39
				Tb	0,759	0,393	0,828
				Dy	4,71	2,13	4,52
				Yb	2,23	0,889	2,23
				Lu	0,335	0,126	0,317
				Hf	2,83	1,02	4,31
				Ta	1,18	0,48	1,36
				W	1,24	0,792	1,49
				Pb	5,8	4,7	11,5
				Th	12,5	4,37	11,1
				U	1,24	0,646	1,3

IV.2.2 Fração argilosa dos materiais geológicos

Tabela IV.9 Teor em elementos maiores, menores e traço na fração inferior a 2 µm carbonatada dos materiais recolhidos no perfil de calcetreto no Monte de Cortes.

%	CORa	CORb	CORc
Na₂O	0,314	0,0979	0,317
K₂O	2,36	0,844	2,16
Fe₂O₃ Total	5,81	2,16	4,37
mg/Kg			
Sc	13,4	5,03	9,25
Cr	69,9	28,2	58,5
Mn	731,8619	154,1169	223,8181
Co	15,4	5,02	7,4
Zn	68,9	23,9	49
Ga	22,1	9	16,4
As	30,3	7,7	10,9
Br	20,9	25,5	14
Rb	114	33,6	78,6
Zr	99,45732	42,04724	66,5444
Sb	7,2	0,269	0,425
Cs	3,15	3,15	3,15
Ba	409,024	146,8318	275,7138
La	21,3	3,3	3,57
Ce	41,78875	6,787522	6,56682
Nd	17,63115	8,962107	13,46567
Sm	3,61	0,864	1,28
Eu	0,825	0,2	0,348
Tb	0,554	0,135	0,245
Dy	2,67	0,757	1,49
Yb	1,51	0,428	0,856
Lu	0,212	0,053	0,12
Hf	2,65	0,999	2,38
Ta	0,946	0,318	0,666
W	1,75	0,782	1,7
Th	9,48	1,78	3,57
U	1,31	0,183	0,475
Eu/Eu*	0,687048	0,692928	0,772038
Ce/Ce*	0,942512	0,704222	0,542595
(La/Sm)N	3,699233	2,394636	1,748629
(La/Yb)N	9,772468	5,341605	2,889323

IV.2.3 Amostra total dos materiais de preenchimento da fossa e do fosso

Tabela IV.10 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos nas estruturas negativas do Monte de Cortes, determinados por AAN e FRX. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). RC – razão de calcificação. RD – razão de dolomitização. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química); nd – não detetado

%	COR1	COR2	mg/Kg	COR1	COR2
Na₂O	0,172	0,125	Sc	2,16	2,78
MgO	0,68	0,76	V	12,3	19,40
Al₂O₃	3,88	5,53	Cr	13,5	16,70
SiO₂	14,33	20,09	Mn	167	182,77
P₂O₅	0,06	0,09	Co	3,47	3,55
SO₃	0	0,04	Ni	5,6	10,40
Cl	0,02	0,01	Cu	13,3	8,60
K₂O	0,316	0,413	Zn	8,58	12,20
CaO	44,75	39,11	Ga	3,47	4,56
TiO₂	0,21	0,29	As	1,56	1,70
Fe₂O₃ Total	0,84	1,08	Br	26,5	14,00
LOI	35	32	Rb	17,8	19,90
CaCO₃	79	72	Sr	41,6	37,50
CaO*	10	11	Y	5,5	9,30
	Índices		Zr	54,47	78,40
CIA (%)	18	21	Nb	3,1	4,70
RC	12	7,2	Mo	1,4	1,70
RD	0,015	0,02	Cd	3,8	3,60
Eu/Eu*	0,63	0,64	Sn	nd	nd
Ce/Ce*	0,88	0,91	Sb	0,236	0,29
(La/Sm)_N	3,53	3,55	I	20,7	18,10
(La/Yb)_N	8,77	8,52	Cs	1,06	1,41
			Ba	67	77,10
			La	7,94	9,57
			Ce	16	18,9
			Nd	10,201	9,92
			Sm	1,41	1,69
			Eu	0,291	0,357
			Tb	0,197	0,256
			Dy	1,27	1,55
			Yb	0,627	0,778
			Lu	0,0712	0,087
			Hf	1,36	1,83
			Ta	0,236	0,301
			W	1,27	0,423
			Pb	2,3	2,4
			Th	7,2	9,8
			U	2,44	2,84

Tabela IV.11 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento recolhidos no fosso do Monte de Cortes, determinados por AAN.

Amostra	pCOR2_1	pCOR2_2	pCOR2_3	pCOR2_4	pCOR2_5	pCOR2_6	pCOR2_7
	%						
Na ₂ O	0,0678	0,151	0,151	0,177	0,2	0,19	0,247
K ₂ O	0,257	0,552	0,549	0,601	0,652	0,672	0,84
Fe ₂ O ₃ Total	1,1	1,6	1,48	1,57	1,79	1,79	2,25
	mg/Kg						
Sc	2,81	4,01	3,73	3,97	4,54	4,58	5,76
Cr	19,5	22,9	22,7	26,1	26,8	28,7	34,1
Co	3,61	5,07	4,7	5,11	5,9	5,77	7,54
Zn	12,9	21	20,1	21,1	23,4	23,8	30,2
Ga	2,51	5,28	5,54	7	5,63	6,46	10,8
As	1,58	2,75	2,56	2,81	3,35	3,54	6,01
Br	13,7	13,5	13,9	14,1	24,1	42,6	19,8
Rb	16,2	26,5	26,3	29,4	33,7	34,8	45,8
Zr	26,9	55,1	70,9	82,2	91,5	99,4	137
Sb	0,326	0,413	0,494	0,478	0,484	0,558	1,73
Cs	1,25	1,95	1,79	1,96	2,23	2,25	2,81
Ba	56	89	100	111	122	105	121
La	9,43	12,6	12,7	13,2	15,7	15,2	19,3
Ce	17,4	25,5	25	26,9	32,6	32,2	41,2
Nd	9,5	12,8	12,8	12,9	15,6	15,4	19,4
Sm	1,87	2,4	2,37	2,68	2,88	2,91	4,61
Eu	0,402	0,498	0,47	0,509	0,585	0,583	0,739
Tb	0,203	0,285	0,285	0,283	0,31	0,358	0,462
Yb	0,801	1,09	1,05	1,1	1,21	1,35	1,57
Lu	0,119	0,162	0,16	0,163	0,186	0,204	0,247
Hf	1,17	2	2,19	2,32	2,88	2,98	3,88
Ta	0,269	0,482	0,424	0,417	0,547	0,485	0,643
W	0,527	0,657	0,584	0,837	0,926	0,948	0,963
Th	2,35	3,56	3,41	4,13	4,65	4,36	5,68
U	0,62	0,806	0,68	0,55	1,13	1,23	0,784
Eu/Eu*	0,69	0,66	0,63	0,62	0,66	0,63	0,53
Ce/Ce*	0,85	0,93	0,91	0,95	0,96	0,98	0,99
(La/Sm) _N	3,16	3,29	3,36	3,09	3,42	3,27	2,62
(La/Yb) _N	8,16	8,01	8,38	8,31	8,99	7,80	8,52

IV.2.4 Fração argilosa dos materiais de preenchimento da fossa e do fosso

Tabela IV.12 Teor em elementos maiores, menores e traço na fração argilosa das amostras COR1 e COR2 recolhida no preenchimento da fossa e do fosso de Monte de Cortes, respetivamente, determinados por AAN.

Amostra	COR1	COR2
%		
Na₂O	0,121	0,089
K₂O	0,523	1,08
Fe₂O₃ Total	1,81	3,43
mg/Kg		
Sc	4,44	8,55
Cr	30,6	48,2
Mn	257,1197	487,9079
Co	6,49	10,7
Zn	40,4	57,6
Ga	6,91	11,9
As	3,58	6,29
Br	26,4	18,4
Rb	30,2	52,2
Zr	38,39112	62,80304
Sb	0,416	0,864
Cs	24,3	4,56
Ba	116,5494	159,1858
La	10	18,9
Ce	20,98464	36,67751
Nd	9,247866	21,62217
Sm	1,77	3,3
Eu	0,376	0,675
Tb	0,19	0,463
Dy	1,15	2,75
Yb	0,72	1,32
Lu	0,094	0,176
Hf	0,947	1,8
Ta	0,348	0,657
W	4,04	2,33
Th	3,03	5,81
U	0,453	0,438
Eu/Eu*	0,69	0,63
Ce/Ce*	0,99	0,87
(La/Sm)_N	3,54	3,60
(La/Yb)_N	9,62	9,92

IV.3 Covas

IV.3.1 Amostra total

Tabela IV.13 Composição química dos materiais recolhidos no perfil de calcreto e das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação

Amostra	CV3	CV2	CV1	CVc	CVb	CVa
Contexto	dMPr			MGeo		
Profundidade (cm)	72	109	135	75	175	425
Na ₂ O	0,06	0,36	0,31	0,05	0,07	0,18
MgO	0,85	1,10	1,03	0,90	1,12	1,32
Al ₂ O ₃	3,03	9,51	7,38	2,79	3,00	5,29
SiO ₂	10,92	31,43	26,59	11,76	12,69	21,48
P ₂ O ₅	0,02	0,08	0,05	0,02	0,01	0,01
SO ₃	0,05	0,09	0,08	0,04	0,03	0,02
Cl		0,01				
K ₂ O	0,14	1,14	0,91	0,09	0,12	0,30
CaO	46,13	29,50	33,59	47,74	48,07	38,04
TiO ₂	0,14	0,48	0,39	0,16	0,13	0,23
Fe ₂ O ₃ Total	0,71	2,59	2,11	0,77	0,85	1,54
Sc	1,86	6,54	5,35	1,91	2,13	3,46
V	8,00	38,70	31,00	5,00	11,20	24,70
Cr	10,50	34,10	29,40	11,00	11,90	19,90
Mn	90,61	499,52	394,97	109,97	254,80	168,06
Co	2,30	8,42	6,91	3,41	4,74	5,43
Ni	4,30	15,50	12,40	4,40	6,20	7,70
Cu	11,20	17,70	12,20	5,80	11,60	8,50
Zn	6,90	29,60	22,70	7,17	7,41	11,90
Ga	2,63	10,50	8,36	2,48	2,81	3,58
As	1,15	5,65	4,98	1,04	1,32	3,53
Se			0,90			
Br	11,90	22,60	20,70	15,30	4,01	1,08
Rb	11,20	61,80	48,30	8,49	10,40	20,20
Sr	33,90	49,70	48,90	30,80	34,80	41,60
Y	7,00	16,00	13,70	5,90	7,20	11,50
Zr	22,00	134,26	125,14	35,58	35,92	57,04
Nb	1,40	8,20	5,60	2,10	1,90	3,20
Mo	1,20	1,30	0,90	1,50	1,10	0,90
Cd	4,00				4,40	
Sn		3,70				5,50
Sb	0,19	0,57	0,55	0,22	0,26	0,37
I	16,50	16,70	18,80	18,80	13,20	
Cs	0,84	3,47	2,88	0,68	0,86	1,49

Amostra		CV3	CV2	CV1	CVc	CVb	CVa
Ba		34,00	220,00	161,00	35,35	76,21	63,47
La		6,56	22,40	19,90	7,32	8,68	13,40
Ce		11,30	42,64	36,41	13,93	14,73	26,28
Nd		8,32	24,41	22,17	7,98	9,22	12,51
Sm		1,23	4,04	3,61	1,34	1,60	2,60
Eu		0,30	0,87	0,74	0,31	0,36	0,59
Tb		0,17	0,56	0,43	0,18	0,22	0,35
Dy		1,22	3,34	2,78	1,32	1,39	1,90
Yb		0,56	1,84	1,63	0,58	0,67	1,05
Lu		0,08	0,26	0,24	0,07	0,08	0,14
Hf		0,76	3,58	3,58	0,92	0,93	1,37
Ta		0,18	0,75	0,65	0,20	0,21	0,31
W			1,24	1,10	0,32	0,30	0,95
Pb		6,70	13,30	10,60	4,90	6,60	8,20
Th		1,64	6,50	5,84	1,66	1,81	2,94
U		0,62	1,33	1,07	0,56	0,57	0,78

Tabela IV.14 Composição química dos materiais de preenchimento (pMPR) recolhidos no perfil central da fossa em Covas.

Contexto		Perfil central											
Profundidade (cm)		5	77	91	102	106	112	116	126	130	140	144	150
Na ₂ O	%	0,28	0,29	0,31	0,17	0,30	0,35	0,33	0,35	0,31	0,29	0,30	0,18
K ₂ O		0,98	0,87	0,97	0,52	0,96	1,15	1,08	0,96	0,91	0,95	0,82	0,32
Fe ₂ O ₃ Total		2,27	1,99	2,42	1,60	2,51	2,62	2,47	2,48	2,11	2,22	2,07	1,31
Sc	mg/kg	5,65	5,02	6,07	4,06	6,14	6,60	6,27	6,12	5,35	5,62	5,25	2,78
Cr		37,80	28,00	33,20	23,20	34,80	38,90	34,40	38,60	29,40	32,80	28,50	16,30
Co		7,65	6,57	7,58	4,85	7,66	8,62	8,08	8,16	6,91	7,16	6,29	5,67
Zn		26,90	21,30	28,20	18,10	28,80	32,00	29,30	29,70	22,70	28,20	24,40	12,60
Ga		7,36	6,08	8,83	6,23	10,40	10,60	9,11	8,40	8,36	7,31	8,05	3,22
As		4,02	5,93	4,45	2,79	5,90	5,21	5,31	8,13	4,98	6,04	5,84	9,76
Br		20,80	21,40	22,00	16,10	21,10	18,70	18,10	26,20	20,70	21,90	17,70	5,58
Rb		48,40	43,60	49,20	31,70	50,60	56,60	52,60	50,60	48,30	48,10	40,10	18,20
Zr		113,70	125,26	122,19	74,49	132,46	141,04	125,81	140,91	125,14	99,12	137,82	52,42
Sb		0,71	0,69	1,00	0,41	0,64	0,56	0,56	0,73	0,55	0,76	0,54	0,55
Cs		3,00	2,62	3,18	2,01	3,26	3,44	3,33	3,08	2,88	2,89	2,65	1,26
Ba		187,47	157,88	178,69	113,39	185,84	187,61	187,19	193,41	161,00	178,57	143,17	106,38
La		18,30	19,00	22,80	14,20	20,30	24,20	23,70	23,10	19,90	20,50	19,00	19,10
Ce		35,67	35,66	42,56	25,28	37,79	44,43	43,00	41,38	36,41	39,43	34,25	19,08
Nd		17,94	17,71	21,31	13,72	20,03	20,90	23,16	21,52	22,17	18,98	17,20	19,42
Sm		3,30	3,30	3,73	2,69	3,76	4,27	4,12	4,50	3,61	3,78	3,51	3,72
Eu		0,75	0,68	0,79	0,62	0,81	0,88	0,85	0,97	0,74	0,78	0,76	0,93
Tb		0,45	0,42	0,44	0,34	0,49	0,50	0,50	0,57	0,43	0,46	0,45	0,52
Yb		1,46	1,45	1,58	1,15	1,73	1,86	1,70	1,92	1,63	1,58	1,49	1,40
Lu		0,17	0,17	0,19	0,13	0,20	0,21	0,20	0,22	0,24	0,19	0,18	0,21
Hf		3,22	3,97	3,25	1,94	3,42	3,96	3,64	3,71	3,58	3,16	3,57	1,42
Ta		0,63	0,60	0,68	0,40	0,69	0,71	0,74	0,67	0,65	0,60	0,60	0,26
W		0,89	0,79	1,17	0,53	0,98	1,20	1,09	1,35	1,10	0,88	0,86	0,56
Th	5,46	5,28	6,32	3,81	5,63	6,48	6,23	5,78	5,84	5,51	4,91	2,27	
U	1,20	0,88	0,89	0,81	0,77	0,86	0,70	0,82	0,86	0,98	0,92	0,80	

Tabela IV.15 Composição química dos materiais de preenchimento (pMPR) recolhidos no perfil lateral da fossa em Covas.

Contexto		Perfil lateral		
Profundidade (cm)		37	60	93
Na ₂ O	%	0,15	0,06	0,09
K ₂ O		0,46	0,14	0,19
Fe ₂ O ₃ Total		1,37	0,71	0,87
Sc	mg/kg	3,52	1,86	2,35
Cr		20,90	10,50	14,00
Co		4,45	2,30	2,50
Zn		17,30	6,90	10,70
Ga		4,45	2,63	4,39
As		2,81	1,15	1,62
Br		22,90	11,90	11,30
Rb		24,70	11,20	13,70
Zr		50,52	22,00	39,50
Sb		0,32	0,19	0,26
Cs		1,66	0,84	1,00
Ba		114,78	34,00	65,26
La		11,80	6,56	9,22
Ce		22,02	11,30	14,41
Nd		11,45	8,32	9,17
Sm		2,25	1,23	1,84
Eu		0,50	0,30	0,41
Tb		0,27	0,17	0,23
Yb		0,96	0,56	0,81
Lu		0,14	0,08	0,12
Hf		1,86	0,76	1,01
Ta		0,36	0,18	0,20
W		0,59		0,43
Th	3,14	1,64	2,05	
U	0,67	0,76	0,24	

IV.3.2 Fração argilosa

Tabela IV.16 Composição química da fração argilosa dos materiais recolhidos em Covas

Amostra	CV3	CV2	CV1	CVc	CVb	CVa	
Contexto	MPR			MGeo			
Na2O	%	0,09	0,27	0,13	0,04	0,02	0,16
K2O		0,40	1,57	1,21	0,15	0,15	0,52
Fe2O3							
Total		1,89	4,25	3,90	1,64	1,37	3,13
Sc	mg/Kg	4,19	9,87	9,27	3,91	3,06	6,85
Cr		30,30	69,50	57,90	26,50	24,80	40,20
Mn		171,93	659,84	486,36	148,70	358,57	229,24
Co		4,99	11,30	10,80	5,28	3,57	21,60
Zn		25,30	68,90	50,70	20,10	25,50	47,20
Ga		5,43	11,60	12,10	7,96	4,66	9,70
As		3,48	13,40	10,00	1,31	0,95	11,00
Br		23,50	52,50	32,10	29,10	5,07	1,74
Rb		29,90	82,60	70,00	16,20	15,00	36,60
Zr		32,63	81,25	64,92	39,05	30,79	47,78
Sb		0,48	2,81	0,65	0,62	0,50	0,86
Cs		2,26	5,68	5,18	1,51	1,40	3,08
Ba		71,25	335,50	231,16	44,18	47,71	126,42
La		7,81	25,80	18,60	7,00	5,29	21,70
Ce		16,21	44,68	35,42	17,26	13,10	43,97
Nd		5,82	24,70	21,15	6,90	4,86	27,62
Sm		1,29	4,70	3,44	1,03	0,83	4,39
Eu		0,26	0,99	0,76	0,20	0,16	0,93
Tb		0,14	0,55	0,49	0,17	0,10	0,57
Dy		1,35	3,99	3,11	1,07	1,00	2,88
Yb		0,54	1,67	1,41	0,53	0,46	1,45
Lu		0,07	0,22	0,15	0,07	0,05	0,21
Hf		1,06	1,79	1,50	1,10	0,86	1,35
Ta		0,33	0,68	0,59	0,33	0,33	0,45
W		0,91	1,67	1,34	0,84	5,78	4,89
Th		2,17	7,00	5,63	1,84	1,34	3,85
U		0,13	0,46	0,39	0,50	0,19	0,48

IV.4 Outeiro Alto

IV.4.1 Amostra total

Tabela IV.17 Composição química dos materiais representativos da geologia local e dos materiais de preenchimento selecionados para datação.

Amostra		OA2	OA1	OA3	OA4	OAA	
Contexto		Fossa 22		Hipogeu	Fossa 30	MGeo	
Na ₂ O	%	0,42	0,45	0,50	0,49	0,15	
MgO		1,12	1,79	1,97	0,94	2,64	
Al ₂ O ₃		8,96	9,19	10,01	10,15	1,91	
SiO ₂		38,76	39,25	45,43	45,61	12,36	
P ₂ O ₅		0,07	0,07	0,14	0,08	0,02	
SO ₃		0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	
Cl		0,01					
K ₂ O		0,92	1,01	1,07	1,23	0,17	
CaO		27,49	25,10	20,66	18,32	50,64	
TiO ₂		0,56	0,55	0,54	0,58	0,12	
Fe ₂ O ₃ Tot		1,95	2,18	2,36	2,38	0,30	
Sc		mg/kg	4,99	5,60	5,95	6,01	0,78
V			40,70	44,40	51,50	47,60	5,40
Cr	33,90		31,80	31,90	32,90	9,64	
Mn	553,00		606,00	844,00	633,00	31,50	
Co	9,59		10,00	11,50	10,50	1,29	
Ni	11,50		13,10	15,00	17,30		
Cu	16,90		14,00	18,00	15,50	7,80	
Zn	23,00		25,60	27,70	28,70	4,06	
Ga	6,72		7,57	10,40	8,52	1,25	
As	6,13		6,28	7,64	6,65	0,19	
Br	7,39		7,53	9,74	5,38	1,75	
Rb	39,50		46,50	47,80	53,70	5,91	
Sr	42,50		67,00	68,80	36,80	111,20	
Y	15,10		14,90	18,80	17,70	2,20	
Zr	170,00		183,00	178,00	203,00	27,50	
Nb	6,70		7,10	7,70	7,90	1,30	
Mo	0,80		0,30	0,90		1,60	
Cd			4,30	3,90			
Sn	3,00			3,80		3,30	
Sb	0,61		0,67	0,77	0,73	0,08	
I	8,90		7,50	13,20		12,40	
Cs	2,16		2,51	2,63	2,73	0,36	
Ba	195,00		224,00	268,00	210,00	33,20	
La	20,70		22,50	24,10	25,10	4,32	
Ce	39,10		45,90	46,70	50,60	8,38	

Amostra		OA2	OA1	OA3	OA4	OAA
Nd		20,50	24,40	25,90	24,40	4,43
Sm		3,65	3,90	4,39	4,51	0,77
Eu		0,80	0,86	0,97	0,98	0,15
Tb		0,50	0,52	0,58	0,61	0,10
Dy		3,18	3,00	3,10	3,34	0,57
Yb		1,78	1,79	2,04	2,04	0,28
Lu		0,20	0,21	0,23	0,25	0,03
Hf		4,17	4,86	4,69	5,50	0,91
Ta		0,61	0,68	0,67	0,78	0,13
W		1,16	1,27	1,24	1,21	2,00
Pb		12,10	11,10	14,00	15,50	4,10
Th		5,56	6,25	6,26	6,88	1,15
U		1,12	0,97	1,31	1,38	0,60

Tabela IV.18 Composição química dos materiais de preenchimento das estruturas negativas (pMPr)

Profundidade (cm)		12	38	69	17	55	96	18	52	78	93	
Contextos	Solo	Fossa 22			Fossa 30			Fossa 28				
Na ₂ O	%	0,498	0,376	0,435	0,389	0,416	0,373	0,445	0,401	0,429	0,573	0,374
K ₂ O		1,35	0,965	0,96	0,818	1,01	0,85	0,905	0,876	1,05	1,31	0,818
Fe ₂ O ₃ Tot		3,81	1,98	2,15	1,82	2,17	1,84	1,98	1,89	2,13	2,46	1,86
Sc	mg/kg	8,72	5,07	5,49	4,71	5,56	4,72	5,31	4,85	5,52	6,24	4,92
Cr		50,5	26,9	30,5	26	30,4	27,7	39,5	26,9	30,8	34,7	27
Co		13,2	9,17	11,8	8,36	10	7,99	7,95	8,82	9,57	10,4	7,71
Zn		44,7	29,9	33,4	28,1	32,9	44,8	64,6	26,4	31,5	38,1	29,6
Ga		13,1	6,99	7,62	5,17	8,15	5,69	8	8,59	7,82	10,7	7,01
As		12,6	5,96	6,68	5,37	6,15	5,48	5,61	5,94	6,1	7,02	5,72
Br		6,17	7,71	10,1	7,38	8,83	12	5,96	10,5	5,91	5,41	6,39
Rb		65,7	39	42,8	37,5	42,9	35,6	37,9	37	44,4	52,1	37,8
Zr		242	148	165	144	176	146	152	151	180	233	132
Sb		0,959	0,646	0,881	0,57	0,675	0,604	0,641	0,545	0,691	0,845	0,685
Cs		3,8	2,22	2,39	1,97	2,52	2,1	2,19	2,18	2,48	2,77	2,16
Ba		260	172	231	177	173	156	165	185	176	206	176
La		29	19,5	22,5	19,9	22,1	19,3	22,1	20,8	20,6	24,9	19,6
Ce		54	41,4	48,3	40,1	44,7	39,7	42,4	42,5	44	50,2	37,2
Nd		21,6	20,3	23,3	17,8	19,8	18,9	21,1	19,9	19,7	22,9	15,7
Sm		5,25	3,67	4,23	3,54	3,96	3,63	3,74	3,84	3,54	4,43	3,41
Eu		1,13	0,752	0,848	0,763	0,837	0,748	0,818	0,759	0,804	0,946	0,703
Tb		0,687	0,489	0,551	0,446	0,533	0,469	0,465	0,447	0,5	0,558	0,422
Yb		2,52	1,75	1,91	1,55	1,73	1,73	1,66	1,6	1,73	2,04	1,49
Lu		0,368	0,249	0,219	0,179	0,2	0,202	0,202	0,236	0,202	0,244	0,168
Hf		6,25	3,84	4,6	4,12	4,82	3,98	4,24	4,42	5,21	6,17	3,4
Ta		0,922	0,648	0,66	0,551	0,715	0,586	0,64	0,627	0,73	0,802	0,611
W		1,5	0,779	1,39	0,988	0,899	1,32	1,1	1,03	0,838	1,31	0,656
Th	8,78	5,06	6,16	5,56	6,29	5,2	7,53	5,85	6,15	6,93	5,05	
U	1,35	1,22	0,826	0,9	0,955	0,914	0,832	0,967	0,867	1,11	0,715	

IV.4.3 Fração argilosa

Tabela IV.19 Composição química da fração argilosa dos materiais representativos da geologia local e dos materiais de preenchimento selecionados para datação.

Amostra		OA2	OA1	OA3	OA4	OAA
Contexto		Fossa 22		Hipogeu	Fossa 30	MGeo
Na ₂ O	%	0,18	0,22	0,29	0,13	0,16
K ₂ O		2,32	2,55	2,27	2,15	0,89
Fe ₂ O ₃ Tot		6,28	6,72	6,57	6,04	2,96
Sc	mg/kg	15,60	16,60	16,20	14,90	6,81
Cr		79,60	89,80	92,40	73,00	68,10
Mn		1665,00	1394,00	1735,00	1464,00	289,00
Co		27,80	26,80	27,10	24,00	7,23
Ga		23,40	24,60	22,20	19,00	11,10
As		22,80	24,00	22,20	18,20	6,78
Br		13,70	13,80	17,60	9,33	18,30
Rb		112,00	114,00	113,00	104,00	45,30
Zr		131,00	108,00	110,00	109,00	80,60
Sb		1,39	1,60	1,41	1,26	0,79
Cs		7,57	7,97	8,06	7,20	3,26
Ba		453,00	430,00	467,00	354,00	169,00
La		33,50	35,00	31,40	30,50	13,50
Ce		77,20	79,60	81,00	68,70	28,10
Nd		30,30	33,70	28,60	29,10	20,90
Sm		5,96	6,93	5,93	5,64	2,30
Eu		1,18	1,27	1,24	1,27	0,44
Tb		0,89	0,88	0,76	0,77	0,25
Dy		5,29	4,18	4,12	3,78	2,07
Yb		2,25	2,33	2,21	2,13	0,89
Lu		0,29	0,31	0,29	0,26	0,16
Hf		3,20	3,20	2,98	2,45	1,60
Ta		1,02	1,08	0,98	0,91	0,54
W		2,95	2,63	3,06	2,00	2,24
Th		10,20	10,70	10,50	9,60	4,18
U		1,13	1,27	0,97	0,88	0,75

IV.5 Horta dos Quarteirões

IV.5.1 Amostra total dos materiais representativos da geologia local e dos materiais de preenchimento selecionados para datação.

Tabela IV.20 Composição química da amostra total dos materiais representativos da geológica local e das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação.

Amostra	Hc	Hb	Ha	Hg	Hf	He	Hd	Hh	H2	H1
Contexto	Perfil norte			Perfil sul				Fácies mais carbonatada	dMPr	
F			0,19							
Na2O	1,73	1,54	2,10	1,95	2,29	2,52	3,74	0,92	0,61	0,61
MgO	3,35	3,32	4,94	4,58	5,59	4,66	4,91	3,70	2,94	2,88
Al2O3	12,34	11,60	13,17	22,17	17,59	11,67	16,09	8,17	11,68	10,33
SiO2	32,62	29,92	34,45	50,04	44,14	31,55	42,23	27,78	38,47	33,04
P2O5	0,06	0,08	0,06	0,05	0,06	0,07	0,15	0,05	0,07	0,06
SO3	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
K2O	0,86	0,72	1,27	1,77	1,37	0,60	1,36	0,31	0,50	0,47
CaO	24,18	28,08	23,01	4,35	11,27	24,35	13,47	29,86	17,70	23,65
TiO2	0,53	0,53	0,59	0,85	0,71	0,60	0,77	0,46	1,17	1,16
Fe2O3 Total	4,74	4,46	5,61	8,49	6,94	5,23	7,85	3,98	8,22	6,74
Sc	15,60	13,80	19,80	26,30	24,40	18,50	27,20	8,77	21,30	19,90
V	54,70	51,30	48,60	113,80	93,00	59,80	78,50	66,70	133,90	125,80
Cr	50,60	45,40	61,00	84,60	67,30	56,50	76,00	39,40	58,90	56,80
Mn	540,57	678,42	719,47	774,46	828,67	789,95	660,61	1595,38	1122,96	860,00
Co	13,30	13,10	18,30	18,60	18,00	15,10	21,90	11,30	29,60	25,20
Ni	15,30	14,40	15,90	29,20	21,50	14,80	17,70	18,70	37,90	33,10
Cu	8,20	14,50	4,80	18,30	11,60		7,50	22,20	43,00	29,40
Zn	44,60	41,80	59,00	66,50	63,60	5,80	71,40	39,00	57,80	51,00
Ga	14,40	9,71	13,70	13,80	23,40	16,90	33,70	6,49	18,30	13,50
As	7,76	7,81	6,97	11,60	10,10	2,21	3,02	2,41	9,85	6,57
Br	8,56	4,26	2,53	3,50	3,03	3,18	4,55	2,81	16,90	11,90
Rb	30,40	23,90	34,10	71,30	41,70	20,50	51,90	20,20	30,00	27,50
Sr	63,80	65,80	71,10	50,00	78,60	110,50	80,70	46,10	99,70	94,60
Y	14,10	13,50	13,80	21,80	20,20	13,00	15,60	14,00	21,60	21,80
Zr	47,82	38,69	64,34	76,52	78,91	52,72	58,14	69,00	108,14	118,00
Nb	2,60	1,60	1,40	5,40	3,00	1,00	0,90	4,80	8,80	7,30
Mo	1,40	1,00	1,30	0,90	1,30	0,80		0,80	1,50	1,00
Sb	1,55	1,22	1,57	2,51	1,91	1,10	1,99	0,65	2,95	1,53
I	17,00	14,70	6,60						17,40	13,20
Cs	2,60	2,39	2,00	7,34	4,14	1,25	5,21	4,08	2,44	1,98

Amostra	Hc	Hb	Ha	Hg	Hf	He	Hd	Hh	H2	H1
Ba	115,59	146,50	113,00	270,5 2	198,38	160,60	223,05	123,93	176,80	140,00
La	7,85	7,40	5,07	12,40	8,21	4,40	5,30	16,30	16,70	15,90
Ce	14,02	11,77	10,15	24,42	15,97	8,25	12,11	33,86	33,31	27,50
Nd	9,37	9,95	7,00	18,56	11,10	5,53	7,49	18,69	17,67	20,80
Sm	2,14	2,00	1,83	2,93	2,65	1,32	1,99	2,32	4,06	3,79
Eu	0,69	0,66	0,72	1,09	0,96	0,61	0,81	0,69	1,25	1,24
Tb	0,35	0,40	0,46	0,63	0,63	0,30	0,43	0,38	0,69	0,64
Dy	2,54	2,13	2,12	4,21	3,42	2,00	2,44	2,06	3,40	3,40
Yb	1,19	1,14	1,29	1,86	1,74	1,03	1,38	1,35	2,00	1,89
Lu	0,13	0,13	0,15	0,24	0,20	0,13	0,18	0,13	0,22	0,21
Hf	1,32	1,08	1,36	2,09	1,55	1,11	1,61	1,65	3,04	2,64
Ta	0,19	0,12	0,09	0,39	0,24	0,08	0,16	0,48	0,62	0,58
W	1,41	1,12	1,96	2,91	3,10	3,27	4,75	1,80	2,03	2,23
Tl				2,50						
Pb	6,60	6,30	5,50	11,00	7,70	6,20	5,00	10,50	12,60	10,60
Th	1,63	1,40	1,00	3,96	2,23	0,64	0,96	4,44	3,37	2,77
U	1,74	1,58	2,00	2,04	1,55	1,81	2,28	1,56	1,07	1,51

Tabela IV.21 Composição química dos materiais de preenchimento da área de intersecção dos fossos.

Contexto		Perfil central					Lateral
Profundidade (cm)		5	53	105	108	138	72
Na ₂ O	%	0,76	1,25	0,81	0,24	0,55	0,65
K ₂ O		0,96	0,16	0,76	0,14	0,10	0,58
Fe ₂ O ₃ Total		9,01	7,15	9,06	4,64	7,80	7,93
Sc	mg/Kg	24,60	19,80	25,30	13,20	29,60	22,20
Cr		71,40	51,60	72,40	38,50	57,00	64,40
Co		31,30	48,00	33,00	20,70	55,80	27,10
Zn		62,00	52,00	72,90	32,70	81,10	64,60
Ga		18,40	14,40	19,60	7,70	12,90	15,30
As		13,90	12,80	10,60	4,59	12,90	9,27
Br		12,20	5,31	12,80	14,20	3,40	18,10
Rb		52,90	7,59	42,10	8,08	10,70	34,30
Zr		160,00	89,50	175,00	68,70	65,80	166,00
Sb		1,90	2,08	1,80	1,37	2,55	1,37
Cs		4,09	0,89	3,28	0,83	1,70	2,63
Ba		218,00	108,00	205,00	95,50	112,00	160,00
La		26,20	13,10	23,80	7,25	4,29	18,00
Ce		49,20	22,10	44,10	13,40	13,20	35,00
Nd		25,49	12,65	30,55	10,76	8,50	19,27
Sm		5,65	3,46	5,39	2,00	1,78	4,43
Eu		1,54	1,24	1,53	0,71	0,53	1,31
Tb		0,94	0,58	1,08	0,43	0,41	0,86
Yb		2,60	1,43	2,54	1,02	0,98	2,07
Lu		0,38	0,19	0,26	0,15	0,11	0,24
Hf		4,11	1,90	2,54	1,45	1,91	3,48
Ta		0,89	0,45	0,96	0,37	0,43	0,70
W		2,28	3,01	2,85	1,07	6,79	1,92
Th	5,50	1,03	4,49	0,94	0,48	3,59	
U	0,95	1,58	1,15	0,66	1,35	1,03	

IV.5.2 Fração argilosa dos materiais representativos da geologia local e dos materiais de preenchimento selecionados para datação.

Tabela IV.22 Composição química da fração argilosa dos materiais representativos da geológica local e das amostras de materiais de preenchimento selecionadas para datação.

Amostra		Hc	Hb	Ha	Hg	Hf	He	Hd	Hh	H2	H1
Contexto		Perfil norte			Perfil sul				Fácies mais carbonatada	dMPr	
Na2O	%	0,23	0,28	0,33	0,26	0,25	0,70	0,74	0,14	0,08	0,21
K2O		0,89	1,15	0,97	1,69	1,49	1,00	0,92	1,19	0,53	0,73
Fe2O3 Total		5,86	8,59	6,56	9,58	10,40	4,77	5,45	5,47	7,34	8,97
Sc	mg/Kg	18,20	24,10	20,60	24,50	28,60	13,80	16,70	13,50	20,70	25,50
Cr		104,00	125,00	112,00	118,00	133,00	148,00	117,00	80,30	63,80	83,90
Mn		153,00	736,51	456,16	626,54	515,01	646,67	507,27	719,00	427,50	458,48
Co		19,60	25,00	16,10	14,60	15,20	17,70	18,50	13,20	20,30	22,60
Zn		71,20	93,40	94,90	79,10	78,60	81,50	82,60	78,70	69,60	105,00
Ga		14,70	21,20	20,00	40,70	36,70	6,96	15,20	23,00	13,50	18,50
As		15,10	24,90	16,00	41,70	38,30	11,10	8,47	13,00	10,70	11,70
Br		20,30	6,18	4,73	6,98	5,03	10,10	11,10	8,22	11,30	19,30
Rb		48,50	72,60	54,80	106,00	104,00	31,00	31,60	57,60	34,50	44,90
Zr		106,00	81,81	121,88	109,18	145,59	119,77	85,45	104,00	69,71	121,50
Sb		1,49	2,04	1,46	13,10	2,08	64,80	30,00	9,93	0,80	1,06
Cs		7,22	12,30	8,05	17,80	17,10	3,55	3,18	12,80	3,45	3,73
Ba		125,00	192,89	150,20	367,41	347,56	342,34	776,63	257,00	147,88	194,60
La		12,40	12,50	8,85	31,00	17,80	4,54	3,52	13,00	10,80	14,90
Ce		24,40	28,40	17,32	40,46	36,02	9,92	7,53	40,50	19,24	23,24
Nd		13,90	14,88	12,14	24,59	13,87	6,79	5,08	10,10	15,67	19,23
Sm		2,52	2,46	1,34	6,22	3,79	0,87	1,09	2,29	2,36	3,13
Eu		0,65	0,66	0,43	1,57	0,87	0,28	0,31	0,54	0,62	0,82
Tb		0,38	0,36	0,30	0,98	0,63	0,19	0,19	0,41	0,41	0,52
Dy		1,23	2,45	1,59	6,85	4,06	1,16	1,19	2,40	1,63	2,38
Yb		1,18	1,29	0,92	3,14	2,26	0,78	0,79	1,09	1,11	1,52
Lu		0,15	0,24	0,17	0,50	0,36	0,13	0,13	0,15	0,16	0,20
Hf		2,07	2,74	2,65	2,75	2,82	2,83	3,07	2,76	1,94	2,73
Ta	0,36	0,54	0,38	0,87	0,89	0,16	0,19	0,58	0,34	0,47	
W	1,93	2,70	2,49	7,51	2,55	2,20	1,72	2,03	3,67	5,51	
Th	3,89	6,05	4,21	10,80	9,80	1,72	1,31	5,38	2,63	3,67	
U	1,40	1,47	0,64	0,88	0,87	1,31	1,33	1,03	0,59	1,67	

IV.6 Malhada da Orada

Tabela IV.23 Composição química da amostra total e fração argilosa dos materiais recolhidos na Malhada da Orada.

Amostra	MO1	MOd	MOc	MOb	MOa	MO1	MOd
Contexto	dMPr	MGeo				dMPr	MGeo
Fração	Total					Argilosa	
Na2O	2,35	2,17	2,48	2,62	2,99	1,21	0,45
MgO	0,95	1,15	1,23	1,17	0,54		
Al2O3	18,83	20,90	21,51	17,95	17,46		
SiO2	69,04	66,64	66,15	70,28	71,22		
P2O5	0,10	0,07	0,12	0,19	0,27		
SO3		0,02	0,06	0,01	0,01		
Cl			0,01				
K2O	4,04	3,83	4,21	4,30	4,58	2,15	1,83
CaO	0,74	0,68	0,88	0,97	0,71		
TiO2	0,49	0,20	0,20	0,19	0,18		
Fe2O3 Tot	1,69	2,43	1,86	1,73	1,53	6,04	6,42
Sc	4,18	4,97	4,10	3,83	3,03	17,40	10,70
V	25,60	26,90	24,10	14,80	17,30		
Cr	19,80	16,30	12,20	9,41	7,80	74,50	43,90
Mn	201,00	211,00	167,00	875,00	255,60	612,00	250,00
Co	3,45	4,07	3,79	7,36	3,14	14,50	9,53
Ni	6,90	4,90	4,50	6,20	2,70		
Cu	7,80	8,50	12,00	12,20	13,00		
Zn	34,80	48,60	48,20	55,50	48,40	172,00	107,00
Ga	11,80	17,60	12,40	14,70	18,20	40,40	31,00
As	3,54	7,63	5,66	4,66	7,79	10,10	14,30
Br	1,09	1,10	1,44	1,67	1,80	7,80	6,11
Rb	232,00	225,00	247,00	252,00	256,00	460,00	199,00
Sr	87,70	74,80	87,80	87,20	112,90		
Y	6,40	7,40	17,50	17,20	6,90		
Zr	178,00	84,50	93,40	97,80	68,60	200,00	123,00
Nb	10,90	11,20	8,50	11,50	14,00		
Sn	11,50	15,60	13,30	16,20	15,50		
Sb	0,27	0,43	0,29	0,16	0,35	1,70	0,89
Cs	13,40	27,00	21,30	28,50	10,90	49,10	51,00
Ba	243,00	203,00	474,00	316,00	250,00	350,00	296,00
La	26,30	16,90	25,10	21,70	18,90	72,30	22,50
Ce	52,10	30,50	40,20	33,40	43,80	125,00	30,60
Nd	26,00	15,40	28,00	20,80	20,80	73,90	20,70
Sm	4,41	3,11	5,51	4,10	3,73	13,00	4,26
Eu	1,13	0,90	1,63	1,15	1,26	2,68	1,08

Amostra	MO1	MOd	MOC	MOB	MOa	MO1	MOd
Contexto	dMPr	MGeo				dMPr	MGeo
Fração	Total					Argilosa	
Tb	0,48	0,41	0,81	0,61	0,44	1,32	0,56
Dy	3,11	2,45	4,06	3,34	2,22	6,34	2,99
Yb	1,53	1,17	1,93	1,70	1,04	3,25	1,55
Lu	0,21	0,14	0,25	0,23	0,10	0,40	0,23
Hf	5,16	2,43	2,01	2,34	2,37	4,65	3,24
Ta	1,65	2,36	1,83	2,38	2,27	5,11	3,19
W		1,82	1,79	1,35	1,71	3,58	5,26
Tl			2,90	2,30	2,40		
Pb	36,50	43,70	44,60	50,60	43,30		
Th	10,30	6,72	6,54	6,57	6,63	24,50	8,53
U	1,88	2,12	1,23	1,46	2,24	3,81	1,43

IV.7 Recinto de fossos dos Perdigões

IV.7.1 Amostra total dos materiais geológicos na área de escavação dos fossos 5 e 12

Tabela IV.24 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais representativos da geologia local do Recinto de fossos dos Perdigões, recolhidos na área de escavação dos fossos 5 e 12, determinados por AAN e FRX. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). A cor cinzenta estão identificados os valores fora do limite de deteção da técnica. CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química)
nd – não detetado

%	PDGa	PDGb	mg/Kg	PDGa	PDGb
Na₂O	1	1,71	Sc	28,9	22
MgO	4,736	3,441	V	153,5	114,2
Al₂O₃	20,1	17,751	Cr	100	78,8
SiO₂	53,648	48,734	Mn	1193	1518
P₂O₅	0,274	5,418	Co	24,4	18,7
SO₃	0,009	0,06	Ni	17,2	18
Cl	0,044	0,043	Cu	21,2	52,5
K₂O	0,549	1,51	Zn	86,8	147
CaO	5,547	7,724	Ga	9,49	7,73
TiO₂	0,897	0,767	As	1,03	7,74
Fe₂O₃ Total	8,42	6,62	Br	2,46	16
LOI	3	7	Rb	51,4	73,1
CaCO₃	6	15	Sr	177,5	176,9
CaO*	5	7	Y	28,3	23,4
	Índices		Zr	114	148
CIA (%)	62	49	Nb	14,1	11,2
Eu/Eu*	0,79	0,76	Mo	1,3	0,9
Ce/Ce*	1,34	1,03	Cd	3,9	nd
(La/Sm)_N	1,97	3,28	Sn	3,9	nd
(La/Yb)_N	4,26	6,66	Sb	0,147	0,316
			Cs	3,27	3,62
			Ba	183	327
			La	14,7	22,1
			Ce	48,7	50,3
			Nd	24,8	24,7
			Sm	4,67	4,29
			Eu	1,27	1,13
			Tb	0,827	0,789
			Dy	3,94	4,5
			Yb	2,39	2,3
			Lu	0,308	0,339
			Hf	3,5	3,89
			Ta	1,02	0,907
			W	2,07	2,65
			Tl	2,7	nd
			Pb	13,8	13,8
			Th	4,2	11,3
			U	1,99	2,22

Tabela IV.25 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais representativos da geologia local do Recinto de fossos dos Perdigões, recolhidos na parede do fosso 5 determinados por AAN e FRX. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química). A cor cinzenta estão identificados os valores fora do limite de deteção da técnica. nd – não detetado

%	PDGc	PDGd	PDGe	mg/Kg	PDGc	PDGd	PDGe
Na₂O	4,24	5,23	3,56	Sc	9,34	12,1	9,34
MgO	1,431	1,754	1,498	V	27,6	35,6	31,1
Al₂O₃	17,214	17,508	18,086	Cr	9,25	12,9	10,6
SiO₂	67,551	65,409	66,169	Mn	258	279	281
P₂O₅	0,257	0,369	0,245	Co	4,98	6,92	5,75
Cl	0,02	0,035	0,023	Ni	2,7	nd	3,3
K₂O	3,33	4,14	2,97	Cu	7,6	8,5	10,2
CaO	2,125	2,637	2,259	Zn	29	39,3	28,7
TiO₂	0,428	0,516	0,473	Ga	24,6	20,3	19,5
Fe₂O₃ Tot	3,31	4,27	3,34	As	2,97	3,77	3,32
LOI	1	2	2	Br	2,16	2,62	1,79
CaCO₃	3	4	4	Rb	107	126	94,1
CaO*	2	3	2	Sr	150,4	152,3	151,4
Índices				Y	23,6	24,2	25
CIA (%)	55	50	58	Zr	151	156	133
Eu/Eu*	0,59	0,61	0,59	Nb	12	12,3	12,4
Ce/Ce*	0,97	0,97	0,98	Mo	nd	nd	nd
(La/Sm)_N	3,93	3,90	3,91	Cd	nd	nd	nd
(La/Yb)_N	8,11	7,98	8,28	Sn	4,1	nd	4,3
				Sb	0,175	0,214	0,162
				Cs	3,33	4,2	2,95
				Ba	371	428	354
				La	33,5	38,8	30,6
				Ce	72,1	80	63,5
				Nd	38,1	36,8	27,3
				Sm	5,35	6,24	4,91
				Eu	1,02	1,22	0,95
				Tb	0,728	0,814	0,712
				Dy	3,7	3,6	4,19
				Yb	2,86	3,37	2,56
				Lu	0,342	0,43	0,336
				Hf	4,43	5,18	4,01
				Ta	1,52	1,85	1,47
				W	2,66	3,33	2,24
				Tl	nd	nd	nd
				Pb	25	nd	25
				Th	13,1	14,2	11,4
				U	2,55	3,29	1,98

IV.7.2 Amostra total dos materiais de preenchimentos dos fossos 5 e 12

Tabela IV.26 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12 do Recinto de fossos dos Perdigões, recolhidos na parede do fosso 5 determinados por AAN e FRX. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química). A cor cinzenta estão identificados os valores fora do limite de deteção da técnica.

%	PDG1	PDG2	PDG3	mg/Kg	PDG1	PDG2	PDG3
Na₂O	3,49	2,34	2,58	Sc	12,1	16,2	16,7
MgO	1,992	2,95	3,002	V	48,9	82,7	87,7
Al₂O₃	18,305	17,85	18,737	Cr	28,4	50,9	51,4
SiO₂	59,679	52,985	54,561	Mn	381	692	611
P₂O₅	1,333	2,113	2,171	Co	7,8	12,8	12,8
SO₃	0,021	0,033	0,027	Ni	6,3	11,7	13,6
Cl	0,033	0,03	0,032	Cu	14,1	21,5	20
K₂O	2,76	1,93	2,09	Zn	50,7	71,1	72
CaO	3,958	7,625	7,61	Ga	16	8,97	18,3
TiO₂	0,609	0,748	0,728	As	5,83	8,69	7,74
Fe₂O₃ Total	4,13	4,95	5,04	Br	2,53	5,45	4,48
LOI	4	6	3	Rb	87,8	70,8	73
CaCO₃	10	13	8	Sr	150,8	149,6	150,5
CaO*	4	7	7	Y	22,8	21,6	21,6
	Índices			Zr	151	117	134
CIA (%)	55	50	49	Nb	11,4	10,2	10,2
Eu/Eu*	0,67	0,70	0,72	Mo	0,8	0,8	0,9
Ce/Ce*	0,95	0,95	0,93	Cd	nd	4,4	nd
(La/Sm)_N	3,77	3,48	3,48	Sn	4	nd	nd
(La/Yb)_N	8,00	7,62	7,10	Sb	0,101	0,193	0,189
				Cs	3,23	2,99	3,12
				Ba	357	310	305
				La	28,9	23,2	24,4
				Ce	59,6	46,8	49
				Nd	30,1	21,8	24,8
				Sm	4,8	4,18	4,4
				Eu	1,04	0,95	1,03
				Tb	0,657	0,594	0,596
				Dy	3,79	3,55	3,23
				Yb	2,5	2,11	2,38
				Lu	0,331	0,292	0,342
				Hf	3,82	3,53	3,81
				Ta	1,26	0,585	0,886
				W	2,31	1,73	1,37
				Tl	nd	nd	2,2
				Pb	21,5	16,3	16,8
				Th	10,2	6,8	6,6
				U	2,23	1,56	2,15

IV.7.3 Fração argilosa do solo moderno e dos materiais de preenchimento dos fossos 5 e 12

Tabela IV.27 Teor em elementos maiores, menores e traço na fração argilosa das amostras PDGb, PDG2, PDG3, recolhidas no Recinto de fossos dos Perdigões, determinados por AAN.

Amostra	PDGb	PDG2	PDG3
%			
Na₂O	0,24	0,24	0,352
K₂O	1,96	1,85	1,88
Fe₂O₃ Total	8,9	9,38	8,96
mg/Kg			
Sc	25,6	27,1	26,1
Cr	98,3	105	107
Mn	1410	960	805
Co	18,9	18,2	15,8
Zn	267	162	144
Ga	19,7	30,3	29,3
As	17,1	19,3	21,7
Br	34,6	19,2	20,3
Rb	99,5	87,6	88,1
Zr	60	56,9	75,1
Sb	0,225	0,279	0,294
Cs	5,77	4,98	4,56
Ba	439	348	317
La	36,6	30,1	29
Ce	54,8	54,3	56,8
Nd	32,2	29,6	26,9
Sm	5,46	5,35	5,57
Eu	1,23	1,1	1,07
Tb	0,76	0,805	0,745
Dy	5,56	6,13	6,54
Yb	2,21	1,92	1,88
Lu	0,284	0,269	0,257
Hf	1,27	1,45	1,53
Ta	1,06	0,988	1,14
W	3,6	3,05	3,89
Th	6,13	6,08	6,02
U	1,17	0,87	1,07
Eu/Eu*	0,70	0,62	0,60
Ce/Ce*	0,71	0,84	0,92
(La/Sm)N	4,20	3,53	3,26
(La/Yb)N	11,47	10,86	10,67

IV.7.4 Amostra total dos materiais geológicos na área de escavação do fosso 8

Tabela IV.28 Teor em elementos maiores, menores e traço na amostra total dos materiais geológicos recolhidos na area de escavação do fosso 8 no Recinto de fossos dos Perdigões determinados por AAN e FRX. nd (não detetado). LOI – Loss on ignition (perda por ignição). CIA – Chemical Index of alteration (Índice de alteração química). nd – não detetado

%	PDGf	PDGg	PDGh	mg/Kg	PDGf	PDGg	PDGh
Na2O	0,105	1,74	1,57	Sc	17,3	23,4	24
MgO	12,532	4,116	4,051	V	203,5	119,6	113,8
Al2O3	18,462	17,342	15,603	Cr	69,1	82,4	81
SiO2	43,207	41,98	45,748	Mn	452	1278	1185
P2O5	0,205	0,186	2,478	Co	19,4	26,4	20,6
SO3	nd	0,016	0,062	Ni	25,1	15,8	18,2
Cl	0,043	0,017	0,039	Cu	nd	38,7	47
K2O	1,13	2,07	1,47	Zn	39,7	108	114
CaO	2,4	13,338	12,054	Ga	17	27	17,9
TiO2	1,032	0,776	0,752	As	13,2	6,25	5,22
Fe2O3 Total	9,65	9,14	6,8	Br	3,15	4,8	9,8
LOI				Rb	48,4	56,7	62,6
CaCO3				Sr	18,1	106,4	159
CaO*				Y	8,2	18,3	22,2
				Zr	119	72,3	138
				Nb	13,4	11,9	10
				Mo	0,9	1,3	0,9
				Cd	nd	nd	nd
				Sn	nd	nd	nd
				Sb	0,474	0,397	0,255
				Cs	3,89	4,24	3,37
				Ba	186	197	269
				La	14,2	33,1	20,6
				Ce	26,4	40,7	43,2
				Nd	18,7	29	26,1
				Sm	2,1	4,22	4,4
				Eu	0,518	1,15	1,05
				Tb	0,244	0,68	0,682
				Dy	1,6	2,85	3,82
				Yb	0,804	2,06	2,17
				Lu	0,136	0,236	0,288
				Hf	3,16	3,8	4,02
				Ta	0,828	1,12	0,869
				W	3,03	1,59	2,01
				Pb	3,9	12,8	10,4
				Th	3,32	2,42	5,1
				U	0,81	3,31	2,6

Índices

CIA (%)
Eu/Eu*
Ce/Ce*
(La/Sm) _N
(La/Yb) _N

IV.7.5 Amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 8

Tabela IV.29 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento do fosso 8.

Amostra		PDG6	PDG5	PDG4	
Na ₂ O	%	2,42	1,71	1,29	
MgO		3,14	4,15	4,31	
Al ₂ O ₃		16,25	15,20	15,20	
SiO ₂		54,41	46,95	43,79	
P ₂ O ₅		1,14	1,42	1,44	
SO ₃		0,03	0,03	0,04	
Cl		0,02	0,03	0,03	
K ₂ O		2,28	1,58	1,36	
CaO		9,10	12,68	13,64	
TiO ₂		0,53	0,64	0,76	
Fe ₂ O ₃ Total		5,09	5,63	6,13	
Sc		mg/Kg	17,60	19,70	21,60
V			85,90	112,80	136,30
Cr			56,50	72,60	79,30
Mn	737,00		922,00	991,00	
Co	14,40		15,70	17,60	
Ni	11,30		12,50	14,90	
Cu	25,00		20,70	24,70	
Zn	73,90		77,80	82,20	
Ga	16,50		16,90	15,00	
As	5,34		5,25	5,67	
Br	4,70		5,82	5,10	
Rb	81,40		60,70	54,20	
Sr	154,90		147,10	147,40	
Y	18,40		21,10	22,60	
Zr	183,00		138,00	128,00	
Nb	8,00		10,60	9,80	
Mo			1,30	0,80	
Sn	3,30		3,10		
Sb	0,31		0,21	0,25	
Cs	4,07		2,92	2,85	
Ba	337,00		298,00	259,00	
La	20,90		19,00	19,20	
Ce	42,20		39,00	38,20	
Nd	23,50		16,90	23,10	
Sm	4,11		4,28	4,51	
Eu	1,08		0,94	0,96	
Tb	0,67		0,70	0,66	
Dy	4,06		3,36	2,97	
Yb	2,24	2,07	1,96		
Lu	0,27	0,28	0,29		

Amostra		PDG6	PDG5	PDG4
Hf		4,62	4,12	3,15
Ta		0,84	0,70	0,72
W		1,33	1,82	1,92
Pb		13,70	10,50	7,80
Th		6,05	4,55	3,83
U		1,79	2,27	1,89

IV.7.6 Amostra total dos materiais da parede do fosso 6

Tabela IV.30 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos na parede este do fosso 6.

Amostra		PDGp	PDGo	PDGn	PDGm	
Na ₂ O	%	2,35	2,43	2,23	2,11	
MgO		4,53	4,99	4,74	5,11	
Al ₂ O ₃		20,20	19,16	19,11	18,25	
SiO ₂		54,00	52,52	52,39	52,44	
P ₂ O ₅		0,32	0,38	0,37	0,39	
SO ₃				0,01	0,02	
Cl		0,04	0,04	0,04	0,04	
K ₂ O		1,03	1,04	0,90	1,07	
CaO		6,01	6,50	7,91	7,64	
TiO ₂		0,82	0,99	0,85	1,01	
Fe ₂ O ₃ Total		8,58	8,88	8,00	8,78	
Sc		mg/Kg	27,10	27,70	25,30	31,90
V			139,00	144,30	146,20	171,40
Cr	62,00		77,50	65,90	70,90	
Mn	1363,00		1193,00	1061,00	1123,00	
Co	23,90		24,50	22,90	27,30	
Ni	9,50		19,30	14,10	14,30	
Cu	16,80		21,40	18,10	16,70	
Zn	96,20		90,20	80,20	103,00	
Ga	29,10		23,70	19,10	16,30	
As	2,39		2,38	2,15	1,20	
Br	3,55		3,40	3,01	3,10	
Rb	49,80		74,20	57,50	60,30	
Sr	213,00		200,00	206,50	192,20	
Y	20,90		26,80	25,50	27,90	
Zr	165,00		148,00	135,00	137,00	
Nb	13,30		14,70	12,70	13,80	
Mo	1,00		1,00	1,00	1,60	
Sn				4,20		
Sb	0,24		0,31	0,17	0,27	
Cs	3,90		3,75	1,89	2,24	
Ba	153,00		207,00	197,00	258,00	
La	16,60		21,50	18,70	19,30	
Ce	41,70		49,80	37,40	41,00	
Nd	22,90		20,80	21,50	20,80	
Sm	3,92		5,39	4,40	4,90	
Eu	1,12		1,31	1,18	1,22	

Amostra		PDGp	PDGo	PDGn	PDGm
Tb		0,70	0,91	0,67	0,86
Dy		3,65	4,80	3,94	5,49
Yb		1,97	2,47	1,92	2,24
Lu		0,25	0,33	0,23	0,36
Hf		3,41	3,51	3,17	3,52
Ta		0,96	1,18	0,68	0,84
W		3,53	3,52	3,11	1,71
Tl					3,00
Pb		13,00	11,50	10,70	12,20
Th		4,21	5,19	2,54	3,13
U		2,07	2,06	1,62	1,80

Tabela IV.31 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos na parede oeste do fosso 6.

Amostras		PDGI	PDGk	PDGj	PDGi	
Na ₂ O	%	1,00	0,51	1,77	2,62	
MgO		4,68	4,11	4,51	4,97	
Al ₂ O ₃		12,67	4,70	18,37	19,57	
SiO ₂		36,52	15,78	49,48	53,49	
P ₂ O ₅			0,21	0,23	0,34	
SO ₃		0,06	0,09	0,04		
Cl				0,03	0,03	
K ₂ O		0,98	0,38	1,07	1,86	
CaO		19,45	36,98	9,65	4,93	
TiO ₂		0,65	0,24	0,82	0,92	
Fe ₂ O ₃ Total		5,35	2,97	8,56	9,31	
Sc		mg/Kg	20,70	9,29	28,50	30,00
V			120,70	68,60	143,10	150,40
Cr	51,10		25,10	63,10	68,40	
Mn	813,00		314,00	1123,00	1216,00	
Co	15,70		7,33	24,30	26,00	
Ni	9,80		3,60	14,10	12,50	
Cu	16,00		11,10	15,40	18,70	
Zn	79,10		103,00	100,00	111,00	
Ga	14,90		6,38	11,80	15,20	
As	11,90		39,20	2,62	1,84	
Br	3,96		11,80	2,61	4,12	
Rb	35,30		13,60	44,60	70,00	
Sr	137,40		130,10	186,30	181,60	
Y	18,70		33,60	24,10	23,20	
Zr	40,50		67,80	165,00	154,00	
Nb	9,20		2,90	12,40	11,80	
Mo			1,40	0,90		
Sb	0,18		0,55	0,17	0,26	
I			11,90			
Cs	1,48		0,53	3,96	3,16	
Ba	172,00		164,00	229,00	279,00	
La	16,60		33,00	13,10	18,20	
Ce	30,40		26,20	42,90	43,20	
Nd	17,90		37,20	20,30	23,00	
Sm	3,31		5,72	4,01	4,68	
Eu	0,87		1,74	1,13	1,24	
Tb	0,56		1,02	0,77	0,83	
Dy	3,58	5,41	3,65	3,87		
Yb	1,73	2,92	2,06	2,34		

Amostras		PDGI	PDGk	PDGj	PDGi
Lu		0,23	0,41	0,26	0,28
Hf		2,37	0,78	3,27	3,83
Ta		0,64	0,24	0,74	0,93
W		2,57	3,57	2,72	4,07
Pb		21,10	44,60	21,70	19,30
Th		2,30	1,12	2,36	3,19
U		2,20	1,02	1,95	2,24

Tabela IV.32 Composição química da amostra total dos materiais recolhidos no preenchimento do fosso 6.

Profundidade (cm)		5	23	72	74	118	153	175
Amostras		PDG6_7	PDG6_6	PDG6_5	PDG6_4	PDG6_3	PDG6_2	PDG6_1
Na2O	%	2,20	2,25	1,37	1,89	1,56	1,91	1,92
K2O		1,37	1,80	1,23	1,39	1,63	1,68	1,58
Fe2O3 Total		6,81	5,24	6,94	6,99	7,87	6,43	8,25
Sc	mg/Kg	24,60	17,80	23,00	25,80	23,10	23,00	26,40
Cr		67,90	55,80	59,10	68,20	77,80	73,70	88,00
Mn		1092,00	860,00	984,00	1146,00	991,00	945,00	1046,00
Co		18,80	13,50	19,60	17,90	21,40	17,00	24,20
Zn		104,00	77,60	115,00	147,00	104,00	75,50	115,00
Ga		16,10	15,90	20,80	12,60	19,00	15,50	22,30
As		5,20	7,13	7,06	7,12	6,03	6,57	4,51
Br		3,71	3,49	3,24	2,52	3,27	3,17	3,11
Rb		56,70	66,30	41,90	56,40	62,40	59,10	57,70
Zr		140,00	132,00	92,20	140,00	107,00	131,00	112,00
Sb		0,24	0,22	0,21	0,31	0,19	0,24	0,21
Cs		2,71	2,74	2,37	2,20	3,05	2,36	3,23
Ba		248,00	311,00	207,00	246,00	259,00	276,00	253,00
La		19,20	22,50	18,90	21,70	17,60	19,80	18,70
Ce		40,00	46,40	36,70	43,40	35,80	38,40	39,80
Nd		24,90	21,10	20,00	21,00	20,20	21,00	29,20
Sm		4,38	4,40	3,98	4,90	4,12	4,60	4,54
Eu		1,19	1,00	1,11	1,09	0,91	1,05	1,18
Tb		0,77	0,77	0,67	1,14	0,60	0,78	0,96
Dy		4,62	4,00	3,20	4,85	4,07	3,22	4,29
Yb		2,18	2,25	1,91	2,30	1,87	1,98	2,22
Lu		0,30	0,31	0,26	0,31	0,21	0,26	0,24
Hf		3,66	3,96	2,70	3,72	2,85	3,10	3,01
Ta		0,71	0,87	0,69	0,80	0,88	0,55	0,84
W		1,51	1,41	2,03	1,82	1,56	1,65	1,32
Th		4,70	6,32	2,21	3,27	2,64	2,62	3,34
U	2,32	2,13	2,24	2,09	2,04	1,97	2,20	

IV.7.7 Estrutura circular

Tabela IV.33 Composição química da amostra total dos materiais de preenchimento da estrutura circular.

Profundidade (cm)	7	23	33	36	53	64	68	73	
Amostras	pPDG6	pPDG5	PDG9	pPDG4	pPDG3	pPDG2	pPDG1	PDG8	PDG7
Na2O	1,91	1,70	1,82	1,83	1,81	1,82	1,79	1,99	2,79
MgO			3,94					4,17	4,53
Al2O3			17,47					17,03	18,25
SiO2			52,69					51,06	55,10
P2O5			3,41					3,98	0,52
SO3			0,05					0,03	0,02
Cl			0,04					0,04	0,04
K2O	1,81	1,68	1,70	1,68	1,88	1,85	1,59	1,56	1,33
CaO			6,70					7,85	6,30
TiO2			0,72					0,70	0,80
Fe2O3 Total	7,05	6,96	6,56	7,09	6,83	6,48	7,18	6,94	6,95
Sc	24,10	24,00	23,30	25,60	23,60	21,20	25,70	25,00	22,30
V			117,30					131,70	119,00
Cr	84,30	84,00	83,00	86,20	80,10	81,70	90,80	88,00	71,20
Mn			1386					1255	1022
Co	21,10	21,10	16,60	21,10	20,50	19,50	20,50	17,00	17,10
Ni			19,30					21,70	16,90
Cu			48,30					44,00	23,90
Zn	137	132	132	122	137	122	134	131,00	94,60
Ga	23,60	20,20	16,80	17,60	33,30	21,00	19,00	25,50	29,70
As	5,82	5,26	6,89	4,86	6,05	5,19	6,35	4,41	1,60
Br	16,40	9,08	7,60	8,72	7,91	8,52	12,20	4,97	1,52
Rb	77,80	75,80	73,80	74,90	75,20	91,10	75,20	66,30	54,40
Sr			151,60					168,70	199,80
Y			24,70					27,30	28,70
Zr	133	190	174,00	168	165	163	142	148,00	117,00
Nb			11,70					11,30	14,50
Mo			1,20					1,40	1,20
Sn			4,00					5,40	5,20
Sb	0,31	0,43	0,38	0,32	0,32	0,29	1,86	0,37	0,27
Cs	3,52	3,43	3,13	3,23	3,46	3,59	3,32	2,76	3,90
Ba	309	301	369	311	294	293	260	343,00	125,00
La	24,40	23,10	22,40	23,80	24,50	21,50	23,10	22,30	24,90
Ce	48,10	46,40	37,40	47,30	46,10	42,80	48,30	34,80	53,30
Nd	30,10	25,50	25,50	23,30	21,00	23,50	22,70	19,90	32,40
Sm	5,12	4,85	5,32	5,31	5,24	4,58	5,30	5,81	5,25
Eu	1,20	1,16	1,17	1,20	1,13	1,07	1,21	1,21	1,13
Tb	0,73	0,74	0,84	0,85	0,73	0,65	0,84	1,27	1,10

Profundidade (cm)	7	23	33	36	53	64	68	73	
Amostras	pPDG6	pPDG5	PDG9	pPDG4	pPDG3	pPDG2	pPDG1	PDG8	PDG7
Dy			3,16					5,68	4,60
Yb	2,33	2,43	2,28	2,51	2,26	2,15	2,50	2,47	2,28
Lu	0,27	0,28	0,30	0,33	0,27	0,26	0,29	0,29	0,33
Hf	4,59	5,22	4,59	5,12	3,91	4,41	3,71	3,43	3,61
Ta	0,92	0,93	0,95	0,88	0,98	0,88	0,86	0,83	1,17
W	2,84	2,02	1,64	2,12	2,57	1,77	1,79	1,55	1,74
Pb			15,70					12,70	13,90
Th	4,19	4,43	6,10	6,55	4,24	4,20	4,35	4,34	5,23
U	1,34	1,83	1,60	0,89	0,78	1,75	1,90	2,00	1,53

V Determinação da taxa de dose

V.1 Composição química em radionuclídeos obtida por EGER

Tabela V.1 Composição química em radionuclídeos nas amostras recolhidas no Monte de Cortes, Covas, Horta dos Quarteirões, Monte Carrascal e Malhada da Orada, determinada por EGER.

Amostra	COR1	COR2	CV1	CV2	CV3	H1	H2	MC1	MC2	MC3	MC4	MO1
K (%)	0,296	0,516	0,717	0,935	0,112	0,363	0,482	0,095	0,273	0,309	0,240	3,646
± int	0,025	0,036	0,048	0,061	0,013	0,029	0,039	0,009	0,023	0,025	0,021	0,216
Th (ppm)	2,445	3,823	4,932	6,426	1,750	2,783	3,705	0,653	1,467	1,569	1,278	10,271
± int	0,131	0,212	0,229	0,173	0,088	0,070	0,137	0,036	0,052	0,088	0,049	0,159
U (serie completo; ppmNatU)	0,511	0,639	0,942	1,205	0,231	0,662	1,092	0,173	0,351	0,356	0,346	1,886
± ext	0,027	0,035	0,042	0,048	0,015	0,025	0,042	0,012	0,020	0,027	0,022	0,084
U (235-U serie; ppmNatU)	-0,445	0,341	0,968	0,742	0,558	0,915	1,211	0,245	0,376	0,433	0,130	0,980
± int	0,437	0,396	0,464	0,486	0,343	0,468	0,667	0,193	0,383	0,428	0,401	0,506
U (238-U serie, préRn; ppmNatU)	0,552	0,743	0,987	1,237	0,291	0,729	1,042	0,194	0,361	0,458	0,332	2,072
± int	0,055	0,056	0,068	0,078	0,038	0,063	0,089	0,023	0,045	0,050	0,045	0,103
U (238-U serie, pósRn sem 210-Pb; ppmNatU)	0,513	0,618	0,953	1,201	0,221	0,637	1,093	0,170	0,346	0,331	0,358	1,837
± int	0,030	0,030	0,041	0,048	0,018	0,033	0,053	0,011	0,022	0,024	0,024	0,064
U (210-Pb; ppmNatU)	0,314	0,511	0,530	1,145	0,108	0,761	1,432	0,116	0,434	0,419	0,174	1,792
± int	0,139	0,133	0,158	0,184	0,099	0,160	0,244	0,058	0,120	0,134	0,120	0,233

Tabela V.2 Composição química em radionuclídeos nas amostras recolhidas no Outeiro Alto e no Recinto de fossos dos Perdigões, determinada por EGER.

Amostra	OA1	OA2	OA3	OA4	PDG 1	PDG 2	PDG 3	PDG 4	PDG 5	PDG 6	PDG 7	PDG9
K (%)	0,811	0,769	0,921	1,059	2,327	1,716	1,765	1,056	1,375	1,749	1,127	1,423
± int	0,052	0,051	0,061	0,070	0,140	0,105	0,108	0,067	0,085	0,107	0,070	0,088
Th (ppm)	5,739	5,194	6,656	7,204	9,059	6,123	6,913	3,814	4,374	5,578	5,868	5,973
± int	0,222	0,102	0,125	0,181	0,203	0,143	0,105	0,188	0,153	0,131	0,109	0,097
U (serie completo; ppmNatU)	1,136	1,100	1,287	1,454	1,662	1,168	1,209	0,709	0,737	0,908	1,363	0,893
± ext	0,045	0,038	0,056	0,040	0,056	0,037	0,056	0,030	0,038	0,042	0,042	0,045
U (235-U serie; ppmNatU)	1,834	0,425	0,023	0,762	2,023	1,211	0,971	0,776	1,067	1,124	0,725	1,159
± int	0,432	0,454	0,520	0,625	0,495	0,442	0,450	0,426	0,419	0,444	0,394	0,451
U (238-U serie, préRn; ppmNatU)	1,170	1,093	1,431	1,479	1,810	1,319	1,362	0,752	0,858	1,045	1,321	1,083
± int	0,069	0,071	0,087	0,097	0,094	0,076	0,079	0,058	0,060	0,067	0,072	0,069
U (238-U serie, pósRn sem 210-Pb; ppmNatU)	1,137	1,117	1,249	1,439	1,591	1,116	1,160	0,697	0,697	0,861	1,403	0,842
± int	0,044	0,045	0,052	0,060	0,057	0,044	0,046	0,033	0,033	0,037	0,050	0,038
U (210-Pb; ppmNatU)	0,862	0,986	1,281	1,642	1,822	1,201	1,214	0,656	0,813	0,979	1,263	0,758
± int	0,156	0,172	0,205	0,248	0,222	0,182	0,186	0,152	0,156	0,172	0,166	0,167

V.2 Composição química em radionuclídeos

Tabela V.3 Composição química em radionuclídeos determinada por AAN, EGIS e EGER nas amostras selecionadas para datação por luminescência.

Amostras		MC4	MC3	MC2	MC1	H2	H1	COR1	COR2
EGIS	K (%)	0,110	0,239	0,206	0,185	0,281	0,331	0,186	0,428
	±	0,003	0,006	0,005	0,005	0,006	0,007	0,005	0,008
	U (ppm)	0,477	0,334	0,316	0,210	0,528	0,645	0,375	0,569
	±	0,047	0,034	0,032	0,022	0,052	0,063	0,038	0,055
	Th (ppm)	2,478	1,363	1,341	1,162	2,309	2,569	1,925	3,415
	±	0,244	0,143	0,141	0,124	0,231	0,255	0,196	0,331
EGER	K (%)	0,240	0,309	0,273	0,095	0,482	0,363	0,296	0,516
	±	0,021	0,025	0,023	0,009	0,039	0,029	0,025	0,036
	U (ppm)	0,346	0,356	0,351	0,173	1,092	0,662	0,511	0,639
	±	0,022	0,027	0,020	0,012	0,042	0,025	0,027	0,035
	Th (ppm)	1,278	1,569	1,467	0,653	3,705	2,783	2,445	3,823
	±	0,049	0,088	0,052	0,036	0,137	0,070	0,131	0,212
AAN	K (%)	0,269	0,300	0,275	0,218	0,418	0,386	0,262	0,343
	±	0,014	0,022	0,018	0,018	0,023	0,021	0,011	0,013
	U (ppm)	1,070	1,420	0,545	1,310	1,070	1,510	0,454	0,700
	±	0,116	0,090	0,068	0,088	0,106	0,382	0,056	0,125
	Th (ppm)	1,390	1,960	1,220	1,220	3,370	2,770	2,440	2,840
	±	0,015	0,021	0,014	0,018	0,029	0,029	0,015	0,018
INAA combinado com EGNA	Rb (ppm)	15,600	18,900	14,600	13,900	30,000	27,500	17,800	19,900
	±	0,719	0,911	0,634	0,870	1,497	1,403	0,555	0,657
	K (%)	0,261	0,304	0,274	0,121	0,435	0,378	0,268	0,362
	±	0,105	0,044	0,047	0,040	0,108	0,032	0,057	0,051
	U (ppm)	0,371	0,443	0,367	0,194	1,089	0,666	0,500	0,644
	±	0,036	0,067	0,021	0,014	0,251	0,006	0,052	0,029
Th (ppm)	1,380	1,940	1,236	1,101	3,384	2,772	2,440	2,847	
	±	0,168	0,309	0,155	0,305	0,435	0,039	0,202	0,620
Rb (ppm)	15,600	18,900	14,600	13,900	30,000	27,500	17,800	19,900	
	±	0,719	0,911	0,634	0,870	1,497	1,403	0,555	0,657

Amostras		OA2	OA1	OA3	OA4	CV3	CV2	CV1	MO1
EGIS	K (%)	0,564	0,644	0,703	0,734	0,217	0,656	0,450	3,206
	±	0,010	0,011	0,012	0,012	0,005	0,011	0,009	0,039
	U (ppm)	0,926	1,361	1,136	0,943	0,382	0,881	0,652	1,679
	±	0,088	0,127	0,107	0,089	0,038	0,083	0,062	0,155
	Th (ppm)	4,355	6,914	5,772	5,146	2,398	4,824	4,398	8,823
	±	0,416	0,648	0,545	0,487	0,239	0,458	0,420	0,818
EGER	K (%)	0,769	0,811	0,921	1,059	0,112	0,935	0,717	3,646
	±	0,051	0,052	0,061	0,070	0,013	0,061	0,048	0,216
	U (ppm)	1,100	1,136	1,287	1,454	0,231	1,205	0,942	1,886
	±	0,038	0,045	0,056	0,040	0,015	0,048	0,042	0,084
	Th (ppm)	5,194	5,739	6,656	7,204	1,750	6,426	4,932	10,271
	±	0,102	0,222	0,125	0,181	0,088	0,173	0,229	0,159
AAN	K (%)	0,766	0,838	0,888	1,021	0,115	0,288	0,250	3,354
	±	0,026	0,025	0,030	0,030	0,006	0,006	0,005	0,091
	U (ppm)	1,120	0,973	1,310	1,380	0,624	1,330	1,070	1,880
	±	0,172	0,096	0,093	0,086	0,072	0,092	0,089	0,137
	Th (ppm)	5,560	6,250	6,260	6,880	1,640	6,500	5,840	10,300
	±	0,023	0,027	0,026	0,023	0,013	0,027	0,026	0,033
	Rb (ppm)	39,500	46,500	47,800	53,700	11,200	61,800	48,300	232,000
±	0,865	1,028	1,004	0,983	0,502	1,162	1,029	2,598	
INAA combinado com EGNA	K (%)	0,767	0,833	0,895	1,027	0,115	0,294	0,255	3,398
	±	0,140	0,131	0,133	0,204	0,067	0,264	0,147	0,137
	U (ppm)	1,101	1,107	1,293	1,441	0,248	1,231	0,965	1,885
	±	0,049	0,064	0,051	0,145	0,037	0,124	0,124	0,069
	Th (ppm)	5,543	6,243	6,276	6,885	1,642	6,498	5,828	10,299
	±	0,312	0,370	0,273	0,477	0,197	0,421	0,737	0,200
	Rb (ppm)	39,500	46,500	47,800	53,700	11,200	61,800	48,300	232,000
±	0,865	1,028	1,004	0,983	0,502	1,162	1,029	2,598	

Amostras			PDG9	PDG8	PDG7	PDG1	PDG2	PDG3	PDG4	PDG5	PDG6
EGIS	K	(%)	1,373	1,170	1,365	2,058	1,007	1,576	0,946	1,420	1,445
		±	0,019	0,017	0,019	0,027	0,016	0,022	0,015	0,020	0,020
	U	(ppm)	1,004	0,759	1,018	1,516	1,232	1,173	0,667	0,912	0,598
		±	0,094	0,072	0,095	0,140	0,116	0,109	0,064	0,088	0,057
	Th	(ppm)	5,566	4,760	5,900	8,750	7,408	7,004	3,519	4,555	4,510
		±	0,525	0,450	0,555	0,812	0,692	0,655	0,340	0,435	0,430
EGER	K	(%)	1,423	1,295	1,127	2,327	1,716	1,765	1,056	1,375	1,749
		±	0,088	0,047	0,070	0,140	0,105	0,108	0,067	0,085	0,107
	U	(ppm)	0,893	1,550	1,363	1,662	1,168	1,209	0,709	0,737	0,908
		±	0,045	0,172	0,042	0,056	0,037	0,056	0,030	0,038	0,042
	Th	(ppm)	5,973	4,340	5,868	9,059	6,123	6,913	3,814	4,374	5,578
		±	0,097	0,070	0,109	0,203	0,143	0,105	0,188	0,153	0,131
AAN	K	(%)	1,411	1,295	1,104	2,291	1,602	1,735	1,129	1,312	1,893
		±	0,038	0,047	0,056	0,068	0,050	0,057	0,028	0,035	0,054
	U	(ppm)	1,640	1,550	1,740	2,230	1,560	2,150	1,890	2,270	1,790
		±	0,200	0,172	0,201	0,444	0,405	0,435	0,103	0,118	0,434
	Th	(ppm)	6,100	4,340	5,230	10,200	6,800	6,600	3,830	4,550	6,050
		±	0,080	0,070	0,080	0,049	0,043	0,044	0,033	0,036	0,043
	Rb	(ppm)	73,800	66,300	54,300	87,800	70,200	73,000	54,200	60,700	81,400
		±	3,730	3,790	4,990	2,310	2,710	2,740	2,810	2,740	2,630
INAA combinado com EGNA	K	(%)	1,413	1,295	1,113	2,298	1,624	1,742	1,118	1,321	1,864
		±	0,028	0,083	0,172	0,167	0,432	0,115	0,120	0,069	0,291
	U	(ppm)	0,929	1,550	1,379	1,671	1,172	1,225	0,803	0,883	0,916
		±	0,033	0,516	0,104	0,041	0,013	0,019	0,073	0,095	0,133
	Th	(ppm)	6,049	4,340	5,453	10,137	6,744	6,646	3,830	4,541	6,004
		±	0,081	0,046	0,294	0,777	0,441	0,191	0,107	0,111	0,421
	Rb	(ppm)	73,800	66,300	54,300	87,800	70,200	73,000	54,200	60,700	81,400
		±	3,730	3,790	4,990	2,310	2,710	2,740	2,810	2,740	2,630

V.3 Taxas de dose alfa, beta e gama

Tabela V.4 Taxa de dose alfa, beta e gama determinado por AAN, EGIS e EGER, corrigidos para o teor em humidade e efeito do ataque químico nas amostras durante o enterramento.

Taxa de dose (Gy)	α		β		β		γ	
Amostras	Grãos finos	±	Grãos finos	±	Gãos grosseiros	±	Gãos grosseiros	±
MC4	0,066	0,005	0,263	0,073	0,218	0,060	0,235	0,021
MC3	0,074	0,009	0,279	0,032	0,232	0,027	0,184	0,037
MC2	0,059	0,004	0,257	0,032	0,213	0,026	0,178	0,036
MC1	0,043	0,007	0,136	0,028	0,113	0,023	0,141	0,035
H2	0,152	0,023	0,458	0,074	0,380	0,061	0,288	0,057
H1	0,120	0,004	0,404	0,025	0,336	0,020	0,328	0,049
COR1	0,094	0,007	0,288	0,039	0,239	0,032	0,213	0,043
COR2	0,127	0,015	0,409	0,039	0,340	0,033	0,377	0,053
OA2	0,244	0,016	0,852	0,110	0,708	0,091	0,537	0,067
OA1	0,333	0,017	0,934	0,105	0,776	0,087	0,741	0,080
OA3	0,329	0,020	0,937	0,108	0,778	0,090	0,644	0,080
OA4	0,389	0,024	1,126	0,159	0,935	0,132	0,634	0,082
CV3	0,077	0,006	0,153	0,047	0,127	0,039	0,225	0,035
CV2	0,245	0,020	0,497	0,173	0,413	0,144	0,532	0,083
CV1	0,263	0,022	0,425	0,099	0,353	0,083	0,436	0,076
MO1	0,459	0,022	3,182	0,173	2,644	0,144	1,519	0,062
PDG9	0,262	0,009	1,423	0,047	1,182	0,039	0,804	0,073
PDG8	0,267	0,051	1,317	0,093	1,095	0,077	0,694	0,067
PDG7	0,299	0,015	1,254	0,140	1,042	0,116	0,821	0,072
PDG1	0,396	0,032	2,089	0,175	1,736	0,145	1,168	0,071
PDG2	0,286	0,017	1,547	0,324	1,285	0,269	0,851	0,087
PDG3	0,280	0,011	1,599	0,097	1,329	0,081	0,936	0,087
PDG4	0,159	0,011	0,961	0,097	0,798	0,081	0,508	0,055
PDG5	0,190	0,013	1,165	0,078	0,968	0,064	0,699	0,063
PDG6	0,218	0,023	1,532	0,235	1,273	0,195	0,651	0,074

V.4 Taxa de dose cósmica

Tabela V.5 Taxa de dose cósmica.

Amostras	Profundidade da Superfície atual	Densidade	Profundidade	taxa de dose cósmica	±
	(cm)	g/cm ³	g/cm ²	Gy/ka	
MC4	50,00	1,37	68,64	0,20	0,01
MC3	115,00	1,05	121,11	0,19	0,01
MC2	170,00	1,61	274,51	0,17	0,01
MC1	207,00	1,76	364,16	0,16	0,01
H2	114,00	1,20	136,48	0,19	0,01
H1	148,00	1,32	195,86	0,18	0,01
COR1	44,00	0,98	42,94	0,20	0,01
COR2	48,00	1,16	55,63	0,20	0,01
OA2	47,00	1,17	55,12	0,20	0,01
OA1	72,00	1,38	99,16	0,20	0,01
OA3	114,00	1,18	134,56	0,19	0,01
OA4	70,00	1,45	101,85	0,20	0,01
CV3	22,00	1,17	25,84	0,21	0,01
CV2	32,00	1,19	38,17	0,20	0,01
CV1	56,00	1,48	82,63	0,20	0,01
MO1	48,00	1,34	64,41	0,20	0,01
PDG9	33,00	0,21	6,77	0,20	0,01
PDG8	73,00	0,20	14,57	0,21	0,01
PDG7	70,00	0,20	14,00	0,20	0,01
PDG1	120,00	1,40	168,31	0,19	0,01
PDG2	121,00	1,56	189,36	0,18	0,01
PDG3	100,00	1,55	154,98	0,19	0,01
PDG4	116,00	1,27	147,87	0,19	0,01
PDG5	96,00	1,36	130,60	0,19	0,01
PDG6	98,00	1,21	118,10	0,19	0,01

V.5 Teor em humidade

Tabela V.6 Teor em humidade nas amostras.

Amostras	In situ	Saturado	Drenado (dias)							Media durante Enterramento	Diferença entre Enterramento e In Situ		
			0	1	2	3	4	8	16				
			±										
MC4	0,13	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,22	0,21	0,15	0,17	0,04	0,04	0,04
MC3	0,18	0,58	0,51	0,49	0,48	0,47	0,43	0,40	0,33	0,29	0,11	0,11	0,11
MC2	0,18	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,21	0,03	0,03	0,03
MC1	0,18	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16	0,18	0,00	0,03	0,00
H2	0,19	0,68	0,50	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41	0,35	0,30	0,11	0,11	0,11
H1	0,14	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,27	0,25	0,18	0,20	0,05	0,05	0,05
COR1	0,16	0,55	0,44	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,27	0,24	0,08	0,08	0,08
COR2	0,13	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,19	0,17	0,13	0,15	0,02	0,02	0,02
OA2	0,04	0,42	0,26	0,26	0,23		0,20	0,19	0,14	0,12	0,07	0,07	0,07
OA1	0,04	0,26	0,21	0,20	0,19		0,17	0,16	0,14	0,10	0,06	0,06	0,06
OA3	0,06	0,41	0,33	0,32	0,30		0,29	0,27	0,24	0,17	0,10	0,10	0,10
OA4	0,05	0,25	0,22	0,21	0,21		0,19	0,18	0,16	0,11	0,07	0,07	0,07
CV3	0,11	0,55	0,37	0,35	0,32		0,25	0,21	0,18	0,16	0,05	0,05	0,05
CV2	0,13	0,43	0,36	0,36	0,36		0,34	0,32	0,27	0,23	0,10	0,10	0,10
CV1	0,14	0,42	0,34	0,34	0,34		0,32	0,30	0,26	0,22	0,08	0,08	0,08
MO1	0,03	0,25	0,21	0,19	0,18		0,15	0,13	0,11	0,08	0,05	0,05	0,05
PDG9	0,02	0,13	0,14	0,13	0,13		0,11	0,09		0,05	0,03	0,03	0,03
PDG8	0,08	0,11	0,11	0,10	0,10		0,09	0,09		0,08	0,01	0,01	0,01
PDG7	0,01	0,08	-0,49	0,07	0,06		0,05	0,05		0,03	0,02	0,02	0,02
PDG1	0,06	0,39	0,28	0,27	0,26		0,25	0,24		0,15	0,09	0,09	0,09
PDG2	0,05	0,23	0,21	0,20	0,20		0,18	0,15		0,10	0,05	0,05	0,05
PDG3	0,08	0,25	0,21	0,20	0,20		0,19	0,17		0,12	0,04	0,04	0,04
PDG4	0,10	0,34	0,32	0,31	0,31		0,29	0,27		0,18	0,08	0,08	0,08
PDG5	0,08	0,32	0,29	0,28	0,27		0,25	0,22		0,15	0,07	0,07	0,07
PDG6	0,06	0,39	0,37	0,35	0,34		0,33	0,31		0,19	0,12	0,12	0,12

V.6 Determinação da eficácia da radiação alfa para os grãos finos de quartzo

Tabela V.7 Determinação da eficácia da radiação alfa nos grãos finos de quartzo das amostras recolhidas no Outeiro Alto.

Amostras	Dose absorvida	±	Dose alfa emitida	±	Eficácia da dose alfa
OA2	5,5	0,3	125,558	0,018	0,04
OA1	6,6	0,4			0,05
OA3	6,0	0,2			0,05
OA3	6,4	0,3			0,05