Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2009

Daniela Maria Silva Gonçalves

Estudo da Evolução de uma Área de Extracção de Areias na Margem Algarvia

Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2009

Daniela Maria Silva Gonçalves

Estudo da Evolução de uma Área de Extracção de Areias na Margem Algarvia

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Luís Menezes Pinheiro, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

O trabalho desenvolvido foi realizado no âmbito do projecto SANDEX financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), com suporte de uma bolsa de investigação do LNEG.

o júri

presidente

Professora Doutora Beatriz Valle Aguado
Professora Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Luís Menezes Pinheiro
Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Doutor Luís Rebêlo
Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)

agradecimentos

Aos meus pais, a quem dedico esta tese, agradeço todo o apoio incondicional que sempre me deram ao longo da minha vida. À minha mana que eu adoro e aos meus amigos um muito obrigada. Ao Chico pela compreensão e por estar sempre a meu lado.

O presente trabalho não teria sido de todo possível sem o apoio, dedicação e acompanhamento exaustivo do orientador científico desta dissertação, Prof. Luís Menezes Pinheiro. Todos os seus ensinamentos não apenas a nível científico, mas também pessoal, foram uma mais valia não só para este trabalho mas também para a vida. A ele agradeço as discussões de questões científicas, a correcção exaustiva de todo o trabalho e acima de tudo a sua amizade, que tanto estimo.

Ao Doutor Luís Rebêlo, responsável pela orientação científica deste trabalho no LNEG, agradeço os seus ensinamentos, conselhos e sugestões que tanto contribuiram para a melhoria da qualidade deste trabalho.

Ao Prof. Paulo Silva não poderia deixar de agradecer toda a sua disponibilidade e apoio incondicional. A sua ajuda e acompanhamento aliadas à sua experiência e conhecimento na área da extracção de agregados foram de grande importância no desenrolar desta dissertação.

À Administração da Região Hidrográfica do Algarve - ARH Algarve - e, em particular, ao Eng. Sebastião Braz Teixeira, agradeço a cedência de grande parte dos dados utilizados no âmbito deste trabalho. Ao Eng. Marcos Rosa agradeço a sua disponibilidade na cedência de informação relativa às campanhas batimétricas cujos dados foram utilizados na elaboração deste trabalho.

Um muito obrigada ao Prof. Pedro Terrinha, Dr. Rui Quartau e Dr. João Noiva pela excelente campanha de mar ERSTA-SANDEX na qual tive oportunidade de participar e aprender.

Agradeço ainda aos Drs. João Noiva e Vasco Valadares as discussões e cedência de informação sobre métodos de interpolação.

Ao Ronaldo Bezerra por toda a ajuda e apoio na utilização do *software ArcGIS*. Meu "vizinho" de secretária, esteve sempre disponível para me tirar qualquer dúvida no desenrolar do trabalho. Aliada à sua experiência, esteve sem dúvida a sua sempre boa disposição. É muito fácil "soltar uma gargalhada" quando se está perto de uma pessoa como o Ronaldo.

agradecimentos

Agradeço também ao Tiago Ribeiro, Diana Marques e Daniela Santos pela ajuda crucial na digitalização das cartas batimétricas referentes a 1998.

À Catarina Lemos pela pessoa tão especial que é. Sempre disponível para ajudar, a Catarina espalha sorrisos por onde passa. Ao Leonardo, companheiro das "noitadas" de trabalho na Universidade, um muito obrigada pelo apoio, compreensão e amizade.

Um agradecimento muito especial a todos os meus outros colegas e amigos do LGGM, nomeadamente ao Kamran Mustafa (*thank you my friend*), ao Luís Gandarinho, ao Francisco Teixeira, ao Vitor Magalhães, ao Davide Oppo e por último, mas não menos importante, à Ana Margarida que enche de alegria o laboratório às quintas-feiras!

À Ana Antunes e à Marta agradeço a amizade e o companheirismo.

Este trabalho foi possível graças a uma bolsa de investigação científica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, no âmbito do projecto SANDEX, instituição à qual deixo o meu agradecimento, assim como ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

palavras-chave

Dragagem, Extracção de Areias, Alimentação de Praias, Impactos Morfológicos, Evolução da Escavação, Vale do Lobo

resumo

A dragagem é uma actividade de extrema importância na defesa da orla costeira (através da alimentação de praias), na manutenção das condições necessárias à navegabilidade dos canais e na extracção de agregados para construção. De facto, a procura de sedimentos provenientes da zona costeira tem sido prática recente em muitos países, constituindo uma das principais fontes de agregados quer para a construção, quer para a alimentação de praias. A extracção de agregados ao largo apresenta, no entanto, alguns impactos negativos no ambiente marinho, quer na morfodinâmica da região, quer a nível ecológico, que podem não se restringir apenas à área da extracção propriamente dita. A evolução de uma escavação, em particular a sua migração e taxa de enchimento, é ditada pelas características físicas e hidrodinâmicas do local. Este trabalho estuda a evolução morfo-sedimentar de uma zona de escavação ao largo de Vale do Lobo - Algarve - provocada por extracções de agregados para alimentação da praia de Vale do Lobo. Este estudo foi realizado com base em alguns levantamentos batimétricos adquiridos entre 1998 e 2008 que foram inseridos num Sistema de Informação Geográfica (*ArcGIS*) para posterior interpolação, comparação, cálculo dos volumes removidos e acumulados e avaliação da variação morfo-sedimentar ocorrida durante um período de 10 anos. De uma maneira geral, na escavação em estudo verificou-se o preenchimento da sua parte mais profunda, e alguma erosão nos flancos, o que resulta numa suavização geral da área escavada. As previsões teóricas quanto ao tempo de persistência da maior perturbação da batimetria apontam para valores que rondam os 40 anos até ao enchimento total ou quase total da escavação. Dada a importância deste tipo de estudos e as limitações sentidas ao longo deste trabalho associadas a erros inerentes aos dados batimétricos, ressalta-se o facto de que para o estudo e monitorização da evolução de uma escavação deste tipo é manifestamente necessário efectuar levantamentos batimétricos com sistemas multifeixe com sensores de movimento, posicionamento por GPS diferencial, e, acima de tudo, com correcções adequadas e cuidadosas, nomeadamente dos efeitos de maré, posição do sonar e referência ao zero hidrográfico.

keywords Dredging, Sand Extraction, Beach Nourishment, Morphological Impacts, Sand Pit Evolution, Vale do Lobo

abstract Dredging is an extremely important activity in the defense of the coastal zone (through beach nourishment), in the maintenance of the necessary conditions for navigation in port areas, and in the extraction of sand and gravel for construction. In fact, the exploration of sediments from the coastal zone has been a common practice in many countries for many years, and it has become, in some places, the main source of aggregates for construction and for beach nourishment. The offshore exploitation of aggregates has however some negative impacts in the marine environment, not only in the morphodynamics of the region, but also in ecological terms, and these are often not restricted to the excavation area. The evolution of a sand pit and in particular its migration and rate of replenishment depends on the physical and hydrodynamic characteristics of the area. This work investigates the morpho-sedimentary evolution of an excavation area offshore Vale do Lobo - Algarve – resultant from exploitation of sand for the nourishment of the Vale do Lobo beach. This study was based on several bathymetric surveys carried out between 1998 and 2008, which were inserted into a georeferenced GIS database (*ArcGIS*) for interpolation, comparison, calculation of volumes of sediment accumulation and removal, and the evaluation of the morpho-sedimentary variations that occurred during a period of 10 years. In this excavation, during the period of investigation, it was possible to observe an infill of the deepest area of the exploration pit as well as some erosion in the flanks, which resulted in the smoothing of the initial excavation topography. It was also possible to estimate that the recovery time for the excavation area is probably of the order of 40 years, for a full or near-full recovery. Given the relevance of this type of studies and the limitations felt in this work related to the fact that the bathymetric data had large errors associated, it needs to be stressed that for this type of investigation it is essential to acquire multibeam surveys with differential GPS positioning and motion sensors, and to perform careful corrections of the effects of tides, sonar offsets and to correct all the surveys to a common vertical datum.

Índice

Agradecimentos

Palavras-chave

Resumo

Keywords

Abstract

Índice I

Índice de Figuras V

Índice de Tabelas XIII

Capítulo I. Introdução 1

I.1. Natureza e Âmbito deste Trabalho 1

I.2. Localização da Área em Estudo 1

I.3. Objectivos 2

I.4. Dados Utilizados 3

I.5. Metodologia 3

I.6. Estrutura da Dissertação 4

Capítulo II. Dragagens e Extracção de Areias 7

II.1. Breve História da Evolução das Dragagens ao Longo do Tempo 8

II.2. Legislação 10

II.2.1. Legislação Nacional 11

II.3. Dragagens na Defesa da Erosão Costeira 14

II.4. Impactos das Dragagens 21

II.4.1. Impactos Morfodinâmicos 23

II.4.2. Impactos Ecológicos 29

Capítulo III. Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Zona de Estudo 33

III.1. Enquadramento Geológico 33

III.2. Dinâmica Costeira 41

III.2.1. Marés 42

III.2.2. Agitação Marítima 42

III.2.3. Correntes e Deriva Litoral 45

III.3. Enquadramento Climático 46

III.3.1. Regime do Vento 47

III.3.2. Regime de Pluviosidade 48

Capítulo IV. Estudo da Evolução Morfológica de uma Área de Extracção de Areias ao Largo de Vale do Lobo – Concelho de Loulé 51

IV.1. Dados Batimétricos 55

IV.1.1. Campanha ERSTA-SANDEX 55

IV.1.2. Levantamentos Batimétricos Prévios 61

IV.1.3. Limitações dos Dados Batimétricos 66

IV.2. Interpolação dos Dados Batimétricos 72

IV.2.1. Métodos de Interpolação 72

IV.2.2. Vantagens e Inconvenientes dos vários Métodos de Interpolação 79

IV.2.3. Selecção do Método de Interpolação a utilizar 81

IV.2.4. Interpolação dos Dados Batimétricos 86

IV.3. Cálculo de Volumes de Sedimentos Extraídos e Acumulados ao Longo do Tempo 93

IV.3.1. Estudo da Evolução da 1ª Escavação 94

IV.3.2. Estudo da Evolução da 2ª Escavação 103

IV.3.3. Estudo da Evolução da Área Comum a todos os Levantamentos, ao Longo de 10 Anos (1998-2008) 118

Capítulo V. Discussão e Conclusões 125

V.1. Superfícies Batimétricas Obtidas para os Vários Levantamentos 125

V.2. Balanço Sedimentar na Área de Estudo..... 127

V.3. Evolução da Zona da Escavação 130

V.4. Trabalho Futuro e Recomendações 138

Bibliografia..... 141

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo. 2

Figura 2 - Valores médios anuais de volumes de areia extraídos em Mm^3/ano em alguns países do mundo (* dados de 1988; ** valores médios entre 1990 e 1998; *** valores médios entre 1993 e 1995; **** referente a 2000) (adaptado de Roos, 2004). 10

Figura 3 – Recuos e avanços médios anuais da linha de costa em Portugal (Dias, 2003). 15

Figura 4 - Localização das áreas submetidas a alimentação artificial a partir de dragados no litoral do Algarve (Teixeira 2009). 21

Figura 5 - Campo de velocidades no interior de uma escavação quando o seu eixo principal é perpendicular à direcção de escoamento. A linha curva a tracejado ilustra a zona de separação do escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002).....24

Figura 6 - Evolução da morfologia da escavação quando o escoamento é perpendicular à escavação e é (a) unidireccional ou (b) bidireccional, relacionado com correntes de maré. As linhas pretas a cheio representam o fundo logo após a extracção e as linhas a tracejado correspondem à sua evolução pela acção do escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002). 25

Figura 7 - Campo de velocidades no interior de uma escavação quando o seu eixo principal é paralelo à direcção de escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002).....26

Figura 8 - Evolução da morfologia da escavação quando o escoamento é paralelo à escavação e bidireccional. A linha preta a cheio representa o fundo logo após a extracção e a linha a tracejado corresponde à sua evolução pela acção do escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002). 26

Figura 9 - Foto aérea de *Grand Isle*, LA, em 1998, mostrando as saliências no areal associadas a uma grande área de extracção de agregados situada directamente ao largo (adaptado de Bender e Dean, 2003). 27

Figura 10 - Localização das áreas de extracção -caixas brancas- em análise (a) em termos de profundidades e (b) em termos de profundidades normalizadas. c) Tempo de regeneração das escavações em função de profundidade normalizada; as setas indicam que os tempos de regeneração são estimados, podendo ser superiores aos indicados, uma vez que à data da comparação as escavações não estavam completamente cheias (Diesing *et al*., 2004).....28

Figura 11 – Localização da área em estudo (quadrado rosa forte) situada ao largo de Vale do Lobo, Concelho de Loulé, Algarve. 33

Figura 12 – Localização das três subdivisões geomorfológicas do Algarve. De Norte para Sul: Serra, Barrocal e Litoral (Lopes e Monteiro, 2007).....34

Figura 13 – Mapa geológico do Algarve (adaptado de Dias, 2001). 35

Figura 14 - Depósitos sedimentares na plataforma continental algarvia (Dias *et al.*, 1980). 37

Figura 15 - Pormenor da carta Geológica de Portugal – 53 A Faro (escala 1: 50 000), mostrando apenas Vale do Lobo e zonas envolventes (adaptado de Manuppella et al., 1985). 38

Figura 16 – Litoral algarvio mostrando as arribas arenosas intercaladas com barreiras arenosas (Teixeira, 2009). 39

Figura 17 – Coluna estratigráfica de um corte no sector das arribas da área em estudo (37º 2' 36''N, 8º 3' 42''W). Os asteriscos (*) correspondem a cavidades preenchidas por material da unidade superior (adaptado de Oliveira, 2005). 40

Figura 18 – Dados do Instituto Hidrográfico, colhidos entre 2000 e 2009, relativos ao ondógrafo de Faro. (a) Alturas máximas e significativas da ondulação. (b) Direcção da ondulação. A direcção da ondulação é referente à direcção de propagação das ondas mais energéticas e é medida a partir do Norte, no sentido dos ponteiros do relógio (retirado de IH, 2009). 44

Figura 19 – Mapa de velocidades do do vento para o Concelho de Loulé, com rosas de vento projectadas. O processamento foi realizado para a altura de 80 m com dados de ventos referentes a 12 meses e dados de ventos históricos provenientes de estações da base de dados do LNEG, exceptuando as rosas de ventos que se referem apenas a 12 meses e por isso não devem ser consideradas a longo termo. Coordenadas no sistema Gauss, Datum Lisboa (adaptado de Costa *et al.*, 2006). 48

Figura 20 – Precipitação anual média na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (adaptado de CCDRA, 2003). 49

Figura 21 – Regime de pluviosidade em Loulé entre1990 e 2001 (adaptado de Olivera, 2005). 50

Figura 22 – Distribuição anual da precipitação em Loulé entre 1990 e 2001 (retirado de Oliveira, 2005). 50

Figura 23 - Fotografia, referente a 1995, de parte do empreendimento turístico de Vale do Lobo que mostra a área em risco (retirado de Teixeira, 2009). 51

Figura 24 – Cartografia litológica da zona ao largo de Quateira a Barra Nova do Ancão (adaptado de Teixeira, 2009). 52

Figura 25 – Fotografias da Praia de Vale do Lobo adquiridas em alturas equivalentes de altura de maré (a) a 12 de Novembro de 1996; (b) a 6 de Julho de 2006, após alimentação artificial de 2006 (retirado de Teixeira, 2009). 53

Figura 26 – Evolução temporal da largura da praia de Vale do Lobo entre Outubro de 1997 e Abril de 2009, baseada em 6 perfis transversais (retirado de Teixeira, 2009). 54

Figura 27 - Levantamentos batimétricos e sísmicos efectuados no decorrer da campanha ERSTA-SANDEX, em Novembro de 2008. 56

Figura 28 - Embarcação *Ecomar* a bordo da qual foi realizada a campanha ERSTA-SANDEX entre os dias 19 e 28 de Novembro de 2008. 57

Figura 29 - Ecossonda *Hydrotrac* de feixe simples da *Odom*. (a) Ecossonda; (b) Sistema de registo analógico e aquisição digital da batimetria. 58

Figura 30 - Levantamentos batimétricos efectuados na área da escavação. 58

Figura 31 - Sistema *Sparker Geo-Resources*; a) *Sparker Geo-Source* 200; b) Sistema de aquisição analógico-digital (computador portátil, Mini-Trace 1 e impressora). 60

Figura 32 – Geometria da aquisição. (a) Vista lateral; (b) Vista de cima. 60

Figura 33 – Localização das 3 áreas abrangidas pelas cartas batimétricas de 1998. 62

Figura 34 - Carta C6 (ver localização na Figura 33) com representação das fiadas ao longo das quais foram efectuadas sondas batimétricas, após geo-referenciação e digitalização dos pontos batimétricos no ArcGIS. Na imagem de pormenor, os números a preto correspondem aos dados originais na carta em papel e os números a verde aos pontos após digitalização. 62

Figura 35 - Cobertura batimétrica referente a Outubro de 1998 após digitalização da informação. Dados cedidos pela ARH Algarve em formato de papel. As medições referentes à topografia (positivas) encontram-se a cor rosa e as referentes à batimetria a verde (negativas). 63

Figura 36 – Cobertura de dados batimétricos da zona de extracção referentes a Novembro de 2001. Dados cedidos pela ARH Algarve. 64

Figura 37 - Cobertura de dados batimétricos da zona de extracção referentes a Março de 2006. Dados cedidos pela ARH Algarve já em malha regular. 65

Figura 38 - Cobertura de dados batimétricos da zona de extracção referentes a Maio de 2006. Dados cedidos pela ARH Algarve já em malha regular. 66

Figura 39 - Esquema ilustrativo do funcionamento geral de um sonar batimétrico. 67

Figura 40 - Esquema ilustrativo das correcções necessárias a fazer ao valor batimétrico que se obtem directamente do sonar (d). 68

Figura 41 - Exemplo de um erro grosseiro (a vermelho), facilmente detectável por ser de uma ordem de grandeza muito diferente dos restantes valores. 69

Figura 42 - Movimentos do navio. (a) em torno do eixo dos zz - *heading*; (b) em torno do eixo dos xx - movimento estibordo bombordo ou *roll*; (c) em torno do eixo dos yy - cabeceamento ou *pitch* (retirado de IHO, 2005). 70

Figura 43 - Efeito do movimento estibordo-bombordo (*roll*) e do cabeceamento (*pitch*), tendo em conta a largura do feixe, na determinação da profundidade (retirado de IHO, 2005). 71

Figura 44 - a) Rede de polígonos de Thiessen; b) Rede de polígonos de Thiessen após a introdução do ponto não amostrado z* (adaptado de Merwade *et al.*, 2006). 77

Figura 45 - Perfis da batimetria de Outubro de 1998 referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m). 82

Figura 46 - Perfis da batimetria de Novembro de 2001 referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m). 82

Figura 47 - Perfis da batimetria de Março de 2006 referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m). 82

Figura 48 - Perfis da batimetria de Maio de 2006 referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m). 83

Figura 49 - Perfis realizados ao longo de uma fiada relativos aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m). 83

Figura 50 - Perfis de Outubro de 1998 referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original. 84

Figura 51 - Perfis de Novembro de 2001 referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original. 84

Figura 52 - Perfis de Março de 2006 referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original. 84

Figura 53 - Perfis de Maio de 2006 referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original. 85

Figura 54 - Perfis de Novembro de 2008 referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original. 85

Figura 55 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Outubro de 1998, usando o método dos vizinhos naturais com células de 5m de lado. 86

Figura 56 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Novembro de 2001, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5m de lado. 87

Figura 57 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Março de 2006, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5 m. 88

Figura 58 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Maio de 2006, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5 m. 89

Figura 59 - Mapa de declives referente à batimetria de Maio de 2006. As setas e os círculos indicam direcções onde se detectam problemas. 90

Figura 60 - Batimetria de Maio de 2006 com as linhas a tracejado a indicar os artefactos lineares observados na superfície e as linhas coloridas a indicar o levantamento da batimetria em dias distintos. 91

Figura 61 - Interpolação dos pontos batimétricos referentes a Maio de 2006 após correcções, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5 m.....91

Figura 62 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Novembro de 2008, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5m.....92

Figura 63 - Levantamento batimétrico relativo a Novembro de 2008 projectado sobre a superfície já interpolada. É notório que a forma da escavação pode estar ligeiramente alterada por tender a seguir as linhas de levantamento. 92

Figura 64 - Esquema ilustrativo da função "*Minus*" do *software ArcGIS*.....93

Figura 65 - Representação esquemática da função *cut/fill* do *ArcGIS*. (a) Superfície original; (b) a mesma zona após um certo período de tempo; (c) Identificação das zonas onde ocorreu deposição (*fill* - a vermelho) e das zonas onde ocorreu remoção de material (*cut* - a azul).....94

Figura 66 - Resultado da subtracção das superfícies de Novembro de 2001 pela de Outubro de 1998, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.....96

Figura 67 - Resultado da subtracção das superfícies de Março de 2006 pela de Novembro de 2001, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.....97

Figura 68 - Matriz resultante da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas de 1998 e 2001.....98

Figura 69 - Matriz resultante da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas de 2001 e Março de 2006. 99

Figura 70 - Esquema ilustrativo do efeito de *pitch* e/ou *roll* na aquisição de batimetria. .101

Figura 71 - Resultado da subtracção da superfície de Março de 2006, corrigida de +12 cm, pela de Novembro de 2001, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações. 102

Figura 72 - Matriz resultante da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas de 2001 e Março de 2006 com correcção de 12 cm. 103

Figura 73 - Perfil paralelo à escavação traçado de NW para SE (da esquerda para a direita respectivamente na figura).....104

Figura 74 - Trajecto da draga e definição da área de dragagem projectadas na superfície de Maio de 2006. 105

Figura 75 - Superfície de Maio de 2006 dividida em 3 faixas e excluindo a zona correspondente ao trajecto da draga. 106

Figura 76 - Resultado da subtracção das superfícies corrigidas de Maio de 2006 pela de Março do mesmo ano, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações. 108

Figura 77 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* para as superfícies batimétricas corrigidas de Março e Maio de 2006. 109

Figura 78 - Resultado da subtracção da superfície não corrigida de Maio de 2006 pela de Março do mesmo ano corrigida para um desfazamento de 12 cm, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações. Valores das escalas de cores em metros. 110

Figura 79 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* na área de dragagem para as superfícies batimétricas de Março de 2006 com correcção de 12 cm e Maio do mesmo ano sem correcções. 111

Figura 80 - Resultado da subtracção da superfície de Novembro de 2008 pela de Maio de 2006 corrigida através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações. 113

Figura 81 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* para as superfícies batimétricas de Maio de 2006 corrigida e Novembro de 2008. 114

Figura 82 - Resultado da subtracção da superfície de Novembro de 2008 pela de Maio de 2006 sem correcções da através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações. 115

Figura 83 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* para as superfícies batimétricas de Maio de 2006 corrigida e Novembro de 2008. 116

Figura 84 - Resultado da subtracção das superfícies, através do comando *minus* e usando uma escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação, referente a (a) Outubro de 1998 e Novembro de 2001; (b) Novembro de 2001 e Março de 2006; (c) Março e Maio de 2006; e (d) Maio de 2008 e Novembro de 2008. 119

Figura 85 - Resultado da subtracção das superfícies, através do comando *minus* e usando uma escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações, referente a: (a) Outubro de 1998 e Novembro de

2001; (b) Novembro de 2001 e Março de 2006; (c) Março e Maio de 2006; e (d) Maio de 2008 e Novembro de 2008.....120

Figura 86 - Matrizes resultantes da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas: a) Outubro de 1998 e Novembro de 2001; b) Novembro de 2001 e Março de 2006 corrigida; c) Março corrigida e Maio de 2006; e d) Maio de 2006 e Novembro de 2008. 121

Figura 87 - Representação gráfica dos volumes de sedimentos removidos e acumulados na área em estudo desde Outubro de 1998 até Novembro de 2008. 122

Figura 88 - Representação gráfica do balanço sedimentar (volume de remoção somado ao de acreção) na área em estudo desde Outubro de 1998 até Novembro de 2008.....123

Figura 89 – Representação das diferentes áreas usadas no cálculo do balanço sedimentar. 127

Figura 90 - Representação gráfica do dos volumes de sedimentos removidos e acumulados entre os diferentes anos de aquisição batimétrica. As áreas usadas são diferentes para cada um dos casos, tendo em conta a conveniência da área e as limitações de cobertura da batimetria. 128

Figura 91 – Superfícies batimétricas interpoladas e representadas usando uma escala discreta de cores referentes a: (a) Maio de 2006 e (b) Novembro de 2008. 132

Figura 92 – (a) Perfil longitudinal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil qu o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos. 133

Figura 93 – (a) Perfil transversal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil que o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos. 134

Figura 94 – (a) Perfil transversal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil que o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos. 135

Figura 95 – (a) Perfil transversal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil que o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos. 136

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Número de estações de monitorização a implementar por volume dragado (adaptado de MAOTDR, 2007). 12

Tabela 2 - Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação: metais em mg/kg e compostos orgânicos em µg/kg (adaptado de MAOTDR, 2007). 13

Tabela 3 – Síntese das intervenções de alimentação artificial no litoral do Algarve (Teixeira, 2009).....20

Tabela 4 - Comparação dos potenciais impactos consoante o tipo de escavação (adaptado de Hitchcock e Bell, 2004) 22

Tabela 5 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) de sedimentos referentes à área da 1ª escavação entre Outubro de 1998, Novembro de 2001 e Março de 2006.....99

Tabela 6 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) referentes à área da 1ª escavação entre Novembro de 2001 e Março de 2006. 103

Tabela 7 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) referentes às superfícies de Março e Maio de 2006 corrigidas. 109

Tabela 8 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) referente à área de dragagem entre Março de 2006 com correcção de 12 cm e Maio do mesmo ano sem correcções. 111

Tabela 9 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) referentes à área de dragagem entre as superfícies de Maio de 2006 corrigida e Novembro de 2008. 114

Tabela 10 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) referentes à área de dragagem entre as superfícies de Maio de 2006 não corrigida e Novembro de 2008. ...116

Tabela 11 - Variação de volume (m3), área (m2) e altura média (cm) referentes à Área 3 entre os diferentes anos que adquiriu dados batimétricos. 121

Capítulo I. Introdução

I.1. Natureza e Âmbito deste Trabalho

O presente trabalho insere-se na disciplina de Projecto/Estágio do curso de Engenharia Geológica para a obtenção do grau de Mestre (modelo de Bolonha) pela Universidade de Aveiro. Foi realizado no âmbito de uma bolsa de investigação do Projecto *SANDEX - Extracção de areias na plataforma continental portuguesa: impactos e evolução morfodinâmica*, que tem como principal objectivo avaliar os impactos físicos decorrentes da extracção de areias e de cascalhos no balanço sedimentar costeiro e na evolução da linha de costa.

O trabalho foi desenvolvido no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, sob orientação científica do Prof. Doutor Luís Menezes Pinheiro, e com a colaboração do Doutor Luís Rebêlo, da Unidade de Geologia Marinha do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

No âmbito desta tese pretendeu-se avaliar o balanço sedimentar de uma área que sofreu duas extracções de agregados para realimentação da praia de Vale do Lobo, no Algarve, assim como os impactos morfológicos destas intervenções antropogénicas, utilizando para esse fim levantamentos batimétricos adquiridos ao longo de 10 anos, desde 1998 até 2008.

Fez ainda parte deste trabalho a participação numa campanha de mar ao largo do concelho de Loulé, Algarve, para levantamento dos dados batimétricos referentes a Novembro de 2008.

I.2. Localização da Área em Estudo

A região em estudo corresponde a uma zona de cerca de 11 km^2, localizada ao largo de Vale do Lobo, concelho de Loulé (Figura 1).

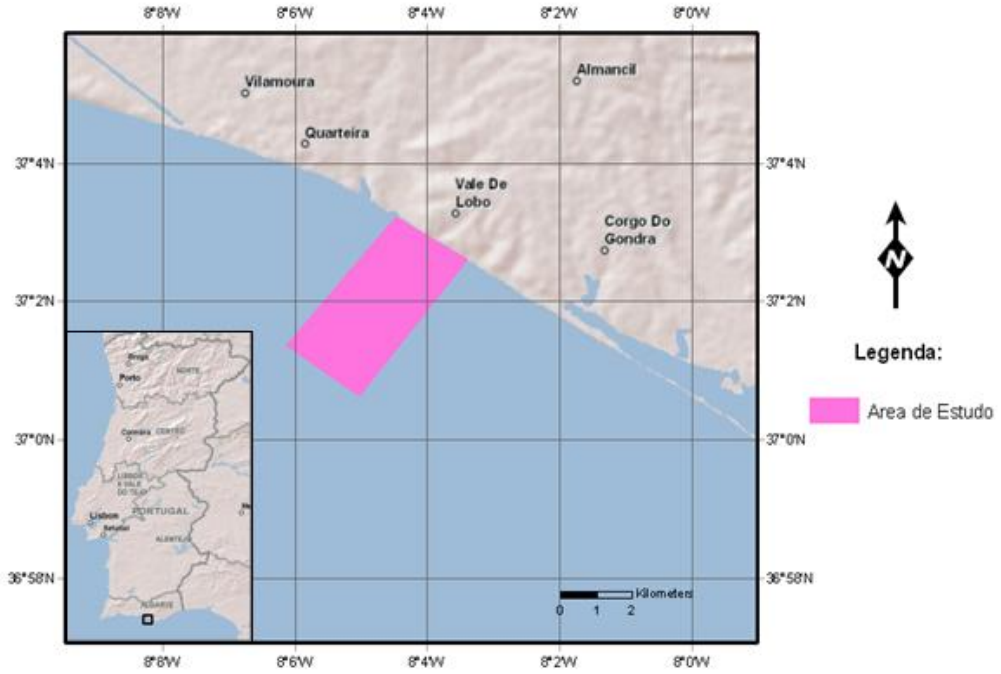


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Na zona de estudo foram efectuadas, num passado recente, 2 extrações de agregados, a primeira em finais 1998 e a segunda entre Março e Maio de 2006, para realimentação artifical da praia de Vale do Lobo em Loulé, de modo a tornar mais estáveis as arribas desta praia e a atenuar os efeitos da erosão costeira que se tem vindo a verificar neste região.

I.3. Objectivos

O objectivo geral deste trabalho foi estudar a evolução morfo-sedimentar de uma zona de escavação provocada por sucessivas dragagens para extracções de agregados. Para a concretização do objectivo geral foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- Estimar o volume de sedimentos extraídos e acumulados entre as extracções, através da subtracção das superfícies batimétricas referentes a Outubro de 1998, Novembro de 2001, Março e Maio de 2006 e Novembro de 2008;

- Avaliar os impactos morfológicos decorrentes da extracção de areias no balanço sedimentar costeiro.

I.4. Dados Utilizados

De modo a controlar o impacto originado pelas extracções de agregados realizadas ao largo de Vale do Lobo no Algarve, bem como avaliar o balanço sedimentar da área em estudo, é importante dispor de registos batimétricos da zona de extracção ao longo do tempo. Na execução deste trabalho foram utilizados dados batimétricos adquiridos na zona da escavação e área circundante, referentes a Outubro de 1998, Novembro de 2001, Março e Maio de 2006. Estes dados foram cedidos pela Administração da Região Hidrográfica do Algarve (ARH Algarve), tendo sido adquiridos com sondas de feixe simples. Com excepção dos dados referentes a 1998, todos os dados estavam referidos ao sistema *Hayford Gauss* IGeoE, *Datum* Lisboa.

Foram também utilizados dados batimétricos adquiridos em Novembro de 2008, durante uma campanha de mar realizada no âmbito do projecto *SANDEX*. Nesta campanha de mar, em que participou a autora deste trabalho, foram efectuados levantamentos batimétricos de feixe simples e adquiridos perfis sísmicos de elevada resolução na área em estudo.

I.5. Metodologia

Os dados batimétricos cedidos pela ARH - Algarve foram inseridos num Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS) e procedeu-se à sua projecção geo-referenciada com conversão para coordenadas UTM, Datum WGS84. No entanto, uma vez que a batimetria referente a Outubro de 1998 se encontrava em formato de papel, houve a necessidade de proceder à sua conversão para formato digital. O processo de digitalização das cartas batimétricas envolveu a *scannerização* das respectivas cartas, a sua geo-referenciação num Sistema de Informação

Geográfica (*ArcGIS*) e a digitalização dos pontos batimétricos, também através do *software ArcGIS*.

A batimetria referente a Novembro de 2008 foi adquirida durante a campanha de mar realizada ao largo de Vale do Lobo. Foram efectuados levantamentos batimétricos de feixe simples e aquiridos perfis sísmicos de elevada resolução.

Foi realizada de seguida uma revisão bibliográfica sobre os métodos de interpolação a utilizar que foram posteriormente testados nos dados em análise. Seleccionou-se o método que produziu a melhor representação dos dados, tendo em conta as diferentes malhas de amostragem e os objectivos deste trabalho.

Após a interpolação e obtenção das matrizes representativas da batimetria correspondente a cada ano de aquisição, procedeu-se à estimativa da variação da morfologia de fundo ocorrida entre os diferentes anos. Esta variação foi obtida através da subtracção de superfícies de anos consecutivos usando a função "*minus*" do *ArcGIS*, e para o cálculo dos volumes de remoção e acumulação foi utilizada a função "*cut/fill*" do mesmo *software*.

I.6. Estrutura da Dissertação

Nos capítulos II e III é feita uma abordagem teórica e uma revisão bibliográfica do tema em estudo.

No capítulo II - *Dragagens e Extracção de Areias* - faz-se uma revisão bibliográfica sobre dragagens e exploração de agredagos, dando ênfase aos seus impactos na morfologia de fundo e nos sistemas biológicos em geral. Neste capítulo é também referida a importância das dragagens na alimentação de praias e defesa da orla costeira, e sumarizada a legislação referente à área das dragagens.

No capítulo III - *Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Zona de Estudo* - é feito o enquadramento geológico e geomorfológico da área em estudo. É ainda feita uma abordagem à dinâmica costeira e ao clima da região, através de

uma revisão do regime de marés, agitação marítima, correntes e deriva litoral, e regime de vento e de plusiovidade.

O capítulo IV - *Estudo da Evolução Morfológica de uma Área de Extracção de Areias ao Largo de Vale do Lobo* - é o capítulo crucial deste trabalho, uma vez que descreve o trabalho realizado para atingir os objectivos anteriormente descritos e apresenta os resultados obtidos. Assim, inicialmente são descritos e apresentados os dados usados no decorrer deste estudo; de seguida é feita uma breve revisão bibliográfica de alguns métodos de interpolação e a selecção do considerado mais apropriado, tendo em conta os dados e objectivos deste trabalho. De seguida apresentam-se os vários passos tomados na estimativa dos volumes de sedimentos extraídos e acumulados ao longo dos 10 anos de estudo.

No capítulo V são discutidos os resultados obtidos, apresentadas as conclusões gerais e incluídas sugestões para trabalhos a desenvolver no futuro.

Capítulo II. Dragagens e Extracção de Areias

A dragagem é uma actividade imprescindível quer para a operacionalidade e segurança portuária, quer na obtenção de agregados para construção de obras, criação de novas infraestruturas ou mesmo manutenção das existentes.

As dragagens são operações frequentes, periódicas e essenciais, estando muito mais próximas da nossa vida quotidiana do que imaginamos. Quando milhares de passageiros apanham uma avião em muitos aeroportos espalhados pelo mundo, raramente imaginam que, por detrás, está muitas vezes todo um trabalho de numerosas dragas, e o mesmo acontece quando desfrutam de uma praia que provavelmente ainda existe graças a dragagens que permitiram a sua reabilitação (Paiva, 2009). O simples facto de um navio de elevadas dimensões (e elevado calado) entrar num porto é concerteza porque uma sucessão de dragagens permitiu manter a navegabilidade da sua entrada.

Assim, são diversas as razões para uma dragagem, sendo as mais relevantes (Paiva, 2009; Teixeira 2009):

- Defesa da orla costeira e manutenção de praias, através da sua alimentação artificial, tentando assim compatibilizar a ocupação humana com o recuo do litoral;
- Manutenção das condições necessárias à navegabilidade, através de trabalhos de dragagem nos canais de navegação ou da construção de novas infraestruturas;
- Exploração de agregados para construção e de minérios em fundos marinhos;
- Abertura de canais para a instalação de tubagens e cabos submarinos;
- Melhoria do meio ambiente, através da remoção de materiais de fundo contaminados.

Neste capítulo apresenta-se uma pequena e breve revisão histórica da actividade das dragagens e efectua-se uma breve abordagem à legislação europeia, focando em mais pormenor a legislação em vigor no nosso país. Apesar das dragagens terem muitas funções e benefícios económico-sociais, apenas será abordada a sua utilização na defesa da erosão costeira, através de alimentações de praias. Finalmente serão descritos os impactos físicos e ecológicos inerentes à extracção de areias.

II.1. Breve História da Evolução das Dragagens ao Longo do Tempo

Desde o começo das sociedades civilizadas que o Homem tenta dominar as condições em seu redor e melhorar as suas condições de vida. Nesse sentido, as primeiras obras realizadas relacionam-se com a construção de regadios e vias fluviais, utilizando meios muito primitivos e uma forte componente humana. No entanto, quando se avançou para obras costeiras, como o caso dos portos marítimos, houve uma grande dificuldade em travar assoreamentos quer marítimos quer fluviais, devido aos meios e tecnologia limitados da altura. Na verdade, a história mostra casos em que o desenvolvimento ou declínio de zonas portuárias se deveu ao sucesso ou fracasso da actividade de dragagem. Foi o caso do porto de Ostia, o mais importante do Império Romano, que encerrou, apesar de todos os esforços que foram desenvolvidos para o manter em funcionamento (Gonzalez, 2004; Paiva, 2009).

Foi a partir do século XVI, com o despertar do engenho na Europa, que foi iniciada a concepção de equipamentos de dragagem. Os primeiros equipamentos eram construídos de madeira e movidos manualmente.

No final do século XVIII, com os grandes avanços tecnológicos, os equipamentos de dragagem passam a ser movidos a vapor. Esta passa a ser praticamente a única forma de energia destes equipamentos, exceptuando alguns pequenos equipamentos que continuavam a utilizar a força humana ou animal.

O grande avanço tecnológico no campo das dragagens verifica-se nos finais do século XIX com a aplicação de bombas hidráulicas. Desde então, os equipamentos de dragagem dividem-se em mecânicos e hidráulicos, consoante o princípio de funcionamento em que se baseiam (Gonzalez, 2004).

A segunda Guerra Mundial originou uma verdadeira revolução do campo das dragagens, quer do ponto de vista tecnológico, quer a nível de organização e sistemas de execução. Os portos europeus, além de estarem parcial ou totalmente destruídos, tinham os seus equipamentos de dragagem danificados e frequentemente obsoletos, devido ao rápido avanço tecnológico verificado nessa altura. A Europa reage renovando os seus equipamentos que se tornavam cada vez mais potentes e tecnologicamente mais avançados.

Desde então e até os dias de hoje, que as características dos equipamentos de dragagem não param de progredir, assim como as técnicas utilizadas em todo o processo envolvente. Assim, as dragas apresentam capacidades de dragagem cada vez maiores e conseguem dragar em fundos cada vez mais profundos (Gonzalez, 2004).

A exploração de sedimentos da zona costeira tem sido prática recente em alguns países, constituindo uma das principais fontes quer para a construção, quer na defesa da erosão costeira (Figura 2). A nível europeu, a procura destes recursos aumentou significativamente desde os anos 80 (Cooper *et al.*, 2007; Kubicki *et al.*, 2007). Em Inglaterra e País de Gales cerca de 21% dos agregados provêm de ambientes marinhos, tendo atingido, em 2005, mais de 20 milhões de toneladas (Cooper *et al.*, 2007).

De acordo com Dias (2005), a quantidade de sedimentos extraídos nas zonas fluviais, estuarinas e costeiras é bastante elevada. Segundo o mesmo autor, o somatório das extracções legais e ilegais nos últimos anos em Portugal atingiu volumes superiores a $1Mm^3$/ano. A título de exemplo, só no período de 1973 a 1976 as explorações autorizadas de areias nas zonas de Peniche e Nazaré rondaram, respectivamente, os $0,4Mm^3$ e $0,8Mm^3$. Em 1980 foram extraídos em São Jacinto - Aveiro - cerca de $0,4Mm^3$ de areias e a extracção de areias e

cascalhos no troço inferior do rio Douro atingiu, no início da década de 90, valores da ordem de 1,5Mm^3/ano.

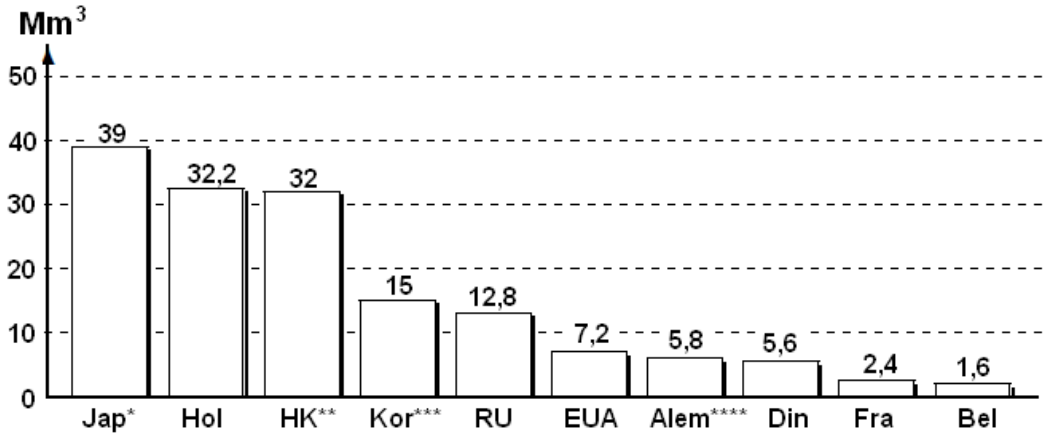


Figura 2 - Valores médios anuais de volumes de areia extraídos em Mm^3/ano em alguns países do mundo (* dados de 1988; ** valores médios entre 1990 e 1998; *** valores médios entre 1993 e 1995; **** referente a 2000) (adaptado de Roos, 2004).

II.2. Legislação

As dragagens e operações a elas associadas, como o transporte e despejo dos materiais dragados, têm impactos no meio ambiente (ver secção II.4), pelo que devem ser sujeitos a um procedimento de avaliação de impacto ambiental. Contudo, o devido tratamento a dar ao material dragado continua confuso na legislação europeia e nacional.

A primeira directiva europeia sobre avaliação ambiental foi a Directiva 85/337/CE de 27 de Junho de 1985 relativa à avaliação das repercursões de determinados projectos públicos e privados no meio ambiente, nos quais se incluem as dragagens.

Esta directiva foi modificada, em 1997, pela Directiva 97/11/CE introduzindo disposições destinadas a clarificar, complementar e melhorar as regras relativas ao processo de avaliação, de modo a assegurar que a directiva fosse aplicada de um modo cada vez mais eficaz. Segundo estas directivas as dragagens figuram

nos projectos que deverão submeter-se a uma avaliação ambiental quando assim o considerarem os Estados-Membros.

Em 2003 o Parlamento Europeu e do Conselho faz algumas alterações às directivas anteriores através do artigo 3º da Directiva 2003/35/CE de 26 de Maio de 2003.

No que se refere ao despejo dos materiais resultantes de dragagens, foi em 2001, pela Decisão 2001/118/CE, que certos materiais dragados, nomeadamente os materiais contaminados por substâncias perigosas, passaram a fazer parte da Lista Europeia de Resíduos e, consequentemente, a ser regidos pela Directiva 75/442/CEE, relativa a resíduos. A Decisão 2001/118/CE esclarece que a inclusão de um material nesta lista não implica que se trate de um resíduo em todas as circunstâncias.

O despejo de dragados considerados resíduos é regido pela Directiva 99/31/CE e deverá ser realizado em aterros, que, segundo a mesma directiva, são locais de eliminação de resíduos destinados unicamente para esse fim, em céu aberto ou subterrâneo.

A Directiva 2000/60/CE estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água com vista à protecção das águas de superfície interiores, de transição, costeiras e subterrâneas. Como as operações de dragagem e despejo do material dragado podem, em determinadas circunstâncias, deteriorar a qualidade da água, então esta é também uma directiva a ter em conta na extracção de agregados.

II.2.1. Legislação Nacional

Ao abrigo da Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, que fixa as regras de utilização dos recursos hídricos, qualquer dragagem deve ser antecedida de uma caracterização físico-química da camada sedimentar a dragar, caracterização esta baseada em critérios granulométricos e análises químicas.

Para além das campanhas de recolha e avaliação do grau de contaminação dos agregados, antes de uma dragagem devem ser indentificados e avaliados os impactos dessa dragagem, realizado um adequado conjunto de recomendações e medidas de minimização a implementar durante a execução das empreitadas e para a gestão dos dragados, assim como ensaios físicos, químicos e ecotóxicos do material a dragar.

No que respeita à campanha de recolha e avaliação do grau de contaminação dos agregados deve ter-se em conta o número de estações de amostragem, regido pelo volume de material que se pretende dragar (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de estações de monitorização a implementar por volume dragado (adaptado de MAOTDR, 2007).

Volume a dragar (m3)	Número de estações
< 25 000	3
25 000 – 100 000	4 - 6
100 000 – 500 000	7 - 15
500 000 – 2 000 000	16 -30
> 2 000 000	+ 10/milhão de m^3

As análises das amostras recolhidas devem ser representativas da coluna de sedimentos a dragar, ou seja, desde a superfície até à cota de dragagem, (excepto no caso de material com granulometria superior a 2mm, que deve ser excluído), devem ser analisados os seguintes dados (MAOTDR, 2007):

- Densidade;
- Percentagem de sólidos;
- Granulometria (percentagem de areia, silte, argila);
- Carbono orgânico total (< 2mm);
- Nos casos em que a análise química é necessária, torna-se obrigatório analisar as substâncias que possam estar presentes devido às fontes de poluição pontuais e difusas.

Das análises químicas a efectuar, os teores em metais pesados e compostos orgânicos são obrigatórios e determinam o local de despejo do material dragado. Assim, baseada em parâmetros físico-químicos, a classificação dos dragados avalia, consoante o seu grau de contaminação, classes de 1 a 5. Distingue-se

entre material dragado limpo (classe 1), com contaminação vestigiária (classe 2), ligeiramente contaminado (classe 3), contaminado (classe 4) e muito contaminado (classe 5), de acordo com o grau de contaminação por metais e compostos orgânicos (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação: metais em mg/kg e compostos orgânicos em µg/kg (adaptado de MAOTDR, 2007).

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Metais					
Arsénio	<20	20 – 50	50 – 100	100 – 500	> 500
Cádmio	<1	1 – 3	3 – 5	5 – 10	> 10
Crómio	<50	50 – 100	100 – 400	400 – 1 000	> 1 000
Cobre	<35	35 – 150	150 – 300	300 – 500	> 500
Mercúrio	<0,5	0,5 – 1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 10	> 10
Chumbo	<50	50 – 150	150 – 500	500 – 1 000	> 1 000
Níquel	<30	30 – 75	75 – 125	125 – 250	> 250
Zinco	<100	100 – 600	600 – 1 500	1 500 – 5 000	> 5 000
Compostos orgânicos					
PCB (soma)	<5	5 – 25	25 – 100	100 – 300	> 300
PAH (soma)	<300	300 – 2 000	2 000 – 6 000	6000 – 20000	> 20 000
HCB	<0,5	0,5 – 2,5	2,5 – 10	10 – 50	> 50

De acordo com a mesma Portaria, as classes de qualidade previamente mencionadas determinam a forma de eliminação dos materiais dragados. Assim, dragados de **classe 1** podem ser depositados no meio aquático ou repostos em locais sujeitos a erosão, ou utilizados para alimentação de praias sem normas restritivas. Os materias que se inserem na **classe 2** podem ser imersos no meio aquático tendo em atenção as características do meio receptor e o seu uso legítimo. Os agregados da **classe 3** podem ser utilizados para terraplenos ou no caso de imersão necessitam de estudo aprofundado do local de deposição e monitorização posterior do mesmo. Dragados de **classe 4** podem ser depositados em terra, em local impermeabilizado, com posterior cobertura de solos impermeáveis. O material muito contaminado, **classe 5**, não deverá ser dragado; no entanto em caso imperativo, os dragados deverão ser encaminhados para tratamento prévio ou deposição em aterro de resíduos devidamente autorizado, sendo proibida a sua imersão (MAOTDR, 2007).

São ainda de mencionar as linhas de orientação relativas à zona costeira, onde a Lei nº 49/2006 de 29 de Agosto determina que a extracção e dragagem de areias efectuada a uma distância menor que 1km da linha de costa para o interior e até 1 milha náutica no sentido do mar deve destinar-se à alimentação artificial de praias (Lei nº 49/2006).

As dragagens de uma forma geral são ainda condicionadas por legislação ambiental de âmbito e complexidade crescentes. No que se refere a este tópico destaca-se o Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio, que estabelece o regime jurídico da avaliação do impacto ambiental dos projectos públicos e privados susceptíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, alterado pelo Decreto-Lei nº 197/2005 de 8 de Novembro, que introduz alterações que esclarecem o âmbito de aplicação do diploma anterior, clarificando a obrigatoriedade de realização de avaliação de impacto ambiental (AIA) para determinados projectos públicos ou privados.

É ainda importante referir a Lei 58/2005 que aprova a Lei da Água, transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2000/60/CE e estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. No que se refere ao tema deste trabalho, são pontos importantes nesta lei a rejeição de águas residuais resultantes das dragagens e a extracção de inertes como medida de desassoreamento para conservação e reabilitação da rede hidrográfica.

Apesar da legislação em vigor, há ainda alguns graus de liberdade, relacionados por exemplo com o tamanho e forma da escavação, assim como a sua orientação em relação às correntes.

II.3. Dragagens na Defesa da Erosão Costeira

A costa tem uma importância vital na vida das comunidades, atendendo que metade da população mundial vive a menos de 60 km do mar e oito em cada dez das maiores cidades do mundo estão junto à orla costeira (Paiva, 2009).

Portugal é detentor de um extenso litoral, dependendo dele em termos sócio-económicos, nomeadamente devido ao turismo, principalmente ao turismo balnear. Porém, a generalidade do litoral português, principalmente as costas arenosas, estão a ser afectadas pela erosão costeira (Figura 3) a uma taxa que em alguns locais atinge a ordem dos vários metros por ano (Taborda *et al.*, 2005).

Este cenário de erosão costeira e recuo da linha de costa em Portugal, que assume níveis preocupantes em mais de 30% da sua extensão, poderá estar associado, em termos geológicos, à subida generalizada do nível médio das águas do mar, a movimentos de neo-tectónica e a possíveis alterações meteorológicas, como alteração dos rumos de ventos, da frequência e intensidade dos temporais no mar e das correntes oceânicas (Gomes, 2009).

Figura 3 – Recuos e avanços médios anuais da linha de costa em Portugal (Dias, 2003).

De acordo com Gomes (2009) e Taborda *et al.* (2005), outras causas mais recentes da erosão costeira poderão também estar associadas com:

- o enfraquecimento das fontes aluvionares, devido a alterações a nível das bacias hidrográficas, albufeiras e barragens, extracções de areias e cascalhos nos rios e estuários, dragagens nos canais de navegação e nas docas;
- a ocupação humana, nomeadamente sobre dunas, praias e arribas;
- a construção e ampliação de quebramares;
- a implantação de esporões e de obras aderentes, que interrompem a deriva litoral e propiciam a acumulação sedimentar, que, no entanto, induz forte intensificação da erosão costeira a sotamar;
- a fragilização de dunas.

A título de exemplo, na faixa costeira do Centro Litoral, o recuo médio que se verifica nas últimas décadas está em grande parte associado ao enfraquecimento das fontes aluvionares por razões antrópicas (Gomes, 2009).

Perante a combinação de um cenário de erosão costeira com a elevada ocupação da faixa costeira e a importância económica da indústria de turismo balnear, cria-se um problema muito difícil de resolver (Taborda *et al.*, 2005). Segundo Teixeira (2009), são três as formas de enfrentar este conflito:

- Deslocalização - aceita a evolução natural do litoral e antevê o seu recuo, programando a retirada progressiva das ocupações, sem interferir no curso dinâmico e natural;
- Protecção pesada - actua na defesa activa do litoral, recorrendo à construção de estruturas pesadas;
- Protecção ligeira - tenta compatibilizar a ocupação humana com o recuo do litoral, actuando de forma ligeira e de acordo com a dinâmica do litoral em causa, como é o caso da alimentação artificial das praias.

Qualquer uma das estratégias adoptadas para fazer face ao problema da erosão costeira deve ser eficaz, ambientalmente aceitável e economicamente viável (Taborda *et al.*, 2005).

No entanto, só quando a erosão costeira começa a ameaçar o património construído é que, geralmente, se efectuam intervenções para o salvaguardar. De

acordo com Dias (2003), são geralmente as consequências do recuo da linha de costa que são combatidas, não se tentando, na maioria dos casos, resolver a situação actuando ao nível das causas, das quais a mais significativa é a deficiência de abastecimento sedimentar ao litoral, induzida principalmente pelas actividades antrópicas, como é o caso particular das barragens. O mesmo autor considera a artificialização progressiva, com estruturas fixas, como esporões e paredões, uma tentativa de tornar estático aquilo que é profundamente dinâmico, sendo uma "guerra" contra a Natureza, na qual se podem vencer algumas batalhas, mas em que a derrota final é uma certeza.

Nos últimos anos, intervenções que se baseiam na manutenção do dinamismo costeiro e das suas potencialidades têm sido levadas a cabo. Estas intervenções envolvem, entre outras, a alimentação artificial das praias (Dias, 2003). As praias constituem uma protecção natural e dinâmica a situações de tempestade, não havendo melhor protecção da costa que a oferecida pela praia. Assim, a alimentação artificial de praias é considerada como sendo uma das alternativas de defesa costeira mais eficaz e amigável (Taborda *et al.*, 2005).

A alimentação artificial de praias constitui uma protecção ligeira e uma medida de correcção que deixa a praia num estado mais próximo do estado natural que as estruturas pesadas, preservando o seu valor recreacional. De facto, além da atenuação da erosão costeira, a alimentação de praias fornece o benefício suplementar de aumentar a capacidade de utentes do areal e, no caso de praias suportadas por arribas, fomenta a sua utilização fora das faixas de risco das vertentes (Taborda *et al.*, 2005; Teixeira, 2009).

Este tipo de intervenção requer uma quantidade de areias considerável, que podem provir (Gomes, 2009):

- dos montantes dragados para o aprofundamento/manutenção dos canais de navegação e para o prolongamento de quebramares;
- de áreas de barlamar[1] onde se verificam acumulações, na praia ou nos bancos submersos;

[1] O termo *barlamar* é usado relativamente ao sentido de movimento longitudinal dos sedimentos.

- de bancos submersos ao largo (profundidades superiores a 20 ou 30m dependendo da profundidade de fecho[2]).

Na selecção do local a dragar existem diversos factores críticos que condicionam a possibilidade da sua utilização na reabilitação de praias, dos quais se destacam as características químicas e físicas dos dragados (de acordo com a legislação em vigor - ver secção II.2.), o volume disponível necessário para o projecto, a existência de zonas sensíveis do ponto de vista ambiental e os custos de extracção e transporte, que devem ser exequíveis (Gomes, 2009; Teixeira, 2009).

A granulometria dos dragados é um factor muito importante na decisão da sua utilização na alimentação artificial de praias, um vez que será desejável que as operações de alimentação utilizem areias com granulometria igual ou superior à das existentes no troço a alimentar. O facto, é que intervenções em que os sedimentos introduzidos têm granulometria igual ou superior à granulometria das praias, traduzem-se em praias com maior longevidade, uma vez que as praias alimentadas nestas condições são mais estáveis, embora mais inclinadas. Praias alimentadas com granulometrias menores são geralmente mais instáveis e consequentemente as areias nela colocadas tenderão a ser transportadas mais rapidamente pelas acções do mar. Além disto, alguns casos práticos mostraram ainda que dragados com um teor de finos superior a 30% não são viáveis na alimentação artificial de praias (Gomes, 2009; Teixeira, 2009).

A alimentação de praias tem sido uma opção bastante popular em várias partes do mundo desde os anos 60. Um bom exemplo é *Miami Beach*, nos Estados Unidos, Florida, que sofreu realimentação em 1979, passando assim de 8 milhões de utentes em 1978 para 21 milhões em 1983. Tendo em conta o custo desta operação e o benefício causado, pode dizer-se que em termos globais houve um retorno de cerca de 700€ por cada 1€ investido na realimentação (Taborda *et al.*, 2005).

[2] *Profundidade de fecho* é a profundidade à qual não há modificações significativas no perfil de praia, ou seja, não há trocas significativas de sedimentos entre os domínios infralitoral e supralitoral.

Na Europa, as intervenções na alimentação de praias são também muito significativas, tendo sido depositados, entre 1955 e 2000, cerca de 300 milhões de m^3 de sedimentos em praias alemãs e 110 milhões na Holanda. Já em Espanha, para compensar a súbida média das águas do mar de cerca de 6mm/ano, são depositados aproximadamente 7 milhões de m^3 de areias pela orla costeira espanhola (Taborda *et al.*, 2005; Paiva, 2009).

Em Portugal, regimes de protecção ligeira através de alimentação artificial de praias é cada vez mais comum e com um historial de sucesso. É o caso, por exemplo, da abertura artificial da Barra do Ancão em 1997 e da reconstrução da Península de Cacela com materiais dragados do canal interno, entre 1996 e 1997, zona que se encontrava extremamente debilitada (Dias, 2003). Destacam-se ainda as intervenções de alimentação artificial executadas na praia dos Três Castelos (Portimão) e Vilamoura/Quarteira, também no Algarve, na Costa da Caparica e no Castelo do Queijo.

No Algarve, a alimentação de praias remonta a 1970 na Praia da Rocha e envolveu a deposição de cerca de 0,9 milhões de m^3 de areia dragada do estuário do rio Arade, na sequência das obras de melhoramento do Porto de Portimão. Desde então e até 1996, este tipo de intervenção repetiu-se apenas três vezes, duas em 1983 na praia dos Três Castelos e na Praia da Rocha e uma terceira em 1992 na Praia de Alvor (Tabela 3). Estas operações foram executadas sempre na estreita dependência de obras portuárias, com agregados resultantes de dragagens de melhoramento ou manutenção de canais de navegação (Teixeira, 2009).

De acordo com Teixeira (2009), desde 1996 foram executadas uma série de intervenções de alimentação artificial de praias e reforço dos cordões dunares ao longo do litoral algarvio, envolvendo mais de 5 milhões de m^3, recorrendo a inertes provenientes quer de dragagens de manutenção de barras e canais de navegação, como de depósitos de materiais extraídos em dragagens anteriores

de estabelecimento de portos, quer de exploração de manchas de empréstimo[3] ao largo (Tabela 3 e Figura 4).

Tabela 3 – Síntese das intervenções de alimentação artificial no litoral do Algarve (Teixeira, 2009).

Local	Data	Método	Volume (m^3)	Mancha de empréstimo	Local de deposição
Praia da Rocha (Portimão)	1970	draga	900.000	estuário Rio Arade	praia
Praia da Rocha	1983	draga	100.000	estuário Rio Arade	praia
Praia Três Castelos (Portimão)	1983	draga	450.000	estuário Rio Arade	praia
Praia de Alvor Nascente (Portimão)	1992	draga	250.000	canal da Ria de Alvor	praia e duna
Praia Três Castelos	1996	draga	480.000	estuário Rio Arade	praia
Praia de Alvor Nascente	1996	camião	5.000	depósito de dragados Alvor	praia
Praia de Alvor Nascente	1997	camião	6.000	depósito de dragados Alvor	praia
Praia do Lacem (Vila Real Sto António)	1997	draga	480.000	canais Ria Formosa	praia e duna
Praia dos Tremoços (Lagoa)	1998	draga	35.000	largo	praia
Praia de Alvor Nascente	1998	camião	6.000	depósito de dragados Alvor	praia e duna
Praia Três Castelos	1998	draga	510.000	estuário Rio Arade	praia
Praia Quarteira (Loulé)	1998	draga	70.000	porto de pesca de Quarteira	praia
Praia Quarteira	1998	draga	280.000	ao largo	praia
Praia Vale do Lobo (Loulé)	1998	draga	700.000	ao largo	praia
Praia Vilamoura (Loulé)	1999	draga	270.000	ao largo	praia
Ilha Cabanas	1999	draga	380.000	canais Ria Formosa	praia e duna
Ilha Tavira	1999	draga	130.000	canais Ria Formosa	praia e duna
Ilha Armona	2000	draga	510.000	canais Ria Formosa	praia e duna
Península Ancão	2000	draga	570.000	canais Ria Formosa	praia e duna
Península Cacela	2000	draga	290.000	canais Ria Formosa	praia e duna
Praia D. Ana (Lagos)	2000	draga	30.000	estuário Bensafrim	praia
Praia Pintadinho, Molhe e Moiteira (Lagoa)	2001	camião	80.000	depósito de dragados Arade	praia
Praia Vale do Lobo	2006	draga	370.000	largo	praia
Praia de Alvor Nascente	2009	camião e draga	275.000	dragados e canal da Ria de Alvor	praia e duna
Prainha (Portimão)	2009	draga	25.000	canal Ria de Alvor	praia

[3] *Mancha de empréstimo* é o termo vulgarmente utilizado para referir as áreas onde se retiram agregados para deposição num outro local.

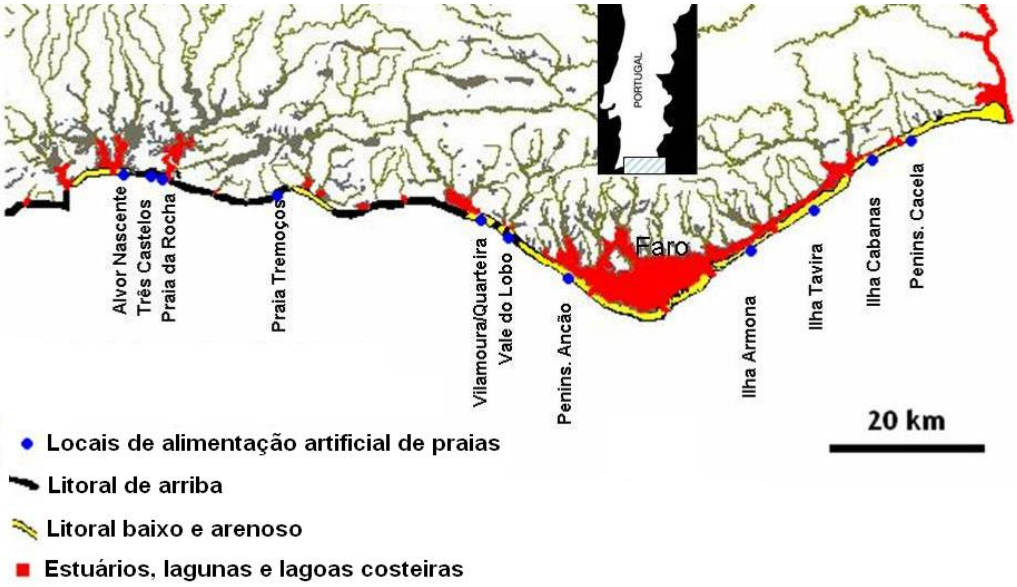


Figura 4 - Localização das áreas submetidas a alimentação artificial a partir de dragados no litoral do Algarve (Teixeira 2009).

II.4. Impactos das Dragagens

Apesar das muitas vantagens, já descritas, que as extracções de sedimentos apresentam, o facto é que também têm impactos quer a nível da ecologia quer da morfodinâmica.

Aquando da extracção, a flora e fauna do local são destruídas, sendo esses efeitos tão mais significativos quanto maior for a profundidade da escavação. Além disso, as dragagens provocam a libertação de sedimentos muito finos do fundo, como silte e argilas, e sua suspensão na coluna de água, o que pode ter também uma influência nociva no sistema ecológico (Rijn e Walstra, 2002).

No que se refere à morfodinâmica, o processo de extracção modifica localmente a batimetria de fundo, através da criação de uma depressão, que pode modificar as correntes e o campo de agitação marítima, o que consequentemente, altera a taxa de transporte de areias e assim, o balanço sedimentar na zona costeira. Eventualmente, as dragagens modificam a granulometria do sedimento de fundo e a sua rugosidade, através, também, da alteração das formas de fundo (Rijn e Walstra, 2002).

A profundidade e/ou a forma da escavação, resultante do tipo de dragagem utilizado, pode ter diferentes impactos quer a nível ecológico quer morfodinâmico. Existem essencialmente dois métodos utilizados para extraír agregados na plataforma, os quais originam diferentes geometrias de escavação (Rijn e Walstra, 2002; Hitchcock e Bell, 2004; Kubicki *et al*., 2007):

- a sucção dos sedimentos é efectuada a partir de um navio em movimento, pelo que as escavações resultantes são pouco profundas e sob a forma de sulcos (profundidades de 0,5 até 2m, largura da ordem de poucos metros e comprimento que pode atingir as centenas de metros);
- a draga encontra-se em posição estacionária no local a dragar, o que resulta numa escavação de maior profundidade, mas circunscrita a uma área menor, tipicamente entre 10 a 50m de diâmetro.

Assim, os métodos de escavação podem ser agrupados em dois grandes tipos: escavações largas e de baixa profundidade ou escavações pequenas e profundas (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação dos potenciais impactos consoante o tipo de escavação (adaptado de Hitchcock e Bell, 2004)

Tipo de Escavação	Vantagens	Desvantagens
Pequenas e profundas	• Reduzida àrea de impacto • Reduzida modificação nas correntes e agitação do mar	• Local de acumulação de sedimentos • Fundo irregular • Distúrbios de camadas mais inferiores • Possibilidades de condições anaeróbias nas escavações mais profundas • Reduzidas hipóteses de recuperação da fauna
Largas e pouco profundas	• Reduzida alteração da topografia • Boas hipóteses de recuperação da fauna • Reduzida possibilidade de exposição de camadas mais profundas • Adequação às dragas modernas	• Podem afectar as correntes e a agitação marítima • Área de impacto extensa

Os impactos das dragagens podem ainda ser divididos em directos e indirectos. Os directos são definidos como alterações que ocorrem como uma primeira resposta ao processo de dragagem, sem um processo intermédio. Estendem-se

geralmente da área de extracção até ao limite da pluma de sedimentação provocada na dragagem. Já os impactos indirectos são resultado de uma resposta secundária às actividades extractivas e ocorrem quer no interior quer no exterior da área de extracção (Nairn *et al.*, 2004).

Assim, o planeamento e a concessão de um local de dragagem na zona costeira carecem de um estudo prévio para estimar a natureza e a extensão dos seus efeitos. Contudo, este problema é complexo dada a variedade de processos envolvidos e a sua interligação, a incerteza no cálculo do transporte sedimentar e as diferentes escalas de tempo envolvidas na recuperação de uma escavação, que pode variar entre horas a centenas de anos (Silva, 2009).

II.4.1. Impactos Morfodinâmicos

O impacto físico directo mais evidente numa dragagem é a remoção de substrato e a alteração da topografia do fundo, que resulta na criação de sulcos, de uma escavação ou no abaixamento da batimetria de fundo. Impactos morfodinâmicos indirectos incluem as consequentes mudanças na topografia de fundo, transporte de sedimentos e alteração na linha de costa (Nairn *et al.*, 2004).

Os impactos directos incluem remoção ou perturbação do substrato e exposição de uma camada que tem diferentes características da camada superficial, como o tamanho do grão, a compactação e o teor em oxigénio. Além disso, devido à suspensão de finos resultante do processo de dragagem, o tamanho do grão da camada mais superficial pode mudar (Nairn *et al.*, 2004). Assim, este processo pode conduzir a uma mudança na composição do sedimento dentro da área de extracção, que resulta numa deposição de uma camada de sedimento mais fina quer na área da dragagem quer na área envolvente (Robinson *et al.*, 2005).

A área que os impactos podem abranger depende de muitos factores como as condições hidrodinâmicas do local, o tipo de recursos extraídos, os seres vivos bentónicos da área de extracção e o método de extracção usado (Kubicki *et al.*, 2007). Segundo Rijn e Walstra (2002), uma escavação criada no processo de dragagem pode, ao longo do tempo, migrar em direcção à costa e/ou comportar-

se como uma bacia para acumulação de sedimentos. Assim, e a longo prazo (100 anos), a área de influência pode estender-se dezenas de kilómetros para além da área de escavação original.

A evolução de uma escavação, em particular a sua taxa de enchimento e a sua migração, é ditada pelas condições hidrodinâmicas existentes e pelas características físicas do meio, como a distância à costa e profundidade do local, o tipo de escavação e a natureza do sedimento. As condições hidrodinâmicas determinantes no transporte de sedimentos depositados no fundo e, portanto, na evolução da escavação são o escoamento associado a correntes e a propagação de ondas de superfície (Silva, 2009).

De acordo com Rijn e Walstra (2002), a influência da área da escavação nas correntes é determinada pela forma e dimensão da escavação, força das correntes no local, batimetria e pelo ângulo entre o eixo principal da escavação a a direcção da corrente.

Se o eixo principal da escavação é perpendicular à direcção da corrente a intensidade da velocidade da corrente diminui no interior da escavação devido ao aumento de profundidade (Figura 5). O decréscimo da velocidade no interior da escavação leva à diminuição da capacidade do escoamento em transportar sedimentos. Assim, os sedimentos que são transportados, por arrastamento ou em suspensão, das regiões exteriores à escavação para ela têm a tendência de depositar-se no seu interior (Rijn e Walstra, 2002; Roos *et al.*, 2008; Coelho, 2009).

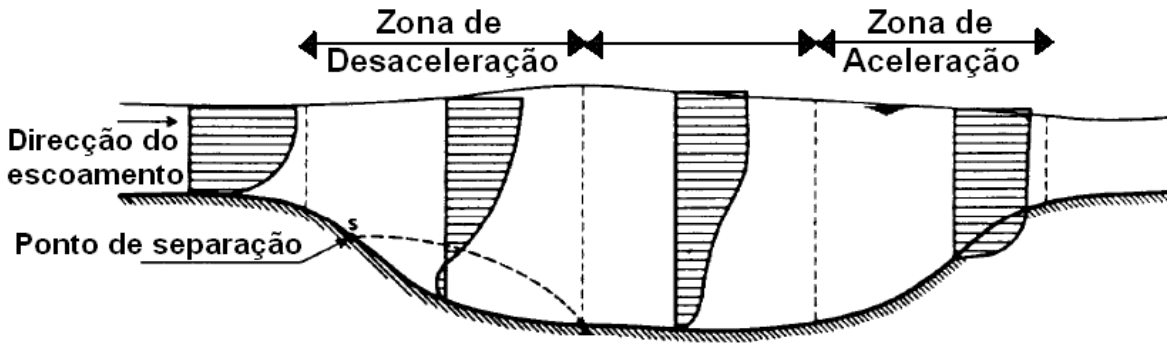


Figura 5 - Campo de velocidades no interior de uma escavação quando o seu eixo principal é perpendicular à direcção de escoamento. A linha curva a tracejado ilustra a zona de separação do escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002).

A zona de desaceleração do escoamento e a zona mais profunda da escavação apresentam uma tendência para acreção; pelo contrário, a zona de aceleração apresenta tendência para a erosão, uma vez que a velocidade do escoamento aumenta e tende a mobilizar o sedimento (Rijn e Walstra, 2002).

Para um escoamento permanente que se processa num só sentido, a tendência da escavação é migrar no sentido da corrente e alterar a sua secção, diminuindo a sua profundidade e aumentando a sua largura (Figura 6a). Nos locais da zona costeira onde as correntes de maré são predominantes, a escavação tende a encher e a sua migração é ditada pela assimetria das correntes de maré na vazante e na enchente (Figura 6b).

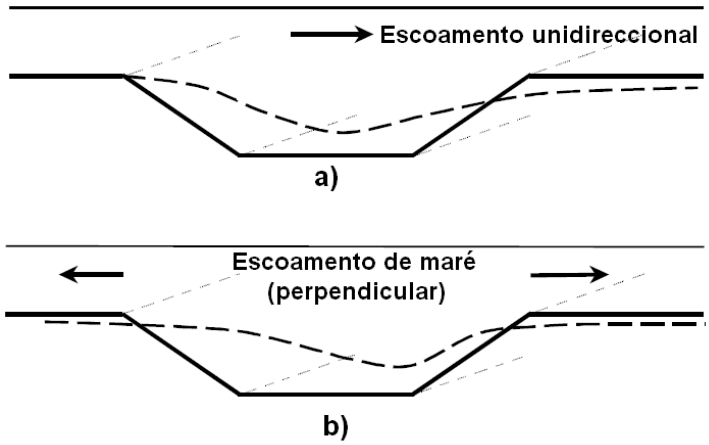


Figura 6 - Evolução da morfologia da escavação quando o escoamento é perpendicular à escavação e é (a) unidireccional ou (b) bidireccional, relacionado com correntes de maré. As linhas pretas a cheio representam o fundo logo após a extracção e as linhas a tracejado correspondem à sua evolução pela acção do escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002).

Quando o eixo principal da escavação é paralelo à direcção da corrente a velocidade da corrente no interior da escavação pode aumentar consideravelmente, devido à diminuição do atrito de fundo, dependendo do comprimento (C) e largura (L) da escavação (Figura 7). Além deste efeito, verifica-se a contracção do escoamento pela acção das paredes da escavação com um aumento súbito da velocidade do escoamento, que é tanto maior quanto menor

for a razão entre a largura (L) e a profundidade da escavação, ou seja, quanto mais estreita for a escavação (Rijn e Walstra, 2002).

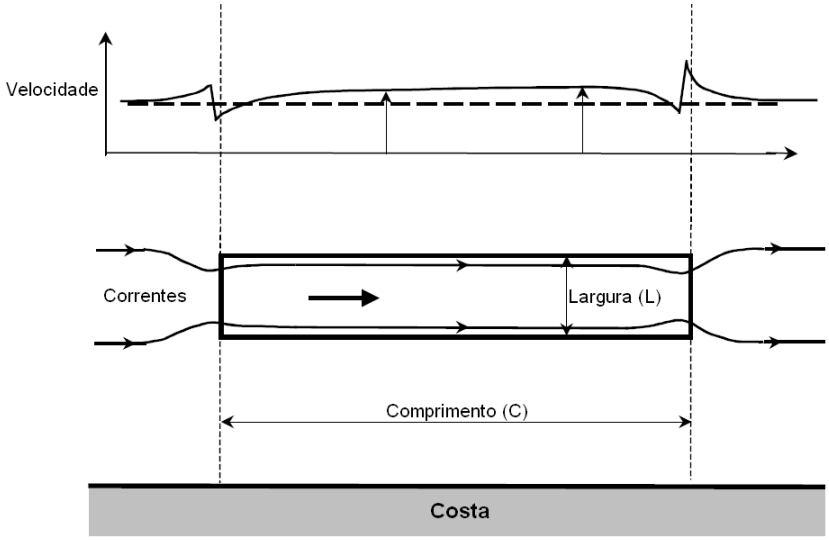


Figura 7 - Campo de velocidades no interior de uma escavação quando o seu eixo principal é paralelo à direcção de escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002).

Como resultado (Figura 8), os flancos da escavação tendem a perder inclinação devido ao transporte de sedimentos para o interior da escavação por efeito gravitacional.

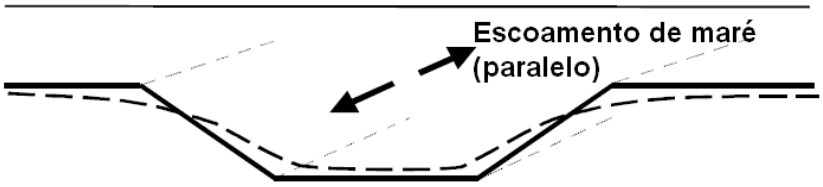


Figura 8 - Evolução da morfologia da escavação quando o escoamento é paralelo à escavação e bidireccional. A linha preta a cheio representa o fundo logo após a extracção e a linha a tracejado corresponde à sua evolução pela acção do escoamento (adaptado de Rijn e Walstra, 2002).

Quando o eixo principal da escavação é oblíquo à direcção da corrente, então, os padrões do escoamento descritos anteriormente ocorrem simultaneamente. Como resultado, o escoamento é deflectido na direcção do eixo da escavação, sendo este efeito mais pronunciado junto ao fundo (Rijn e Walstra, 2002).

A linha de costa pode também ter alterações decorrentes de actividades de dragagem. De acordo com Nairn *et* al. (2004) a alteração da linha de costa pode ocorrer numa das seguintes formas:

- as alterações do padrão de agitação marítima alteram as ondas que atingem a costa, que por sua vez modificam os processos de transporte de sedimentos e em última instância alteram os padrões de erosão e acreção;
- através da interrupção ou alteração do transporte normal de areia da zona de extracção até à costa.

Segundo Bender e Dean (2003), estudos de laboratório e de campo sugerem que o efeito da modificação da agitação marítima por uma escavação ao largo é bastante complexo, podendo resultar em saliências no areal da praia (Figura 9).

Figura 9 - Foto aérea de *Grand Isle*, LA, em 1998, mostrando as saliências no areal associadas a uma grande área de extracção de agregados situada directamente ao largo (adaptado de Bender e Dean, 2003).

A permanência e persistência destes efeitos depende das condições hidrodinâmicas, geológicas e biológicas do local, mas é geralmente assumido que se extinguem numa escala de tempo que varia entre 1 a 10 anos (Cooper *et al.*, 2007). Segundo Hitchcock e Bell (2004), a persistência dos impactos físicos na

área de dragagem durante e após as actividades está em tudo relacionada com a natureza do substrato e o potencial natural dos disturbios que possam preencher as escavações e sulcos resultantes. Escavações em substratos mais grosseiros têm sido observadas como sendo preenchidas mais lentamente e por isso persistem alguns anos após a extracção. Escavações em canais com correntes de elevada velocidade podem ser preenchidos dentro de um ano. Escavações localizadas entre a zona de acção de marés podem levar entre 5 a 10 anos a serem preenchidas.

Na tentativa de saber qual o tempo de regeneração de uma extracção, Diesing *et al*. (2004) compararam varias extracções (Figura 10) localizadas na zona da antepraia[4].

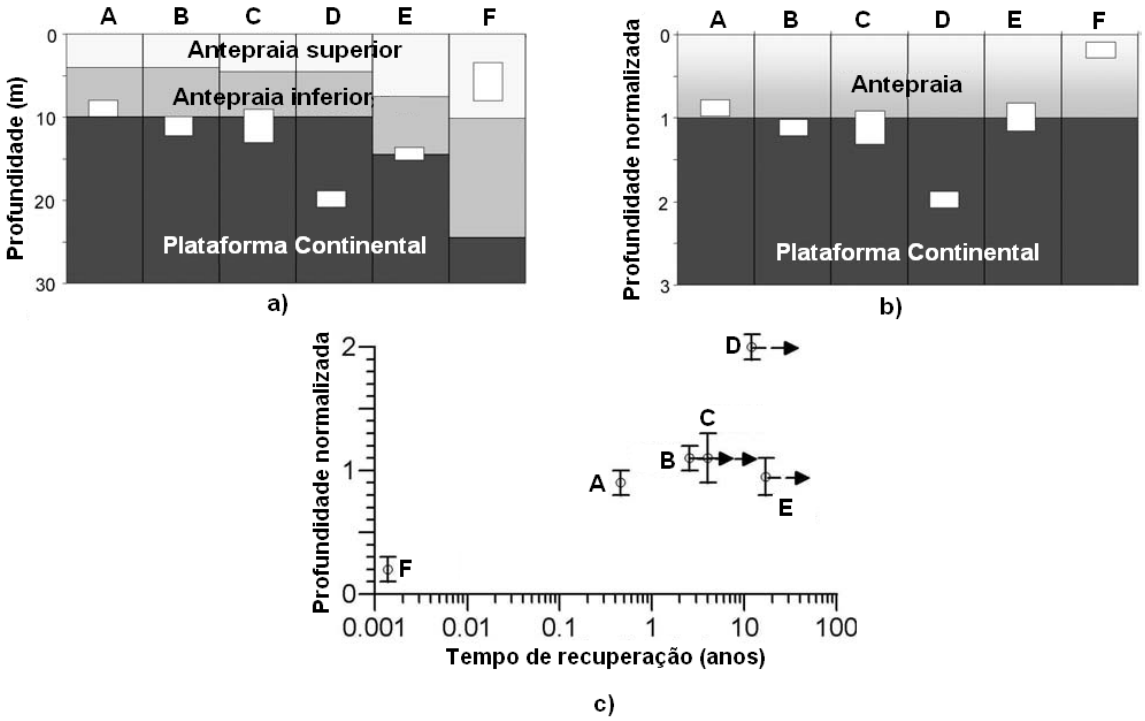


Figura 10 - Localização das áreas de extracção -caixas brancas- em análise (a) em termos de profundidades e (b) em termos de profundidades normalizadas[5]. c) Tempo de regeneração das escavações em função de profundidade normalizada; as setas indicam que os tempos de regeneração são estimados, podendo ser superiores aos indicados, uma vez que à data da comparação as escavações não estavam completamente cheias (Diesing *et al*., 2004).

[4] A *Antepraia* estende-se desde a praia até à profundidade máxima de transporte de sedimentos pelas ondas.

[5] As *profundidades normalizadas* foram obtidas dividindo a profundidade de fecho, aqui representada como o limite entre a antepraia e a plataforma continental, pela profundidade da zona da extracção.

Os resultados obtidos por estes autores mostraram que o tempo de regeneração aumenta com a profundidade normalizada da extracção. Note-se que as extracções A, B, C e E foram efectuadas em posições semelhantes, na zona de limite entre a antepraia e a plataforma continental, e os tempos de regeneração diferem consideravelmente. Esta diferença, indica que existem outros processos que contribuem para um enchimento mais rápido ou lento, nomeadamente a profundidade da escavação: as escavações menos profundas enchem mais rapidamente (A - 8 a 10 m; B - 10 a 12 m; C - 9 a 13 m; e E - 14 a 15 m).

São vários os efeitos morfológicos e hidrodinâmicos das extracções de agregados. As escavações tendem a ser preenchidas com sedimentos provenientes de regiões próximas, pelo que a escavação pode promover erosão nos locais adjacentes. As modificações do campo de agitação marítima podem alterar os padrões do transporte sedimentar e, desta forma, alterar a linha de costa. Estas perturbações existem enquanto a escavação permanecer no local. Assim, o tempo de regeneração da escavação assume um papel importante na quantificação dos impactos de uma extracção (Silva, 2009).

II.4.2. Impactos Ecológicos

A extracção de areias na plataforma apresenta vários efeitos directos e indirectos, a curto e longo prazo nas comunidades bentónicas[6] de plantas e animais (Rijn e Walstra, 2002). De facto, a alteração da topografia de fundo influencia a hidrodinâmica do local, que efecta directamente a dinâmica dos sedimentos e indirectamente os organismos bentónicos (Diaz *et al.*, 2004). Os impactos a nível ecológico dependem das complexas e dinâmicas interacções entre factores bióticos e abióticos como a composição e dinâmica dos sedimentos, o método de dragagem utilizado, a presença de comunidades sensíveis e a capacidade de recuperação das espécies afectadas (Rijn e Walstra, 2002).

6 Organismos bentónicos são aqueles que vivem associados ao solo marinho, fixos ou não, em contraposição com os pelágicos, que vivem livremente na coluna de água.

O efeitos directos estão associados à remoção e alteração de sedimentos, que aumentam a mortalidade dos organismos e provocam a destruição de habitats. Dragagens são comummente associadas à redução de 30 a 70% da diversidade de espécies e 40 a 90% da densidade populacional e da biomassa da fauna bentónica existentes na zona da escavação (Newell *et al.*, 2004; Robinson *et al*., 2005). Admite-se também que o material mobilizado para a área envolvente da escavação, aquando da dragagem e transporte, pode alterar a qualidade da água pela remobilização de contaminantes e nutrientes, influenciando assim a natureza e abundância dos seres vivos bentónicos (Robinson *et al*., 2005). Ou seja, a libertação de sedimentos muito finos do fundo para a coluna de água pode ter um impacto directo no sistema ecológico. Além disso, a fauna local é destruída pela actividade de dragagem, o que pode ter também ter um efeito negativo em todos os seres vivos que são troficamente dependentes na fauna de fundo (Rijn e Walstra, 2002). De facto, muitos peixes, como os demersais[7], usam a plataforma continental menos profunda como local onde se desenvolvem e alimentam, sendo que uma dragagem pode perturbar a sua protecção e alimento (Diaz *et al.*, 2004).

O período de recuperação depende da profundidade da escavação, pelo que escavações de profundidade baixa recuperam mais rapidamente que escavações mais profundas. Segundo Rijn e Walstra (2002), escavações não muito profundas têm um período de recuperação da ordem dos 5 anos.

Admite-se que a colonização inicial possa ocorrer apenas meses após o terminus de uma dragagem, embora a restauração da biomassa possa levar anos. O processo de recolonização e recuperação de áreas de extracção é em geral complexo e envolve a colonização inicial de espécies de crescimento rápido, designadas por oportunistas. Em ambientes estáveis estas espécies oportunistas são substituídas e complementadas por uma ampla diversidade de espécies de crescimento lento, denominadas espécies de equilíbrio. Em ambientes mais perturbados, a comunidade é dominada por seres oportunistas e não evolui para o equilíbrio, devido a perturbações ambientais sucessivas (Newell *et al.*, 2004).

[7] *Demersais* são peixes que, apesar de terem capacidade de natação activa, vivem a maior parte do tempo em associação com o substrato. Diferem dos bentónicos pela sua capacidade de natação.

Estudos realizados por Cooper *et al.* (2007) demonstraram que os efeitos das dragagens se manifestam de várias maneiras incluindo: redução do número de espécies, aparecimento de espécies oportunistas e aumento da variabilidade da macrofauna na área da escavação. De facto, resultados mostraram que, em alguns casos, em menos de um ano o número de espécies e a biomassa total aumentam substancialmente.

No entanto, estas comunidades recolonizadoras, podem até ser semelhantes em abundância e diversidade de espécies, mas são geralmente de composição taxonómica muito diferentes das comunidades existentes pré-dragagem. A pergunta que se impõem, e continua sem resposta, prende-se com a capacidade trófica destas novas comunidades, ou seja, "será que as novas comunidades bentónicas preenchem as mesmas funções tróficas e originam a mesma transferência de energia para os níveis tróficos superiores que as comunidades originais?" (Nairn *et al.*, 2004).

Capítulo III. Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Zona de Estudo

O Algarve situa-se no extremo meridional de Portugal. Tem uma área aproximada de 5000km^2, o que faz com que constitua quase 6% do território continental português. É limitado a Oeste e a Sul pelo Oceano Atlântico e a Este pelo rio Guadiana (Dias, 2001). O clima é do tipo mediterrânico, caracterizado por Invernos amenos e chuvosos e Verões quentes e secos.

O Concelho de Loulé (Figura 11) é o maior do distrito de Faro e o mais populoso, logo a seguir ao Concelho de Faro.

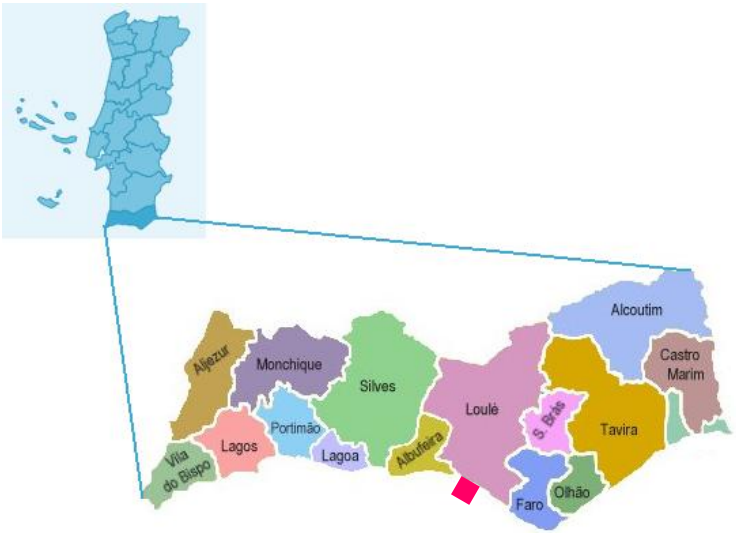


Figura 11 – Localização da área em estudo (quadrado rosa forte) situada ao largo de Vale do Lobo, Concelho de Loulé, Algarve.

III.1. Enquadramento Geológico

A diversidade geomorfológica da região algarvia levou a uma subdivisão, que tem sido naturalmente aceite, em três sub-regiões, de Norte para Sul (Figura 12): Serra, Barrocal e Litoral ou Beira-Mar (Oliveira, 2005).

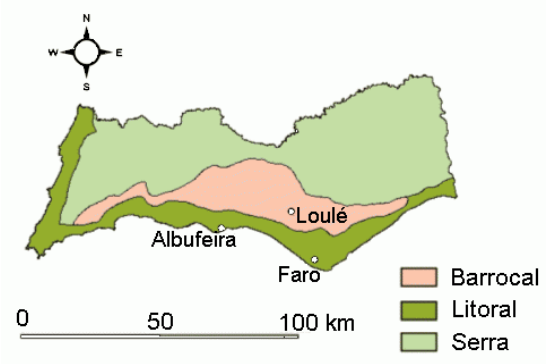


Figura 12 – Localização das três subdivisões geomorfológicas do Algarve. De Norte para Sul: Serra, Barrocal e Litoral (Lopes e Monteiro, 2007).

A Serra algarvia compreende os dois relevos de maior expressão do Sul de Portugal: a Serra do Caldeirão, formada por xistos e grauvaques com idade compreendida entre o Devónico superior e o Carbónico, e a Serra de Monchique, constituída essencialmente por sienitos nefelínicos do Cretácico superior. A relativa homogeneidade litológica, a baixa permeabilidade e a dureza dos terrenos, originaram uma rede hidrográfica densa, hierarquizada e bem encaixada (Silva, 1988; Oliveira, 2005).

O Barrocal localiza-se na zona central do Algarve e é constituído por formações carbonatadas de idade mesozóica, cuja base assenta em discordância angular sobre o soco paleozóico. O relevo é formado por uma série de alinhamentos Este-Oeste, condicionados por vales de fractura ou de erosão diferenciada resultante da heterogeneidade litológica (Silva, 1988).

O Litoral Algarvio estende-se por cerca de 210 km, desde a Praia de Odeceixe, Aljezur, até à foz do rio Guadiana, apresentando uma grande diversidade litológica e morfológica. O litoral do Algarve é geralmente dividido em três sectores (Teixeira, 1981; Moura e Boski, 1999; Oliveira, 2005):

- Ocidental, com arribas rochosas do Paleozóico;
- Meridional Oeste, corresponde ao Barlavento algarvio com formações essencialmente mesozóicas e cenozóicas, em geral, de arriba rochosa e com praias nos recôncavos ou na base das escarpas;

- Meridional Este, que coincide com a região do Sotavento algarvio constituído por arribas arenosas do Pliocénico e Pleistocénico e por extensas praias de areias holocénicas; ao contrário dos outros sectores, aqui predominam as costas baixas e arenosas (Figura 13).

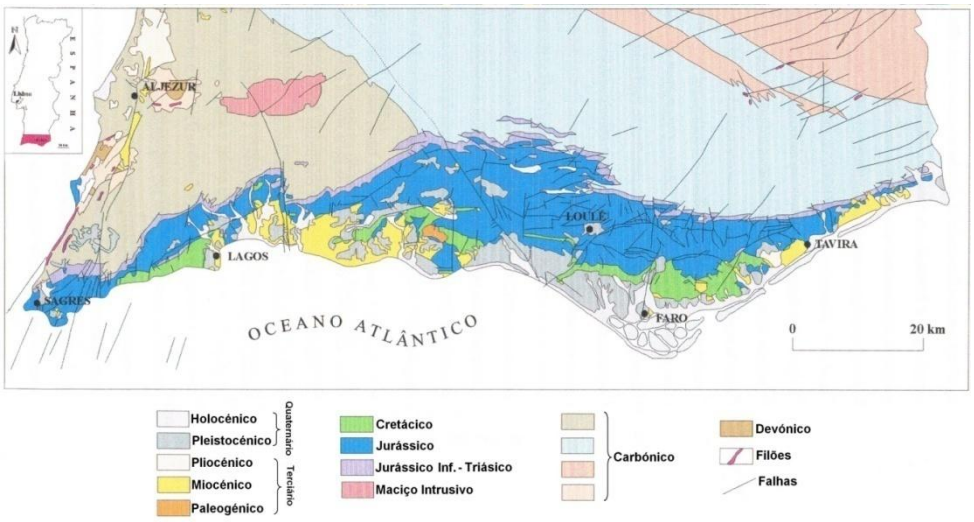


Figura 13 – Mapa geológico do Algarve (adaptado de Dias, 2001).

O Algarve abrange duas das unidades morfoestruturais que o caracterizam: a Zona Sul Portuguesa (ZSP) do Maciço Hespérico e a Orla Meridional ou Algarvia. Geomorfologicamente, a ZSP corresponde quase inteiramente à Serra, enquanto que a Orla Algarvia compreende o Barrocal e o Litoral (Trindade, 2007).

A Orla Algarvia, formada por terrenos sedimentares de idade mesozóica e cenozóica, estende-se por cerca de 140 Km, desde o Cabo de S. Vicente até ao Rio Guadiana e penetra de forma irregular para o interior, numa extensão variável entre 3 e 25km, sobre o soco carbónico da ZSP (Terrinha *et al*., 2006).

A Bacia do Algarve fornou-se no Triásico (Mesozóico) quando o limite entre as placas Eurasiática e Africana começou a adquirir características de um limite transtensivo, devido ao movimento aproximadamente E-W entre as placas Eurasiática e Americana, responsável pela abertura do Atlântico, e ao movimento NW-SE entre as placas Africana e a Americana que resultou na formação de bacias de orientação E-W a ENE-WSW, como a Bacia Algarvia (Trindade, 2007).

Segundo Terrinha (1998), sob o ponto de vista estrutural, a Bacia Algarvia é formada por duas bacias distintas, uma mesozóica e outra cenozóica. A primeira terá resultado da estruturação distensiva da bacia e da subsidência devido à fracturação e ao estiramento litosférico, provavelmente associada à abertura do Atlântico Central. A segunda terá sido formada numa fase pós-rift, provavelmente associada a eventos orogénicos alpinos.

Estas duas bacias são, de um modo geral, separadas por uma descontinuidade, podendo os sedimentos neogénicos assentar directamente sobre o Mesozóico ou sobre o Paleozóico (Terrinha, 1998).

Os terrenos da plataforma continental submersa algarvia correspondem, grosso modo, ao prolongamento das unidades referidas em terra, sendo constituídos por formações progradantes neogénicas e quaternárias, localmente afectadas por falhas, de orientação preferencial NNE-SSW, e por diapiros (Magalhães, 1999).

A Sul do cabo de S. Vicente, a plataforma é constituída por elevações tabulares, separadas por falhas de direcção NNE-SSW, onde afloram rochas mesozóicas. Para Este e até ao meridiano coincidente com a Quarteira, existe uma superfície planar que interrompe a série neogénica, onde ocorrem depósitos progradantes. Para Este do meridiano de Quarteira o prisma de progradação ocupa toda a plataforma (Marques, 1997; Magalhães, 1999).

Desde o cabo de S. Vicente e caminhando para Este, os depósitos pós-mesozóicos tornam-se mais espessos e aparentemente menos falhados, pelo menos no que respeita à zona superficial (Magalhães, 1999).

A plataforma algarvia está coberta essencialmente por sedimentos areno-silto-argilosos. Como se pode observar pela figura Figura 14, a maior parte dos sedimentos apresentam mais de 40% de finos, sendo classificados como lodos e, por isso, sem potencial extractivo (a azul na Figura 14). Parte importante é ainda ocupada por areias e cascalhos com fracção argilosa compreendida entre 10 e 40% (a branco na Figura 14). Contudo, junto à costa, a pequenas profundidades, encontram-se sedimentos mais grosseiros, nomeadamente areia cascalhenta (a

laranja claro na Figura 14) e localmente podem assumir características de cascalho arenoso (a laranja mais escuro na Figura 14) (Dias *et al.*, 1980; Magalhães, 1999).

Figura 14 - Depósitos sedimentares na plataforma continental algarvia (Dias *et al.*, 1980).

A área em estudo neste trabalho encontra-se na Orla Meso-Cenozóica Meridional e é constituída, do ponto de vista geológico, por duas regiões distintas, uma mais a Norte, predominantemente carbonatada e de idade mesozóica e outra mais a Sul, dominada por séries arenosas consolidadas ou não, às vezes carbonatadas, de idade cenozóica (Figura 15
). Para Norte do paralelo superior da figura situa-se a zona em que a série se encontra mais fortemente dobrada e para Sul predomina uma estrutura monoclinal que se estende até ao mar (Manuppella *et al.*, 1987).

Vale do Lobo situa-se numa zona onde dominam as denominadas areias de Faro-Quarteira (Qa na Figura 15) do Pliocénico e Pleistocénico, que se estendem desde Quarteira até além de Olhão. São areias de grão médio, feldspáticas e com quantidades muito variáveis de argilas. Sobretudo na região de Montenegro em Faro, estão cobertas por uma película de areia de dunas (Manuppella *et al.*, 1987).

A geomorfologia desta parte da costa algarvia é relativamente uniforme, consistindo numa sequência de extensos cordões arenosos intercalados com arribas talhadas em formações detríticas atribuídas ao Plio-Pleistocénico, de poente para nascente: Forte Novo, Trafal, Vale de Lobo e Garrão (Figura 16). Os cordões arenosos encerram as fozes das ribeiras de Almargem e Carcavai que drenam para o litoral.

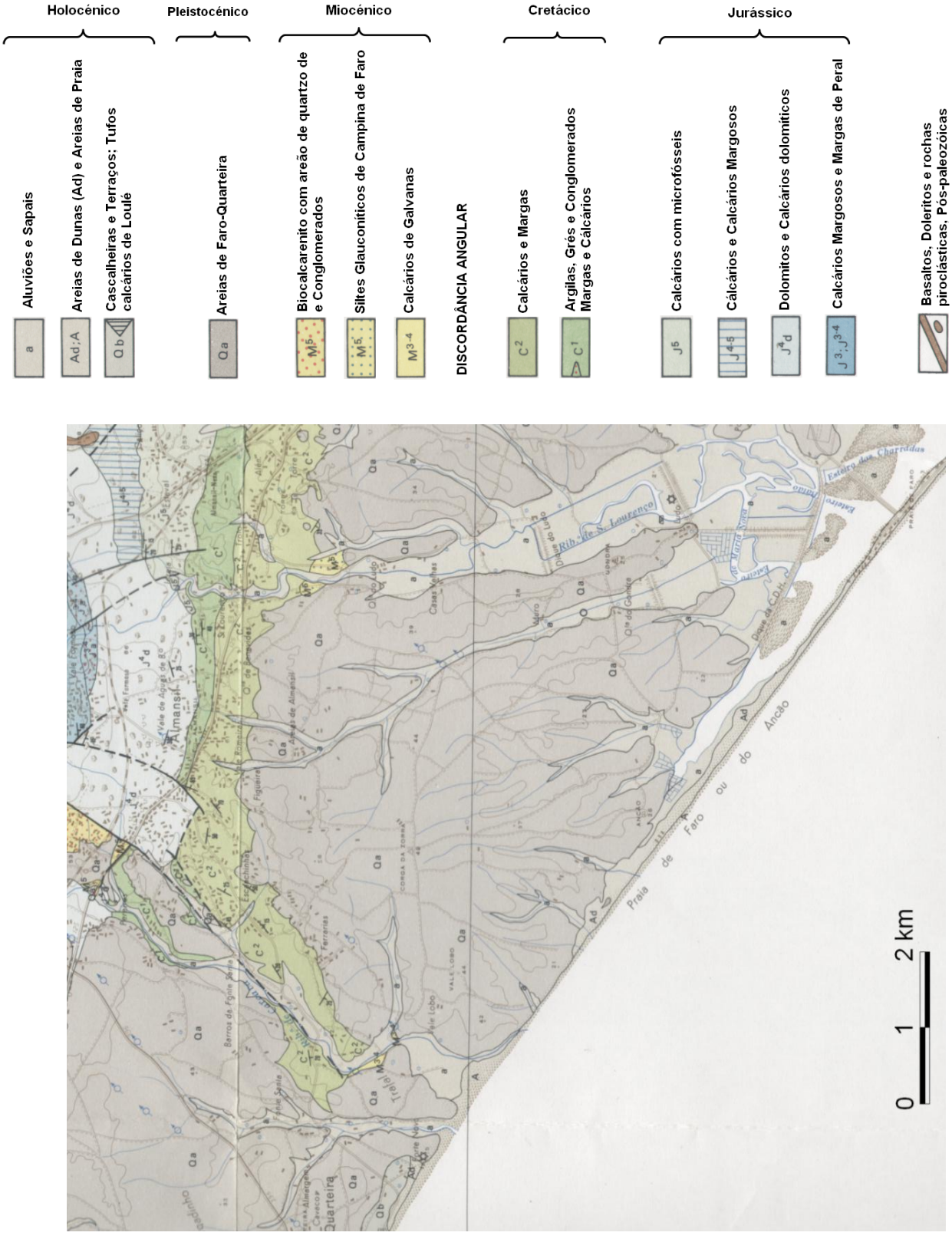


Figura 15 - Pormenor da carta Geológica de Portugal – 53 A Faro (escala 1: 50 000), mostrando apenas Vale do Lobo e zonas envolventes (adaptado de Manuppella et al., 1985).

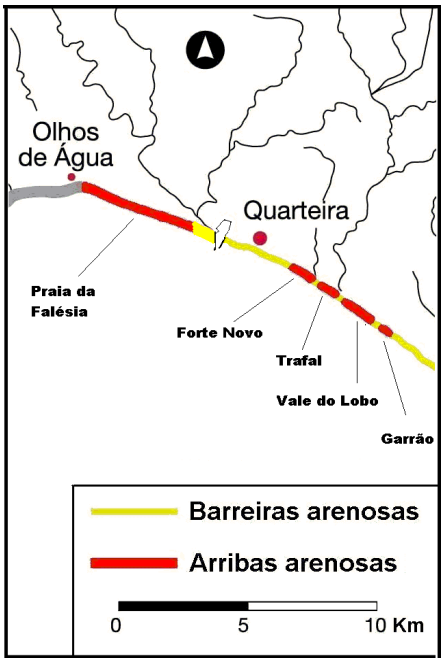


Figura 16 – Litoral algarvio mostrando as arribas arenosas intercaladas com barreiras arenosas (Teixeira, 2009).

A sequência sedimentar das arribas de Vale do Lobo encontra-se esquematizada na Figura 17 apresentando, da base para o topo (Oliveira, 2005):

- Areia fina bem calibrada, bege e com uma percentagem máxima de micas e feldspatos de 1,5 e 4%, respectivamente. A fracção de finos constitui cerca de 4% do sedimento total;
- Areia média feldspática, em que o feldspato constitui 17% do sedimento total e a argila 2,7%. Apresenta estratificação obliqua planar, definida por leitos de seixos pequenos que inclinam 8º para Sul;
- Areia grosseira avermelhada rica em óxidos de ferro com seixo médio de quartzo;
- Ferricreto[8];
- Argila esmectítica fortemente avermelhada e com cavidades preenchidas por material da unidade superior;
- Argila esmectítica cinzenta com estratificação horizontal;
- Conglomerado de seixo e calhau quartzíticos.

[8] *Ferricreto* corresponde a uma camada formada por concreções compactas ricas em ferro.

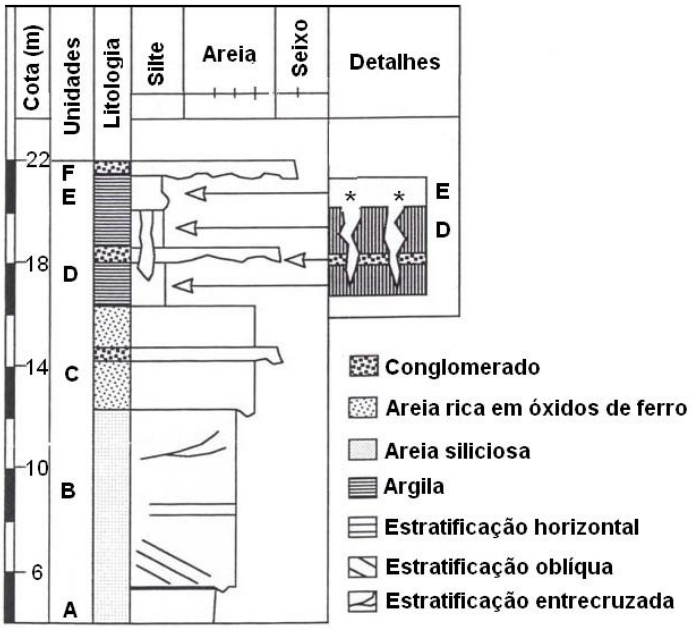


Figura 17 – Coluna estratigráfica de um corte no sector das arribas da área em estudo (37º 2' 36''N, 8º 3' 42''W). Os asteriscos (*) correspondem a cavidades preenchidas por material da unidade superior (adaptado de Oliveira, 2005).

As areias de duna holocénicas (Ad na Figura 15) constituem grande parte do sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa e estão geralmente acompanhadas por areia de praia, também do Holocénico (A na Figura 15), sendo esta a sua principal fonte de abastecimento (Manuppella *et al.*, 1987). A origem das areias do sistema de ilhas-barreira tem sido atribuída às arribas que se localizam a Ocidente, entre Olhos de Água (Albufeira) e Quinta do Lago (Loulé), incluindo por isso as arribas de Vale do Lobo. Nestas zonas, as taxas de recuo médio chegam a atingir os 2m/ano. Há no entanto indícios de que parte das areias que alimentam este sistema têm origem na plataforma continental adjacente (Manuppella *et al.*, 1987).

As areias de praia emersas estão constrangidas a uma faixa de largura variável, mas bastante extensa. No Forte Novo (Quarteira) esta faixa tem apenas alguns metros, podendo ficar completamente submersa na altura das marés vivas, e chega a atingir os 100m de largura no sistema de ilhas-barreira nas marés baixas (Manuppella *et al.*, 1987).

A área em estudo faz parte da célula de circulação sedimentar, que se estende desde Albufeira até Faro, onde o sentido do transporte se processa de Oeste para Este. Essa célula é alimentada e mantida, sobretudo, à custa das areias produzidas pela erosão das arribas arenosas e, secundariamente, pelos sedimentos transportados pelas linhas de água que drenam para o litoral. É o caso da ribeira de Quarteira que contribui com cerca de 80% do débito sólido fluvial que aflui ao litoral na área de estudo. Esta contribuição sedimentar estima-se em 200000m^3/ano, dos quais cerca de 5 a 10% correspondem a sedimentos areno-cascalhentos (Teixeira, 2009).

A introdução de areias no sistema assegura um areal contínuo ao longo de todo este troço costeiro, interrompido, de forma episódica ou mais definitiva, pelas fozes das linhas de água que ali desaguam ou pelas barras de maré do sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa (Teixeira, 2009).

De acordo com Dias *et al.* (1980), a plataforma interna de Albufeira a Faro apresenta uma percentagem média de fracção cascalhenta de 20% e uma fracção silto-argilosa geralmente inferior a 3%. A componente biogénica da areia é de 20% em média e a do cascalho é de aproximadamente 32%, podendo variar entre 18 e 55% do teor total de cascalho. Verifica-se que, com o aumento da profundidade, o sedimento adquire um carácter progressivamente mais lodoso.

III.2. Dinâmica Costeira

A interacção entre a água do mar e a costa mantém permanente a dinâmica das zonas costeiras. O movimento dos sedimentos depositados no fundo é determinado pela acção do escoamento associado a correntes médias (correntes de maré, correntes induzidas pelo vento) e à propagação de ondas de superfície. Assim, o transporte de sedimentos emersos e submersos é preponderante na dinâmica sedimentar e configuração da costa.

III.2.1. Marés

As correntes de maré possuem evidente importância junto à costa, constituindo, principalmente no período de marés-vivas, processos fundamentais de fornecimento e distribuição de sedimento. As correntes induzidas pelas marés contribuem para a remobilização dos sedimentos e dependem, entre outros factores, dos efeitos da rotação da Terra, das características da onda de maré que atinge a plataforma, das características da batimetria e da configuração da costa (Magalhães, 1999).

As correntes de maré atingem, geralmente, velocidades máximas no bordo da plataforma continental, embora também possam ocorrer na plataforma externa. Segundo Magalhães (1999), de facto, as correntes de maré são susceptíveis de transportar sedimentos, embora não tenham capacidade de os remobilizar. De acordo com o mesmo autor, na plataforma externa algarvia as velocidades das correntes de maré encontram-se geralmente compreendidas entre 5 e 1cm/s, podendo no entanto ser superiores, em condições particulares.

As marés na costa algarvia são, tal como em todo o litoral português, de regime semi-diurno, ou seja, com dois níveis de preia-mar e baixa-mar por dia. Propagam-se de Oeste para Este no litoral algarvio e apresentam uma amplitude de cerca de 3m em períodos de marés-vivas e de 1,3m em situações de marés-mortas (Marques, 1997; Magalhães, 1999; Oliveira, 2005).

Poder-se-á ocasionalmente verificar uma subida temporária do nível do mar, originada pela existência de condições climatéricas anómalas, como por exemplo a variação do campo de pressão atmosférica ou a acção de ventos fortes e prolongados (Oliveira, 2005).

III.2.2. Agitação Marítima

A agitação do mar junto à costa depende essencialmente do estado do mar ao largo, da configuração da batimetria de fundo, do contorno da linha de costa e da

orientação da costa. A costa Sul do Algarve é caracterizada por um regime de agitação marítima menos energético do que o litoral ocidental (Marques, 1997).

O regime de agitação ao largo do Algarve é dominado por direcções Oeste-Este. As direcções de mar de Sudoeste e Sudeste, apesar de menos significativas, são também importantes, havendo um predomínio da primeira. O mar de Sudoeste está associado a ocorrências climáticas que ocasionam temporais que atingem a costa sul, apresentando a ondulação resultante 2 a 3m de altura significativa[9] e períodos de 7 a 8 segundos. O mar de Sudeste está associado a ventos com a mesma direcção e sentido, provindos do Estreito de Gibraltar; ocorre em cerca de 10% do ano e origina ondulação com 2m de altura média e com período de 6 segundos, atingindo raramente os 4m de altura. Estas são ondas de forte declive que provocam erosão e modificações morfológicas nas praias mais expostas (Marques, 1997).

A distribuição sazonal das alturas de ondulação apresenta alguma uniformidade, excepto no Verão, quando o mar de Sudeste é mais significativo (Marques, 1997).

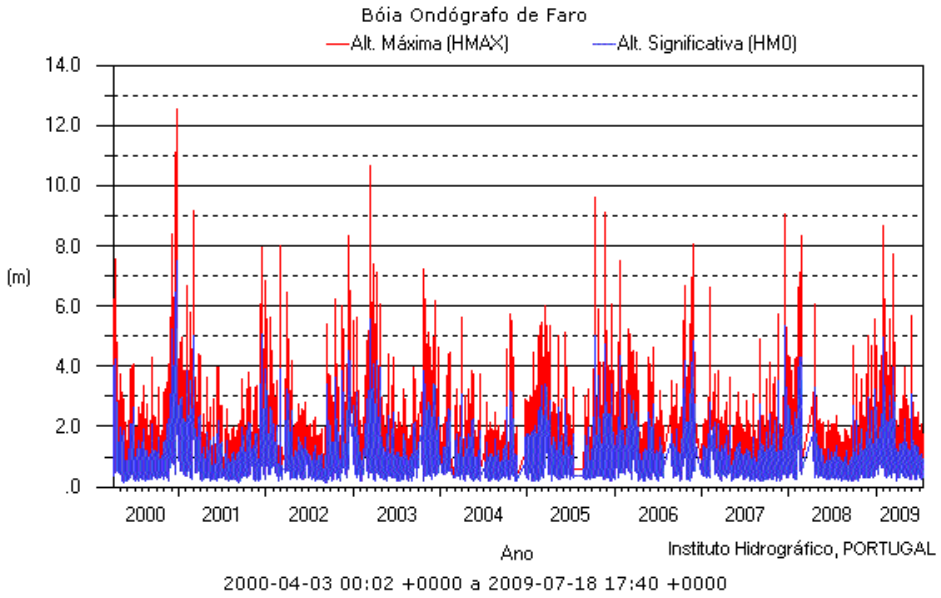
De uma forma geral a altura significativa das ondas ronda 1m com períodos que rondam os 4 a 6 segundos e os 6 a 11 segundos para as ondas com maior altura - períodos de pico[10]. No período entre Setembro de 1986 a Julho de 1993 apenas 4% das alturas significativas das ondas foram superiores a 3m em Faro e apenas 0,2% foram superiores a 5m na mesma estação ondográfica. Relativamente à direcção média associada ao período de pico, esta apresenta dois rumos preferenciais de Sudoeste e Oeste, com cerca de 68% de frequência, e de Sudeste, cerca de 25% do tempo (Oliveira, 2005).

No que se refere a períodos de tempo mais recentes e observando a Figura 18 referente ao ondógrafo de Faro e a um período de tempo compreendido entre 2000 e 2009, verifica-se que altura significativa das ondas encontra-se, grande parte do tempo, perto de 1m com períodos que variam entre 3 os 6 segundos. As alturas significativas das ondas superiores a 3m ocorrem, geralmente, apenas

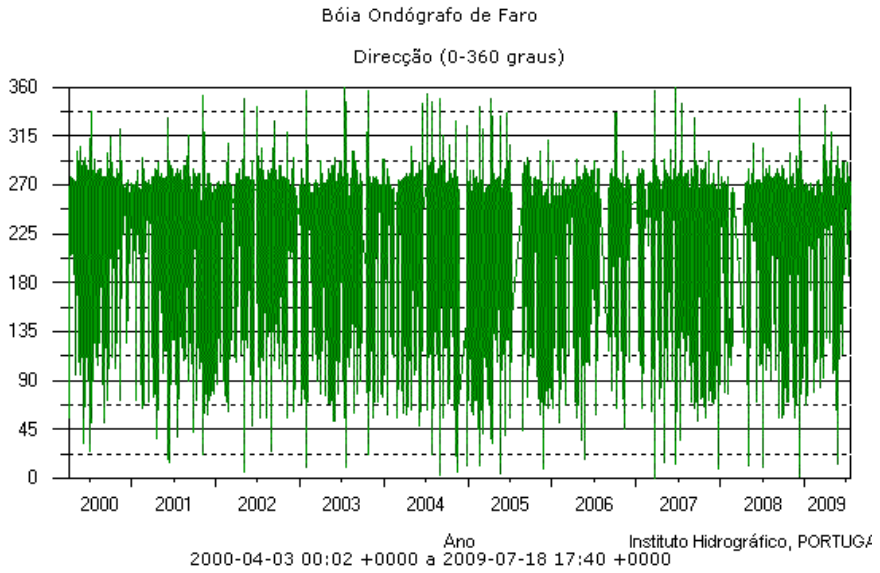
[9] *Altura significativa* representa a média do terço mais elevado das alturas de onda que foram registadas durante o período de observação. Corresponde aproximadamente à avaliação visual da altura das ondas.

[10] *Período de pico* corresponde ao período das ondas com maior altura, ou seja, as mais energéticas.

durante o Inverno e em casos quase pontuais. Ondulação significativa superior a 5m, ao longo destes 9 anos, apenas se registou duas vezes em Dezembro de 2000, Fevereiro e Dezembro de 2001, Março de 2003, Outubro de 2005, Dezembro de 2007 e Janeiro de 2009; sendo que a ondulaçao significativa mais elevada foi registada em Dezembro de 2001 a atingir quase 8m.



a)



b)

Figura 18 – Dados do Instituto Hidrográfico, colhidos entre 2000 e 2009, relativos ao ondógrafo de Faro. (a) Alturas máximas e significativas da ondulação. (b) Direcção da ondulação. A direcção da ondulação é referente à direcção de propagação das ondas mais energéticas e é medida a partir do Norte, no sentido dos ponteiros do relógio (retirado de IH, 2009).

No que se refere à direcção média associada ao período de pico, analisando o gráfico da Figura 18b), parece que esta apresenta dois rumos preferenciais de Sudoeste e Oeste, e de Sudeste, coincidindo assim com os dados de anos anteriores.

III.2.3. Correntes e Deriva Litoral

As correntes sobre a plataforma algarvia são em geral fracas, predominando as correntes de deriva sobre as de maré, que apenas conseguem impôr as suas características perante uma quase total ausência de vento (Magalhães, 1999). A deriva litoral corresponde a correntes longilitorais resultantes da refracção da ondulação incidente obliqua quando se aproxima da linha de costa (Oliveira, 2005). Estas correntes apresentam grande capacidade de mobilização de sedimentos e, no caso da costa Sul algarvia, induzem o transporte sedimentar de Oeste para Este (Magalhães, 1999; Oliveira, 2005).

Dadas as características do litoral algarvio, a deriva litoral efectiva faz-se sentir apenas a Este de Vale do Lobo, sendo mais intensa a Oeste do cabo de Santa Maria (Faro) do que a Este.

Várias estimativas dos volumes envolvidos anualmente na deriva litoral de Vale do Lobo têm sido feitas, quer por comparações cartográficas quer por aproximações matemáticas. Os valores apresentados pelos diversos autores variam entre 20000 a 130000m^3/ano. Actualmente, pensa-se que a deriva litoral poderá envolver entre os 30000 e os 50000m^3 de sedimentos por ano (Magalhães, 1999; Oliveira, 2005).

A deriva litoral tende a adaptar-se ao perfil da costa, correndo paralelamente a esta, num ou noutro sentido durante dias seguidos, pelo menos até à batimétrica dos 30m. A intensidade desta corrente apresenta geralmente valores da ordem dos 25cm/s, podendo no entanto atingir valores da ordem dos 50cm/s (Magalhães, 1999).

III.3. Enquadramento Climático

O clima da região do Algarve é fortemente influenciado por factores gerais relacionados com a circulação atmosférica, pela posição geográfica no limite sudoeste da Península Ibérica, na fachada Ocidental do Continente Eruropeu, e por factores locais, como o relevo e a sua disposição (CCDRA, 2003).

O litoral Sul do Algarve está sujeito a acentuada variabilidade climática, influenciada essencialmente pelos efeitos moderadores do Atlântico e pelo abrigo proporcionado pelas serras, que confere uma protecção à influência dos ventos e massas de ar húmidas provenientes da zona Norte. Assim, no Verão as temperaturas são amenizadas pelas brisas marítimas e no Inverno as serras reduzem os efeitos das massas de ar continentais provenientes do interior da Península. Esta protecção aos ventos vindos das regiões mais a Norte fazem-se sentir de Oeste para Este, sendo mais evidente em Faro (Marques, 1997).

De uma forma geral, o clima do Algarve é considerado como sendo de tipo Mediterrânico, caracterizando-se por uma estação quente e seca coincidente com o Verão e pela concentração da pluviosidade em curtos períodos (CCDRA, 2003; Oliveira, 2005). A oriente de Quarteira o clima é tipicamente mediterrânico e a ocidente, embora também mediterrânico, apresenta feição mais atlântica (Magalhães, 1999).

As temperaturas médias anuais da regiões costeiras algarvias têm pequenas variações, estando entre os 16 e os 17ºC. No mês mais frio, geralmente Janeiro, as temperaturas médias oscilam entre 11 e 13ºC e no mês mais quente, Julho ou Agosto, variam entre 20 e 26ºC de temperatura média. São de referir as temperaturas negativas ocorridas entre 1951 e 1980 em algumas regiões do Algarve, levando à ocorrência episódica de geada. Em Janeiro de 2006 registaram-se também temperaturas muito baixas com ocorrência de neve em algumas regiões do Algarve, o que se deveu ao deslocamento de uma depressão ao longo do território, de norte para sul, formada a partir de uma massa de ar frio com uma linha de instabilidade associada (Marques, 1997; IM, 2006).

Em termos climáticos, o Algarve pode ser dividido em três zonas. A primeira corresponde ao barlavento e prolonga-se desde o cabo de S. Vicente até Albufeira. Para Este de Albufeira e até Tavira, as temperaturas tendem a ser mais elevadas e a precipitação mais reduzida. Para leste de Tavira verifica-se um aumento das amplitudes térmicas anuais e, consequentemente, aumenta também a razão evapotranspiração/precipitação. No entanto, esta divisão não parece tão clara quando se analisam os dados climáticos (Marques, 1997).

III.3.1. Regime do Vento

De uma maneira geral, o regime de ventos que actuam na costa portuguesa dependem maioritariamente da migração sazonal do núcleo anticiclónico dos Açores, mas também, embora com menor influência, do núcleo de baixas pressões da Islândia (Marques, 1997).

O regime de ventos do litoral Sul algarvio caracteriza-se por ventos muito fracos do quadrante Norte durante a noite e por ventos fracos de Sudeste ou Sul durante os períodos matinais, que, ao longo da tarde, rodam para Sudoeste e aumentam de intensidade, soprando de Oeste com intensidade moderada ao fim da tarde. Assim, os dois períodos típicos de calma ocorrem no início da noite e da manhã (Marques, 1997, Oliveira, 2005).

A área em estudo apresenta ventos predominantes de Sudoeste com uma velocidade média que não tende a ultrapassar os 16km/h (Figura 19). São, no entanto, os ventos de Este e Sudeste, designados Levante, que caracterizam esta zona, assim como o sotavento Algarvio. Ocorrem principalmente na Primavera e no Outono e surgem no Verão associados a valores muito altos da temperatura do ar, contribuindo para atenuar os contrastes térmicos que se observam na região (Azevedo, 1990; Marques, 1997; CCDRA, 2003; Oliveira, 2005).

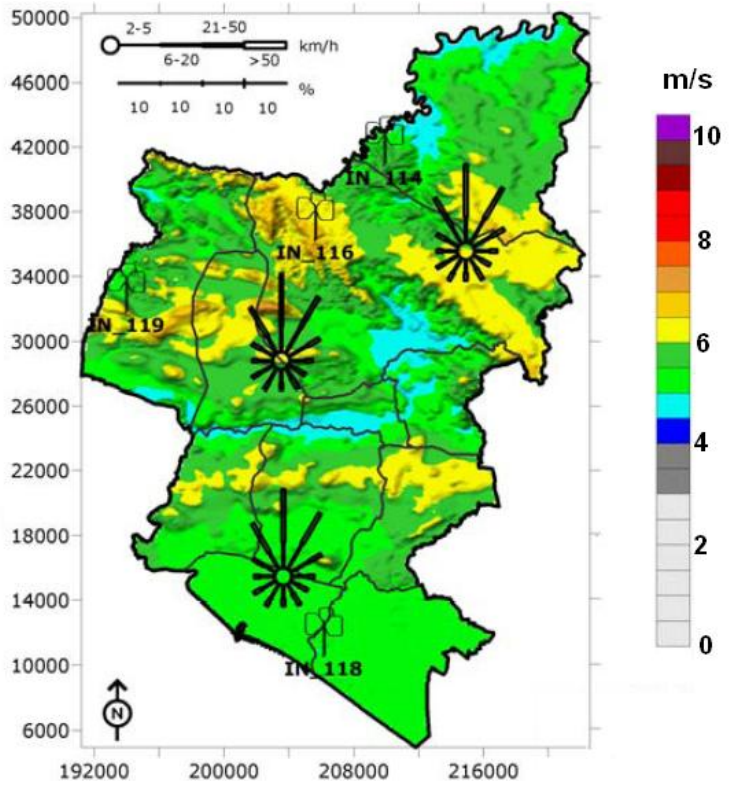


Figura 19 – Mapa de velocidades do do vento para o Concelho de Loulé, com rosas de vento projectadas. O processamento foi realizado para a altura de 80 m com dados de ventos referentes a 12 meses e dados de ventos históricos provenientes de estações da base de dados do LNEG, exceptuando as rosas de ventos que se referem apenas a 12 meses e por isso não devem ser consideradas a longo termo. Coordenadas no sistema Gauss, Datum Lisboa (adaptado de Costa *et al.*, 2006).

A situação de Levante pode persistir durante vários dias, apresentando, no entanto, variações de intensidade diárias características. Ou seja, diminui de intensidade durante a tarde e aumenta durante a noite, atingindo os valores mais elevados durante a manhã, sendo estes da ordem dos 30 a 40km/h (Marques, 1997; Oliveira, 2005). Este regime de ventos é responsável pela origem de ondulação de Sudeste, com alturas que podem atingir os 4 a 5 m e período muito curto, o que se pode reflectir em efeitos bem marcados nos segmentos litorais de acumulação (Marques, 1997).

III.3.2. Regime de Pluviosidade

A precipitação é um factor externo muito importante na evolução das zonas costeiras, nomeadamente na evolução de taludes, pelo seu papel na génese e

desenvolvimento de processos e mecanismos actuantes, que podem desencadear significativa erosão superficial, movimentos de massa de vertente, aumento de peso das zonas instáveis dos maciços e redução da resistência ao corte ao longo das superfícies de deslizamento (Marques, 1997; Oliveira, 2005).

Aos aspectos citados, acresce ainda a infiltração ou escorrência superficial das águas pluviais como elemento fundamental na meteorização dos materiais constituintes dos maciços, contribuindo a longo prazo para a degradação das suas características de resistência (Marques, 1997).

A precipitação anual média ponderada na área do Plano da Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve é de 76mm, apresentando uma variação espacial muito irregular, assim como uma acentuada irregularidade na distribuição temporal. Nos locais de maior altitude da Serra de Monchique observa-se uma precipitação anual média de cerca de 1650mm, enquanto que na faixa litoral raramente ultrapassa os 600mm, tal como ilustra a Figura 20 (CCDRA, 2003).

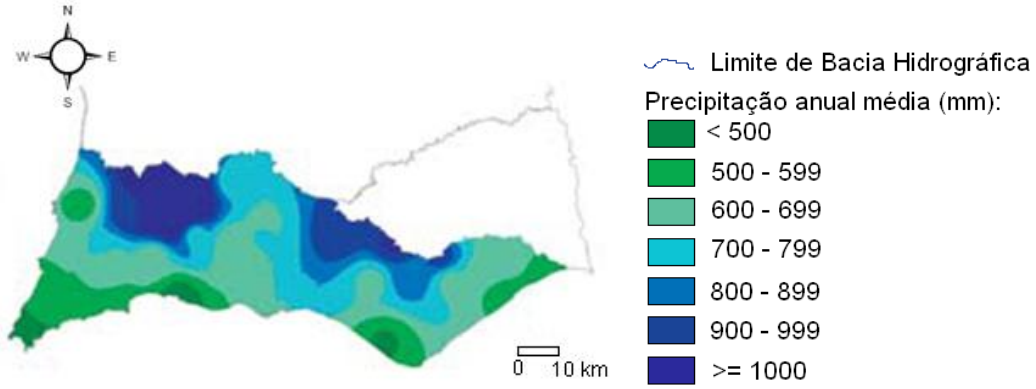


Figura 20 – Precipitação anual média na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (adaptado de CCDRA, 2003).

Considerando o ano hidrológico (Outubro a Setembro) e o período compreendido entre Outubro de 1990 e Setembro de 2001 (Figura 21), na estação de Loulé, que apesar de estar localizada topograficamente num plano mais elevado permite compreender a distribuição inter-anual da precipitação e os valores de pluviosidade, registou-se uma precipitação média anual de 733mm, sendo o ano hidrológico mais chuvoso o de 1995/96, com valores claramente invulgares para a latitude e posição topográfica da área em causa. Já o ano de 1998/99 atingiu

valores de pluviosidade claramente inferiores, abaixo dos 400mm, o que ilustra bem a inconstância que caracteriza o regime de precipitação nesta área (Oliveira, 2005).

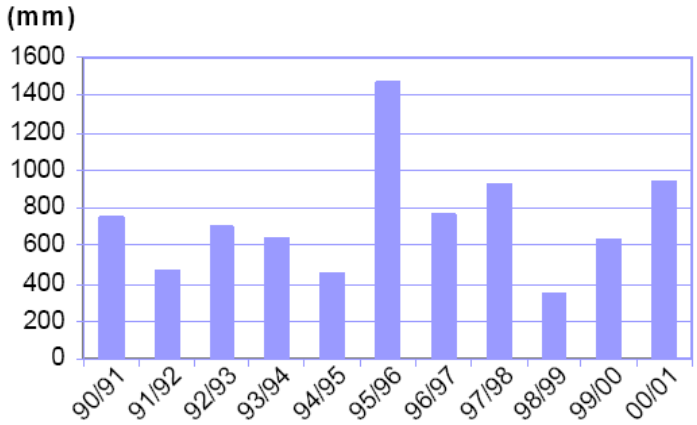


Figura 21 – Regime de pluviosidade em Loulé entre1990 e 2001 (adaptado de Olivera, 2005).

A distribuição da pluviosidade ao longo dos meses (Figura 22) indica que os meses de Inverno coincidem com os mais chuvosos, destacando claramente o mês de Dezembro com valores médios superiores a 150mm e o mês de Janeiro com valores médios que se aproximam dos 100mm.

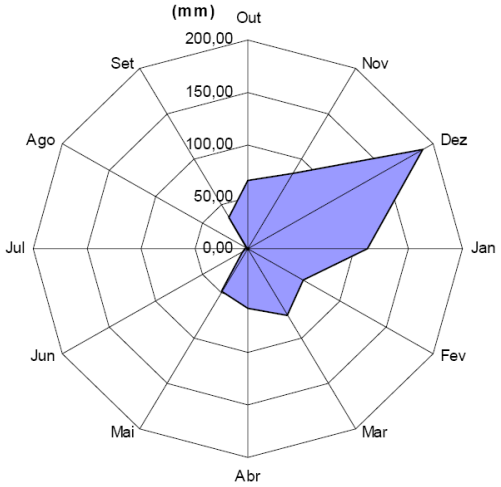


Figura 22 – Distribuição anual da precipitação em Loulé entre 1990 e 2001 (retirado de Oliveira, 2005).

Capítulo IV. Estudo da Evolução Morfológica de uma Área de Extracção de Areias ao Largo de Vale do Lobo – Concelho de Loulé

Vale do Lobo, Concelho de Loulé, é uma zona maioritariamente turística com ocupação crescente desde 1963. Em 1969, um empreendimento a cerca de 35m de distância da crista da arriba obteve licença de construção, mesmo quando a Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos recomendou explicitamente que "as edificações da beirada do mar deverão prudentemente implantar-se mais para terra". Foi no início da década de 1980 que os conflitos entre a ocupação humana e a erosão costeira se começaram a fazer sentir, com o recuo da arriba a pôr em risco a manutenção da piscina construída na zona central do empreendimento (Teixeira, 2009).

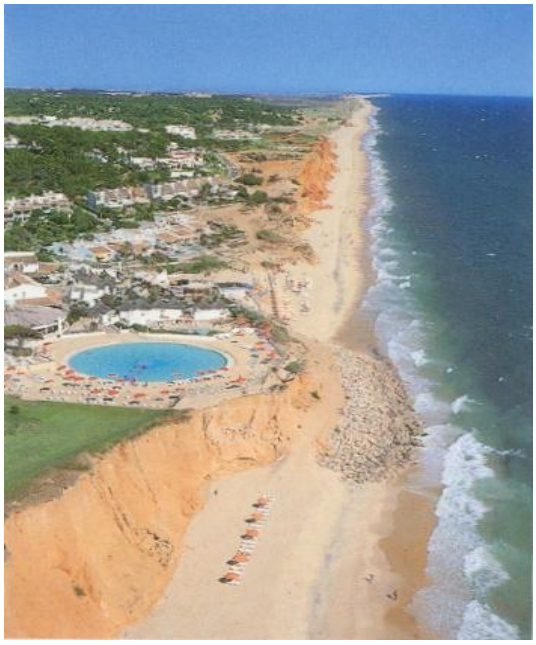


Figura 23 - Fotografia, referente a 1995, de parte do empreendimento turístico de Vale do Lobo que mostra a área em risco (retirado de Teixeira, 2009).

Na tentativa de fazer face a este problema foi realizada uma obra de enrocamento, que se mantém até hoje. No entanto, o recuo das arribas manteve-

se e, face à ruptura eminente, em 1998 foi iniciado o processo de realimentação da praia de Vale do Lobo.

Dada a inexistência de manchas de empréstimo em terra passíveis de utilização para realimentação da praia e face à distância a zonas portuárias, a extracção das areias para realimentação foi dirigida para a zona submarina. Assim, a alimentação da praia de Vale do Lobo, em 1998, constitui o primeiro caso de exploração de manchas de empréstimo ao largo do Algarveuma vez que todas as alimentações de praias anteriores a esta utilizaram areia dragada sempre na dependência de obras portuárias (Teixeira, 2009).

A prospecção que antecedeu a extracção revelou, através do uso de sonar de varrimento lateral, a existência de uma cobertura de areia média a grosseira, intercalada por afloramentos rochosos dispersos e descontínuos, ao largo de Quarteira e Vale do Lobo (Figura 24).

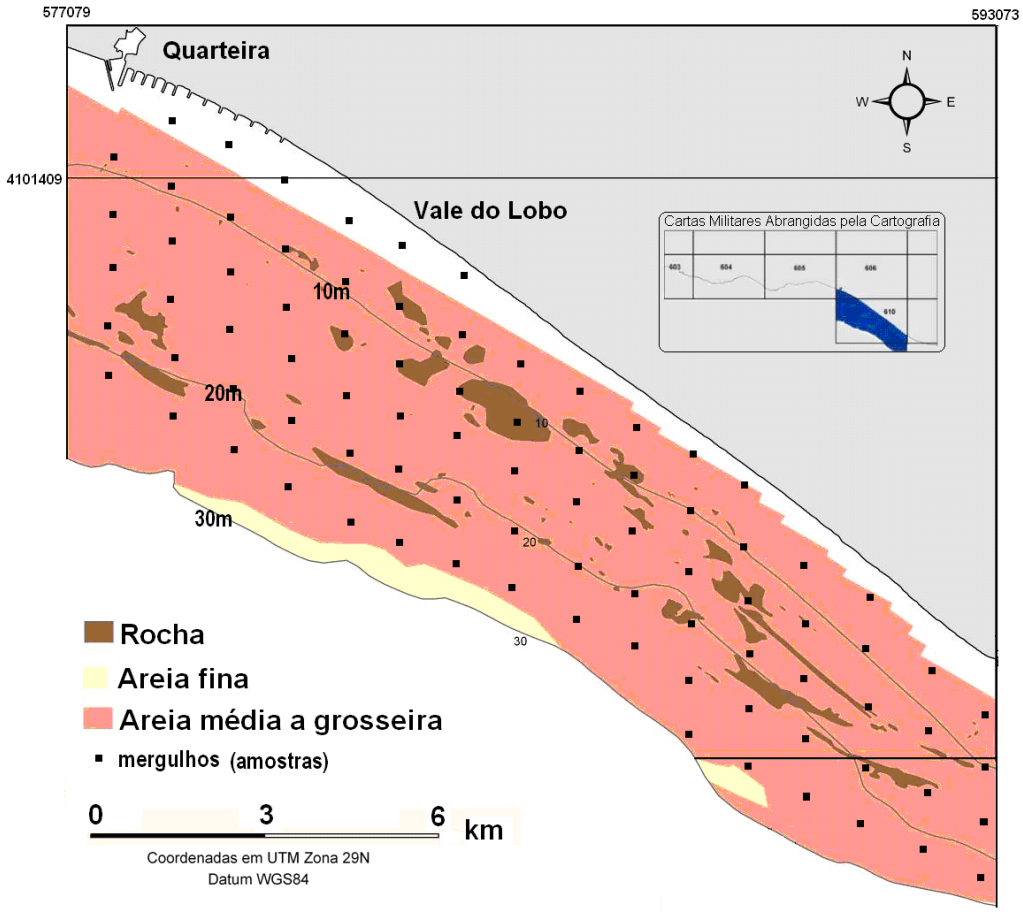
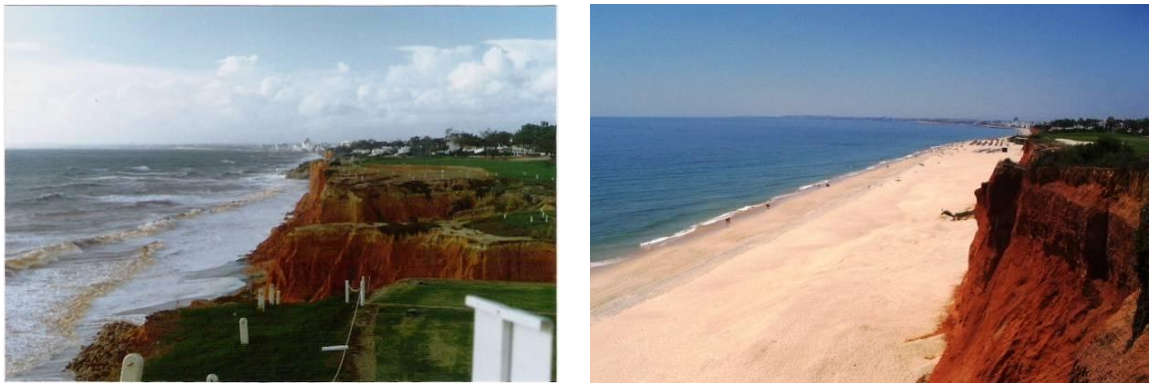


Figura 24 – Cartografia litológica da zona ao largo de Quateira a Barra Nova do Ancão (adaptado de Teixeira, 2009).

Estes resultados foram confirmados com colheitas de amostras de sedimentos superficiais e sondagens até 60cm de profundidade. A integração das várias informações permitiu identificar uma zona ao largo de Vale do Lobo de areia grosseira (D_{50} = 0,4phi = 0,76mm), essencialmente quartzítica e com baixo teor de carbonatos, passível de extracção para alimentação da praia de Vale do Lobo.

A primeira extracção para alimentação artifical da praia de Vale do Lobo foi realizada em 1998 e a segunda em 2006, tornando mais estáveis as arribas que se encontram nessa área, atenuando os efeitos da erosão costeira e aumentando o espaço de areal na praia (Figura 25).

Em ambas a extracções foi explorada uma mancha de empréstimo entre as batimétricas dos -15m e os -25m (relativamente ao zero hidrogáfico), constituída por sedimentos com granulometria mais grosseira do que a granulometria da praia. As análises químicas revelaram que se tratam de areias sem vestígio de contaminação e incluídas na classe 1 da Portaria nº 1450/2007 (ver secção II.1).



a) b)

Figura 25 – Fotografias da Praia de Vale do Lobo adquiridas em alturas equivalentes de altura de maré (a) a 12 de Novembro de 1996; (b) a 6 de Julho de 2006, após alimentação artificial de 2006 (retirado de Teixeira, 2009).

Na primeira intervenção foram depositados na praia cerca de 700000m^3 de areia dragada ao largo, numa frente de mar de cerca de 1400m. Com o passar do tempo a praia foi gradualmente perdendo areia e reduzindo a sua largura[11] a uma

[11] *Largura de praia* corresponde à distância entre a base da arriba e a curva do nível médio do mar (2m acima do zero hidrográfico).

taxa que rondou os 7m/ano, retomou as condições iniciais cerca de 6 anos após a alimentação de 1998 (Figura 26).

Tornava-se assim crucial uma nova intervenção de realimentação, o que voltou a acontecer em 2006 com a deposição de cerca de 370000m^3 de areia, numa frente de mar que rondou os 1100m. Esta intervenção aumentou cerca de 30m a largura de praia (Figura 26).

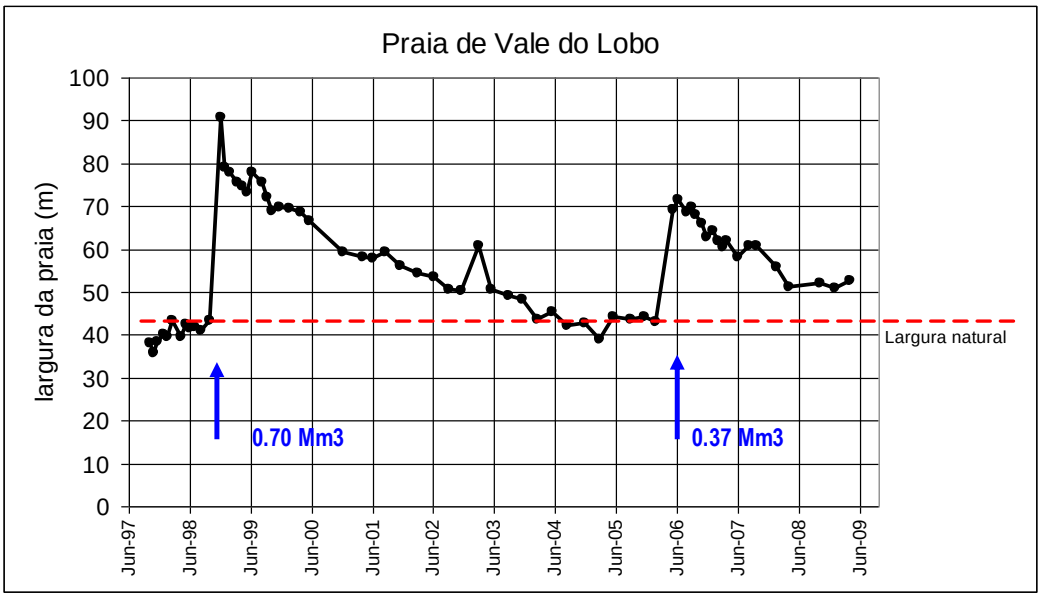


Figura 26 – Evolução temporal da largura da praia de Vale do Lobo entre Outubro de 1997 e Abril de 2009, baseada em 6 perfis transversais (retirado de Teixeira, 2009).

Após 3 anos da última intervenção, a largura da praia já se encontra bastante reduzida (cerca de 20m desde 2006), o que, segundo Teixeira (2009), teve contribuição significativa da sequência de tempestades registadas entre Fevereiro e Abril de 2008. A taxa de redução da largura da praia é idêntica à verificada após o enchimento de 1998, com valores médios de 6 a 7m/ano. Assim sendo, pode estimar-se que em 2010 será novamente crucial para a manutenção da praia e das arribas de Vale do Lobo efectuaruma terceira intervenção.

A extracção de sedimentos, embora de extrema importância na mitigação da erosão costeira de Vale do Lobo, produz depressões no fundo que evoluem ao longo do tempo, tendendo a ser preenchidas com sedimentos provenientes de locais vizinhos, a uma taxa que é influenciada pelo volume de sedimentos

extraído, pela profundidade à qual foi feita a extracção e pelas condições hidrodinâmicas vigentes no local, entre outros factores.

De modo a avaliar o impacto originado pela extracção de inertes realizada ao largo de Vale do Lobo no Algarve, bem como determinar o balanço sedimentar nesta área, é crítico dispôr de registos batimétricos da zona de extracção e área envolvente ao longo do tempo. Os levantamentos batimétricos da área da escavação utilizados neste trabalho são referentes a Outubro de 1998, Novembro de 2001, Março e Maio de 2006 (dados cedidos pela Administração da Região Hidrográfica do Algarve - ARH Algarve), e a Novembro de 2008 (levantamento realizado já no âmbito deste trabalho – campanha ERSTA-SANDEX).

Neste capítulo serão, em primeiro lugar, apresentados os dados da campanha de 2008 e de seguida serão descritos cronologicamente os dados cedidos pela ARH Algarve. Como se verá mais à frente neste capítulo, a qualidade dos dados batimétricos não é a ideal, pelo que o cálculo dos volumes de remoção e acreção apresenta algumas limitações. Ainda neste capítulo são discutidos alguns métodos de interpolação e selecciona-se o mais apropriado; são ainda apresentados e discutidos os resultados do balanço sedimentar, tendo em linha de conta os dados batimétricos de que se dispõe para este cálculo.

IV.1. Dados Batimétricos

IV.1.1. Campanha ERSTA-SANDEX

Os dados batimétricos referentes a Novembro de 2008 foram adquiridos durante a campanha ERSTA-SANDEX, na qual participou a autora deste trabalho, e foram utilizados no âmbito desta tese. A campanha de mar decorreu a bordo da embarcação *Ecomar* (Figura 28) da empresa "*Lagoa do Ruivo Survey*", entre os dias 19 e 28 de Novembro de 2008. Esta campanha foi co-financiada pelos projectos de investigação *ERSTA* (Estudo do Risco Sísmico e Tsunamigénico do Algarve) e *SANDEX* (Projecto PTDC/ECM/70428/2006). No que refere à parte do projecto SANDEX, que corresponde aos dados apresentados neste trabalho,

foram efectuados levantamentos batimétricos de feixe simples e adquiridos vários perfis sísmicos de elevada resolução ao largo de Vale do Lobo, Algarve (Figura 27).

O planeamento e organização da campanha foi da responsabilidade dos investigadores Luís Rebêlo, Pedro Terrinha e João Noiva da Unidade de Geologia Marinha do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (UGM/LNEG). A operação dos equipamentos de sísmica, a aquisição dos dados e os registos no livro de bordo foram efectuados por Francisco Curado Teixeira, do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geociências, da Universidade de Aveiro (LGM/UA), por Pedro Terrinha, Rui Quartau e João Noiva, da UGM/LNEG, e pela autora deste trabalho. O levantamento batimétrico, assim como a correcção dos dados de batimetria, esteve a cargo de Filipe Batel da empresa *Lagoa do Ruivo Survey*.

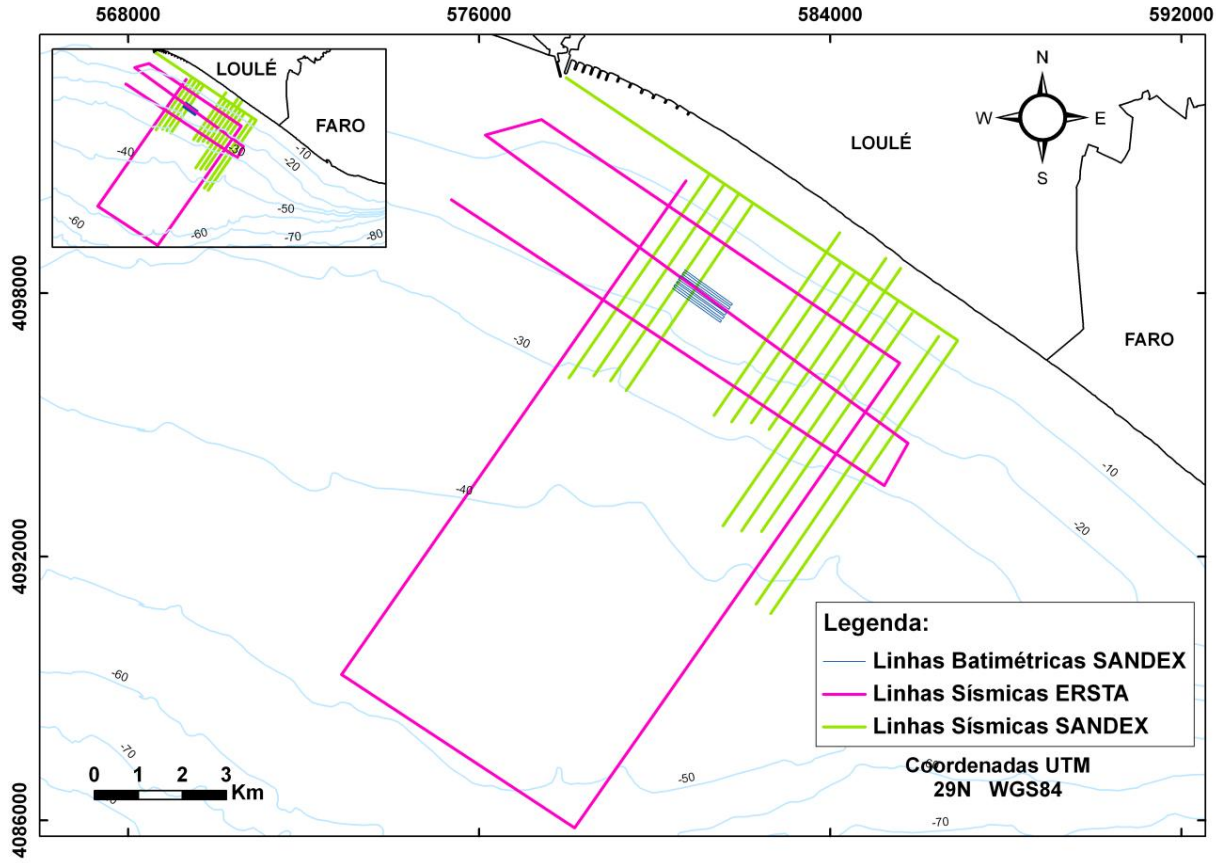


Figura 27 - Levantamentos batimétricos e sísmicos efectuados no decorrer da campanha ERSTA-SANDEX, em Novembro de 2008.

Os dados batimétricos foram adquiridos usando uma ecossonda *Hydrotrac* de feixe simples Odom, tendo sido adquiridas 11 fiadas paralelas à linha de costa, com um espaçamento entre linhas de cerca de 50m e 1,5km de comprimento, o que correspondeu a um total de 16,5km, circunscritos a uma área com 0,8km^2.

Os perfis de sísmica de reflexão foram adquiridos utilizando um sistema Sparker Geo-Resources, num total de 161km. Foram adquiridas 14 linhas SANDEX e 8 linhas ERSTA (Figura 27).

Figura 28 - Embarcação *Ecomar* a bordo da qual foi realizada a campanha ERSTA-SANDEX entre os dias 19 e 28 de Novembro de 2008.

Levantamento Batimétrico

A aquisição da batimetria foi realizada através do uso de uma ecossonda de feixe simples, modelo *Hydrotrac* da *Odom*. Esta ecossonda trabalha até uma profundidade máxima de 600m, apresenta uma resolução de 10cm e uma precisão de 1cm a 200kHz e 10cm a 33kHz (Figura 29).

a) b)

Figura 29 - Ecossonda *Hydrotrac* de feixe simples da *Odom*. (a) Ecossonda; (b) Sistema de registo analógico e aquisição digital da batimetria.

Foram adquiridas 11 fiadas paralelas à linha de costa, espaçadas entre si cerca de 50m e com pouco menos que 1,5km de comprimento (Figura 30).

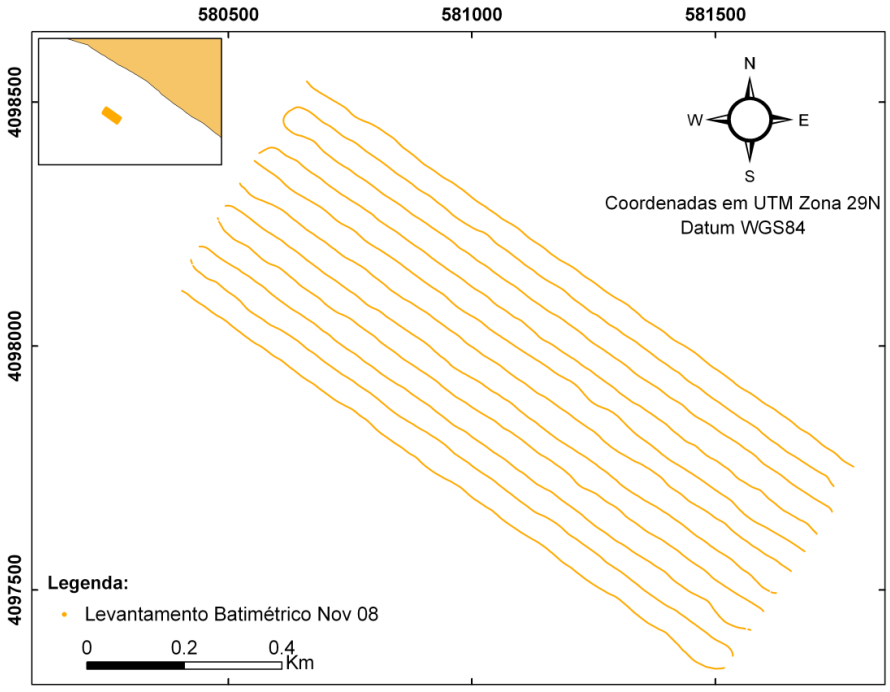


Figura 30 - Levantamentos batimétricos efectuados na área da escavação.

O efeito de maré foi controlado pelo marégrafo de Faro e um marégrafo instalado na Marina de Albufeira pela empresa Lagoa do Ruivo Survey. Esta empresa foi ainda responsável pelas correcções dos dados batimétricos, que foram cedidos num ficheiro XYZ em formato ASCII e em coordenadas UTM WGS 84.

Levantamento de Reflexão Sísmica de Alta Resolução

O levantamento sísmico foi realizado com um sistema *sparker* (Figura 31) que se baseia numa descarga eléctrica produzida por uma conjunto de eléctrodos, que aquece e vaporiza a água, gerando-se assim, uma onda de choque que se propaga pelo meio aquático e que continua a propagar-se através do subsolo marinho. O sinal reflectido é recebido por um conjunto de hidrofones rebocado à superfície.

Para que haja passagem de corrente eléctrica entre os eléctrodos é necessário que a água seja condutora, o que limita a utilização deste sistema à água do mar, salgada, embora já hajam sistemas sparker adaptados para ambientes de água doce.

O sistema *Sparker Geo-Resources* usado na aquisição dos dados de reflexão sísmica consistiu em:

- Fonte acústica *Sparker Geo-Source* 200, com 4 módulos, cada um composto por 50 elétrodos (Figura 31a);

- Cadeia de Hidrofones (streamer) *Aquadyne* AQ-200 da *Benthos*, constituída por 8 hidrofones com espaçamento de 0,4 m entre si;

- Fonte de energia *Geo-Spark* 1000 & 1500 PPS (foram usados 2 disparos por segundo com potência de 300 J);

- Sistema de aquisição analógico-digital, constituído por um *Mini-Trace* 1 (adquire dados sísmicos monocanal de muito elevada resolução), computador, impressora *Printex* 1200 DL e software *Geo-Trace* de aquisição dos dados (Figura 31b).

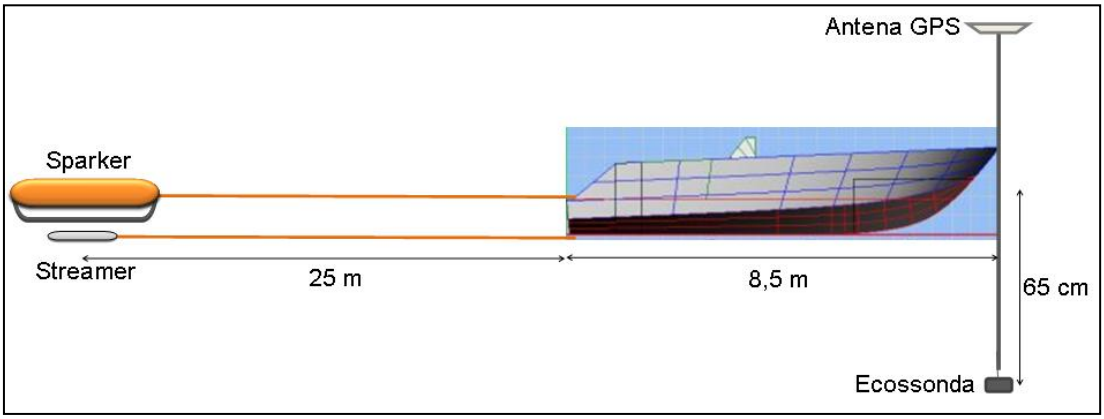
Este sistema permite trabalhar em profundidades que podem variar entre os 2 e os 1000m e uma penetração no subsolo de cerca de 400ms (tempo de ida e volta - *TWT*[12]) com uma resolução média de 40 a 50cm, dependendo da energia utilizada.

A geometria da aquisição utilizada encontra-se esquematizada Figura 32.

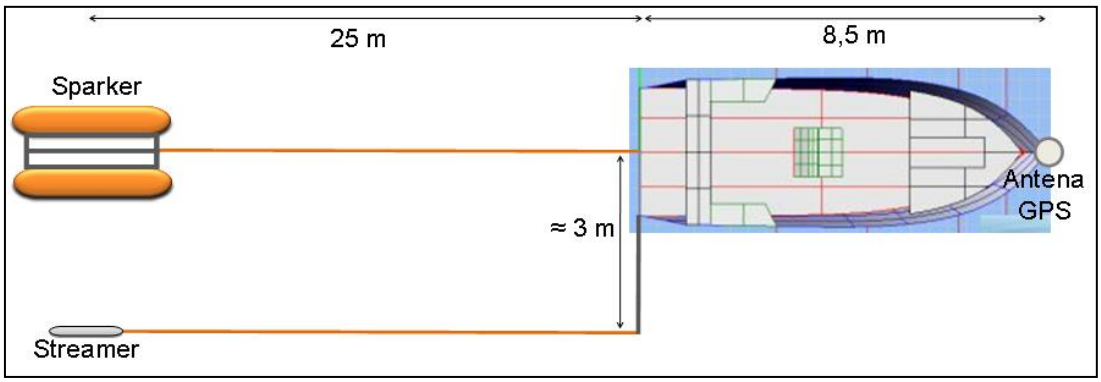
[12] *TWT* (*Two-Way Time*) corresponde ao tempo de ida e volta de uma reflexão.

a) b)

Figura 31 - Sistema *Sparker Geo-Resources*; a) *Sparker Geo-Source* 200; b) Sistema de aquisição analógico-digital (computador portátil, Mini-Trace 1 e impressora).



a)



b)

Figura 32 – Geometria da aquisição. (a) Vista lateral; (b) Vista de cima.

IV.1.2. Levantamentos Batimétricos Prévios

Todos os levantamentos batimétricos anteriores a 2008 que se utilizaram neste trabalho foram cedidos pela ARH Algarve e são apresentados de seguida (S. Teixeira, Comunição pessoal):

Levantamento de Outubro de 1998

Os dados relativos a Outubro de 1998 dizem respeito à batimetria da área em estudo antes de qualquer intervenção extractiva submarina. Estes dados encontram-se em formato papel, tendo havido, por isso, a necessidade da sua conversão para formato digital, de modo a poder efectuar as operações necessárias entre as diversas superfícies batimétricas.

A digitalização das cartas em papel passou pela sua *scannerização*, geo-referenciação num Sistema de Informação Geográfica (*ArcGIS*) e digitalização dos pontos batimétricos nelas representadas através do *ArcGIS*.

O conjunto de dados batimétricos cedidos referentes a 1998 inclui 21 cartas, projectadas no sistema *Hayford Gauss* IPCC, Datum 73, divididas em 3 áreas principais denominadas A, B e C (A1- A7, B1- B5 e C1- C9).

Após a *scannerização* de todas as cartas e a introdução dos pontos correspondentes às extremidades de cada uma das cartas em ArcGIS (Figura 33), as 21 cartas foram geo-referenciadas. Foram de seguida digitalizados todos os pontos de amostragem com informação batimétrica representados nas cartas, "picando" cada um dos pontos das diferentes cartas e introduzindo para cada ponto informação relativa à batimetria (Figura 34).

Como resultado deste processo, obtiveram-se os dados batimétricos em formato digital para posterior utilização no cálculo dos volumes acumulados e extraídos realizados mais à frente neste capítulo (Figura 35).

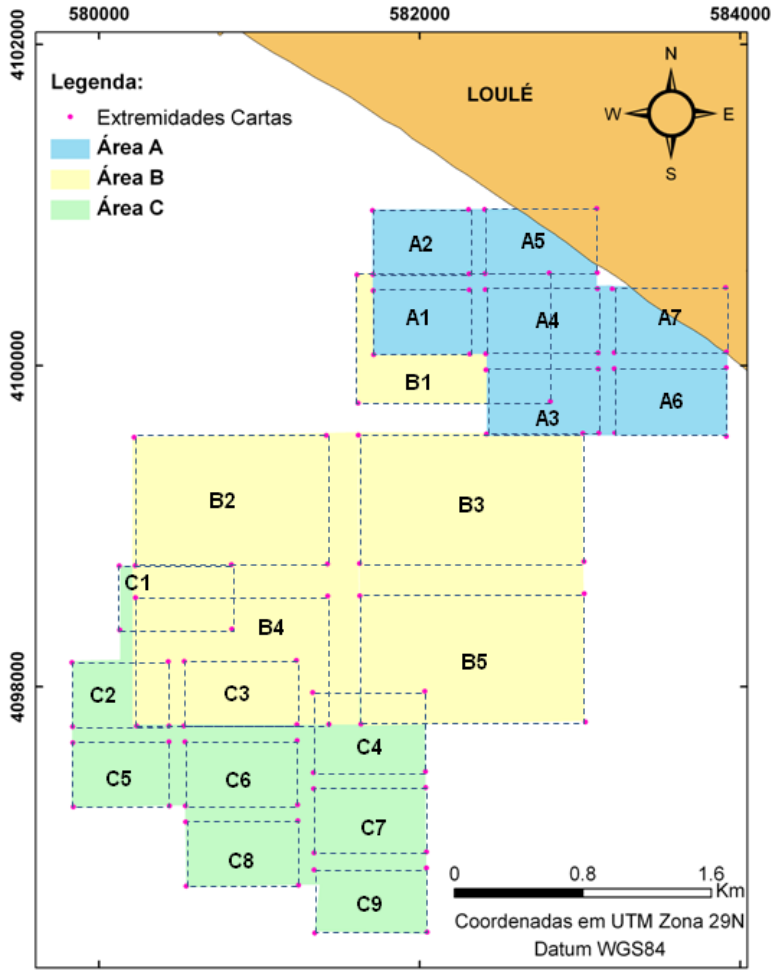


Figura 33 – Localização das 3 áreas abrangidas pelas cartas batimétricas de 1998.

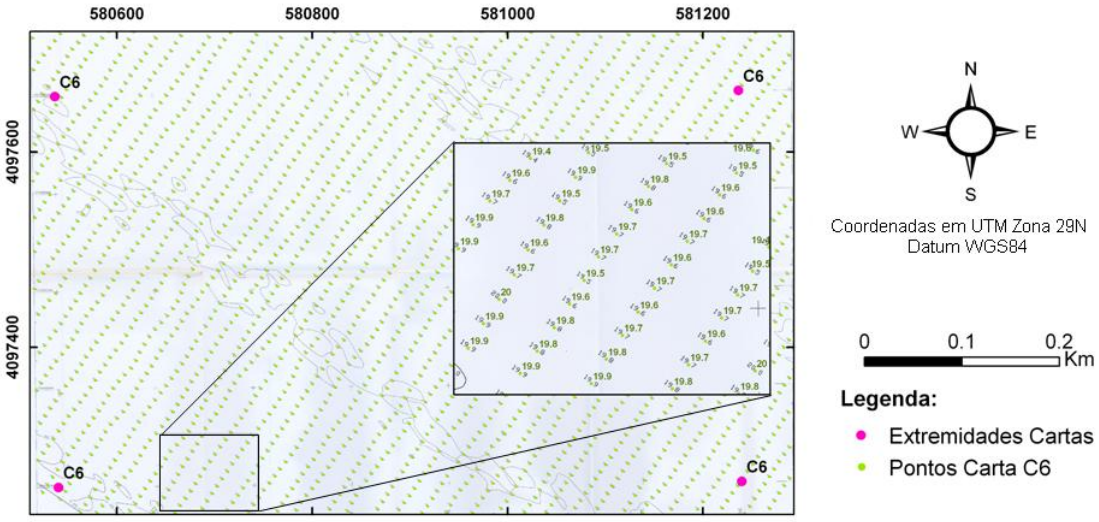


Figura 34 - Carta C6 (ver localização na Figura 33) com representação das fiadas ao longo das quais foram efectuadas sondas batimétricas, após geo-referenciação e digitalização dos pontos batimétricos no ArcGIS. Na imagem de pormenor, os números a preto correspondem aos dados originais na carta em papel e os números a verde aos pontos após digitalização.

O levantamento efectuado em 1998 foi realizado com uma sonda de feixe simples e cobre uma área de cerca de 7km^2, com fiadas de aquisição perpendiculares à linha de costa, espaçadas entre si cerca de 20m na área da escavação e da praia e 40m na zona intermédia.

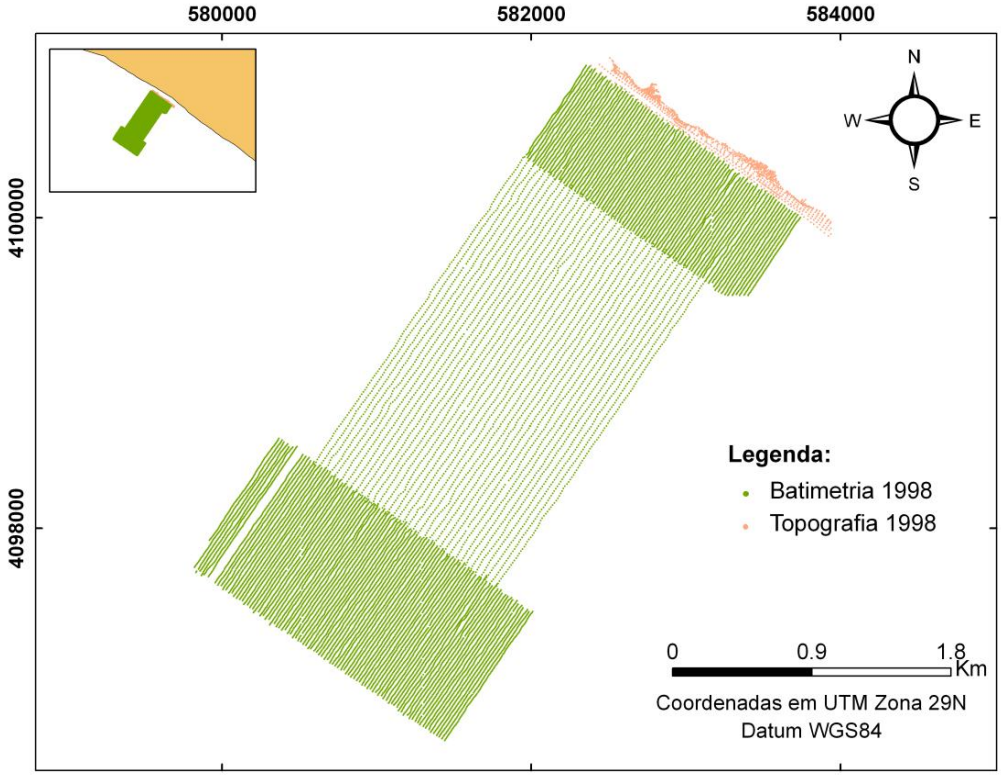


Figura 35 - Cobertura batimétrica referente a Outubro de 1998 após digitalização da informação. Dados cedidos pela ARH Algarve em formato de papel. As medições referentes à topografia (positivas) encontram-se a cor rosa e as referentes à batimetria a verde (negativas).

Levantamento de Novembro de 2001

Cerca de 3 anos após a primeira extracção foi realizado um levantamento batimétrico de monitorização. Este levantamento foi realizado com uma sonda de feixe simples e cobre uma área de cerca de 2km^2, com fiadas de aquisição perpendiculares à linha de costa, espaçadas entre si aproximadamente 20m.

Os dados originais encontravam-se referidos ao sistema *Hayford Gauss* IGeoE, Datum Lisboa, tendo sido, após projecção geo-referenciada, convertidos para coordenadas em UTM, Datum WGS84 (Figura 36).

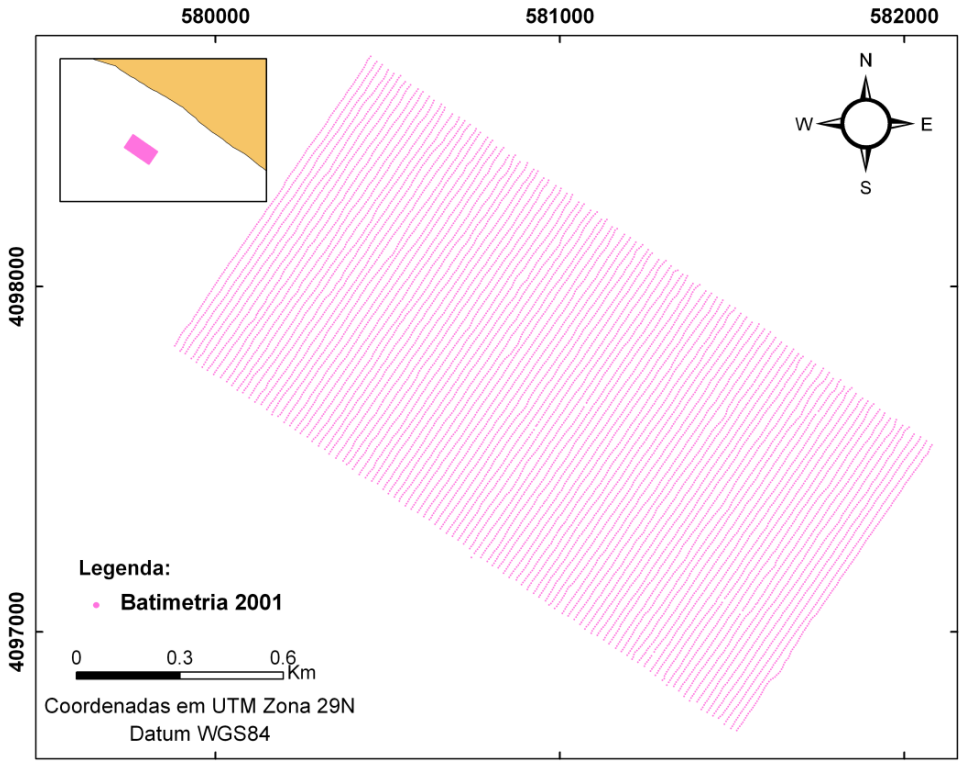


Figura 36 – Cobertura de dados batimétricos da zona de extracção referentes a Novembro de 2001. Dados cedidos pela ARH Algarve.

Levantamento de Março de 2006

Cerca de 8 anos após a primeira extracção e imediatamente antes da segunda intervenção foi efectuado um novo levantamento batimétrico de controlo. Realizado com uma sonda de feixe simples, este levantamento cobre uma área de cerca de 5km^2, com fiadas de aquisição perpendiculares à linha de costa, espaçadas entre si cerca de 20m.

Tal como no levantamento de 2001, os dados encontravam-se referidos ao sistema *Hayford Gauss* IGeoE, Datum Lisboa e foram. Após projecção geo-referenciada, foram convertidos para coordenadas em UTM, Datum WGS84 (Figura 37). Como se pode observar pela figura, os dados cedidos pela ARH Algarve relativos a Março de 2006 encontram-se regularmente espaçados, não se tratando dos dados originais, mas de dados que resultaram de uma interpolação com malha espaçada de 20 m.

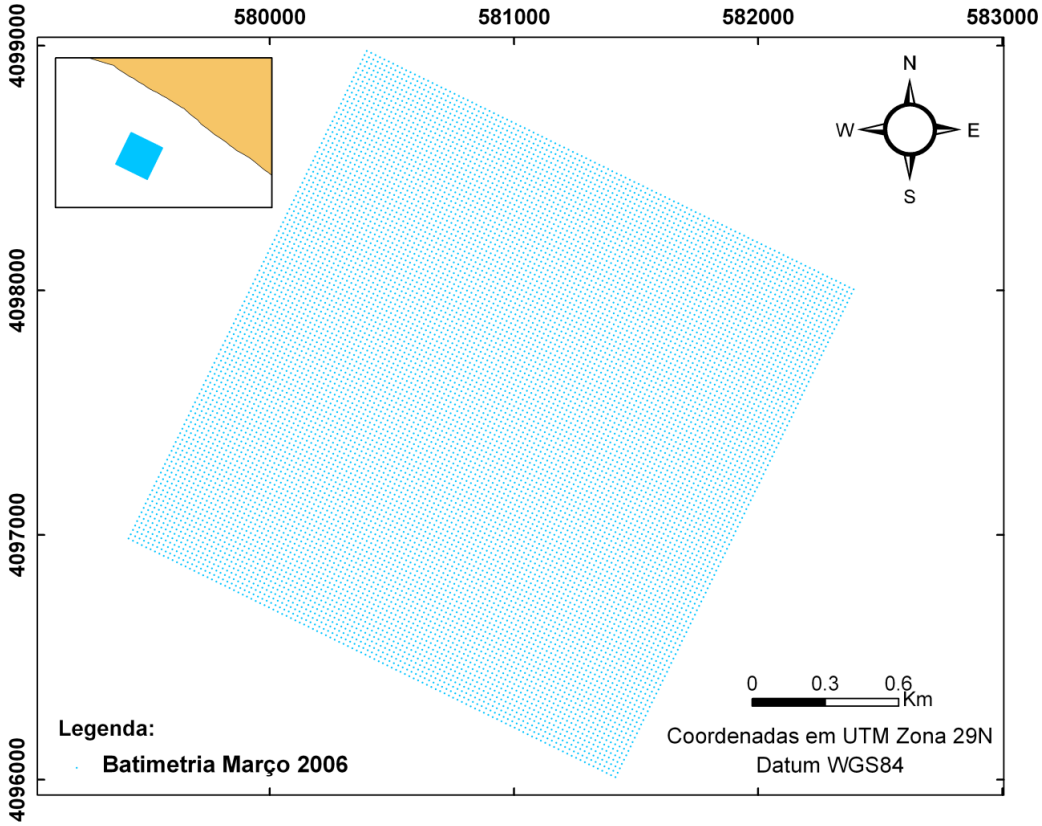


Figura 37 - Cobertura de dados batimétricos da zona de extracção referentes a Março de 2006. Dados cedidos pela ARH Algarve já em malha regular.

Levantamento de Maio de 2006

Logo após a segunda extracção de areias foi adquirida batimetria, uma vez mais, com uma sonda de feixe simples. Este levantamento cobre uma área que coincide com a de Março do mesmo ano (cerca de 5km^2), com fiadas de aquisição perpendiculares à linha de costa e espaçadas entre si cerca de 20m.

Os dados batimétricos relativos a Maio de 2006 encontravam-se referidos ao sistema *Hayford Gauss* IGeoE, Datum Lisboa e foram, após projecção geo-referenciada, convertidos para coordenadas em UTM, Datum WGS84 (Figura 38).

Como se pode observar pela Figura 38, os dados a que se teve acesso dispõem-se de forma regular, pelo que, tal como para Março de 2006, não se trata dos dados originais, mas sim do resultado de uma interpolação prévia com malha espaçada de 20m.

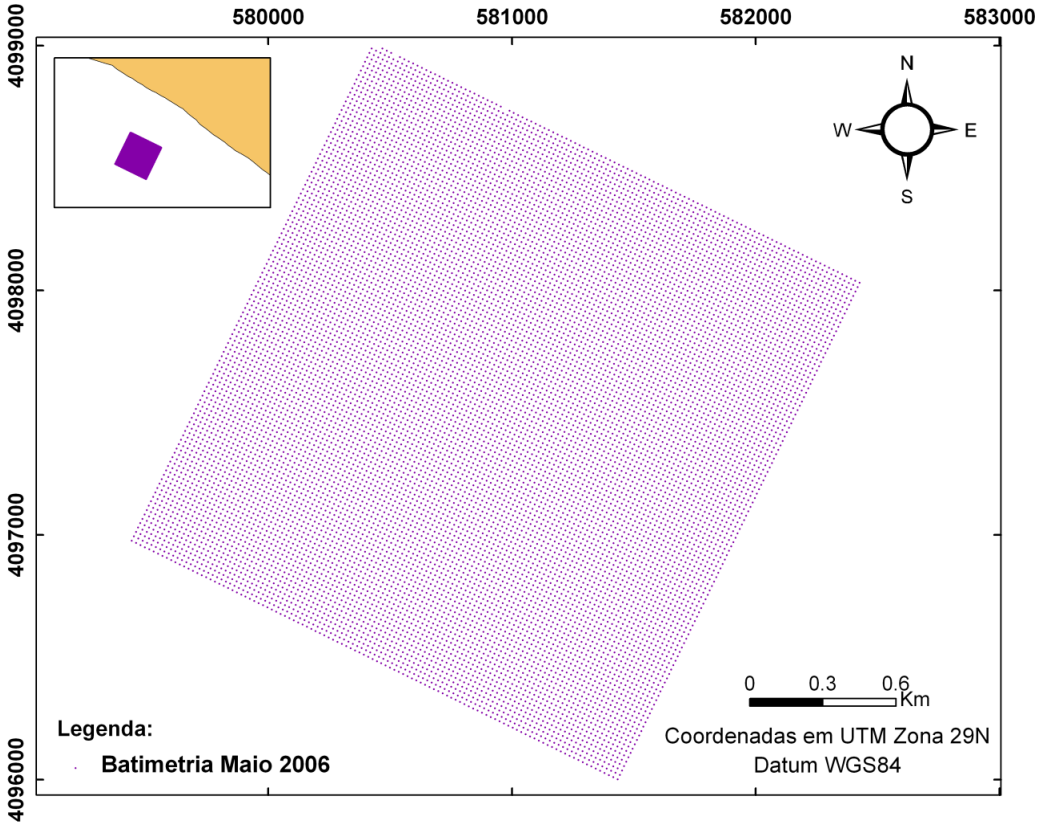


Figura 38 - Cobertura de dados batimétricos da zona de extracção referentes a Maio de 2006. Dados cedidos pela ARH Algarve já em malha regular.

IV.1.3. Limitações dos Dados Batimétricos

A batimetria é uma forma de monitorização das áreas dragadas; no entanto, quanto mais erros lhe tiverem associados, menos próxima do real será a superfície batimétrica resultante e menos fiáveis serão os cálculos dos volumes de sedimentos e a avaliação da evolução da zona dragada.

As sondas batimétricas permitem determinar a profundidade através da emissão de um sinal sonoro que se propaga na água até encontrar o fundo do mar. O sinal sonoro é então reflectido (eco) regressando parte da energia ao navio onde é detectada (Figura 39). O intervalo de tempo (t) entre a emissão do impulso e a recepção do eco (tempo de ida e volta - *TWT*) pode ser convertido numa distância, neste caso profundidade (h), desde que se conheça a velocidade de propagação do som na água (V_w):

$$h = \frac{t}{2} \times V_W$$

(Equação 1)

O factor 2 surge devido ao facto da distância percorrida pela onda sonora compreender o trajecto de ida e volta (*TWT - Two-Way Time*).

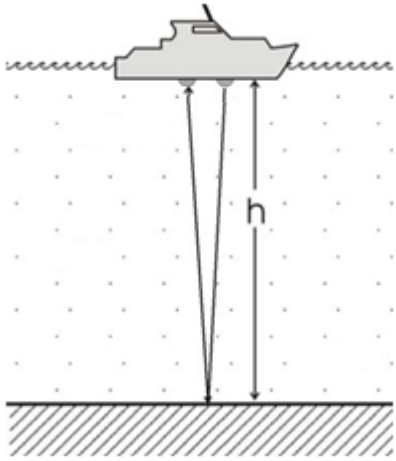


Figura 39 - Esquema ilustrativo do funcionamento geral de um sonar batimétrico.

Os sonares de feixe simples, tal como os usados nos levantamentos batimétricos estudados neste trabalho, são constituídos por apenas uns transdutor que emite e recebe o sinal sonoro. A largura do feixe está relacionada com a dimensão do transdutor e o comprimento da onda acústica. Quanto mais elevada for a frequência e maior o transdutor, mais estreito será o feixe, o que permite uma elevada directividade. Um feixe largo é indicado apenas quando a directividade não é uma prioridade, mas se pretende detectar profundidades mínimas ou identificar possíveis obstáculos (IHO, 2005).

Ao valor batimétrico que se obtem directamente do sonar têm que ser aplicadas as devidas correcções, pois este valor não traduz directamente a profundidade. O valor corrigido (D) resulta do valor medido (d) subtraído pelo *heave*[13] do transdutor (H) e pela altura da coluna de água acima do zero hidrográfico[14] (WL),

[13] *Heave* corresponde ao movimento vertical da embarcação resultante da acção da ondulação.

[14] *Zero Hidrográfico* (ZH) é a referência vertical adoptada em Portugal e coincide com a mais baixa das baixas-mar.

baseado na medição da maré, e adicionado à profundidade a que se encontra o transdutor - calado (C), tal como ilustra a Equação 2 e a Figura 40.

$$D = d - H + C - WL \qquad \text{(Equação 2)}$$

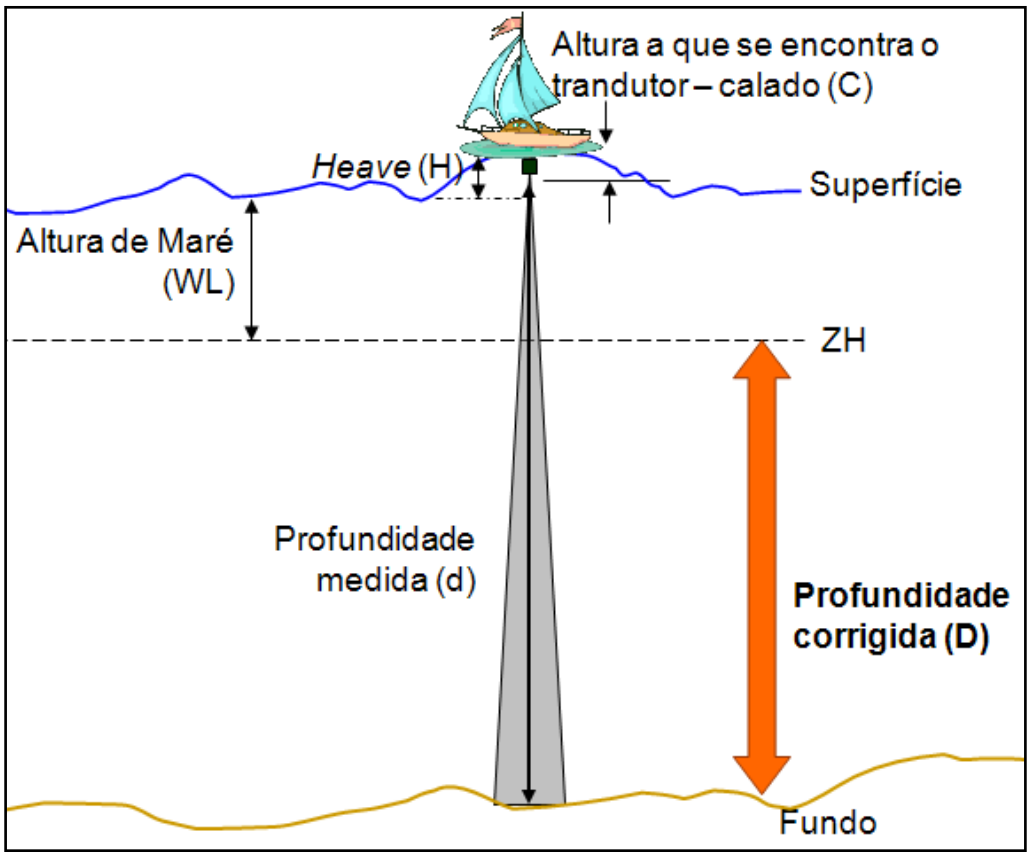


Figura 40 - Esquema ilustrativo das correcções necessárias a fazer ao valor batimétrico que se obtem directamente do sonar (d).

Pela equação anterior e por todo o processo que envolve a aquisição batimétrica, é fácil perceber que a batimetria vem sempre acompanhada de incertezas. São vários os tipos de erros na determinação da profundidade, mas de uma forma geral podem ser divididos em erros sistemáticos, erros aleatórios e erros grosseiros (IHO, 2005).

Os erros grosseiros são os mais fáceis de detectar e consequentemente mais fáceis de remover (Figura 41). São erros geralmente provocados por uma falha mecânica ou de componentes electrónicos.

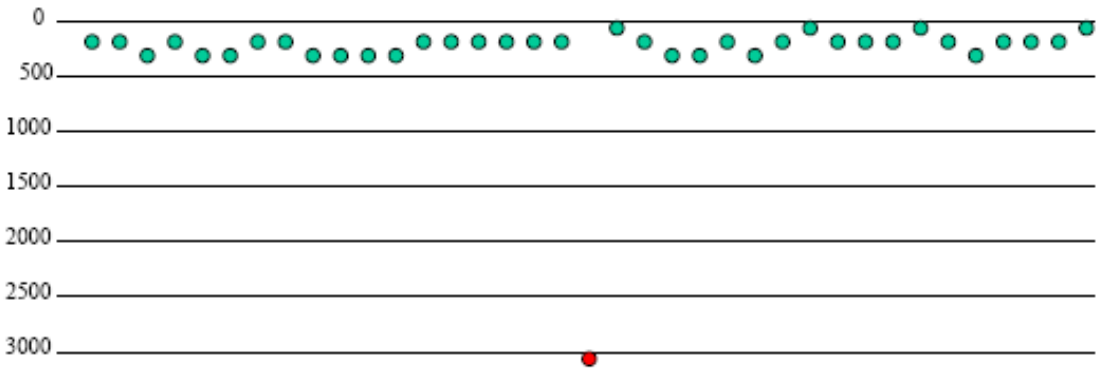


Figura 41 - Exemplo de um erro grosseiro (a vermelho), facilmente detectável por ser de uma ordem de grandeza muito diferente dos restantes valores.

Os erros sistemáticos são erros que seguem um determinado padrão sempre que as observações são repetidas nas mesmas condições. Podem ser constantes, se a magnitude e o sinal se mantém constante ao longo de uma série de medições (resultado de um *offset* por exemplo), ou variáveis, se a magnitude e/ou o sinal variam devido a variações nas condições de medição (relacionados geralmente com o movimento do navio). Estes erros podem ser corrigidos se o seu sinal e a sua magnitude forem identificados (IHO, 2005).

As variações que persistem após correção dos erros grosseiros e sistemáticos estão relacionadas com os erros que não apresentam qualquer relação funcional: os erros aleatórios. Estes são incoerentes e apresentam uma distribuição gausseana. Os erros aleatórios podem ter diversas origens (IHO, 2005):

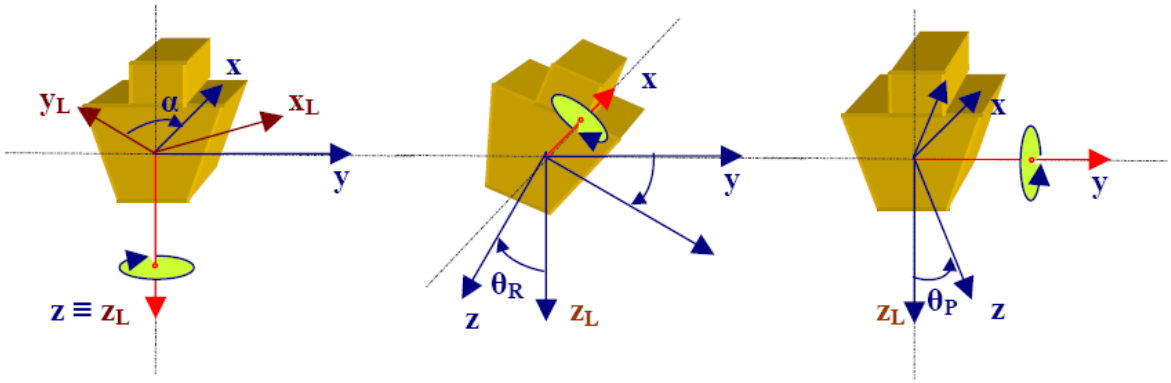
- Fundos inclinados podem dar origem a erros na medição da profundidade que dependem quer da inclinação do fundo, quer da largura do feixe do sonar.

- Variações na velocidade do som, muitas vezes difíceis de detectar e que produzem erros na medição da profundidade proporcionais (a) aos erros na determinação da velocidade do som, e (b) à profundidade. A magnitude dos erros da velocidade do som varia com a determinação exacta da velocidade do som e com a sua variação temporal e espacial, sendo a maior contribuição para o erro da profundidade devida a estes dois últimos. Medições da velocidade do som na

água ou mesmo perfis da velocidade do som na coluna de água ao longo da aquisição são assim cruciais para a correcção deste erro.

- Erros na medição do tempo: uma vez que o sonar mede efectivamente o tempo da reflexão, convertendo-o posteriormente em profundidade estes erros vão influenciar as profundidades medidas. Nos sonares modernos este erro é geralmente pequeno e constante.

- Movimento do navio - movimento estibordo bombordo (*roll*), cabeceamento (*pitch*) e *heave* (Figura 42). *Roll* e *pitch* contribuem para o erro da profundidade sempre que o ângulo do *roll* (θ_R) ou do *pitch* (θ_P) for superior a metade da largura do feixe ($\phi/2$).



a) b) c)

Figura 42 - Movimentos do navio. (a) em torno do eixo dos zz - *heading*; (b) em torno do eixo dos xx - movimento estibordo bombordo ou *roll*; (c) em torno do eixo dos yy - cabeceamento ou *pitch* (retirado de IHO, 2005).

A Figura 43 ilustra o erro de profundidade e posicionamento devido ao *roll*, podendo ser adaptada para *pitch* mudando apenas θ_R para θ_P. Note-se que o valor medido (Z_m) por *roll* ou *pitch* é quase sempre sobre-estimado.

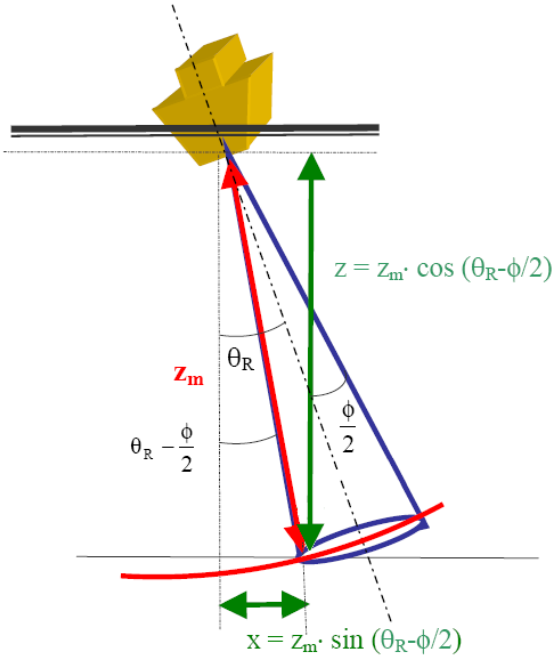


Figura 43 - Efeito do movimento estibordo-bombordo (*roll*) e do cabeceamento (*pitch*), tendo em conta a largura do feixe, na determinação da profundidade (retirado de IHO, 2005).

Sonares com feixes mais largos não são geralmente muito afectados pelo *roll* e *pitch*; no entanto, para feixes estreitos este efeito deve ser compensado através de sistemas de estabilização.

O *heave* é um movimento vertical causado pela acção do mar e da ondulação e pode ser medida por sensores inerciais ou por compensadores de *heave*. Os sensores inerciais devem ser instalados perto do centro de gravidade do navio; já os compensadores de *heave* devem ser colocados acima do transdutor para medir o *heave* no mesmo eixo vertical a que se encontra o transdutor.

- Posição dinâmica do transdutor (c) representa a profundidade instantânea do transdutor abaixo do nível da água e resulta de 3 componentes como mostra a seguinte equação (Alpar *et al*., 2001):

$$c = C - \textit{settlement} - \textit{squat} \qquad \text{(Equação 3)}$$

A posição estática do transdutor, designada por calado (C), é a profundidade do transdutor abaixo do nível da água quando o navio se encontra parado. Esta profundidade pode variar ao longo do tempo, devido a alterações na quantidade de combustível por exemplo, pelo que deve ser actualizado o seu valor ao longo do cruzeiro de aquisição. Em condições dinâmicas, a profundidade do transdutor varia. O chamado *settlement* corresponde ao abaixamento geral do navio em relação ao seu estado estático; já o *squat* resulta de uma mudança de nível entre a proa e a popa.

- Erros de interpretação do eco são da responsabilidade do hidrógrafo, pelo que a interpretação requer experiência para identificar formas específicas, multiplos e ecos falsos.

- Erros de maré podem ser introduzidos aquando da redução da profundidade a um datum vertical, através da correcção da altura da maré. Neste caso, além do erro associado à medição da maré propriamente dita, há ainda um outro erro relacionado com a diferença de maré entre a área de aquisição e o marégrafo.
A maré pode também ser determinada usando um sistema GPS-RTK (*Real Time Kinematic*), tal como o usado nos levantamentos de Março e Maio de 2006; contudo, a determinação das marés requer um modelo de diferenças entre o elepsóide de referência, WGS84, e o datum vertical (IHO, 2005).

IV.2. Interpolação dos Dados Batimétricos

IV.2.1. Métodos de Interpolação

O principal objectivo deste trabalho foi avaliar a evolução morfológica de uma zona onde ocorreram extracções de sedimentos. Esta avaliação foi fundamentalmente baseada na comparação das batimetrias dos diferentes anos, através da medição da diferença entre essas superfícies. Assim, torna-se importante que a superfície interpolada seja uma representação o mais

aproximada possível da morfologia real da área a interpolar. Uma representação exacta é impossível, ainda mais difícil com sistemas mono-feixe como foi o caso, não só devido a erros de posicionamento e leitura, mas também devido ao facto de se ter necessariamente que utilizar uma malha finita de amostragem que seja exequível (Merwade e Maidment, 2004; Rebêlo, 2004).

Os dados batimétricos podem ser incorporados em superfícies através da interpolação dos dados adquiridos, ou seja, através da estimativa do valor da profundidade em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma zona. No entanto, essas superfícies batimétricas dependem da habilidade dos métodos de interpolação em prever a profundidade correcta em locais onde não foram adquiridos dados (Merwade, 2009). O *software ArcGIS*, através da extensão *Spatial Analyst*, permite criar uma matriz regular com base em pontos dispersos (Merwade e Maidment, 2004; Rebêlo, 2004).

São vários os métodos de interpolação e de uma maneira geral podem ser classificados como determinístícos ou estocásticos, locais ou globais, e exactos ou não exactos. Os métodos estocásticos têm inerente o conceito de aleatoriedade na estimativa de atributos em pontos sem amostragem, determinando ainda as incertezas e erros associados; todos os outros métodos são determinísticos uma vez que dão origem a estimativas sem qualquer incerteza associada, assumindo que os dados são isentos de erros. Os métodos globais utilizam todos os dados disponíveis da área em estudo para a estimativa dos atributos locais; ao contrário, os métodos locais operam numa pequena área que envolve o ponto que se pretende estimar. Os métodos de interpolação podem ainda ser classificados como exactos, se geram estimativas semelhantes aos pontos amostrados num determinado ponto, ou não-exactos, se estimam valores que diferem dos valores amostrados (Isaaks e Srivastava, 1989; Li e Heap, 2008).

Neste trabalho foram testados vários métodos para uma posterior conclusão de qual o mais apropriado nesta situação. Apresenta-se de seguida uma pequena abordagem teórica a alguns dos métodos disponíveis no *software* supramencionado, nomeadamente: Peso do Inverso da Distância (*Inverse*

Distance Weighting - IDW), Malhas Triangulares Irregulares (*Triangular Irregular Network* - TIN), Vizinhos Mais Próximos (*Nearest Neighbours* - NN), Vizinhos Naturais (*Natural Neighbours* - NaN), *Spline* e Krigagem (*Kriging)*.

O **Peso do Inverso da Distância** (*Inverse Distance Weighting* - **IDW**) é um método determinístico, local e não exacto (podendo no entanto ser forçado a ser exacto). Assume que um dado valor não amostrado pode ser aproximado através da média ponderada dos pontos amostrados numa dada vizinhança em função da sua distância ao ponto de interesse (Merwade, 2004; Merwade *et al.*, 2006; Li e Heap, 2008). Este método assume que os valores amostrados mais próximos do ponto cujo atributo que se pretende aproximar têm valores mais semelhantes ao que se pretende estimar do que os pontos mais afastados desse ponto. Assim sendo, o "peso" dado a cada ponto na média ponderada decresce em função da sua distância ao ponto de interesse (Merwade *et al.*, 2006; Li e Heap, 2008).

O valor do atributo a aproximar, Z*, em função das distâncias d_i aos pontos vizinhos Z_i é dado pela seguinte expressão matemática (Merwade *et al.*, 2006):

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{d_i^p} Z_i \right)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p}}$$

Z*: valor interpolado
d: distância de um dado ponto amostrado
Z: valor do ponto amostrado i
p: exponente de ponderação da distância
n: número de pontos incluídos na procura
i: número de pontos amostrados considerados na interpolação

(Equação 4)

O principal factor que afecta a exatidão deste método é o expoente de ponderação da distância (p - *power parameter*) que aumenta ou diminui a influência da pontos vizinhos amostrados (Merwade, 2004; Li e Heap, 2008). Se p é 0, todos os pontos amostrados terão uma influência idêntica na estimativa do ponto de interesse; à medida que o factor p aumenta, a influência das amostragens mais distantes diminui. Assim, um exponente de ponderação elevado resulta numa menor influência dos pontos mais distantes e um factor p baixo implica uma maior influência dos pontos mais distantes (Merwade, 2004; Merwade *et al.*, 2006).

O valor de p mais comummente usado é 2 e neste caso específico este método é conhecido como o Inverso do Quadrado da Distância (*Inversed Distance Squared* - IDS). O método IDW é ainda conhecido como Média Móvel (*Moving Average*) quando p é 0. Trata-se de uma Interpolação Linear (*Linear Interpolation*) se p é 1 e de uma Média Móvel Ponderada (*Weighted Moving Average*) se p é diferente de 1 (Li e Heap, 2008).

A suavidade da superficíe resultante da interpolação está directamente relacionada com o exponente de ponderação da distância, tendo sido descoberto que valores de p de 1 e 2 originam resultados menos satisfatórios do que valores de 4 como exponente de ponderação (Li e Heap, 2008).

Este parâmetro pode ser escolhido com base no erro medido; por exemplo, um erro médio absoluto mínimo resulta numa interpolação optimizada (Li e Heap, 2008).

No método das **Malhas Triangulares Irregulares** (*Triangular Irregular Network* - **TIN**), método determinístico, local e exacto, todos os pontos amostrados são unidos formando uma série de triângulos contínuos, não sobrepostos e dispostos irregularmente por forma a caracterizar as singularidades das superfícies a modelar. Este método baseia-se na triangulação de Delauney que requer que um círculo que passe pelos vértices de um triângulo não contenha nenhum outro vértice pertencente a triângulos vizinhos. O interior de cada triângulo é representado por um plano, sendo o valor de um ponto no seu interior estimado por interpolação linear ou cúbica (Pórtela e Hipólito, 1999; Li e Heap, 2008).

Uma vez que neste método apenas os pontos amostrados são usados na criação dos triângulos este é considerado um método de interpolação exacto. No entanto, os contornos podem aparecer triangulares se a densidade de amostragem for baixa. O método TIN apresenta algumas desvantagens uma vez que: (a) resulta melhor quando a distribuição dos pontos amostrados é uniforme, (b) usa apenas 3 pontos amostrados na interpolação e (c) não pode ser usado para extrapolação.

Contudo, é um método que preserva as mudanças súbitas de topografia e a sua computação é muito rápida (Carter e Shankar, 1997).

O método dos **Vizinhos mais próximos** (*Nearest Neighbours* - **NN**) é um método determinístico, local e exacto, que estima o valor de um atributo num ponto sem amostragem, baseado no ponto amostrado que se encontra mais próximo, através da construção de polígonos. Estes polígonos, denominados polígonos de Thiessen ou Voronoi, obtêm-se traçando perpendiculares a cada segmento de recta que une pares de pontos amostrados e delimitam a área mais próxima de um determinado ponto amostrado em que todos os pontos têm o mesmo valor (Li e Heap, 2008).

Neste método a área é dividida em polígonos que são determinados pela configuração dos pontos, as superfícies apresentam alterações abruptas nas fronteiras dos polígonos e todo o polígono obtém o valor do atributo do seu ponto interno. É um método robusto, mas não tem "inteligência" acerca do sistema que está a ser analisado (Li e Heap, 2008).

O conceito de **Vizinhos Naturais** (*Natural Neighbours* - **NaN**) foi introduzido por Sibson (Sukumar *et al.*, 2001). O método é determinístico, local e exacto, combinando as melhores características dos métodos NN e TIN, uma vez que usa a triangulação de Delauney onde os vértices dos triângulos correspondem aos pontos amostrados em polígonos de Thiessen adjacentes. É semelhante ao IDW, uma vez que atribui pesos aos dados amostrados para estimar dados não amostrados (Merwade *et al.*, 2006; Li e Heap, 2008).

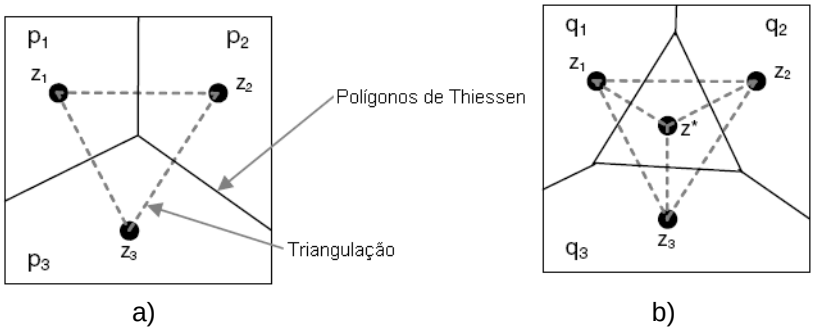
Este método estima valores de pontos não amostrados estabelecendo uma vizinhança de pontos amostrados e aplicando pesos baseados nas áreas (Sibson, 1981).

Para estimar o valor de um ponto não amostrado, este é introduzido no conjunto de polígonos de Thiessen, que é refeito considerando o novo ponto. O valor do ponto não amostrado é determinado tendo em conta os pontos amostrados que

se encontram nos polígonos envolventes. Cada ponto amostrado dos polígonos envolventes tem um peso na determinação do valor não amostrado, que está relacionado com as áreas antes e depois da introdução do ponto não amostrado (Li e Heap, 2008).

Para perceber melhor este conceito, consideremos polígonos de Thiessen (p_1, p_2 e p_3) para 3 pontos amostrados (z_1, z_2 e z_3) tal como ilustra a Figura 44a) e um ponto não amostrado z*, cujo valor se pretende estimar, que, ao ser introduzido, vai levar à diminuição das áreas dos polígonos definidos anteriormente (Figura 44b). Assim, se p_i e q_i correspondem às áreas dos polígonos de Thiessen de um pontos amostrado z_i, respectivamente antes e depois da introdução do ponto não amostrado z*, então o peso a dar ao ponto amostrado z_i é dado por (Merwade *et al.*, 2006):

$$\lambda_i = \frac{(p_i - q_i)}{p_i} \qquad \text{(Equação 5)}$$



a) b)

Figura 44 - a) Rede de polígonos de Thiessen; b) Rede de polígonos de Thiessen após a introdução do ponto não amostrado z* (adaptado de Merwade *et al.*, 2006).

A interpolação **spline** é determinístíca com propriedades estocásticas locais, é local e não exacta. Opera segundo dois pressupostos: que a função de interpolação deve passar pelos dados e que seja o mais sauve possível (Merwade *et al.*, 2006; Li e Heap, 2008). Este método consiste em funções polinomiais, onde cada polinómio de grau *p* é local e não global. A função polinomial descreve porções da linha ou superfície, uma vez que é ajustada a um pequeno número de pontos (*piecewise*), assegurando que a junção das várias funções é contínua e suave. Os locais onde as várias porções se unem - nós - são escolhidos

arbitrariamente e podem ter uma forte influência na aproximação obtida (Li e Heap, 2008).

A função polinomial apresenta a seguinte forma:

$$f(x) = a_{p-1} x^{p-1} + a_{p-2} x^{p-2} + \ldots + a_1 x + a_0 \quad \text{(Equação 6)}$$

onde x é a variável independente, *p* corresponde ao grau do polinómio e a_{p-1}, ..., a_0 são os coeficientes da função polinomial (Merwade, 2004).
O grau do polinónio mais usado é 3 e neste caso denomina-se spline cúbica. Um polinómio cúbico envolve 4 constantes, o que lhe confere flexibilidade suficiente para assegurar não apenas que o interpolável é continuamente diferenciável no intervalo, mas que também tem uma segunda derivada contínua no intervalo (Faires e Burden, 1993).

O método spline inclui duas técnicas: *regularized* e *tension*. Ambas estão relacionadas com o local de quebra da superfície. Na primeira os pontos tendem a quebrar entre os pontos amostrados e na segunda a superfície é forçada a passar pelos pontos amostrados (Rebêlo, 2004; Merwade *et al.*, 2006).

A **krigagem** (*kriging*) é um método de interpolação geoestatística que tem a vantagem de ser um método estocástico, ou seja, tem em conta o conceito de aleatoriedade e erros asociados aos dados, permitindo avaliar estatisticamente a superfície gerada, ao contrário dos métodos determinísticos que não usam quaisquer elementos da teoria de probabilidades. As técnicas geostatísticas têm ainda a vantagem de usarem a correlação espacial entre vizinhanças para estimar valores de pontos não amostrados (Verfaillie *et al*., 2006). Este método é classificado como local e exacto (Li e Heap, 2008).

Este método pretende não apenas estimar os valores de uma distribuição espacial variável, mas também determinar a incerteza associada a essa estimativa, baseado na variância da superfície interpolada (Davis, 1973). Todas as técnicas de krigagem variam de uma equação base (Li e Heap, 2008):

$$\hat{Z}(x)\ \mu = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \left[Z(x_i) - \mu(x_0) \right] \qquad \text{(Equação 7)}$$

onde μ é a média estacionária conhecida, que se assume ser constante em todo o domínio e determinada como a média dos dados; λ_i corresponde ao parâmetro de ponderação, *n* é o número de pontos amostrados usados na aproximação, que depende do tamanho da janela de procura, e $\mu(x_0)$ corresponde à média das amostras dentro dessa mesma janela (Li e Heap, 2008).

IV.2.2. Vantagens e Inconvenientes dos vários Métodos de Interpolação

Cada método de interpolação apresenta características que o distinguem e o caracterizam. Dependendo destas características pode considerar-se um método mais ou menos adequado consoante o tipo de dados a interpolar, a sua amostragem e o objectivo da interpolação.

O *IDW* é um método que apresenta bons resultados com dados regularmente espaçados. Contudo o mesmo não se verifica quando os dados se encontram aglomerados (clustering), como é o caso da amostragem batimétrica referente a Novembro de 2008 (Isaaks e Srivastava, 1989).

O método dos *vizinhos mais próximos* é considerado melhor que o IDW; no entanto tem a desvantagem de estimar valores baseado em apenas um ponto de amostragem, ignorando os outros pontos vizinhos, e não determina as incertezas associadas às estimas (Li e Heap, 2008).

O *TIN* é, geralmente, considerado melhor que o método dos vizinhos mais próximos. No entanto, cada ponto estimado depende apenas de 3 pontos de amostragem. A superfície gerada por este método é contínua, mas com mudanças abruptas no declive nas margens dos triângulos (Li e Heap, 2008).

O método dos *vizinhos naturais* é considerado melhor que o método dos vizinhos mais próximos e que o TIN, uma vez que estima uma superfície contínua e suave,

com excepção dos pontos onde a sua derivada é descontínua. Nos máximos e mínimos este método pode originar um artefacto conhecido como *Prussian helmets* (Capacetes Prussianos) (Sibson, 1981). Sambridge *et al*. (1995) aponta como pontos fortes dos vizinhos naturais (a) a capacidade de lidarem com distribuições espaciais de pontos altamente irregulares, onde as grandes variações na escala dos comprimentos das funções interpoladas podem ser facilmente representadas; o facto dos valores da função original corresponderem exactamente aos pontos de referência; e (c) o facto de ser uma interpolação inteiramente local e das derivadas da função interpolada serem contínuas em todos os pontos, exceptuando os pontos de referência (nós). Em suma, este método resulta numa superfície interpolada que se ajusta aos dados originais exactamente nos pontos de referência (nós), é local e garante a continuidade nas derivadas de primeira ordem em todos os pontos excepto nos nós (Sambridge *et al*., 1996).

O método *spline* é rápido e origina estimativas que são muito próximas dos valores interpolados, originando assim, baixas incertezas associadas aos dados. Contudo, a sua aplicação, assim como de outros modelos de regressão não paramétricos é muitas vezes questionável, pois o conjunto de dados não apresenta toda a informação necessária para uma estimativa confiável, além de não produzir informação directa na variância residual (Li e Heap, 2008). Para um número fixo de pontos, a spline *tension* parece produzir melhores resultados que a interpolação spline *regularized* (Merwade e Maidment, 2004).

A principal vantagem da *krigagem* é o facto de ser um método estocástico, determinando, por isso, a incerteza associada à estimativa entrando em linha de conta com os erros associados aos dados (Verfaillie *et al*., 2006). Segundo Li e Heap (2008), este método também origina a melhor estimativa para tendências não lineares e não produz efeitos laterais (*edge-effects*). Contudo, assume que os dados são estacionários, o que geralmente não se verifica (Carter e Shankar, 1997; Verfaillie *et al*., 2006).

Li e Heap (2008) apontam como desvantagens deste método a necessidade de definir variogramas que é um processo moroso e de alguma maneira de

interpretação subjectiva, e a necessidade de estabelecer uma vizinhança, o que é também bastante difícil de fazer com objectividade.

IV.2.3. Selecção do Método de Interpolação a utilizar

Todos os métodos previamente mencionados foram testados nos dados batimétricos, usando o *software ArcGIS*, concluindo-se que apenas o método dos vizinhos naturais e a krigagem apresentavam resultados satisfatórios para as variadas amostragens relativas aos diferentes levantamentos batimétricos. O levantamento batimétrico que mais limitou o uso de outros métodos foi o relativo a 2008, onde as linhas de aquisição, além de serem paralelas à linha de costa e à escavação, se encontram espaçadas entre si cerca de 50m, enquanto que ao longo de cada fiada o espaçamento da amostragem é de apenas cerca de 20cm (ver Figura 30). Esta amostragem não produziu resultados satisfatórios usando outros métodos, originando sempre um aspecto "bandado" da superfície (bandas que acompanhavam as fiadas de aquisição).

Assim, o método dos vizinhos naturais e a krigagem foram analisados em pormenor, de modo a se poder concluir qual o ao método mais apropriado a usar.

No método dos vizinhos naturais foram aplicados 5, 10, 15 e 20m como tamanho de lado de célula e na krigagem foi usado como tamanho de célula 5x5m. Os resultados foram analisados visualmente como um todo após as várias interpolações e também através da comparação de perfis. Foram traçados perfis coincidentes com fiadas de aquisição e assim comparou-se o perfil gerado pelos dados originais com os perfis gerados pelas diferentes interpolações. Nas figuras que se seguem (Figuras 45 a 49) encontram-se parte dos perfis usados nesta comparação. De modo a tornar mais fácil a visualização, apenas se mostam os perfis correspondentes aos dados originais, ao resultado da interpolação realizada com o método dos vizinhos naturais com tamanho de célula de 5 e 20m e à superfície resultante da krigagem.

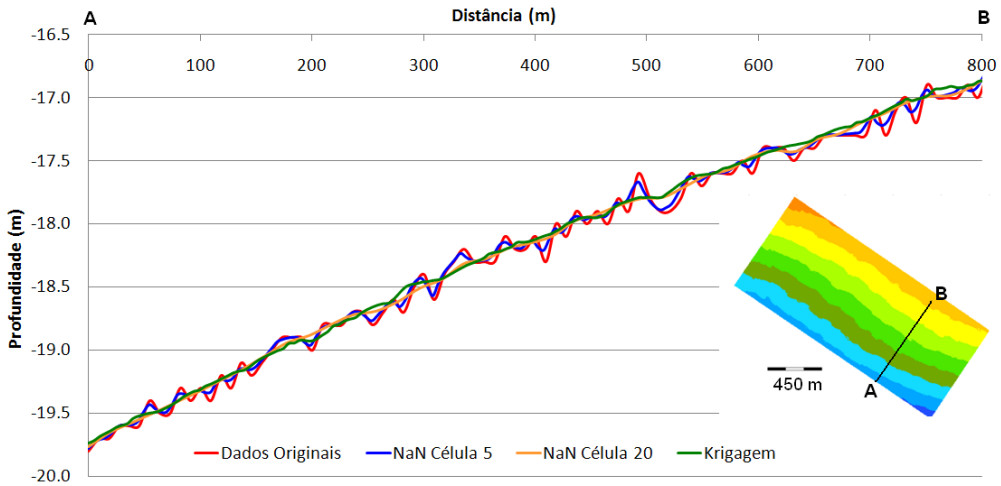


Figura 45 - Perfis da batimetria de **Outubro de 1998** referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m).

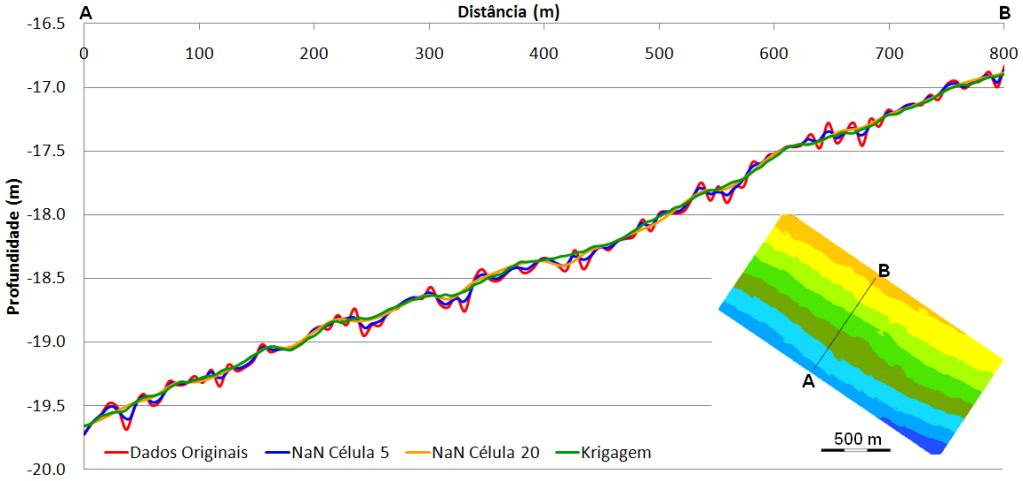


Figura 46 - Perfis da batimetria de **Novembro de 2001** referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m).

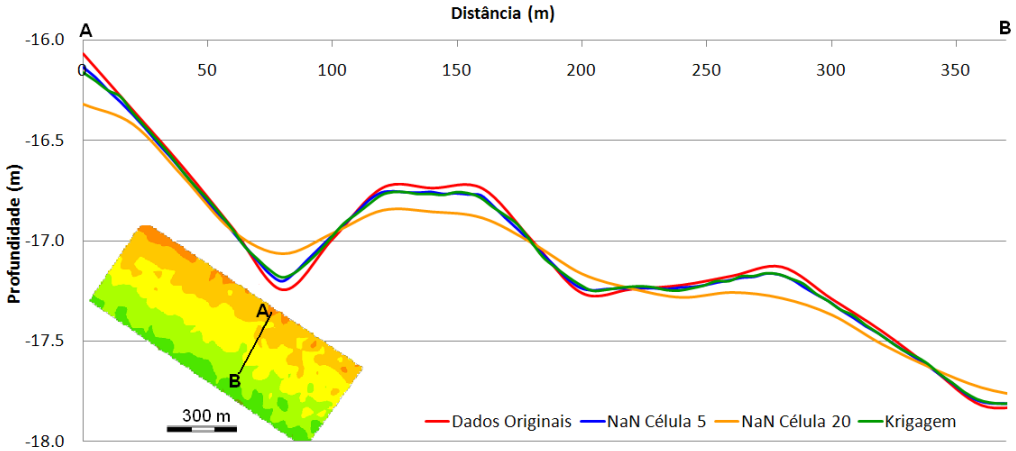


Figura 47 - Perfis da batimetria de **Março de 2006** referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m).

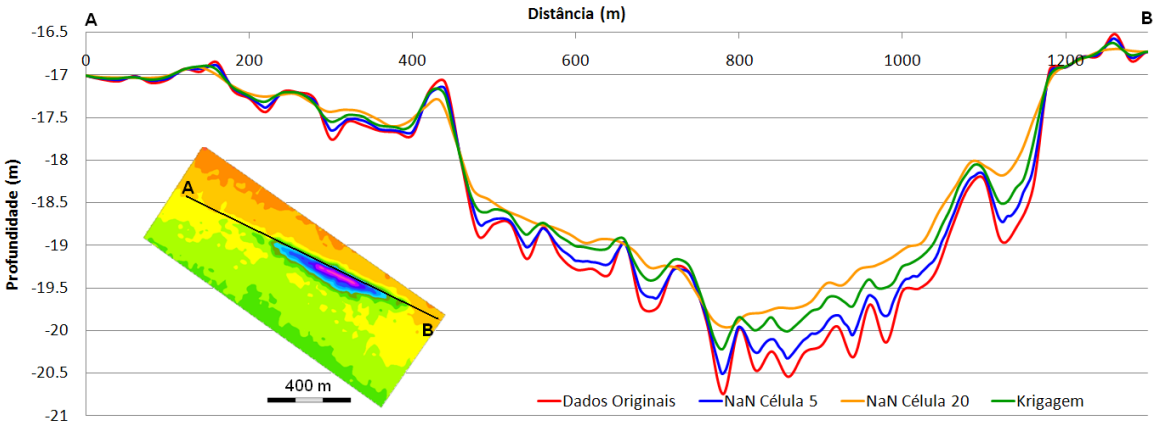


Figura 48 - Perfis da batimetria de **Maio de 2006** referentes aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m).

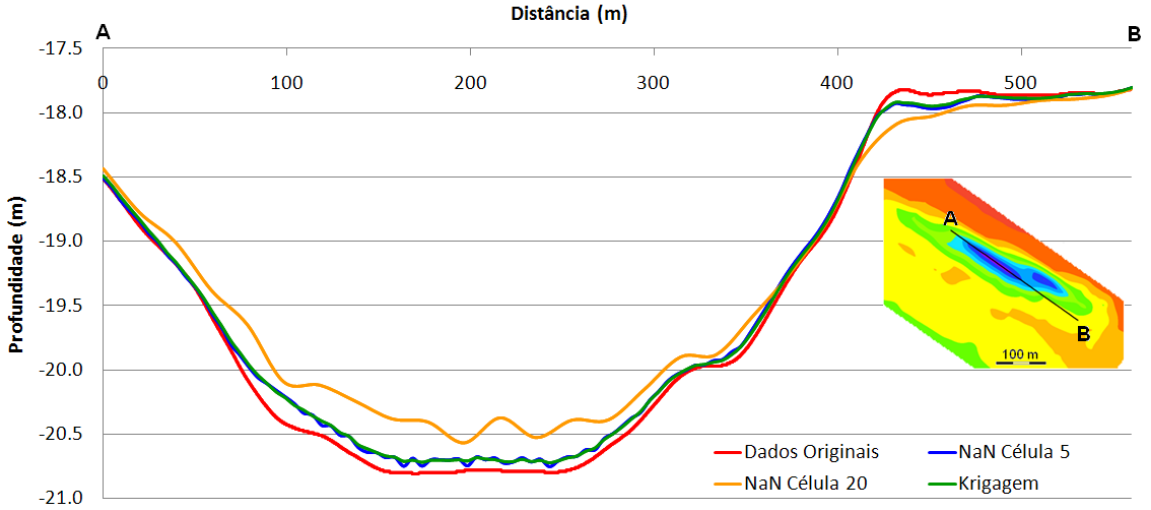


Figura 49 - Perfis realizados ao longo de uma fiada relativos aos dados adquiridos (Dados Originais) e a diferentes interpolações (Vizinhos Naturais - NaN, células de 5 e 20m; Krigagem, célula de 5m).

Analisando os perfis das figuras anteriores verifica-se que em todos os perfis o que mais acompanha e mais se aproxima do perfil original é o produzido pela interpolação realizada usando o método vizinhos naturais com tamanho de lado célula 5m (Figuras 50 a 54). Todos as outras interpolações, apesar de suavizarem a superfície e tornarem a superfície mais parecida com o espectável, acabam por subestimar as profundidades na zona da escavação.

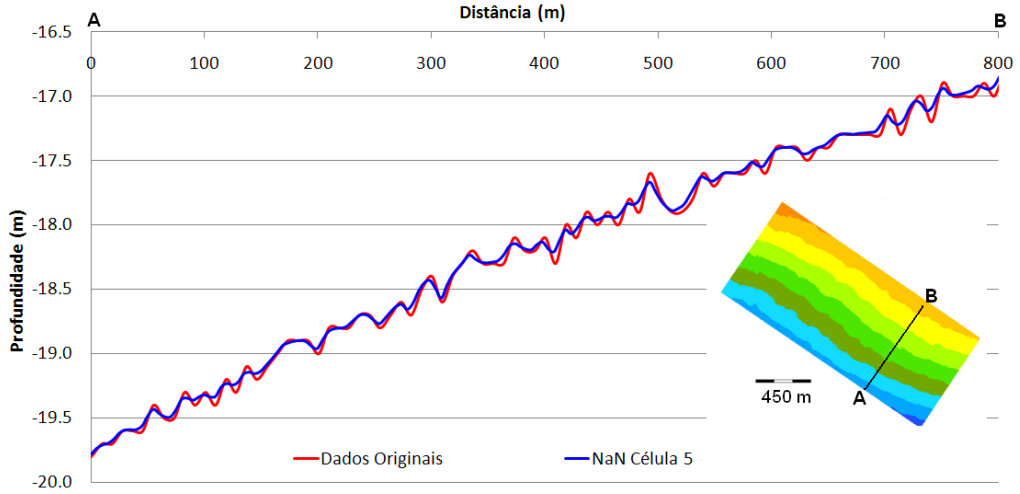


Figura 50 - Perfis de **Outubro de 1998** referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original.

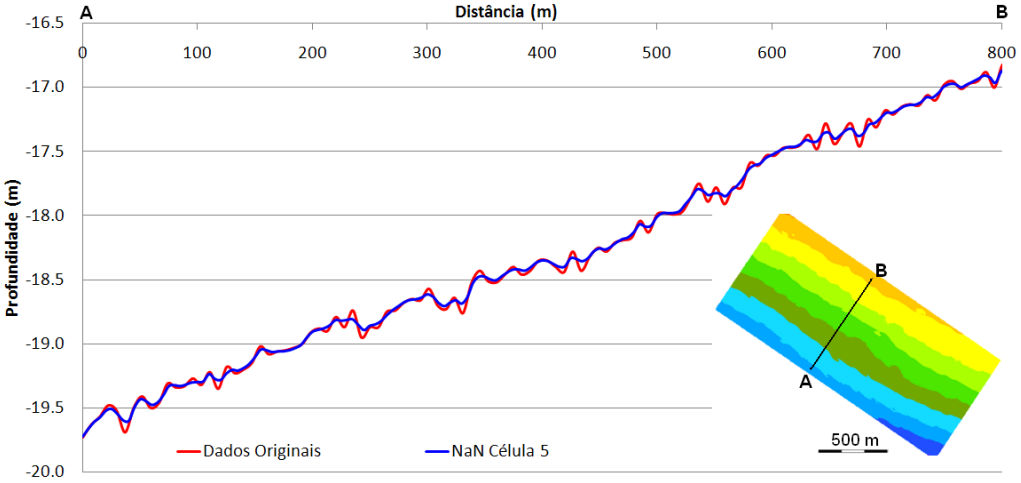


Figura 51 - Perfis de **Novembro de 2001** referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original.

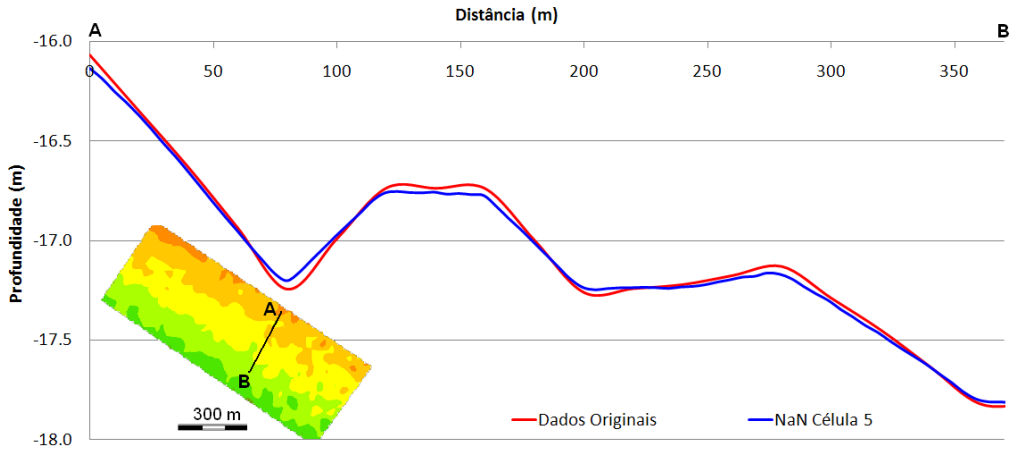


Figura 52 - Perfis de **Março de 2006** referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original.

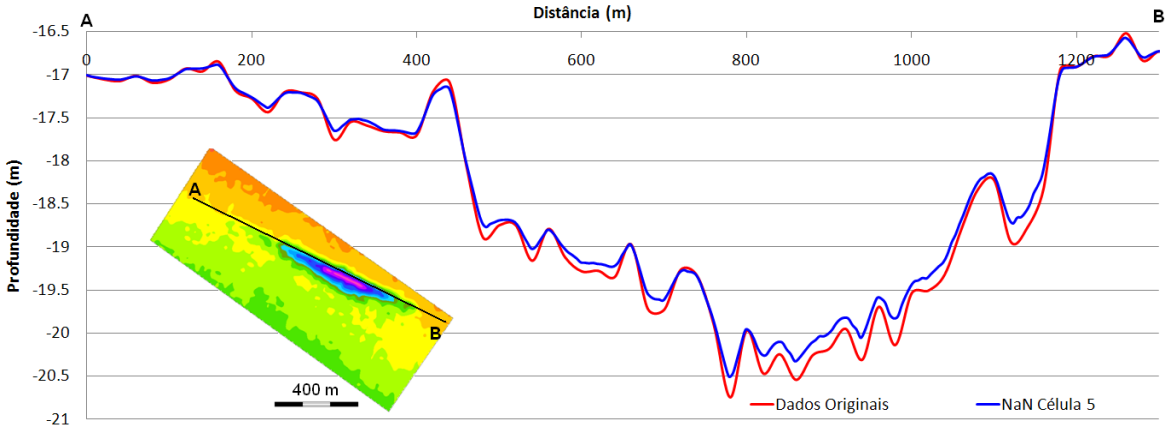


Figura 53 - Perfis de **Maio de 2006** referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original.

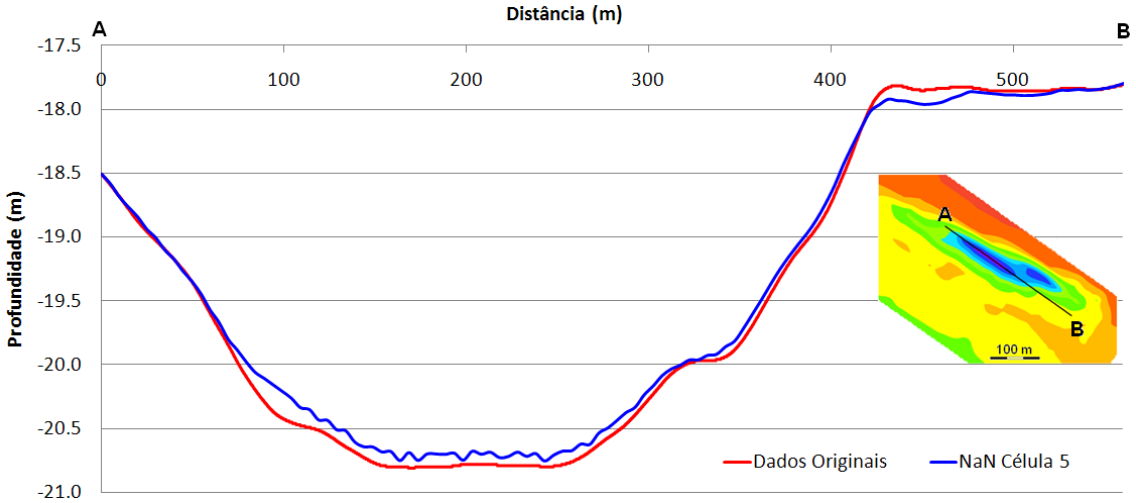


Figura 54 - Perfis de **Novembro de 2008** referentes aos dados originais e à interpolação que mais acompanha a batimetria original.

Como a superfície gerada deve aproximar-se o mais possível da superfície original e tendo em conta que, no âmbito deste trabalho, o principal objectivo da interpolação é gerar as superfícies referentes aos vários anos, de forma a que se possam subtrair e assim estimar os volumes de sedimento removido e/ou acumulado, escolheu-se o método dos vizinhos naturais (célula com 5m de lado) uma vez que a superfície final acaba por ser a mais aproximada da original.

IV.2.4. Interpolação dos Dados Batimétricos

Após a selecção do método a usar, este foi aplicado aos dados batimétricos adquiridos nos diferentes levantamentos em estudo, nomeadamente de Outubro de 1998, Novembro de 2001, Março e Maio de 2006 e Novembro de 2008.

Outubro de 1998

Os dados relativos ao levantamento batimétrico de Outubro de 1998 foram interpolados usando o método dos vizinhos naturais com células de 5m de lado. O resultado encontra-se na Figura 55.

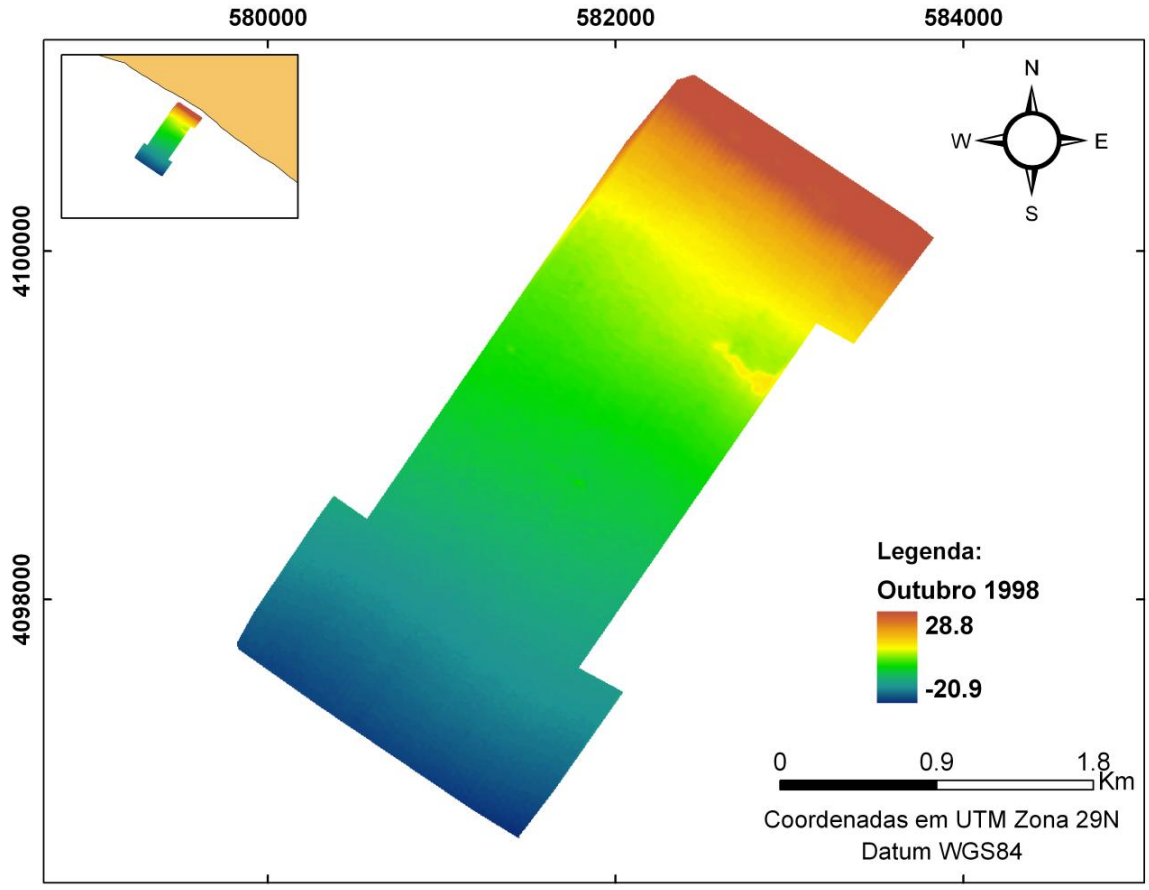


Figura 55 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Outubro de 1998, usando o método dos vizinhos naturais com células de 5m de lado.

Novembro de 2001

Os dados relativos ao levantamento batimétrico de Novembro de 2001 foram interpolados usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5 m. O resultado encontra-se na Figura 56.

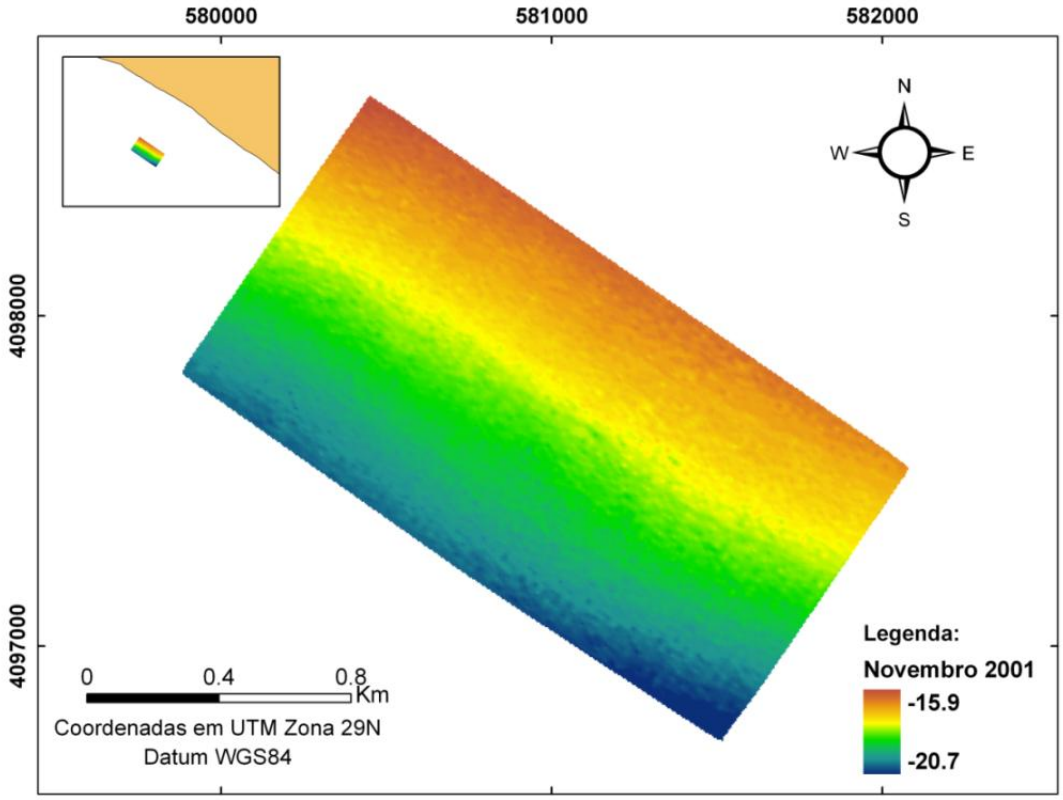


Figura 56 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Novembro de 2001, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5m de lado.

Março de 2006

Os dados de Março Novembro de 2006 foram igualmente interpolados usando o método dos vizinhos naturais com células de 5x5 m. O resultado (Figura 57) mostra que há uma certa rugosidade na superfície resultante que parece indicar a presença de erros nas medições. Sabe-se que o levantamento de Março de 2006 foi realizado em condições de mau tempo, o que pode provocar cabeceamento (*pitch*) e balanço bombordo-estibordo (*roll*) da embarcação. Este movimento pode estar na origem da rugosidade observada na superfície, podendo ainda causar sobre-estima das profundidades (que serão, na ausência de inclinações

acentuadas, sempre iguais ou superiores ao valor real da profundidade - ver secção IV.3.1).

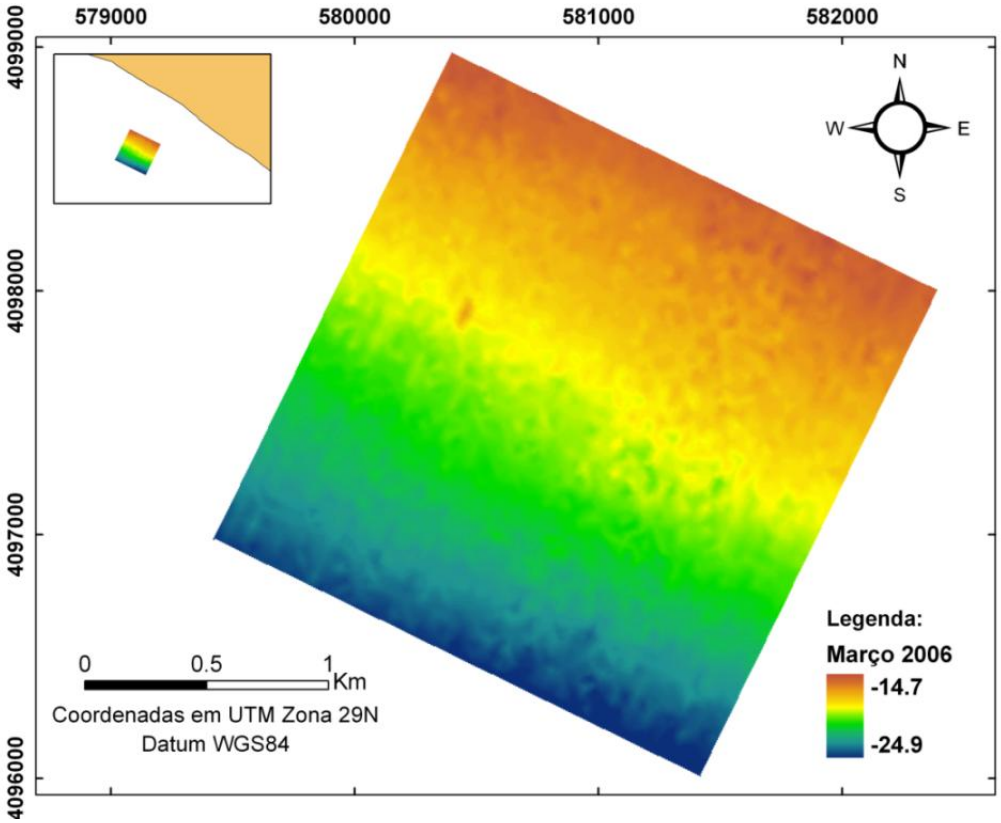


Figura 57 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Março de 2006, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5 m.

Maio de 2006

O resultado da interpolação da batimetria referente a Maio de 2006 encontra-se ilustrado na Figura 58. Analisando a superfície resultante verifica-se uma série de factores que não parecem ter uma explicação batimétrica nem geológica e, consequentemente, são interpretados como erros de aquisição/correcção da batimetria.

Na Figura 58 e em particular analisando o correspondente mapa de declives da Figura 59, observa-se a presença de artefactos perpendiculares à escavação e à linha de costa. Na tentativa de perceber a razão da existência destes artefactos foi solicitado acesso aos dados originais (tendo sido recebida apenas uma parte) e as linhas de aquisição relativa aos diferentes dias foram projectadas na

batimetria, tal como ilustra a Figura 60. Da observação desta figura e comparação com a Figura 58 e com a Figura 59 facilmente se observa uma relação entre os dias de aquisição com as "faixas" de artefactos encontradas na superfície batimétrica. A cada dia de levantamento corresponde uma faixa que parece estar desfazada da subsequente.

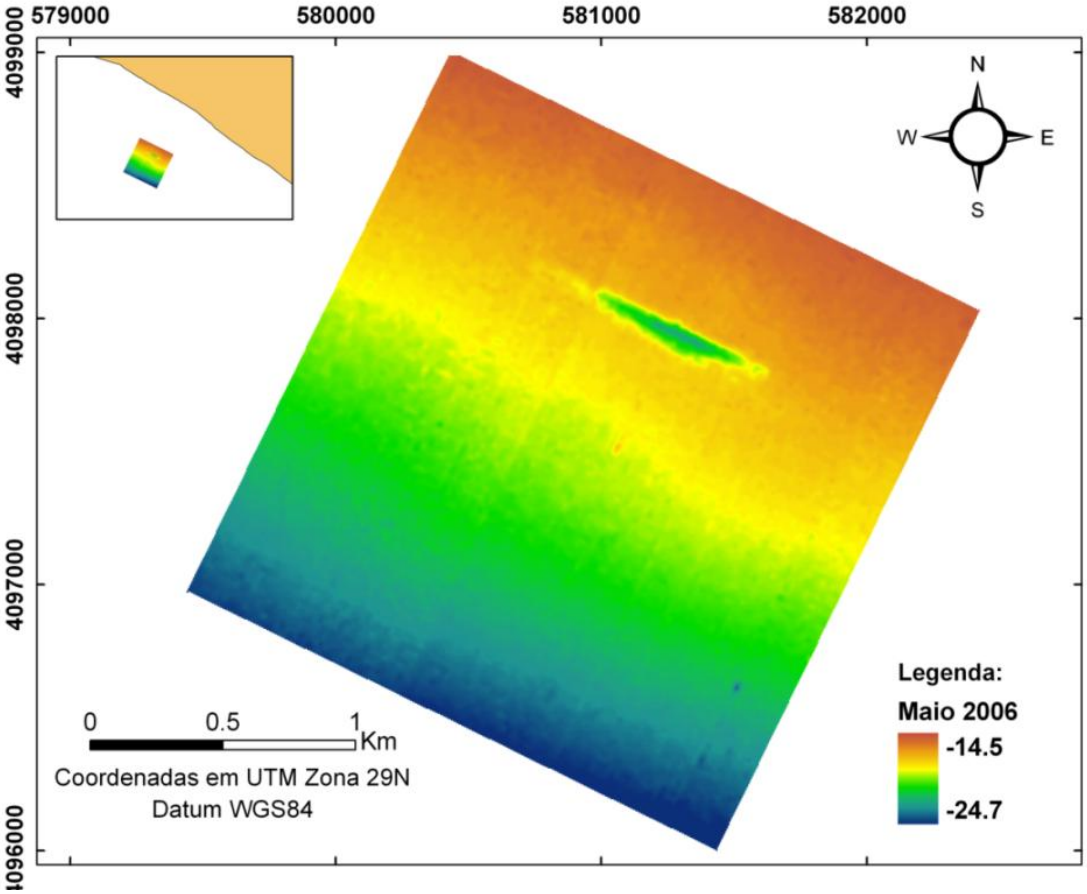


Figura 58 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Maio de 2006, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5 m.

À falta de quaisquer outros elementos sobre estes levantamentos, torna-se difícil, senão mesmo impossível, corrigi-los. No entanto, e na tentativa de minimizar os erros a introduzir no cálculo dos volumes, decidiu-se eliminar as duas faixas mais externas do levantamento (correspondentes aos dias de levantamento 16 e 17 de Maio de 2006), uma vez que estão fora da área da dragagem e por isso não deverão interferir na estimativa do balanço sedimentar (ver secção IV.3.2). No que

se refere às restantes 3 faixas centrais foi realizada uma correcção para cada faixa, pela comparação com a área correspondente da superfície de Março de 2006 (ver secção IV.3.2).

Na Figura 59 (ver círculos) é ainda possível identificar elevações significativas (cerca de 1m) numa área relativamente pequena ("picos"), que provavelmente correspondem a valores erróneos de leituras. Estes valores foram também corrigidos (ver secção IV.3.2). O resultado obtido para a superfície de Maio de 2006 após estas correcções está representado na Figura 61.

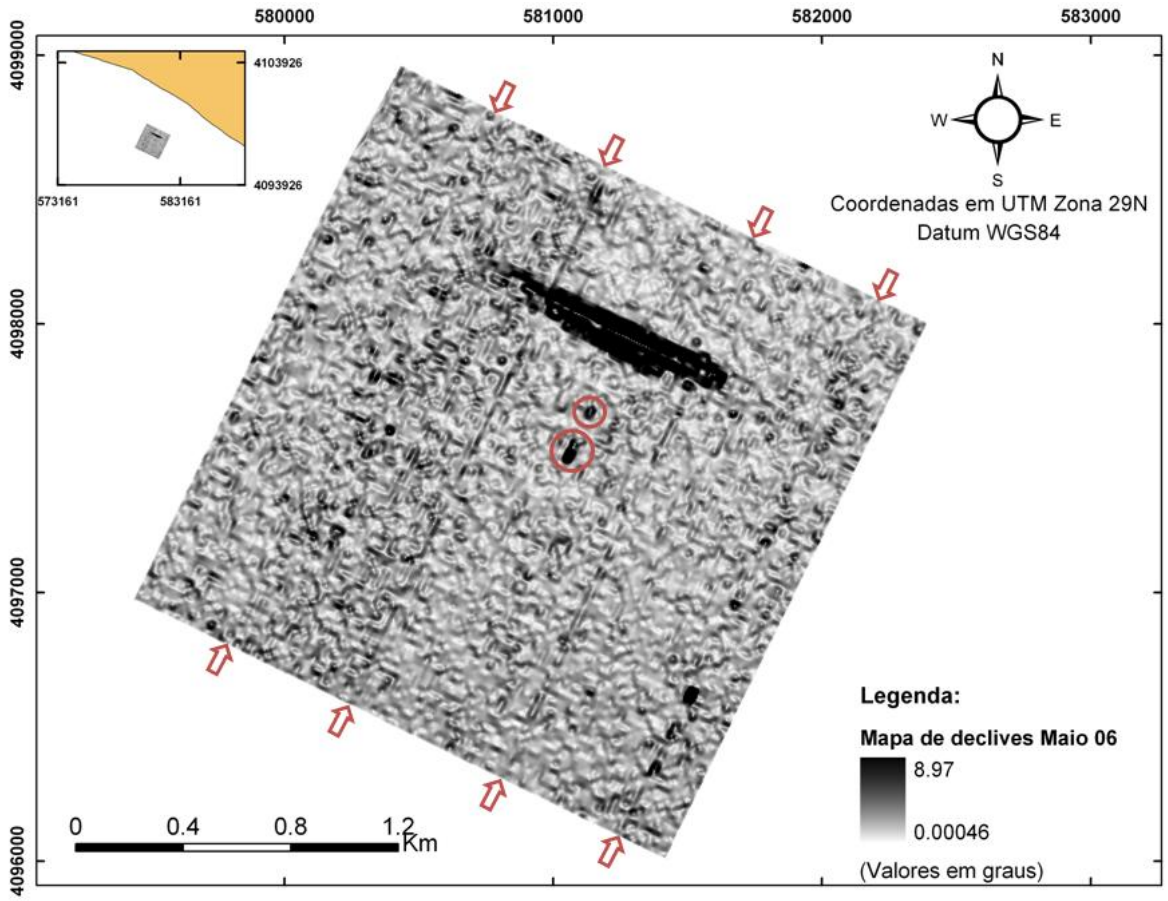


Figura 59 - Mapa de declives referente à batimetria de Maio de 2006. As setas e os círculos indicam direcções onde se detectam problemas.

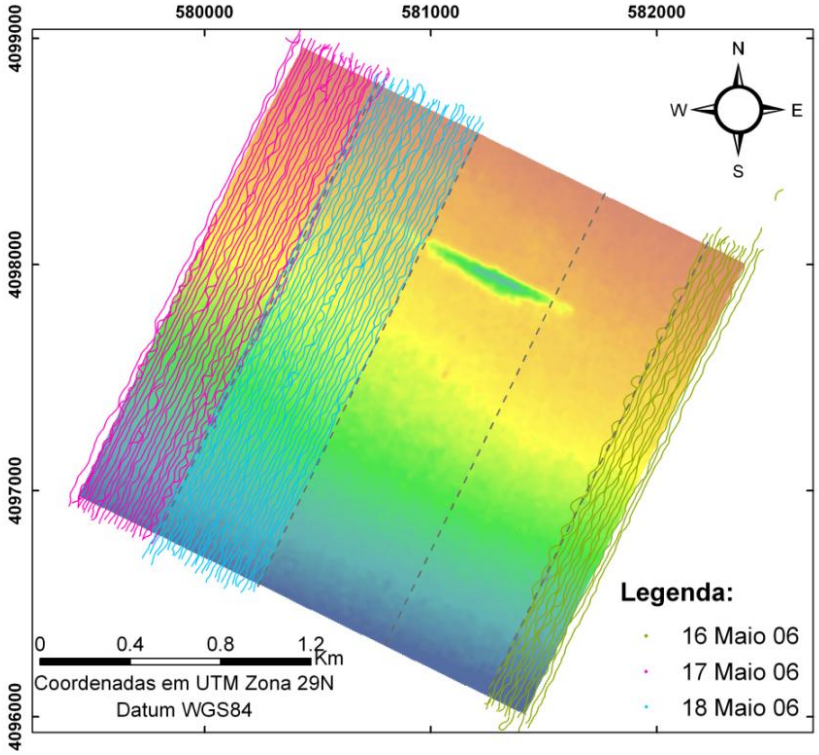


Figura 60 - Batimetria de Maio de 2006 com as linhas a tracejado a indicar os artefactos lineares observados na superfície e as linhas coloridas a indicar o levantamento da batimetria em dias distintos.

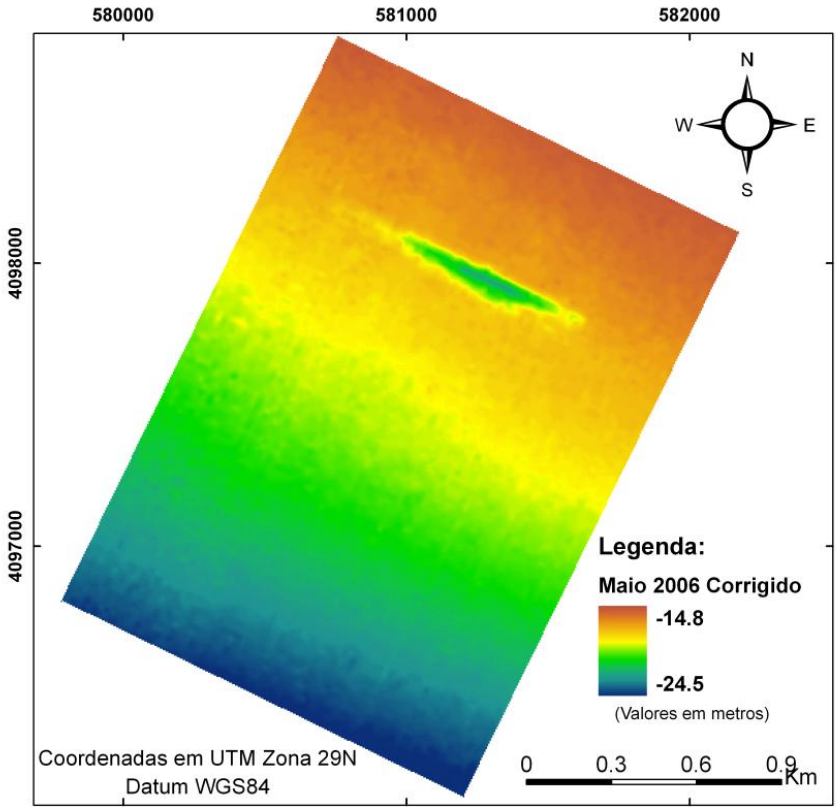


Figura 61 - Interpolação dos pontos batimétricos referentes a Maio de 2006 após correcções, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5 m.

Novembro de 2008

O resultado da interpolação da batimetria referente a Maio de 2006 encontra-se ilustrado na Figura 62. Pela análise da superfície resultante percebe-se que a amostragem paralela à escavação e com espaçamento entre linhas de cerca de 50m, resultante de um compromisso com a aquisição de outros dados, não foi a mais correcta, pois a forma da escavação tende a seguir a linhas do levantamento (Figura 63) não permitindo ter uma noção realista da forma da escavação, informação muito importante tendo em conta o objectivo deste trabalho.

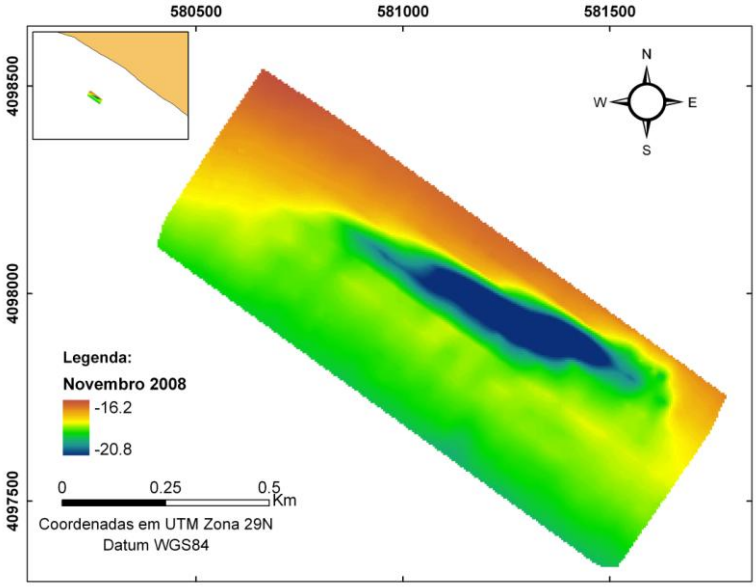


Figura 62 - Interpolação dos pontos batimétricos adquiridos em Novembro de 2008, usando o método dos vizinhos naturais com célula de 5x5m.

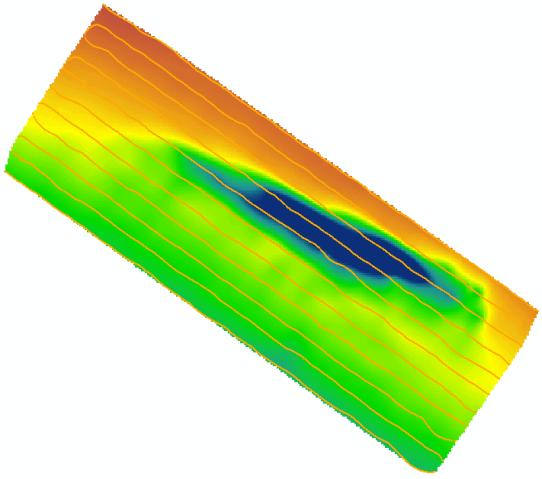


Figura 63 - Levantamento batimétrico relativo a Novembro de 2008 projectado sobre a superfície já interpolada. É notório que a forma da escavação pode estar ligeiramente alterada por tender a seguir as linhas de levantamento.

IV.3. Cálculo de Volumes de Sedimentos Extraídos e Acumulados ao Longo do Tempo

Após a escolha do método de interpolação e da obtenção das matrizes representativas da batimetria correspondentes a cada ano de aquisição, procedeu-se ao cálculo da variação ocorrida entre os diferentes anos. Esta variação foi obtida através da subtracção de superfícies de anos consecutivos, usando a função "*minus*" no *ArcGIS*. Esta função permite a subtracção do valor correspondente de uma matriz pelo valor de outra matriz, célula a célula (Figura 64).

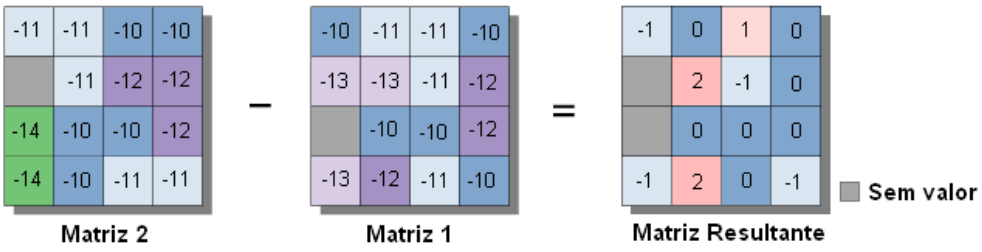
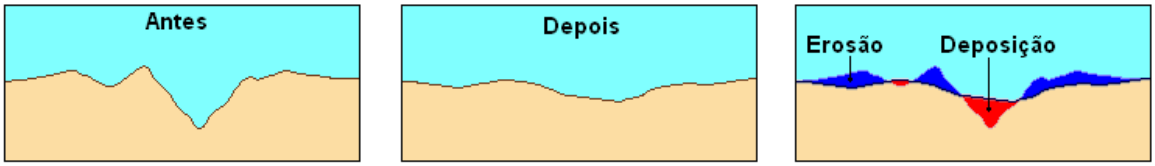


Figura 64 - Esquema ilustrativo da função "*Minus*" do *software ArcGIS*.

Assim, ao subtrair matrizes de dois anos (matriz posterior - matriz anterior), uma variação positiva indica acumulação de sedimento; pelo contrário, uma variação negativa mostra que houve remoção de sedimento. Este comando é muito útil para uma análise detalhada das diferenças entre duas superfícies, mas não permite calcular os volumes de acreção e remoção de sedimentos.

Para o cálculo dos volumes de remoção e acumulação de sedimento foi usada a função "*cut/fill*" do *ArcGIS*, que permite, através de duas superfícies num dado local referente a dois períodos de tempo distintos, identificar as zonas em que houve remoção ou acumulação de sedimento ou zonas em que não houve variações. Como resultado, é obtida uma matriz que corresponde à diferença entre os dois levantamentos batimétricos e representa os valores negativos (remoção - *cut*) a azul, os valores positivos (acumulação - *fill*) a vermelho (Figura 65) e os valores nulos (sem variação) a cinzento.

O comando *cut/fill* permite também o cálculo da área, que é determinada tendo em conta o número de células multiplicado pela área de cada célula da grelha.



a) b) c)

Figura 65 - Representação esquemática da função *cut/fill* do *ArcGIS*. (a) Superfície original; (b) a mesma zona após um certo período de tempo; (c) Identificação das zonas onde ocorreu deposição (*fill* - a vermelho) e das zonas onde ocorreu remoção de material (*cut* - a azul).

IV.3.1. Estudo da Evolução da 1ª Escavação

A primeira dragagem realizada ao largo de Vale do Lobo para realimentação artificial da praia decorreu entre Outubro de 1998 e Janeiro de 1999. Desta extracção resultou um enchimento da praia de Vale do Lobo com, segundo a empresa responsável pela extracção, cerca de 700000m^3 de sedimentos. De acordo com Oliveira (2005) a mancha de empréstimo localizava-se a cerca de 4 km ao largo de Vale do Lobo, mais precisamente entre as batimétricas de -15m e -20m. Segundo informações cedidas pela ARH Algarve a extracção decorreu numa área relativamente grande, não tendo sido por isso muito profunda, trata-se de uma escavação larga e de baixa profundidade (ver capítulo II).

Para determinar o balanço sedimentar e o impacto morfológico provocado por esta escavação foram analisados e comparados os resultados dos levantamentos batimétricos de Outubro de 1998 (antes da escavação), Novembro de 2001 (quase 3 anos após a escavação) e de Março de 2006 (cerca de 7 anos após a escavação).

Dado que os levantamentos batimétricos abrangem áreas diferentes e que se pretende comparar a maior área possível comum, a área correspondente à

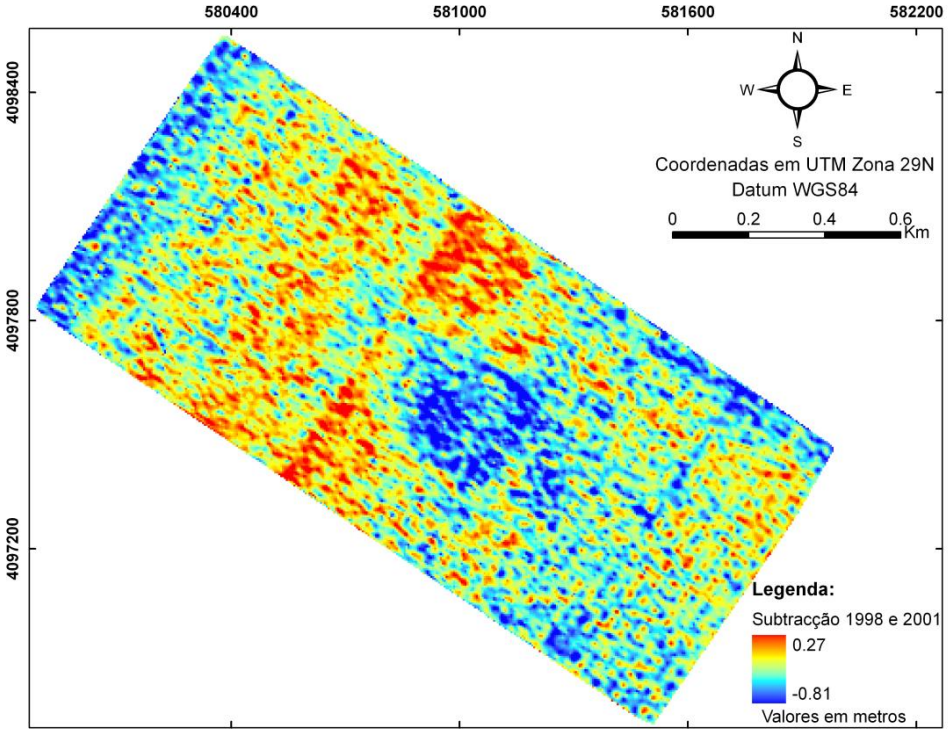
primeira escavação foi definida como a área de intersecção das batimetrias de 1998, 2001 e Março de 2006.

Após definida a área de estudo, os pontos batiméticos exteriores foram eliminados, usando o comando *Clip* do *ArcGIS*, ficando apenas os correspondentes à área definida como área da 1ª escavação, que foram interpolados usando o método dos vizinhos naturais com tamanho de célula de 5x5m. Após a interpolação as três superfícies foram subtraídas entre si usando os comandos *minus* e *cut/fill* do software *ArcGIS*.

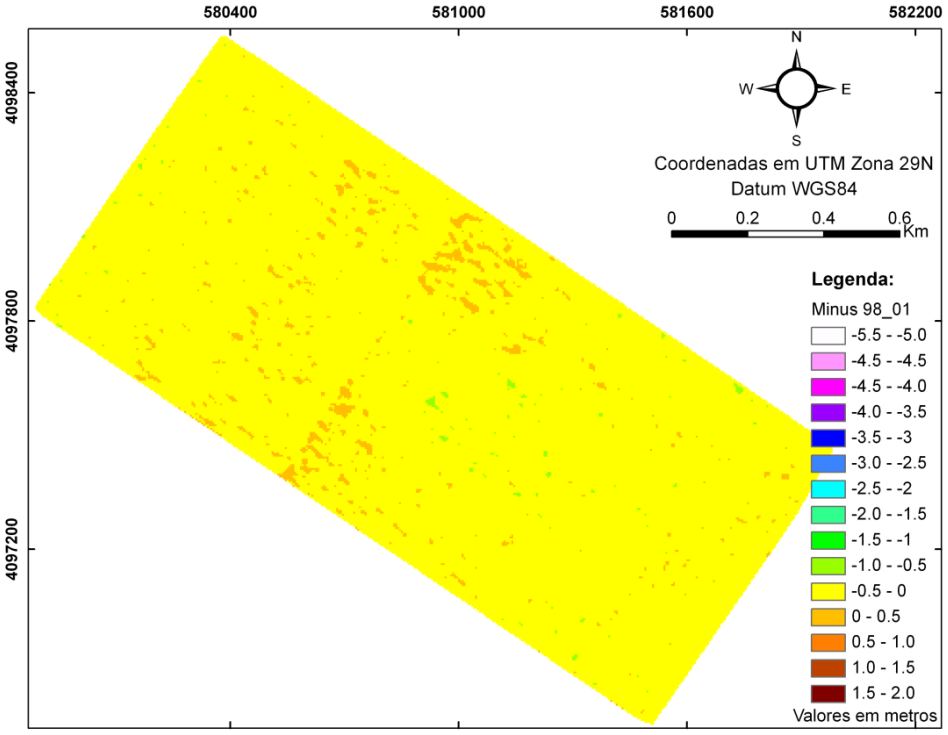
No que respeita ao comando *minus*, ao subtrair as matrizes dos dois primeiros levantamentos (matriz de 2001 - matriz de 1998), uma variação positiva indica acumulação de sedimento e uma variação negativa mostra que houve remoção de sedimento (Figura 66).

Na análise das variações batimétricas e para todos os casos estudados, serão apresentados sempre os resultados do comando *minus*, seguido do resultado do comando *cutfill*. No caso das superfícies obtidas com o comando *minus*, serão sempre apresentadas duas versões: (a) uma versão com uma escala contínua de cores ajustada ao mínimo e máximo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) outra versão com uma escala discreta de cores igual para todas as escavações, de forma a permitir efectuar comparações, uma vez que é ajustada ao mínimo e máximo das diferenças observadas nas várias escavações.

Utilizando o comando *cut/*fill do *ArcGIS*, foram originadas duas superfícies que correspondem à diferença entre os levantamentos batimétricos de 1998 e 2001 (Figura 68) e de 2001 e Março de 2006 (Figura 69). Estas matrizes representam os valores negativos a azul, que indicam remoção, os valores positivos a vermelho, que indicam acumulação, e os valores nulos (sem variação) a cinzento.

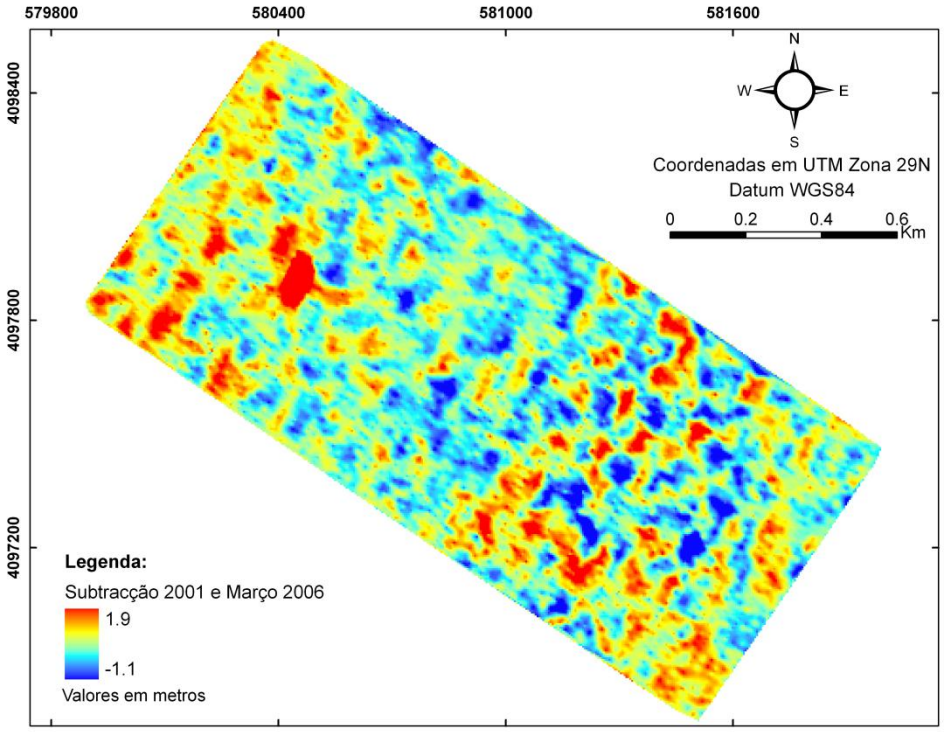


a)

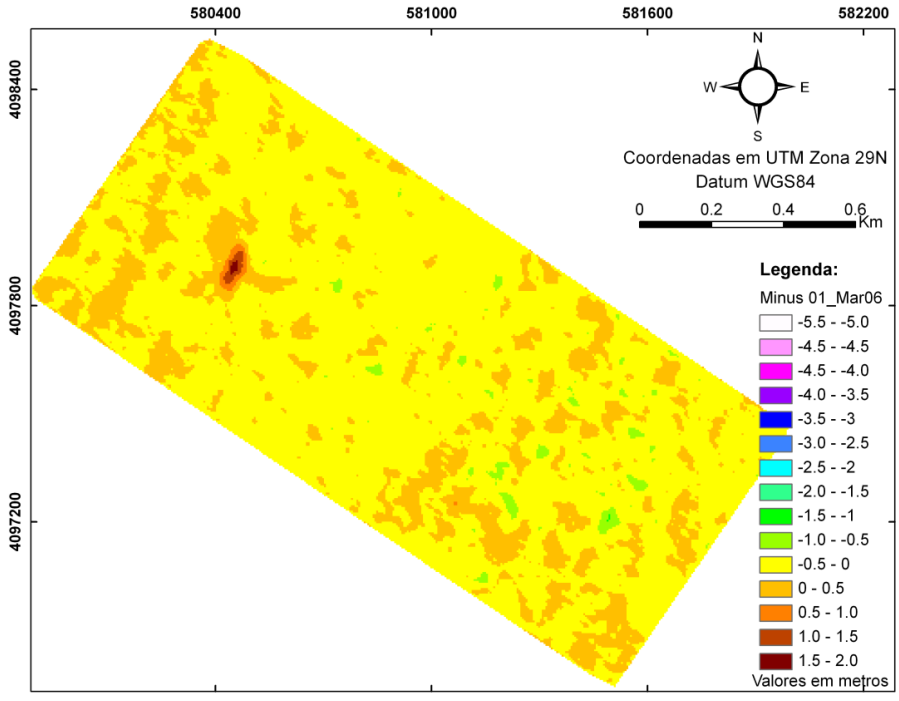


b)

Figura 66 - Resultado da subtracção das superfícies de Novembro de 2001 pela de Outubro de 1998, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.



a)



b)

Figura 67 - Resultado da subtracção das superfícies de Março de 2006 pela de Novembro de 2001, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.

O comando *cut/fill*, através da tabela de atributos, permite o cálculo dos volumes acumulados e removidos. Estas determinações foram realizadas exportando a tabela de atributos para *Excel* e fazendo o somatório de todos os valores positivos, que correspondem a acumulação, e negativos, representativos do sedimento removido. Cálculos semelhantes foram realizados para as áreas de remoção e acumulação.

Sabendo os volumes e as áreas, foi possível determinar as alturas médias de sedimento removido e acumulado, bastando para isso dividir o volume pela área (Tabela 5).

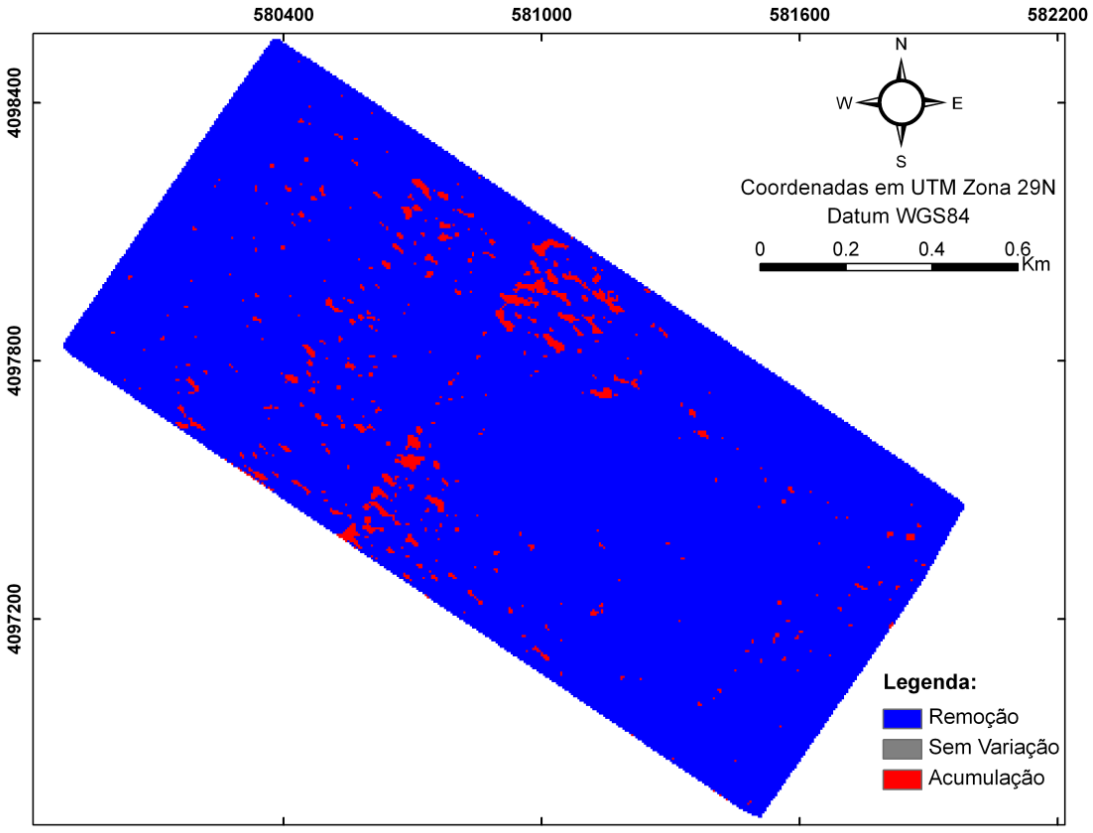


Figura 68 - Matriz resultante da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas de 1998 e 2001.

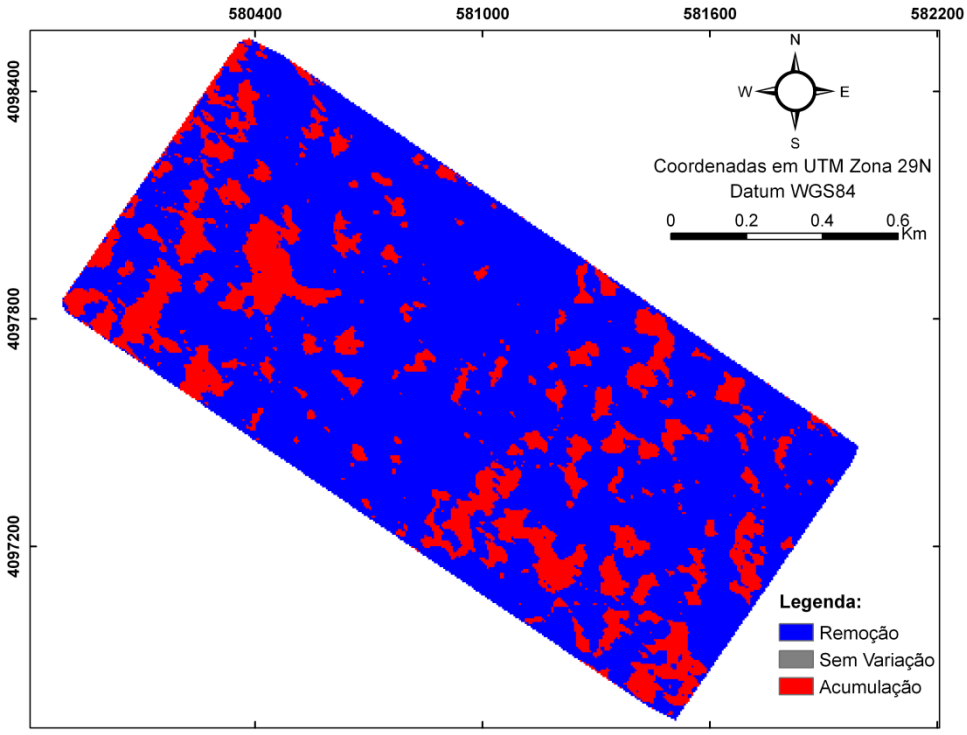


Figura 69 - Matriz resultante da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas de 2001 e Março de 2006.

Tabela 5 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) de sedimentos referentes à área da 1ª escavação entre Outubro de 1998, Novembro de 2001 e Março de 2006.

	Volume (m^3)		Área (m^2)		Altura média (cm)	
De 1998 a 2001	Removido	-329 527	de Remoção	1 677 400	de Remoção	-19,6
	Acumulado	1 871	de Acumulação	51 350	de Acumulação	3,6
	Balanço	**-327 656**	**Total**	**1 728 750**	**Balanço**	**-19**
De 2001 a 2006	Removido	-248 735	de Remoção	1 371 800	de Remoção	-18,1
	Acumulado	40 268	de Acumulação	357 700	de Acumulação	11,3
	Balanço	**-208 467**	**Total**	**1 729 500**	**Balanço**	**-12,1**

Analisando a tabela anterior verifica-se que entre Outubro de 1998 e Novembro de 2001 a remoção de sedimentos é claramente dominante, obtendo-se um valor de extracção de sedimentos da ordem dos 330000m^3. Contudo, sabendo que entre estes dois períodos houve uma extracção de cerca de 700000m^3 de areias e assumindo que esse valor é correcto, percebe-se que o volume extraído estimado através da subtracção das batimetrias está claramente subestimado,

sendo apenas cerca de metade do valor esperado. Para tentar explicar este resultado podem-se apontar alguns factores:

- a área correspondente ao levantamento batimétrico não cobre toda a área realmente dragada. Não se teve informação acerca do trajecto da draga, pelo que uma das hipóteses é a draga ter extraído areias em locais envolventes à área do levantamento cedido, não entrando por isso esse volume nos cálculos aqui efectuados.

- assumindo que o levantamento batimétrico cobre toda a área de extracção e sabendo que o levantamento após a extracção foi realizado quase 3 anos depois, poder-se-ía atribuir este resultado a uma acumulação (cerca de 370000m^3) de sedimento nesta área ao longo deste período de tempo. Esta hipótese não é plausível, uma vez que implicaria uma taxa de sedimentação irrealista de cerca de 7cm/ano. A taxa de sedimentação ao ano na área em estudo é da ordem de alguns milímetros apenas.

- assumindo, mais uma vez, que o levantamento batimétrico cobre a área de dragagem e que mesmo havendo acumulação esta seria da ordem dos 2000m^3 e não os 370000m^3 que os resultados apontam, então pode haver erros da ordem de alguns centímetros na batimetria que resultam num erro em termos de volume muito grande. Por exemplo, um erro na referência ao zero hidrográfico de 1cm, resulta num erro no cálculo dos volumes de cerca de 20000m^3; se por acaso o erro for de 10cm então pode influenciar os volumes em valores que rondam os 200000m^3. Tais erros são claramente possíveis em levantamentos deste tipo e com estes equipamentos.

No que se refere à evolução da escavação entre 2001 e Março de 2006, tendo em conta a taxa de sedimentação da ordem milimétrica, esparar-se-ia uma sedimentação na ordem dos 10000m^3 ao longo destes 5 anos. Contudo, analisando a Tabela 5 verifica-se que o balanço resulta em remoção de sedimentos de cerca de 210000m^3, o que corresponde em média a um abaixamento generalizado da superfície de cerca de 12cm desde Novembro de 2001 a Março de 2006.

Estes resultados parecem indicar um desfazamento entre estas superfícies que, não sendo explicado de uma forma geológica, se atribui novamente a erros de levantamento ou inadequadas correcções aos dados.

Sabe-se que o levantamento de Março de 2006 foi realizado em condições de mau tempo, o que vai provocar um movimento na embarcação que pode influenciar os resultados. Um aumento da ondulação provocada pelo estado do tempo traduz-se num aumento do cabeceamento (*pitch*) e balanço bombordo-estibordo (*roll*) da embarcação. Estes movimentos da embarcação podem provocar uma sobre-estimação das profundidades. Esta situação encontra-se ilustrada na Figura 70 onde, para uma profundidade média como a verificada na área em estudo (cerca de 18m), um movimento de 5º implica um aumento do valor real de aproximadamente 7cm e um movimento de 10º pode introduzir erros na batimetria entre 20 a 30cm. Erros desta ordem podem claramente explicar todas as discrepâncias observadas no cálculo dos volumes referidos acima, o que demonstra claramente que este tipo de levantamentos batimétricos, particularmente em condições desfavoráveis de tempo, não são de forma nenhuma adequados a este tipo de estudos.

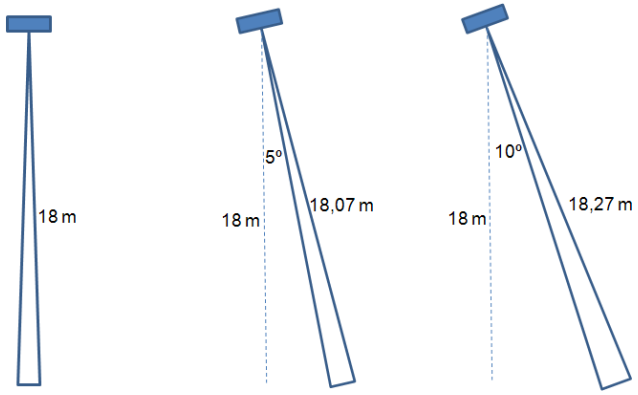
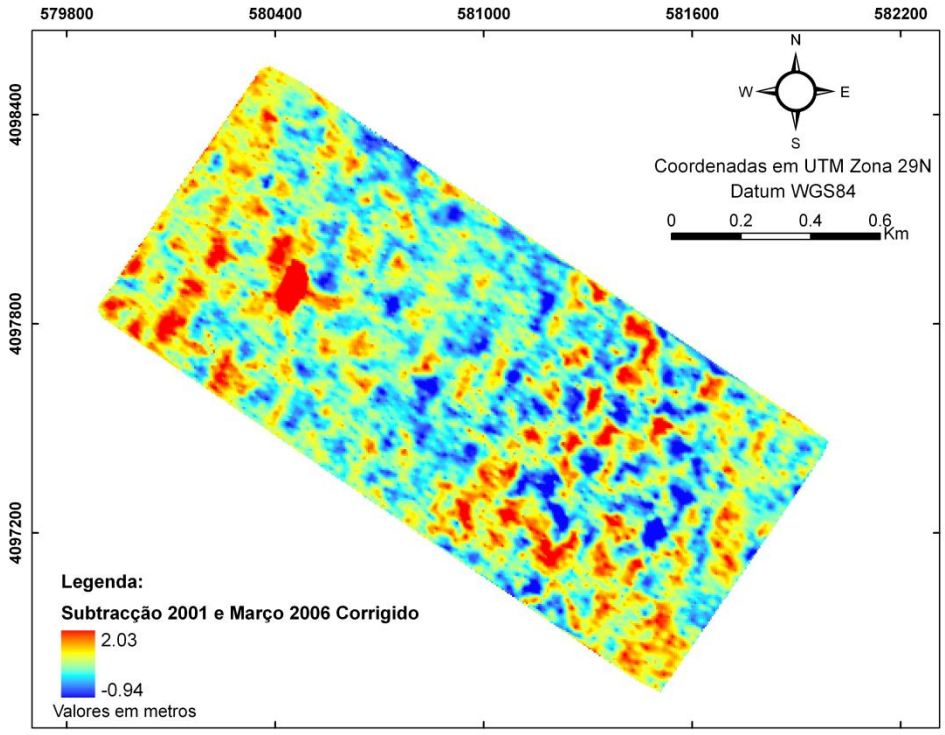
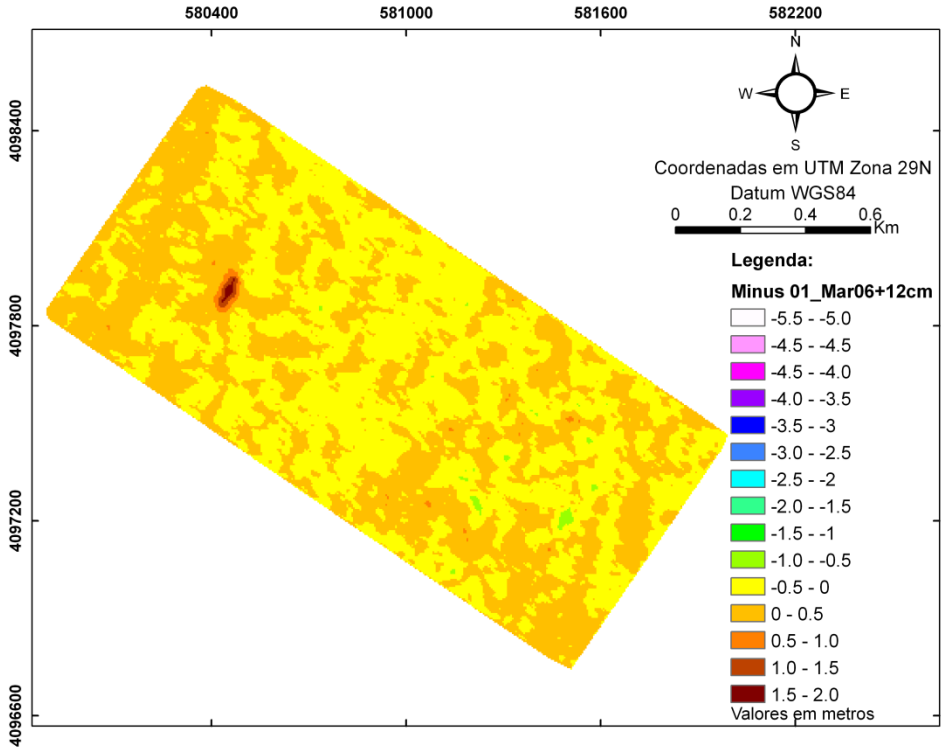


Figura 70 - Esquema ilustrativo do efeito de *pitch* e/ou *roll* na aquisição de batimetria.

Tendo em conta os factores supramencionados, decidiu-se introduzir uma correcção de 12cm na batimetria de Março de 2006, para a fazer aproximar da de 2001, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 5. Após esta correcção, as superfícies foram novamente subtraídas (Figura 71) e os cálculos dos volumes de remoção e acumulação foram refeitos (Figura 72 e Tabela 6).



a)



b)

Figura 71 - Resultado da subtracção da superfície de Março de 2006, corrigida de +12 cm, pela de Novembro de 2001, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.

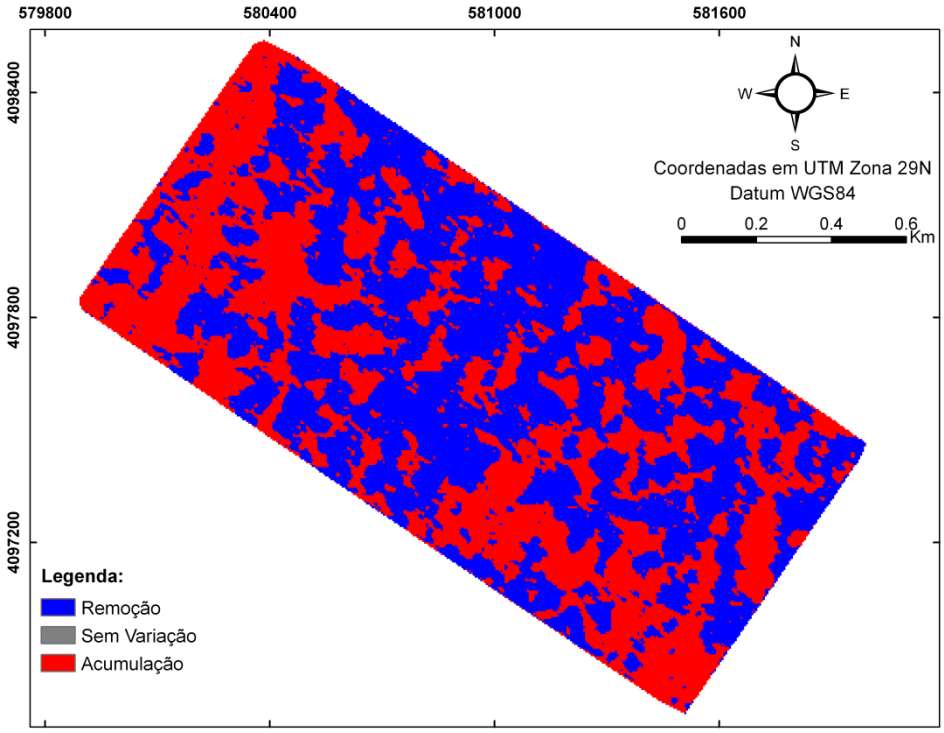


Figura 72 - Matriz resultante da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas de 2001 e Março de 2006 com correcção de 12 cm.

Tabela 6 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) referentes à área da 1ª escavação entre Novembro de 2001 e Março de 2006.

Volume (m^3)		Área (m^2)		Altura média (cm)	
Removido	-109 815	de Remoção	909 375	de Remoção	-12,1
Acumulado	108 888	de Acumulação	820 125	de Acumulação	13,3
Balanço	**-927**	**Total**	**1 729 500**	**Balanço**	**-0,1**

Apesar destes resultados ainda indicarem uma pequena remoção durante este período de tempo (aproximadamente 900m^3), o valor correspondente é quase insignificante quando comparado com os erros inerentes a campanhas batimétricas realizadas nestas condições.

IV.3.2. Estudo da Evolução da 2ª Escavação

Entre Março e Maio de 2006 decorreu uma segunda dragagem de agregados ao largo de Vale do Lobo, mais uma vez para realimentação da praia, com

aproximadamente 370000m^3 de areias extraídas. De acordo com os dados batimétricos disponibilizados, a mancha de empréstimo localizava-se a cerca de 3,5 km ao largo de Vale do Lobo, mais precisamente entre as batimétricas de -16 e -20m. Esta dragagem foi concentrada numa área relativamente pequena, tendo, no entanto, provocado uma depressão de cerca de 5m de profundidade. Trata-se de uma escavação pequena e profunda, tal como ilustra o perfil traçado longitudinalmente à escavação de Maio de 2006 da Figura 73.

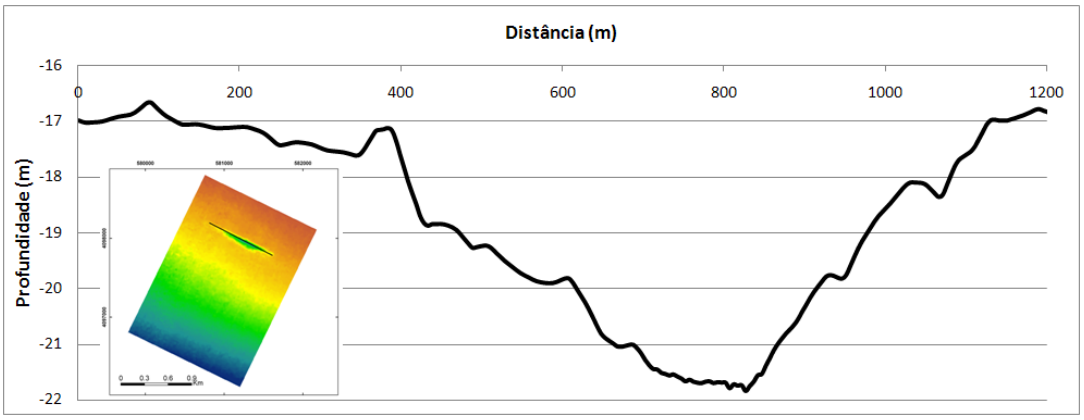


Figura 73 - Perfil paralelo à escavação traçado de NW para SE (da esquerda para a direita respectivamente na figura).

De forma a perceber a evolução morfológica desta escavação e estimar o balanço sedimentar desta área foram analisados e comparados os resultados dos levantamentos batimétricos anteriores à dragagem (Março de 2006), posteriores à dragagem (Maio de 2006) e 2 anos e meio após a dragagem (Novembro de 2008).

Evolução de Março a Maio de 2006

Tal como analisado na secção anterior, a superfície de Março de 2006 parece apresentar um desfazamento face à superfície de Novembro de 2001. Na tentativa de confirmar este desfazamento, as superfícies de Março e Maio de 2006 foram analisadas e comparadas de forma a comprovar e confirmar a correcção realizada anteriormente. Esta análise foi realizada considerando

apenas a parte envolvente da área dragada (definida através do trajecto da draga fornecido pela ARH Algarve - Figura 74), onde em dois meses não se espera uma grande variação de sedimento acumulado e removido. Assim, nesta zona as superfícies de Março e Maio de 2006 deveriam coincidir e a sua diferença deveria ser o mais próximo de zero possível.

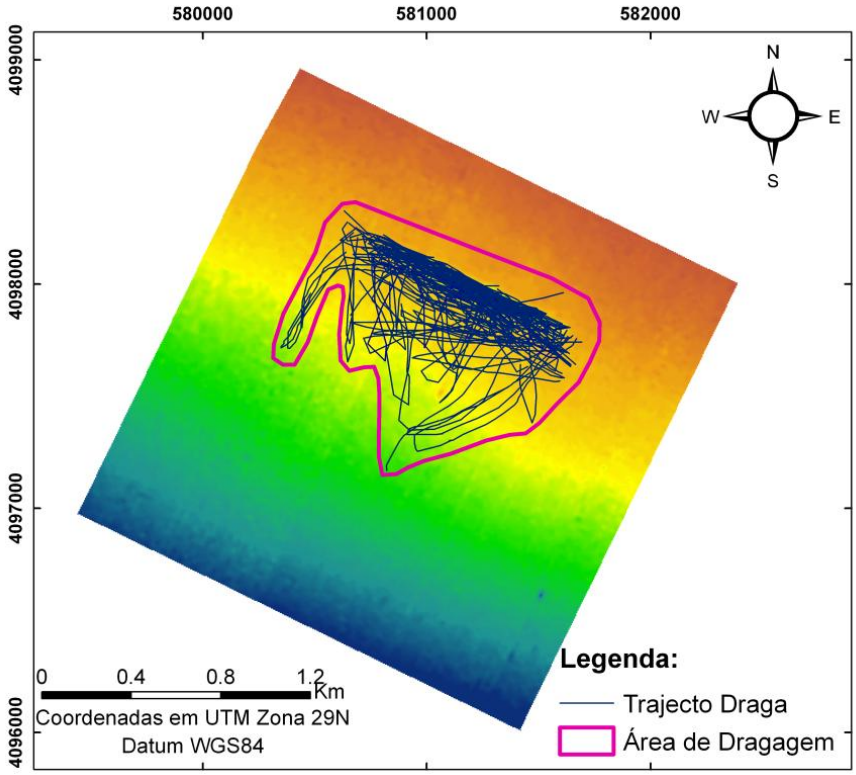


Figura 74 - Trajecto da draga e definição da área de dragagem projectadas na superfície de Maio de 2006.

No entanto, e considerando o explicado na secção IV.2.4 relativamente aos problemas detectados na superfície de Maio de 2006, esta comparação será realizada apenas depois de serem feitas as correcções da superfície de Maio através da eliminação das 2 faixas dos extremos NW e SE, a correcção dos "picos" e as correcções das 3 faixas centrais.

Antes de se iniciar a análise da superfície de Maio de 2006, decidiu-se excluir as suas duas faixas laterais, uma vez que se concluiu que poderiam introduzir um factor de erro (ver secção IV.2.4). Na correcção do desfazamento das faixas, a

superfície foi dividida nas 3 faixas que coincidem com os diferentes dias de aquisição e comparadas com a respectiva área da superfície de Março do mesmo ano, excluindo sempre a área de dragagem (Figura 75). Esta correcção foi baseada no facto de não se esperar uma variação de volume de sedimentos removidos e acumulados ao longo de 2 meses fora da área escavada, ou seja, na zona envolvente à área da escavação as superfícies deveriam coincidir e a sua diferença deveria ser o mais próximo de zero possível.

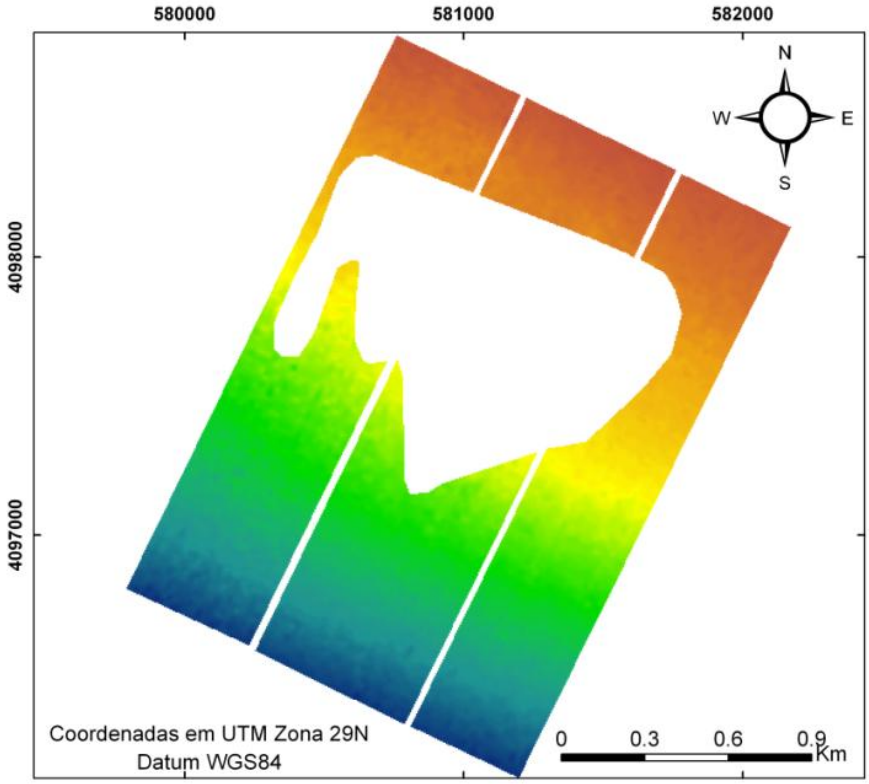


Figura 75 - Superfície de Maio de 2006 dividida em 3 faixas e excluindo a zona correspondente ao trajecto da draga.

Para cada faixa, e entre faixas correspondentes de Março e Maio de 2006, foi aplicado o comando *cut/fill*, cuja matriz resultante nos fornece os valores do volume de sedimentos removidos e acumulados, assim como as respectivas áreas. Desta informação determina-se o desfazamento médio entre as faixas da superfície de Maio e da superfície de Março de 2006, através da divisão do

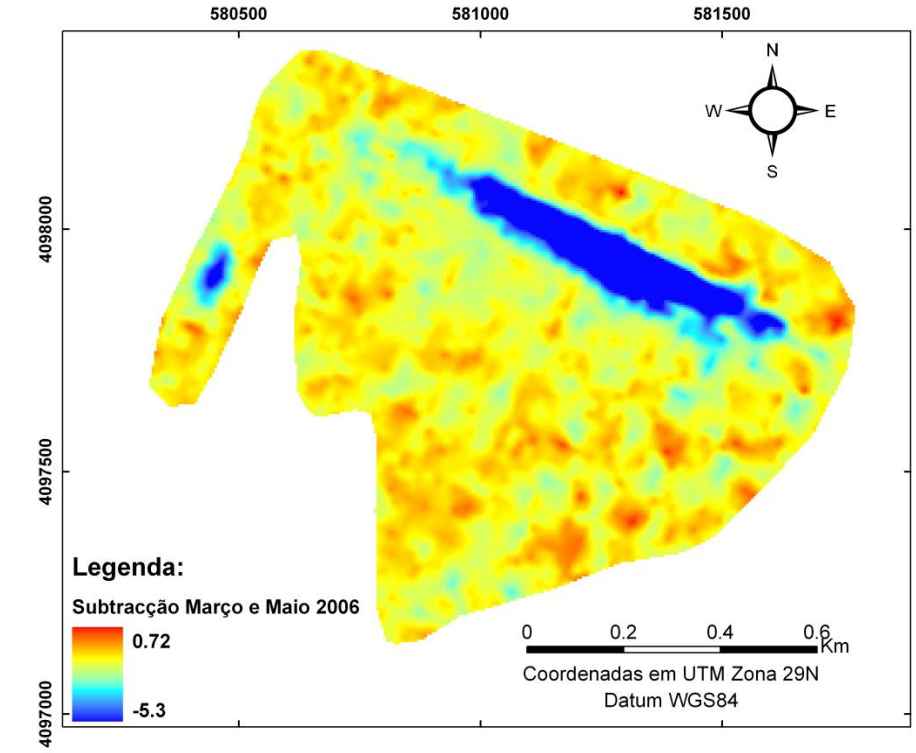
volume pela respectiva área. Obteve-se um desfazamento de 12,2cm para a faixa a NW, 5,1cm para a faixa central e 14,4cm para a faixa a SE.

Como já haviamos concluído da secção anterior, a superfície de Março de 2006 apresenta profundidades sobre-estimadas, o que se traduziu num abaixamento médio desta superfície de cerca de 12cm. Então, para corrigir as 3 faixas da superfície de Maio foram usados os desfazamentos obtidos para cada faixa compensados com os 12cm de correcção da superfície de Março (isto porque a comparação entre as faixas das superfícies de Março e Maio de 2006 foi realizada sem qualquer tipo de correcção em qualquer das uma das superfícies. Assim, foram aplicados os seguintes factores de correcção: -0,2cm à faixa a NW, +5,1cm à faixa central e -2,4cm à faixa a SE.

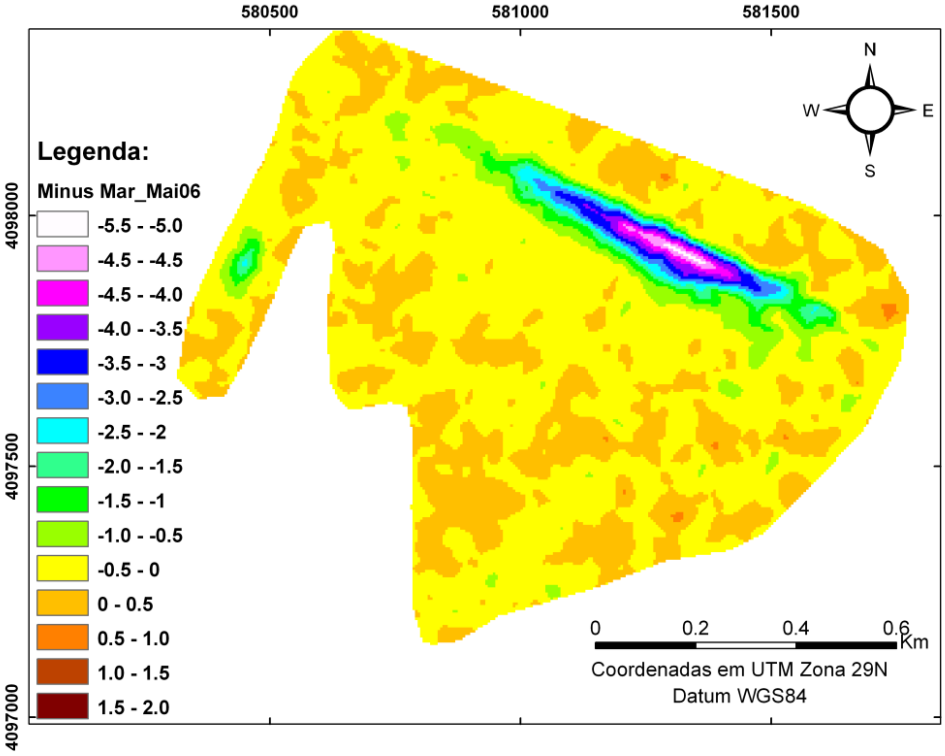
De modo a verificar se estas correcções geram o resultado pretendido voltou-se a comparar as superfícies já corrigidas, sem a área da escavação, e obteve-se um balanço sedimentar próximo de zero. Isto indica-nos que as correcções parecem ter sido adequadas, pelo menos fora da área da escavação.

Após corrigidas as superfícies procedeu-se à sua subtracção usando o comando *minus*. De modo a minimizar os erros introduzidos no cálculo e dado que se tem conhecimento da área da dragada (através do trajecto da draga), efectou-se este cálculo apenas para a área onde ocorreu remoção de sedimentos. O resultado encontra-se apresentado na Figura 76.

Foi aplicado o comando *cut/fill* às superfícies referentes a Março e Maio de 2006, cuja matriz resultante se encontra representada na Figura 77. Os valores referentes ao volume removido e acumulado, assim como a área e as alturas médias de remoção e acumulação encontram-se apresentados na Tabela 7.



a)



b)

Figura 76 - Resultado da subtracção das superfícies corrigidas de Maio de 2006 pela de Março do mesmo ano, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.

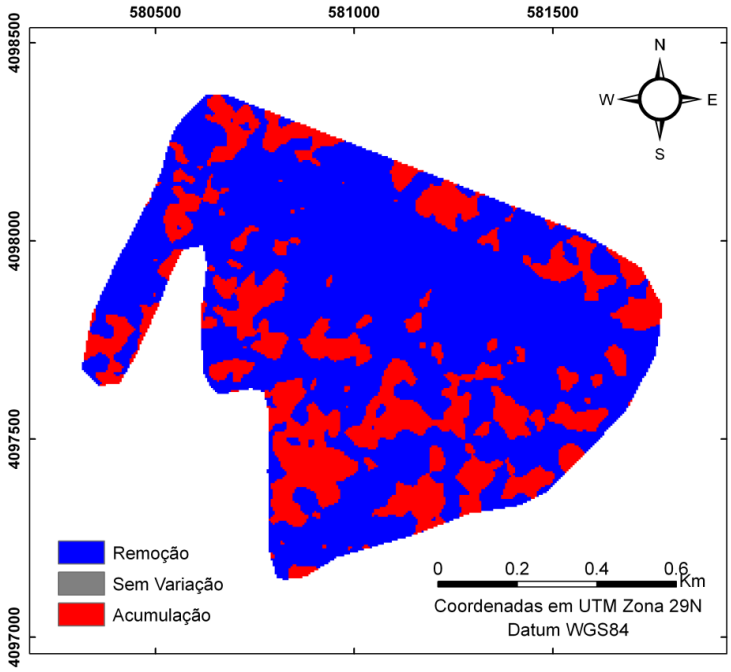


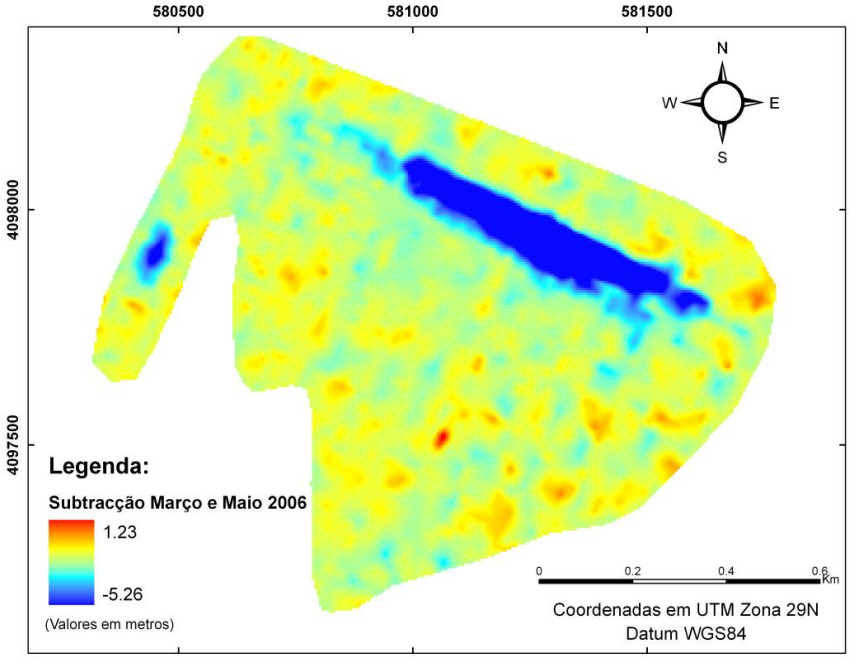
Figura 77 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* para as superfícies batimétricas corrigidas de Março e Maio de 2006.

Tabela 7 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) referentes às superfícies de Março e Maio de 2006 corrigidas.

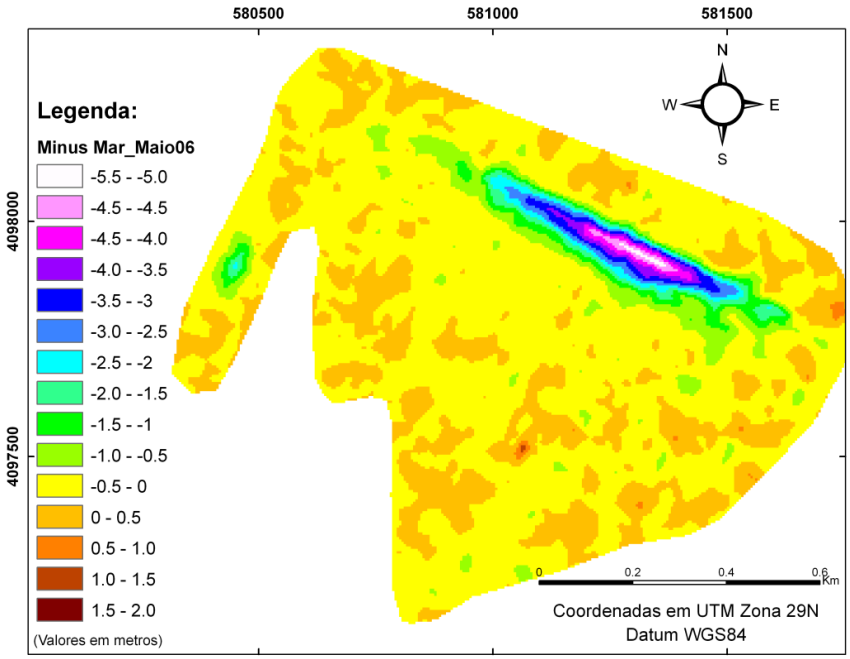
	Volume (m^3)		Área (m^2)		Altura média (cm)	
Zona da Dragagem	Removido	-299 284	de Remoção	713 700	de Remoção	-42
	Acumulado	34 481	de Acumulação	284 675	de Acumulação	12
	Balanço	**-264 803**	**Total**	**998 375**	**Balanço**	**-26,5**
Zona Externa	Removido	-155 934	de Remoção	1 203 950	de Remoção	-13
	Acumulado	169 352	de Acumulação	1 263 725	de Acumulação	13,4
	Balanço	**13 417**	**Total**	**2 467 675**	**Balanço**	**0,5**

Analisando os volumes estimados e apresentados na tabela anterior, verifica-se que o valor correspondente ao volume de sedimentos extraídos aquando da dragagem de 2006 é significativamente inferior ao comunicado pela empresa encarregue pela extracção. Atendendo a que as correcções efectuadas para as 3 faixas podem não ser as mais adequadas, decidiu-se comparar os resultados obtidos (efectuando as correcções a ambas as superfícies, ou seja, somando 12cm à superfície de Março e corrigindo os desfazamentos de cada faixa da superfície de Maio de 2006) com os que se obteriam se apenas se corrigisse a

superfície de Março de 2006 (+12cm). Assim, utilizando o comando *minus* para a mesma área usada anteriormente (área dragada determinada através do trajecto da draga) obteve-se a matriz representada na Figura 78.



a)



b)

Figura 78 - Resultado da subtracção da superfície não corrigida de Maio de 2006 pela de Março do mesmo ano corrigida para um desfazamento de 12 cm, através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações. Valores das escalas de cores em metros.

Foi aplicado o comando *cut/fill* às superfícies referentes a Março corrigido e Maio sem correcções, cuja matriz resultante se encontra representada na Figura 79. Os valores referentes ao volume removido e acumulado, assim como a área e as alturas médias de remoção e acumulação encontram-se descritos na Tabela 8.

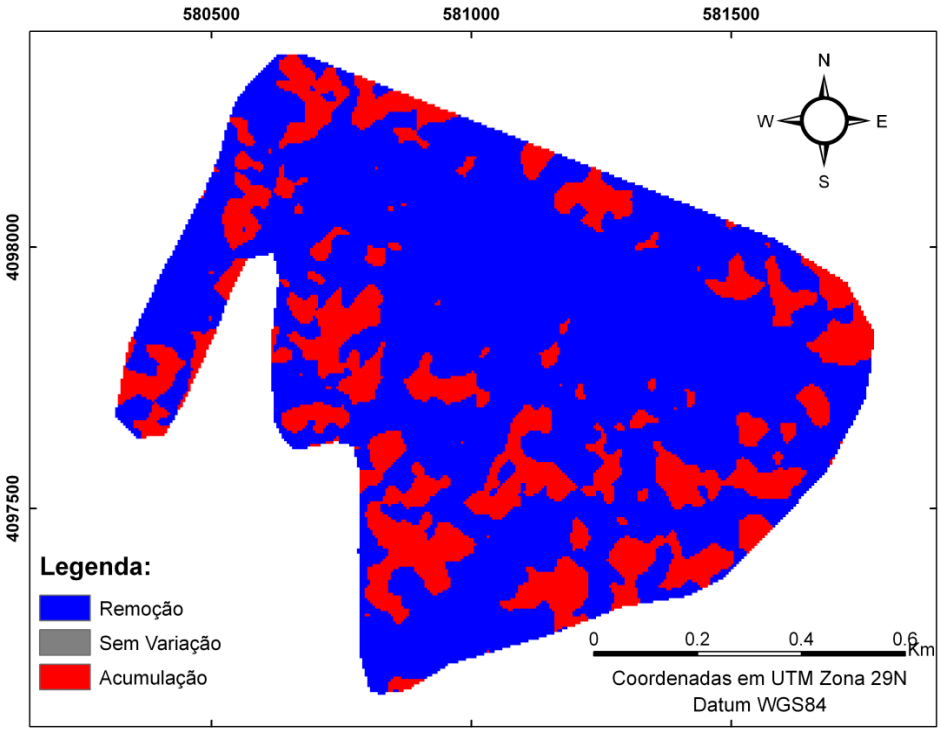


Figura 79 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* na área de dragagem para as superfícies batimétricas de Março de 2006 com correcção de 12 cm e Maio do mesmo ano sem correcções.

Tabela 8 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) referente à área de dragagem entre Março de 2006 com correcção de 12 cm e Maio do mesmo ano sem correcções.

	Volume (m^3)		Área (m^2)		Altura média (cm)	
Zona da Dragagem	Removido	-319 229	de Remoção	749 250	de Remoção	-42,6
	Acumulado	29 422	de Acumulação	249 125	de Acumulação	11,8
	Balanço	**-289 807**	**Total**	**998 375**	**Balanço**	**-29**
Zona Externa	Removido	-148 711	de Remoção	1 146 850	de Remoção	-13
	Acumulado	183 254	de Acumulação	1 320 850	de Acumulação	13,9
	Balanço	**34 543**	**Total**	**2 467 700**	**Balanço**	**1,4**

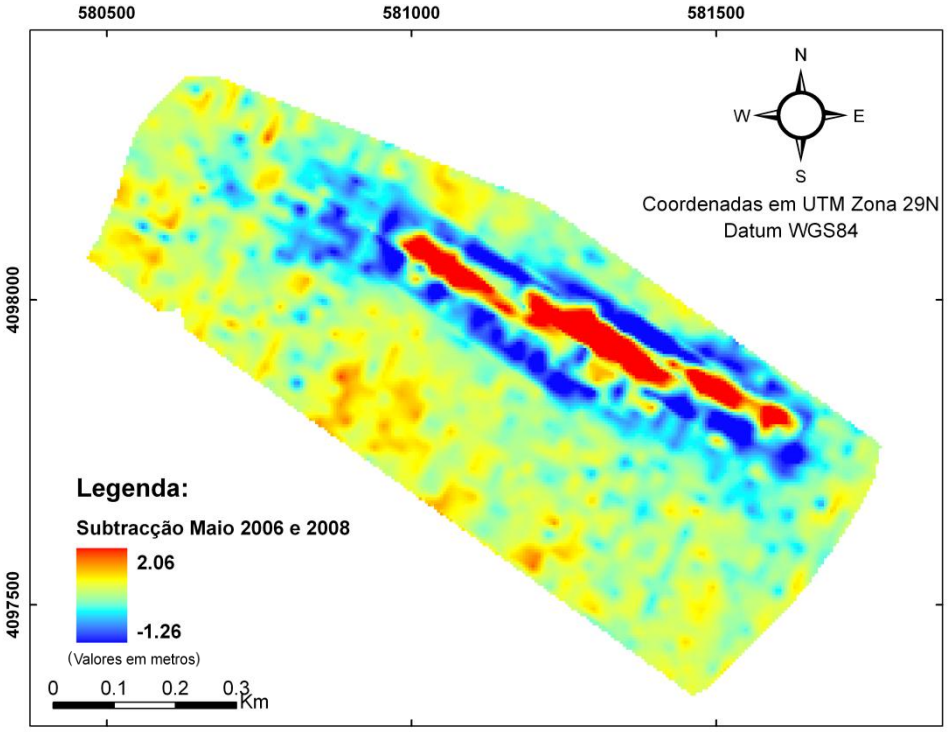
Analisando os resultados obtidos após a aplicação das correcções na batimetria de Março (correcção do desfazamento de 12cm) e de Maio (correcção do desfazamento entre dias de aquisição da batimetria), apresentadas na Tabela 7, verifica-se que na zona de dragagem houve uma remoção de cerca de 300000m^3 de sedimentos e uma acumulação de aproximadamente 34000m^3, o que se traduz num balanço de cerca de 265000m^3. No entanto, quando apenas se corrigiu a batimetria relativa a Março (Tabela 8) os resultados obtidos indicam que na zona de dragagem houve uma remoção de cerca de 320000m^3 de sedimentos e uma acumulação de aproximadamente 30000m^3, o que se traduz num balanço de cerca de 290000m^3.

Comparando os resultados da Tabela 7 e da Tabela 8 pode-se concluir que a variação verificada não é muito significativa face aos erros dos dados, e que as correcções aplicadas, dadas as incertezas na sua determinação por falta de elementos de confiança, não melhoraram significativamente os resultados.

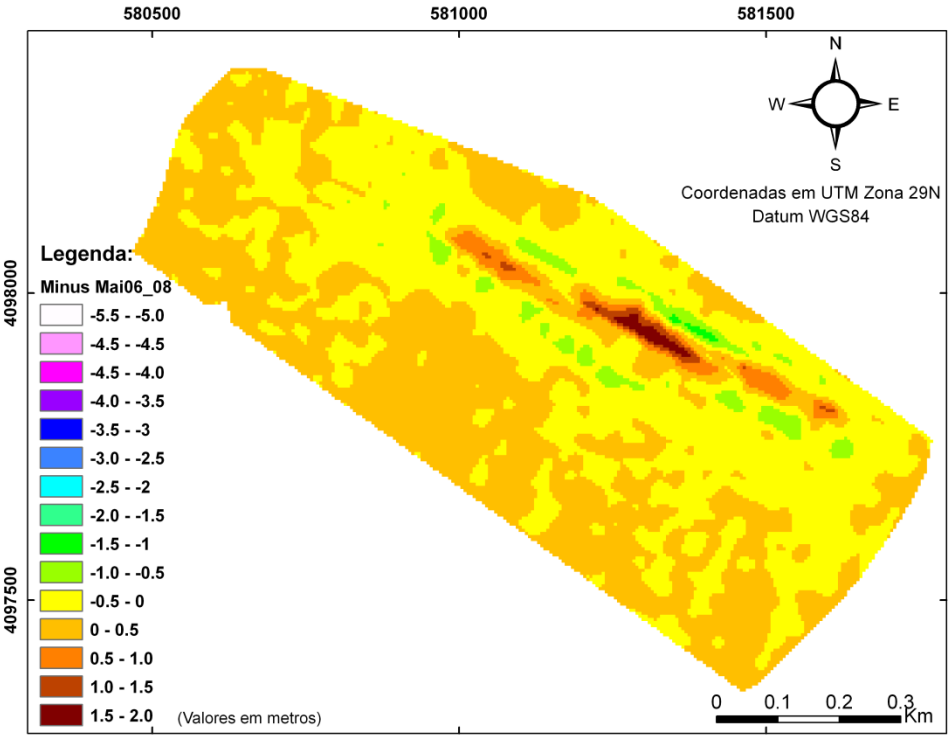
Evolução entre Maio de 2006 e Novembro de 2008

Dado que o levantamento de Novembro de 2008 não abrange toda a área de dragagem, para o estudo da evolução da escavação de Maio de 2006 para Novembro de 2008 foi utilizada para o cálculo a área resultante de intersecção da superfície de 2008 com a área de dragagem. O resultado da subtracção destas superfícies usando o comando *minus* encontra-se apresentado na Figura 80.

Foi também aplicado a estas superfícies o comando *cut/fill*, cuja matriz resultante se encontra representada na Figura 81. Os valores referentes ao volume removido e acumulado, assim como a área e as alturas médias de remoção e acumulação encontram-se descritos na Tabela 9.



a)



b)

Figura 80 - Resultado da subtracção da superfície de Novembro de 2008 pela de Maio de 2006 corrigida através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.

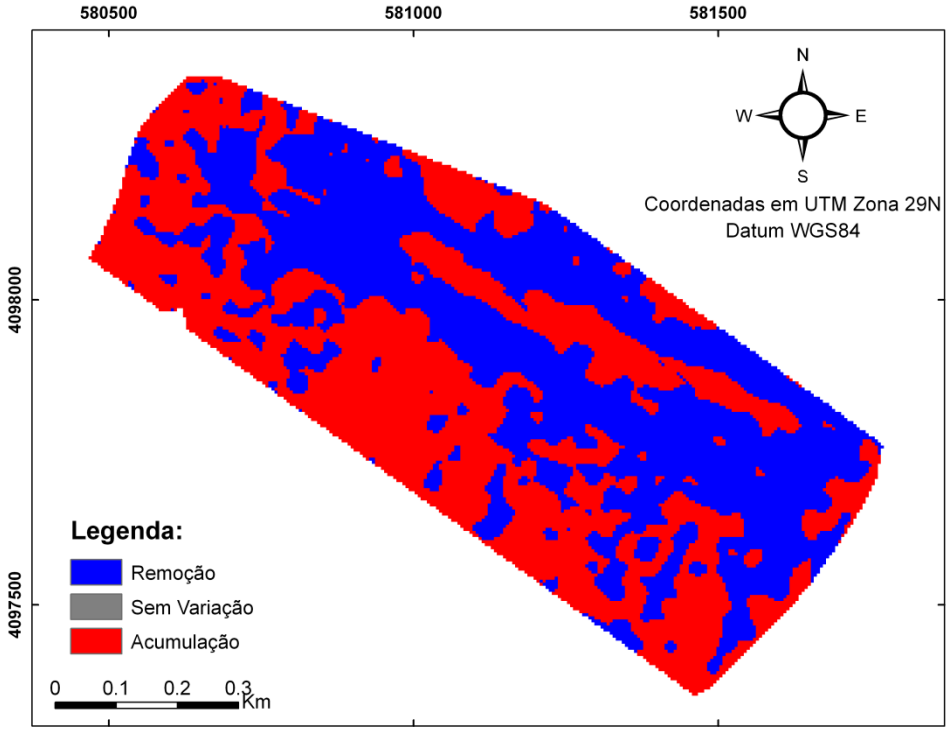


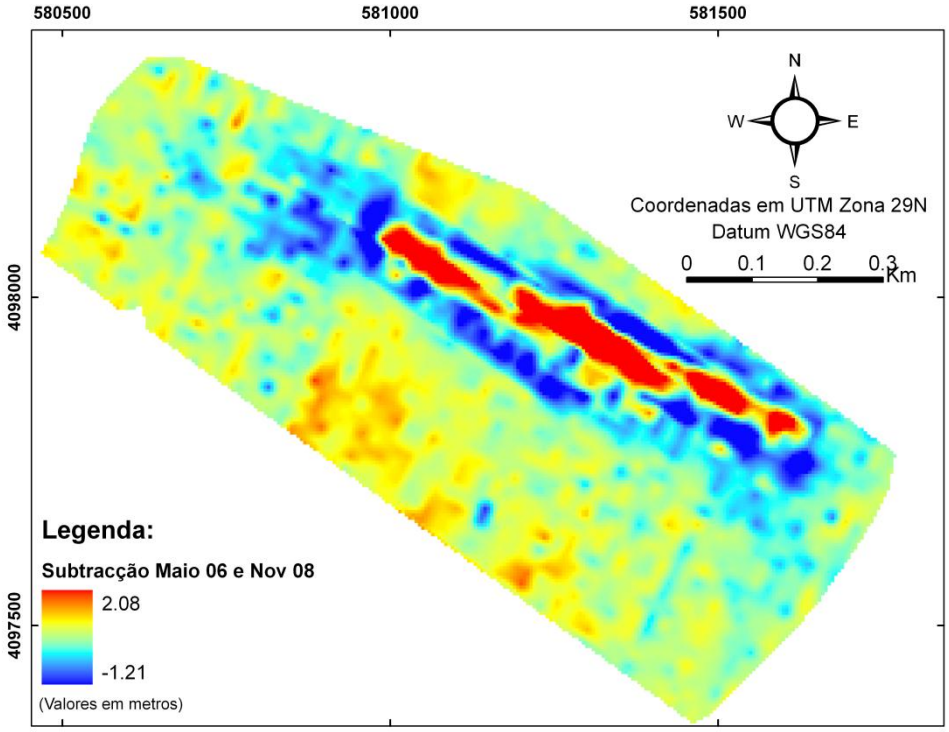
Figura 81 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* para as superfícies batimétricas de Maio de 2006 corrigida e Novembro de 2008.

Tabela 9 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) referentes à área de dragagem entre as superfícies de Maio de 2006 corrigida e Novembro de 2008.

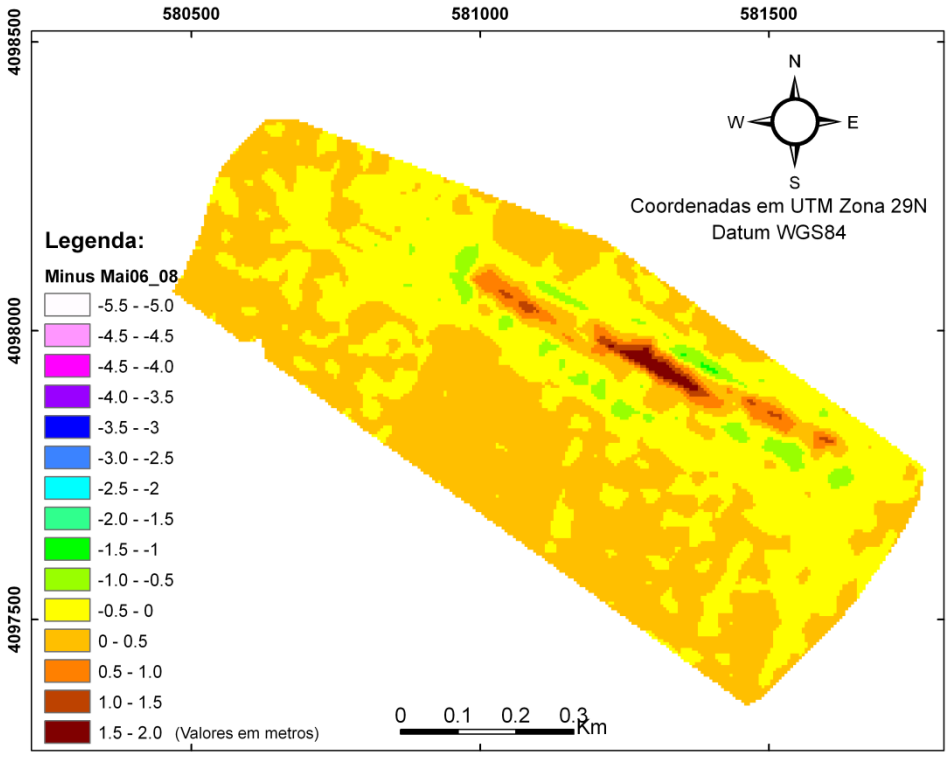
Volume (m^3)		Área (m^2)		Altura média (cm)	
Removido	-52 834	de Remoção	312 475	de Remoção	-16,9
Acumulado	43 993	de Acumulação	304 250	de Acumulação	14,5
Balanço	**-8 841**	**Total**	**616 725**	**Balanço**	**-1,4**

Tal como efectuado na comparação de Março e Maio de 2006, foram também repetidos os cálculos dos volumes sem efectuar as correcções à superfície de Maio de 2006 e considerando apenas a correcção para a batimetria de Março de 2006.

Utilizando o comando *minus* para a mesma área usada anteriormente obteve-se a matriz representada na Figura 82. De seguida aplicou-se o comando *cut/fill* (ver matriz resultante na Figura 83) que forneceu dados para o cálculo do volume removido e acumulado, assim como a área e as alturas médias de remoção e acumulação (Tabela 10).



a)



b)

Figura 82 - Resultado da subtracção da superfície de Novembro de 2008 pela de Maio de 2006 sem correcções da através do comando *minus* e usando: (a) escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação; (b) escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.

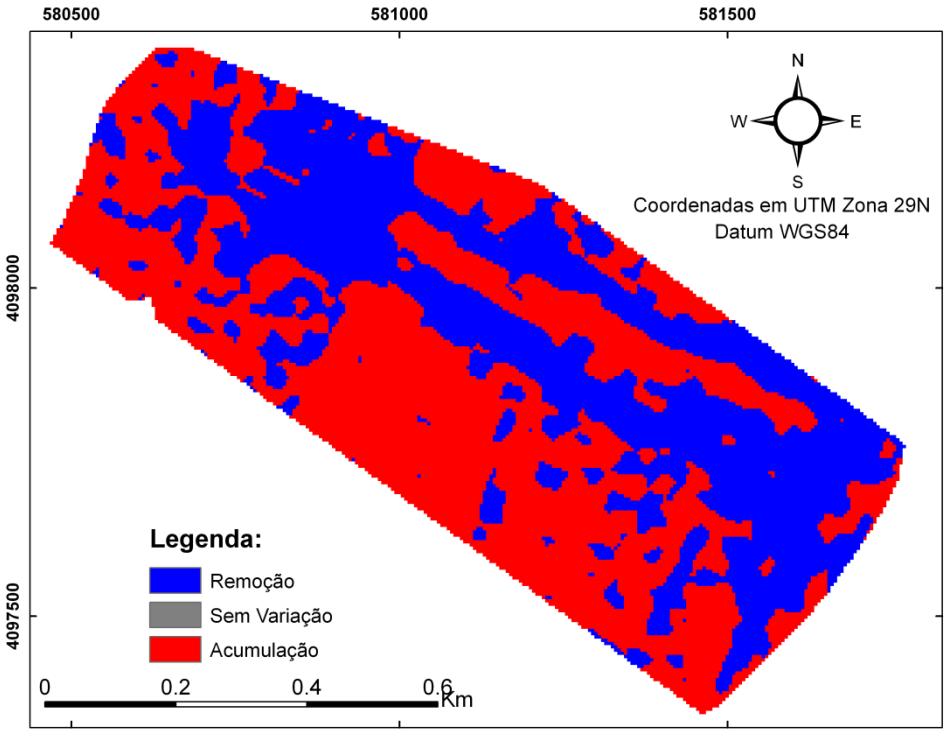


Figura 83 - Matriz resultante da aplicação do comando *cut/fill* para as superfícies batimétricas de Maio de 2006 sem correcções e Novembro de 2008.

Tabela 10 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) referentes à área de dragagem entre as superfícies de Maio de 2006 não corrigida e Novembro de 2008.

Volume (m^3)		**Área (m^2)**		**Altura média (cm)**	
Removido	-48 253	de Remoção	279 750	de Remoção	-17,2
Acumulado	53 185	de Acumulação	336 975	de Acumulação	15,8
Balanço	**4 932**	**Total**	**616 725**	**Balanço**	**0,8**

Dos resultados anteriores pode-se observar que quando se determina o balanço sedimentar para as superfícies de Março e Maio corrigidas (Tabela 9) obtem-se uma remoção de sedimento de cerca de 53000m^3 e uma acumulação de cerca de 44000m^3, o que se traduz num balanço de cerca de 9000m^3 de sedimento removido. Por outro lado, quando se determinam os volumes apenas com as correcções efectuadas à superfície de Março de 2006 (ou seja, sem corrigir a superfície de Maio de 2006), verfica-se uma remoção de sedimento de cerca de 48000m^3 e uma acumulação de aproximadamente 53000m^3, o que se traduz num balanço de cerca de 5000m^3 de sedimento acumulado.

Neste período de tempo esperava-se que o balanço sedimentar seja próximo de zero ou quando muito tenha havido uma ligeira acreção de sedimentos. Mais uma vez, as diferenças obtidas entre os dois cálculos (com e sem correcções para a superfície de Maio de 2006) não são muito significativas, tendo em conta os erros associados aos dados. No entanto, mas mais uma vez os resultados obtidos quando não se utilizam as correcções para a superfície de Maio, apesar de não muito diferentes, parecem mais coerentes que os obtidos quando são aplicadas correcções à superfície de Maio de 2006.

De facto, tal como referido na secção IV.2.4, o levantamento batimétrico referente a Maio de 2006 apresentava sérios problemas associados aos diferentes dias de aquisição de dados. Contudo, não é fácil determinar se existe um desfazamento constante (por exemplo um erro na correcção ao ZH) ou variável (por exemplo por uma correcção deficiente dos efeitos das marés) entre as várias fiadas de dados no levantamento de Maio de 2006. Como não se conseguiram identificar os erros, e na ausência de informação de *logs* de aquisição, torna-se muito difícil corrigi-los correctamente. Mesmo assim, tentou-se corrigir os desfazamentos com o objectivo de minimizar o efeito das faixas observado na superfície de Maio de 2006.

No entanto, comparando os resultados da Tabela 9 e Tabela 10, assim como os da Tabela 7 e Tabela 8, verifica-se que as correcções aplicadas às 3 faixas da superfície de Maio de 2006 não melhoraram significativamente os resultados. Sem mais informação sobre os dados originais e apesar de terem sido testadas várias hipóteses alternativas para as correcções, chegou-se à conclusão de não ser possível obter uma solução satisfatória. Atendendo a que se obtêm aparentemente resultados mais coerentes na determinação dos volumes quando não se corrige em detalhe a superfície de Maio, optou-se por não efectuar esta correcção para o cálculo dos volumes final.

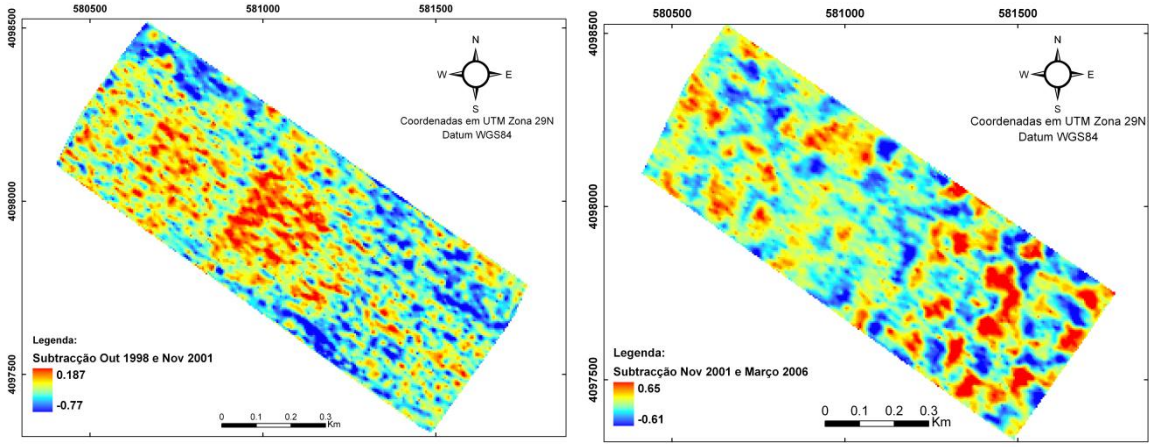
Espera-se vir a ter cópias de todos os dados originais (*raw data*) dos levantamentos de 2006 num futuro próximo, de forma a poder efectuar as correcções necessárias (ver secção IV.1.3) aos dados, mas tal não foi ainda conseguido.

IV.3.3. Estudo da Evolução da Área Comum a todos os Levantamentos, ao Longo de 10 Anos (1998-2008)

Para o estudo da evolução ao longo de 10 anos da área comum aos vários levantamentos batimétricos realizados ao largo de Vale do Lobo entre 1998 e 2008, foi seleccionada a área correspondente à intersecção dos vários levantamentos batimétricos. Se bem que a análise desta área comum não permita efectuar cálculos de valores absolutos de volumes para as 2 escavações efectuadas, dado que apenas as cobre parcialmente, é no entanto útil para efeitos de estudo da evolução da morfologia de fundo ao longo dos 10 anos.

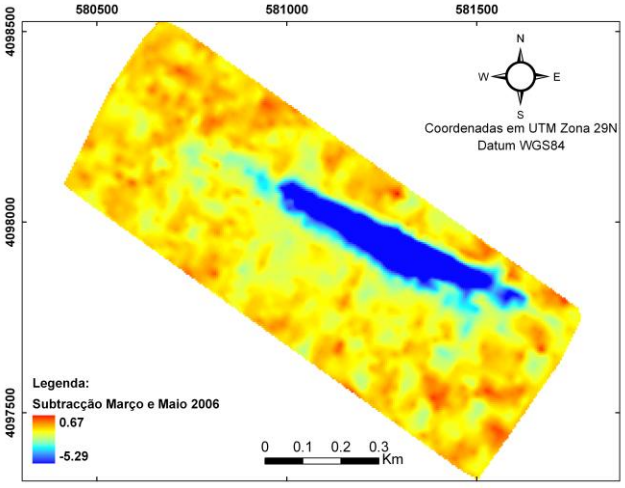
Os levantamentos batiméticos referentes a todos os anos foram cortados, usando o comando *Clip* do *ArcGIS*, de modo a corresponderem à área de intersecção entre os vários levantamentos, e foram interpolados usando o método dos vizinhos naturais com tamanho de célula de 5m de lado. As superfícies obtidas foram cronologicamente subtraídas entre si usando o comando *minus*. Os resultados encontram-se apresentados na Figura 84, usando uma contínua escala ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação, e na Figura 85, com uma uma escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações.

Os resultados da aplicação do comando *cut/fill* entre as várias superfícies consideradas cronologicamente, pode ser observado na Figura 86 e os valores referentes ao volume removido e acumulado, assim como a área e as alturas médias de remoção e acumulação encontram-se na Tabela 11.

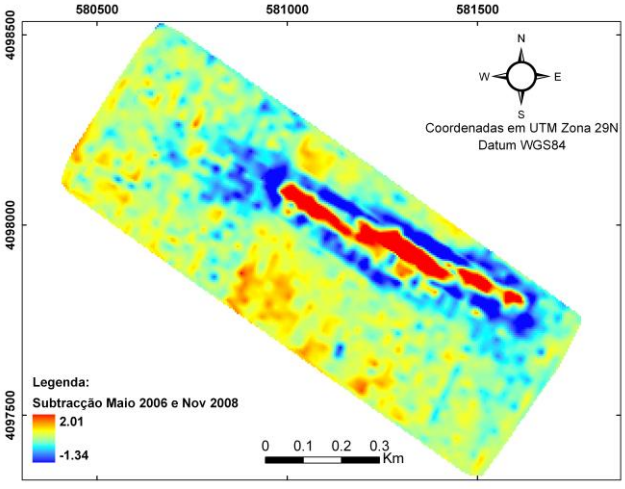


a)

b)



c)



d)

Figura 84 - Resultado da subtracção das superfícies, através do comando *minus* e usando uma escala de contínua cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças entre as duas superfícies em comparação, referente a (a) Outubro de 1998 e Novembro de 2001; (b) Novembro de 2001 e Março de 2006; (c) Março e Maio de 2006; e (d) Maio de 2008 e Novembro de 2008.

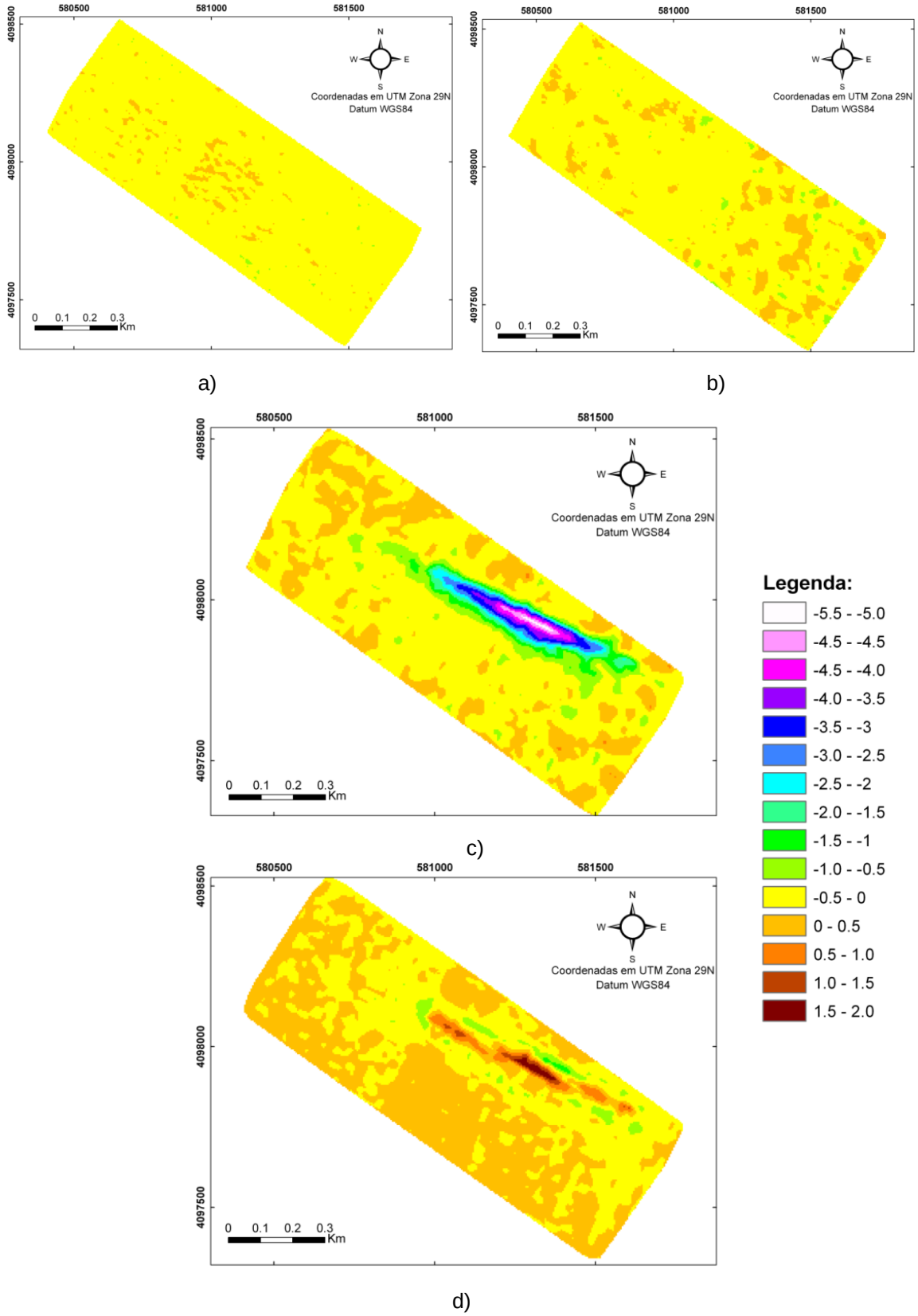


Figura 85 - Resultado da subtracção das superfícies, através do comando *minus* e usando uma escala discreta de cores ajustada ao máximo e mínimo das diferenças observadas nas várias escavações, referente a: (a) Outubro de 1998 e Novembro de 2001; (b) Novembro de 2001 e Março de 2006; (c) Março e Maio de 2006; e (d) Maio de 2008 e Novembro de 2008.

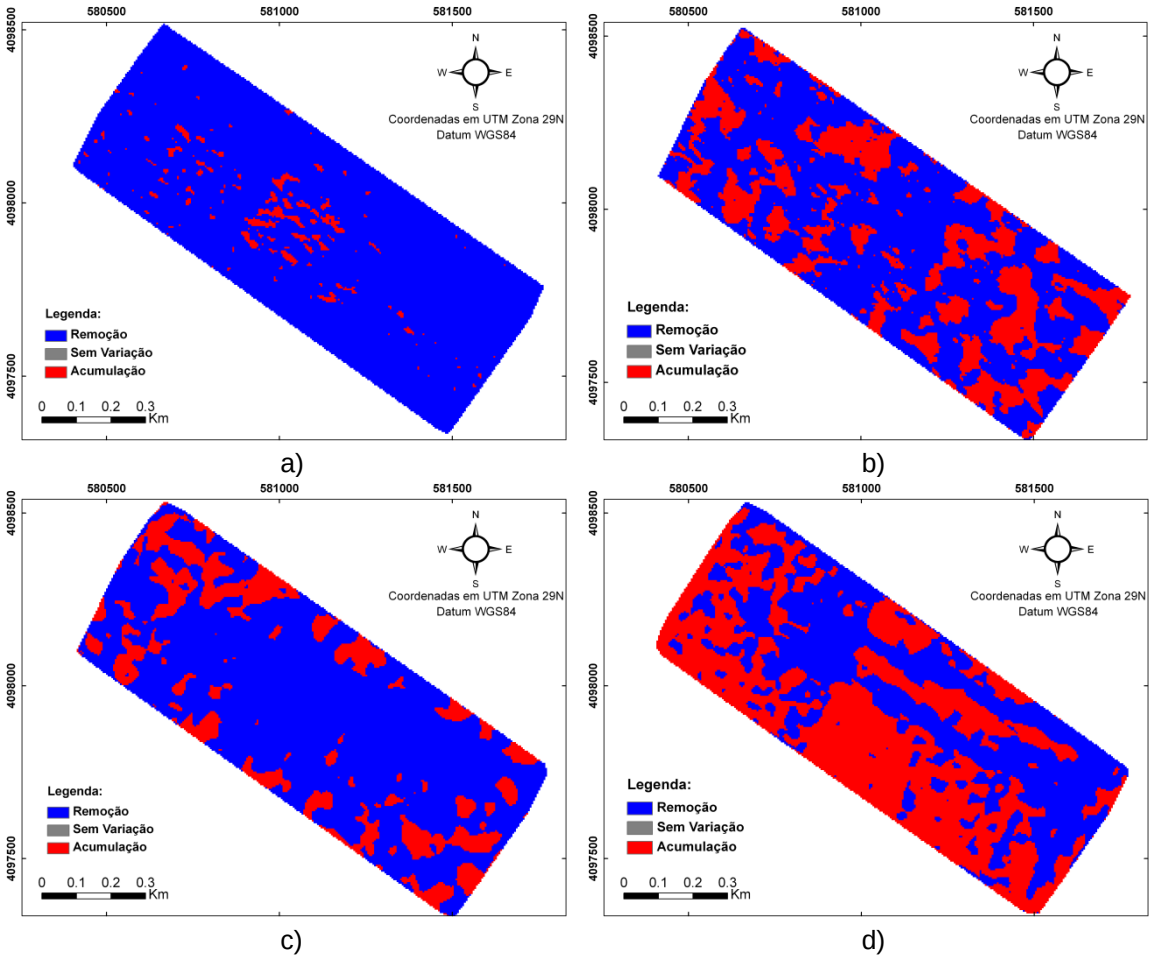


Figura 86 - Matrizes resultantes da aplicação do comando *cutt/fill* para as superfícies batimétricas: a) Outubro de 1998 e Novembro de 2001; b) Novembro de 2001 e Março de 2006 corrigida; c) Março corrigida e Maio de 2006; e d) Maio de 2006 e Novembro de 2008.

Tabela 11 - Variação de volume (m^3), área (m^2) e altura média (cm) referentes à Área 3 entre os diferentes anos que adquiriu dados batimétricos.

	Volume (m^3)		Área (m^2)		Altura média (cm)	
Nov01-Out98	Removido	-122 884	de Remoção	657 500	de Remoção	-18,7
	Acumulado	944	de Acumulação	26 525	de Acumulação	3,6
	Balanço	**-121 940**	**Total**	**684 025**	**Balanço**	**-17,8**
Mar06-Nov01	Removido	-62 688	de Remoção	457 950	de Remoção	-13,7
	Acumulado	26 297	de Acumulação	228 900	de Acumulação	11,5
	Balanço	**-36 391**	**Total**	**686 850**	**Balanço**	**-5,3**
Mai06-Mar06	Removido	-274 305	de Remoção	399 500	de Remoção	-49,7
	Acumulado	18 224	de Acumulação	159 750	de Acumulação	11,4
	Balanço	**-256 081**	**Total**	**712 075**	**Balanço**	**-36**
Nov08-Mai06	Removido	-54 554	de Remoção	335 125	de Remoção	-16,3
	Acumulado	53 915	de Acumulação	375 200	de Acumulação	14,4
	Balanço	**-639**	**Total**	**710 325**	**Balanço**	**-0,1**

A área de estudo escolhida para esta secção (área que corresponde à intersecção de todos os levantamentos batimétricos), apesar de não ser muito importante no que se refere ao cálculo de volumes de extracção e acumulação propriamente dito, dá-nos uma ideia geral de como esta área, onde se efectuaram duas extracções que provocaram uma alteração morfológica no fundo, ao largo de Vale do Lobo, evoluiu ao longo destes 10 anos. Para uma mais fácil percepção dos volumes de sedimentos removidos e acumulados nesta área desde Outubro de 1998 até Novembro de 2008, representaram-se graficamente os dados da tabela anterior (Figura 87).

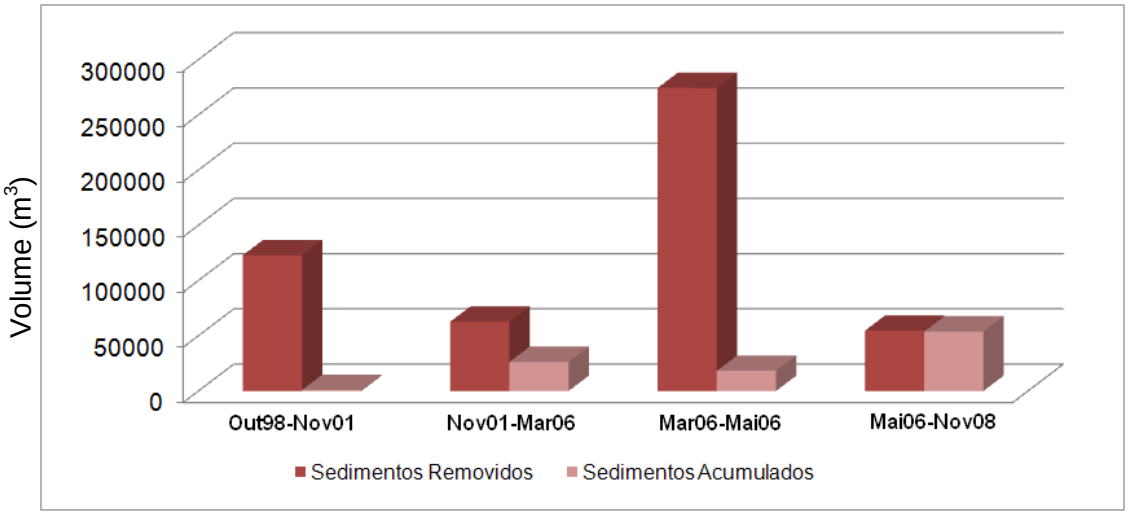


Figura 87 - Representação gráfica dos volumes de sedimentos removidos e acumulados na área em estudo desde Outubro de 1998 até Novembro de 2008.

De uma forma geral, e observando a Figura 88, na área que corresponde à intersecção das áreas de todos os levantamentos batimétricos verificou-se sempre um balanço sedimentar negativo; ou seja, verificou-se sempre uma remoção superior à acreção de sedimentos. Como se sabe, o balanço sedimentar negativo nos períodos entre Outubro de 1998 e Novembro de 2001, e entre Março e Maio de 2006 é devido às duas extracções de areias realizadas na área em estudo. Entre Novembro de 2001 e Março de 2006 verificou-se um balanço sedimentar de cerca de -37000m^3 o que pode significar que deve ter havido uma pequena remoção nesta zona. No entanto, tendo em conta os erros inerentes aos dados, este valor pode não ter significado, por estar dentro dos limites dos erros.

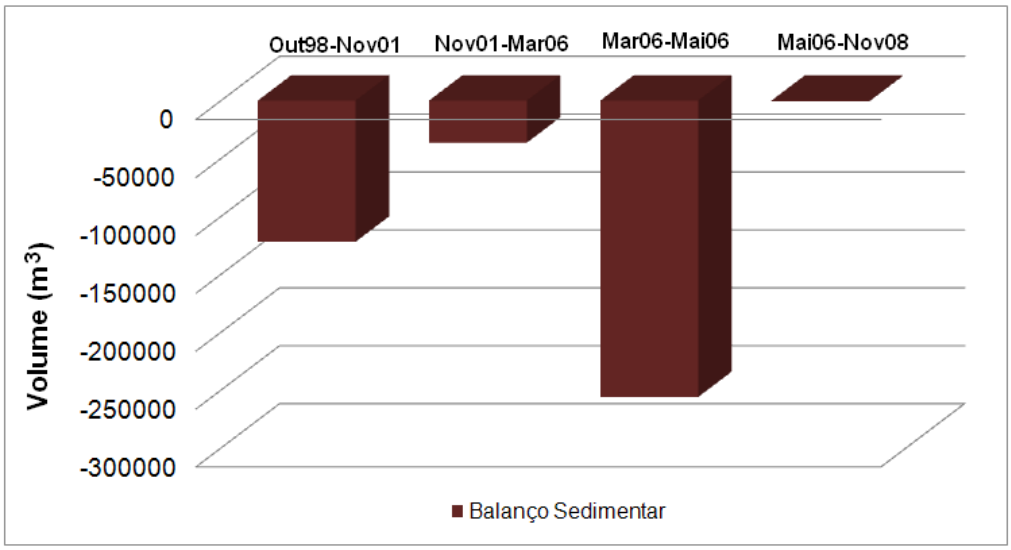


Figura 88 - Representação gráfica do balanço sedimentar (volume de remoção somado ao de acreção) na área em estudo desde Outubro de 1998 até Novembro de 2008.

No período compreendido entre Maio de 2006 e Novembro de 2008 verificou-se também uma remoção de cerca de 600m^3 que, tendo mais uma vez em conta os erros associados aos dados, se pode considerar como muito próximo de zero. Ao longo deste período, e observando a Figura 84d, Figura 85d e Figura 86d, verifica-se que houve uma remobilização de sedimentos situados nos bordos da escavação e que estes se acumularam principalmente no interior da escavação.

Claro que estes valores de volumes removidos ou acumulados não podem ser entendidos como valores absolutos, nem para a 1ª nem para a 2ª escavação, pois esta área comum apenas cobre parcialmente essas escavações.

Capítulo V. Discussão e Conclusões

V.1. Superfícies Batimétricas Obtidas para os Vários Levantamentos

Tal como foi referido na secção IV.2.4, verificou-se que os levantamentos de Março e Maio de 2006 apresentavam alguns problemas. A superfície de Março de 2006 apresenta uma muito elevada rugosidade em toda a sua extensão que, quando comparada com os outros levantamentos para a mesma área, indicía a presença de erros consideráveis associados a estes dados batimétricos. Pensa-se que estes erros são resultado das condições de mau tempo que se fizeram sentir durante esta campanha. Para além disso, verificou-se que as profundidades para este levantamento são claramente superiores às verificadas para os outros levantamentos. Ambos estes aspectos podem ser explicados pela elevada ondulação provocada pelo mau estado do tempo, que se traduziu num aumento do cabeceamento (*pitch*) e balanço bombordo-estibordo (*roll*) da embarcação (ver secção IV.1.3).

Posteriormente, quando se determinou o balanço sedimentar entre Novembro de 2001 e Março de 2006, verificou-se que os cálculos indicavam uma muito elevada remoção de sedimentos de cerca de 210000m^3, o que corresponde em média a um abaixamento generalizado da superfície de cerca de 12cm desde Novembro de 2001 a Março de 2006, o que não tem sentido, dado que não se tem conhecimento de que tenha havido nenhuma dragagem nesta área durante este período de tempo.

Tendo em conta estes factores e sabendo que o desfazamento médio de 12cm entre as superfícies de Novembro de 2001 e Março de 2006 deve resultar de erros associados ao movimento da embarcação (nomeadamente *pitch* e *roll*) devido às condições meteorológicas menos favoráveis, foi introduzido um factor de correcção que se traduziu numa subida generalizada de 12cm na batimetria de Março de 2006.

Já o levantamento batimétrico referente a Maio de 2006 apresenta problemas associados aos diferentes dias de aquisição de dados. Podem ser identificadas várias faixas distintas na batimetria, associadas com os vários dias de aquisição. Na tentativa de minimizar os problemas detectados e diminuir os erros a introduzir no cálculo dos volumes, decidiu-se eliminar as duas faixas mais externas do levantamento (correspondentes aos dias de levantamento 16 e 17 de Maio de 2006 - Figura 60), uma vez que estão fora da área da dragagem e por isso não vão interferir na estimativa do balanço sedimentar na área em estudo (ver secção IV.3.2). No que se refere às restantes 3 faixas centrais, que pareciam estar desfazadas entre si para além de estarem desfazadas relativamente à superfície de Março, foi realizada uma correcção para cada faixa pela comparação com a área correspondente da superfície de Março de 2006 (ver secção IV.3.2). Verificou-se que as 3 faixas apresentavam desfazamentos distintos face à superfície de Março. No entanto, não foi possível determinar se esses desfazamentos correspondem a um valor constante dentro de cada faixa, devido por exemplo a um erro de correcção ao zero hidrográfico, ou se se trata de um desfazamento variável entre faixas e dentro de cada faixa, o que poderia estar associado por exemplo a uma correcção deficiente aos efeitos da maré.

Na ausência de qualquer informação relativa a *logs* de aquisição, torna-se contudo muito difícil identificar e corrigir estes erros devidamente. Mesmo assim, foram feitas várias tentativas para tentar corrigir estes desfazamentos de forma a tentar obter uma superfície mais aproximada do esperado (Figura 61).

Apesar de todas as correcções aplicadas à superfície de Maio de 2006, os resultados obtidos no cálculo dos volumes e balanço sedimentar quando não se utilizam estas correcções, embora não significativamente diferentes, parecem ser mais coerentes com os valores indicados para as extracções, do que os obtidos quando são aplicadas correcções a esta superfície. Assim, decidiu-se não efectuar as correcções diferenciais às várias faixas do levantamento de Maio de 2006, pelo que os resultados do cálculo dos volumes finais apresentados contemplam apenas a correcção de 12cm aplicada à superfície de Março de 2006.

V.2. Balanço Sedimentar na Área de Estudo

Os resultados apresentados na Secção IV.3 referem-se à evolução morfo-sedimentar da área de estudo, que sofreu duas extracções de areias para alimentação da praia de Vale de Lobo. Para melhor estudar o balanço sedimentar nas áreas das 2 escavações, e porque os levantamentos batimétricos dos diferentes anos cobrem diferentes áreas, foram usadas, para efeitos comparativos entre os vários levantamentos quatro áreas de estudo, tal como ilustra a Figura 89.

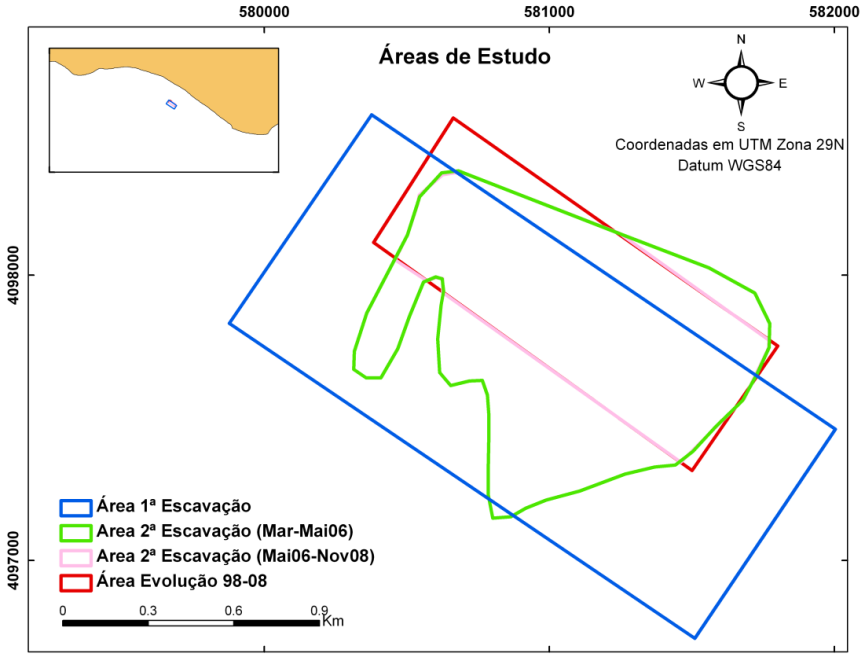


Figura 89 – Representação das diferentes áreas usadas no cálculo do balanço sedimentar.

A área a azul na Figura 89 foi usada para a determinação do balanço sedimentar da primeira escavação, ou seja, para a comparação entre as batimetrias de Outubro de 1998, Novembro de 2001 e Março de 2006 (Figura 90). A área a verde compreende apenas o trajecto da draga da segunda extracção e foi usada para determinar os volumes extraídos aquando da extracção de 2006 (entre Março e Maio de 2006; Figura 90). A área representada com a cor rosa corresponde à intersecção da área anterior com a área do levantamento de 2008 e foi usada para determinar a evolução da escavação de Maio de 2006 para

Novembro de 2008 (Figura 90). Finalmente foi usada a área comum a todos os levantamentos (representada a vermelho na Figura 89), para estudar a evolução ao longo dos 10 anos (de 1998 e 2008).

Os resultados obtidos para as diferentes áreas, com excepção da área comum a todos os anos de aquisição batimétrica (que não se incluiu aqui por não contemplar a área total nem da 1ª nem da 2ª escavação e por isso não poder ser utilizada para fins comparativos de volumes), encontram-se esquematizados no gráfico da Figura 90.

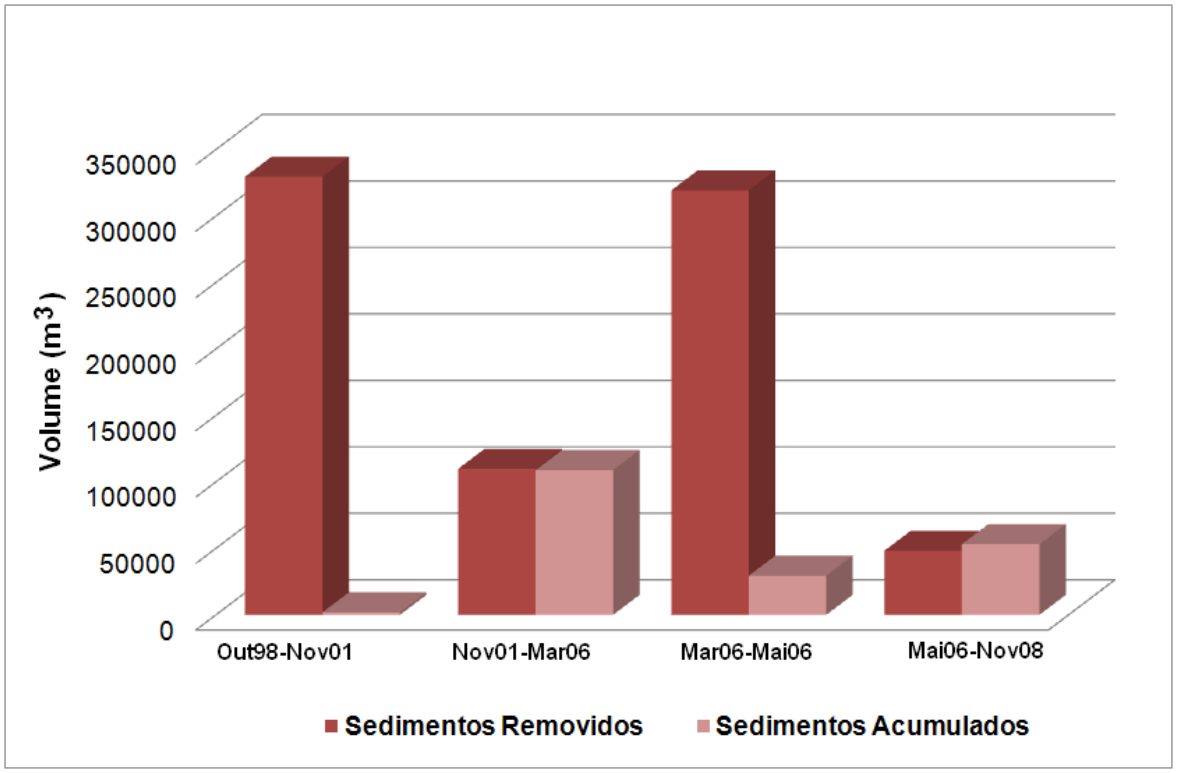


Figura 90 - Representação gráfica dos volumes de sedimentos removidos e acumulados entre os diferentes anos de aquisição batimétrica. As áreas usadas são diferentes para cada um dos casos, tendo em conta a conveniência da área e as limitações de cobertura da batimetria.

Da análise desta figura verifica-se que existe uma enorme discrepância entre os valores calculados para os volumes removidos durante a 1ª escavação, enquanto que no que respeita aos volumes extraídos durante a 2ª escavação, os valores obtidos pela diferença de superfícies após as correcções efectuadas, são muito próximos dos esperados.

1ª Extracção

Entre Outubro de 1998 e Novembro de 2001 a remoção de sedimentos é claramente dominante relativamente à acumulação, sendo a extracção de sedimentos da ordem dos 330000m^3. No entanto, de acordo com os valores que nos foram comunicados, a extracção que ocorreu entre estes dois períodos compreendeu a remoção de cerca de 700000m^3 de areias. Assumindo que esse valor é correcto, então o volume de extracção estimado está claramente subestimado, sendo apenas cerca de metade do valor esperado. Na secção IV.3.1 foram apresentadas algumas possíveis explicações para este resultado, nomeadamente:

- a área usada pode não cobrir toda a área realmente dragada. Ao contrário da segunda extracção, a primeira apresenta uma escavação pouco profunda, mas que, no entanto, abrange uma área relativamente grande. Além disso, não se teve acesso ao trajecto da draga ao contrário do que aconteceu com a segunda escavação;

- acreção de parte do volume de sedimentos extraído (cerca de 370000m^3) ao longo dos quase 3 anos em causa, o que não é plausível, pois implicaria uma taxa de sedimentação da ordem dos 7cm/ano;

- possibilidade de um erro da ordem de apenas alguns centímetros na batimetria, o que resultaria num erro em termos de volume muito grande. Neste caso, um volume de 370000m^3 poderia ser explicado por um erro de redução ao datum vertical de cerca de 18cm. Este tipo de erros, apesar de poderem introduzir um erro elevado em estimativas do tipo das que foram realizadas neste trabalho, são possíveis em levantamentos deste tipo.

2ª Extracção

Relativamente à segunda extracção, efectuada entre Março e Maio de 2006, analisando o gráfico da Figura 90, os resultados apontam para aproximadamente 320000m^3 de sedimento removido e apenas cerca de 30000m^3 de acumulação. Estes valores dão-nos um balanço que ronda os 290000m^3 de remoção, o que

corresponde a cerca de 80% do valor indicado para essa extracção, que é de cerca de 370000m^3.

Este facto pode ser facilmente explicado pelos elevados erros detectados nos dados. De facto, os dados referentes a Março e Maio de 2006 foram aqueles em que se detectaram mais problemas (descritos na secção IV.2.4).

No que se refere aos períodos em que não houve intervenção humana (entre Novembro de 2001 e Março de 2006, e entre Maio de 2006 e Novembro de 2008), espera-se que o balanço sedimentar seja muito próximo de zero. Em ambos os casos, verifica-se um volume de remoção muito semelhante ao de acumulação (Figura 90), o que resulta num balanço praticamente nulo, podendo este facto ser explicado pelos elevados erros nos dados.

Apesar de se considerar que o balanço é próximo de zero, verifica-se contudo para o período de 2006 a 2008 uma ligeira acumulação de sedimento (cerca de 5000m^3), que mais uma vez não se pode concluir se é real ou se resulta dos erros associados aos dados. No entanto, este resultado seria de esperar dada a tendência natural para o enchimento gradual da escavação.

Verifica-se ainda para os dois casos que os valores de acumulação e remoção são significativos, embora no balanço final quase se anulem por serem valores próximos. Isto pode acontecer por dois motivos, que, o mais provável, é que se verifiquem em simultâneo:

- os erros por excesso e por defeito durante a aquisição são contabilizados e entram nos cálculos, mas acabam por se compensar, anulando-se;

- há uma remobilização do sedimento devido à dinâmica associada às zonas costeiras e à própria evolução da escavação.

V.3. Evolução da Zona da Escavação

A extracção realizada em 1998 foi uma escavação pouco profunda, mas que abrangeu uma área considerável (ver secção II.4). Contudo, dado que as

estimativas dos volumes extraídos não são consistentes com os valores comunicados pela empresa de dragagens, tendo em conta o facto que não dispomos dos trajectos da draga e que o primeiro levantamento batimétrico pós-extracção foi efectuado somente 3 anos depois, e à falta de outros elementos que permitam a correcta identificação e resolução dos problemas encontrados (ver discussão acima), decidiu-se não efectuar um estudo detalhado da evolução desta escavação. Assim será analisada apenas a evolução da escavação de 2006.

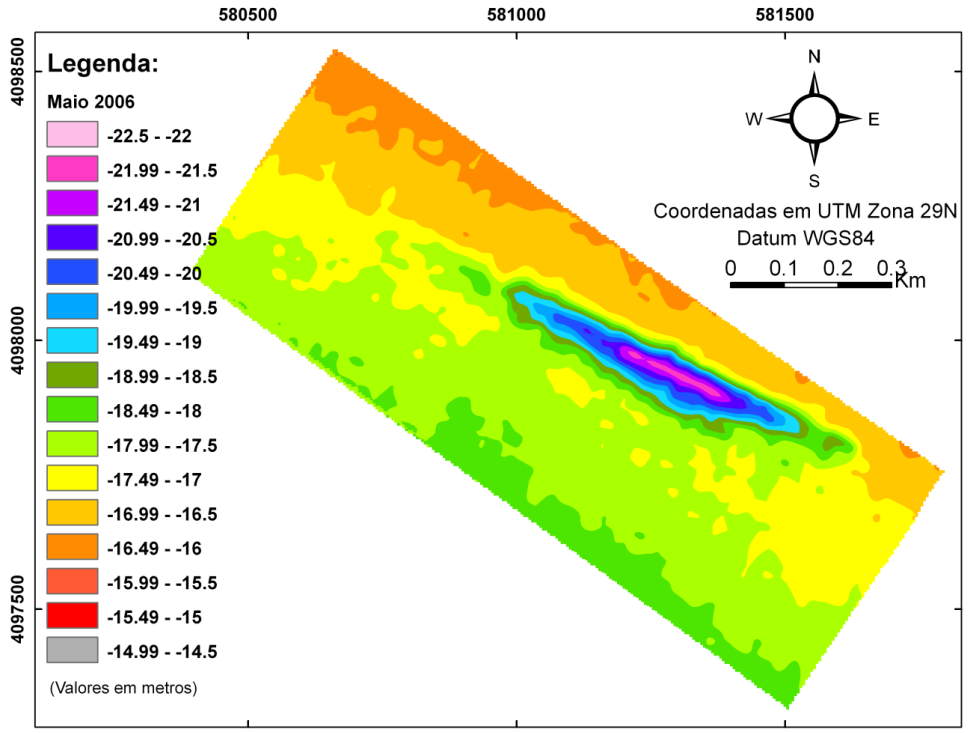
A dragagem efectuada em 2006 produziu uma área de escavação que é relativamente pequena, mas que atinge uma profundidade considerável. Este tipo de escavações, apesar de apresentarem uma área de impacto menor, provocam alterações consideráveis na morfologia do fundo.

Na Figura 91 apresentam-se as superfícies batimétricas referentes a Maio de 2006 e Novembro de 2008, que mostram o impacto provocado pela dragagem de 2006 na morfologia de fundo.

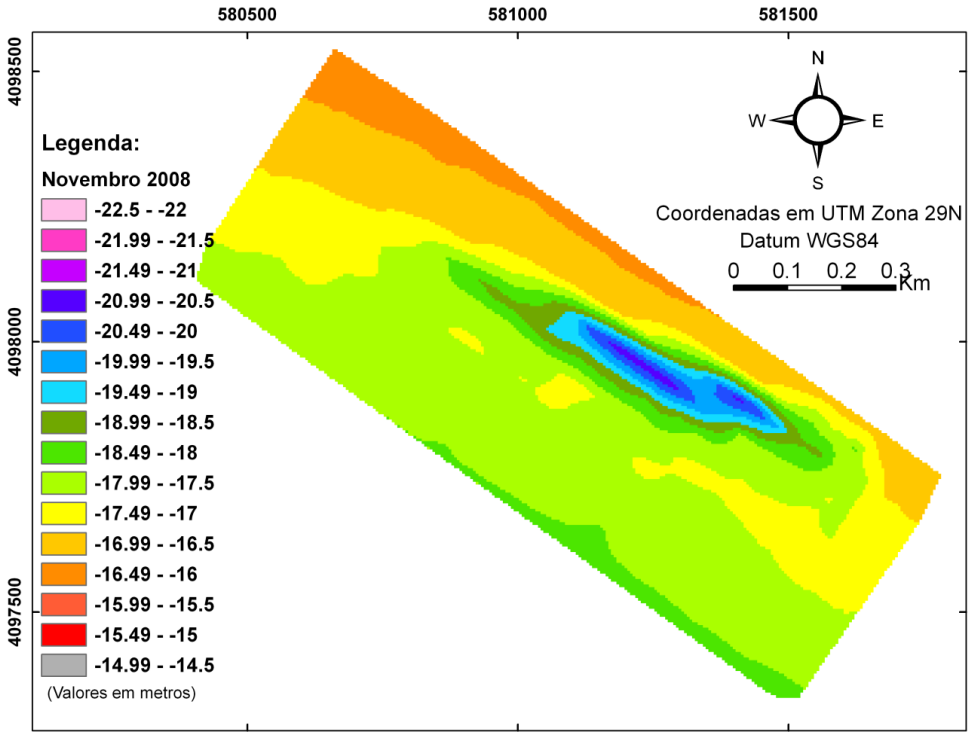
Como se observa na figura, a escavação produzida por esta dragagem apresenta o eixo principal orientado de Noroeste a Nordeste, paralelo à linha de costa. Tal como descrito na secção III.2, o regime de agitação marítima é dominado por direcções Oeste-Este, sendo as direcções de Sudoeste e Sudeste menos significativas. Assim sendo, e tendo em conta os aspectos discutidos na secção II.4.1, neste caso temos as correntes predominantes oblíquas à escavação, sendo as correntes perpendiculares (de Sudoeste) e paralelas (de Sudeste) menos significativas.

Tendo em conta apenas a direcção dominante das correntes, ou seja, Oeste-Este, estamos perante uma situação dominante de correntes oblíquas ao eixo principal da escavação. Nestes casos, os efeitos descritos na secção II.4.1 da acção paralela e perpendicular da corrente ocorrem simultaneamente.

Da análise comparativa das superícies batimétricas referentes a Maio de 2006 e Novembro de 2008, verifica-se que há uma clara redução da profundidade da escavação, assim como dos declives das paredes laterais.



a)

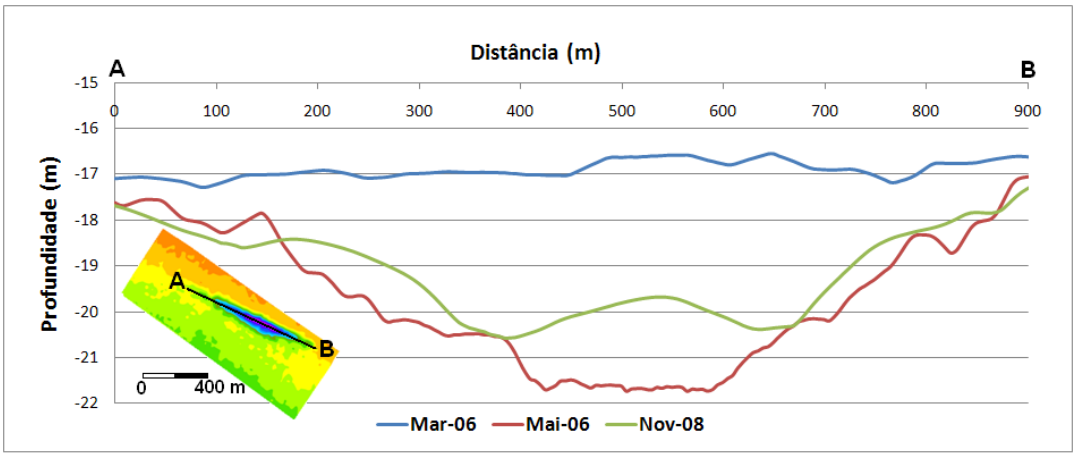


b)

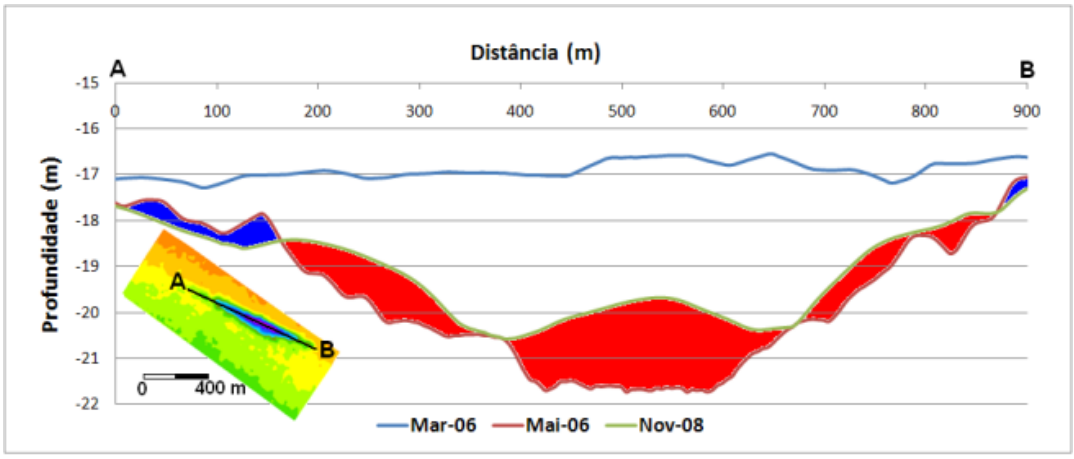
Figura 91 – Superfícies batimétricas interpoladas e representadas usando uma escala discreta de cores referentes a: (a) Maio de 2006 e (b) Novembro de 2008.

Observa-se ainda uma maior suavização das curvas no levantamento de 2008 e alguma aparente variação na forma da escavação propriamente dita, relativamente à sua forma inicial; contudo estas diferenças parecem reflectir essencialmente a diferente resolução das duas coberturas batimétricas, e em particular a baixa resolução entre fiadas no levantamento de 2008, pelo que não é possível tirar conclusões fidedignas a esse respeito.

De modo a analisar mais em detalhe a evolução da escavação profunda foram traçados um perfil longitudinal (Figura 94) e três perfis transversais à escavação (Figuras 93 – 95).



a)

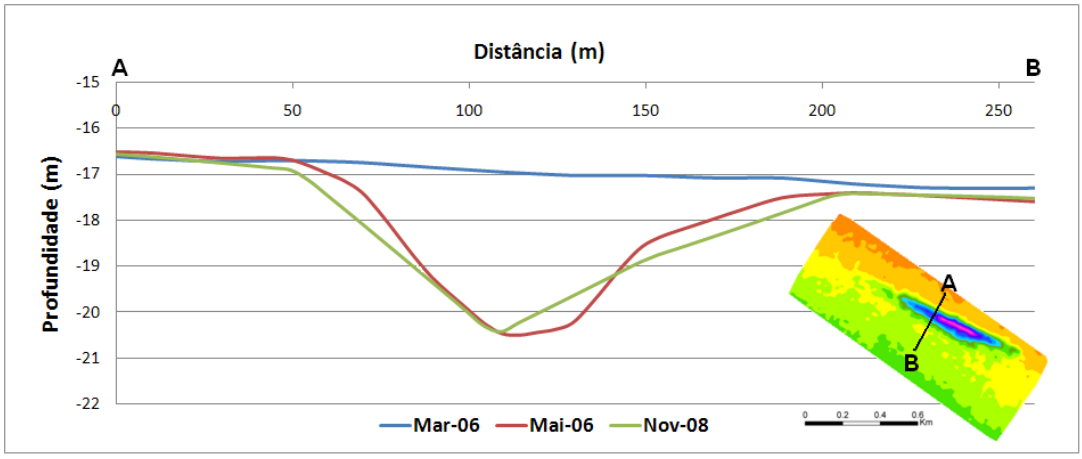


b)

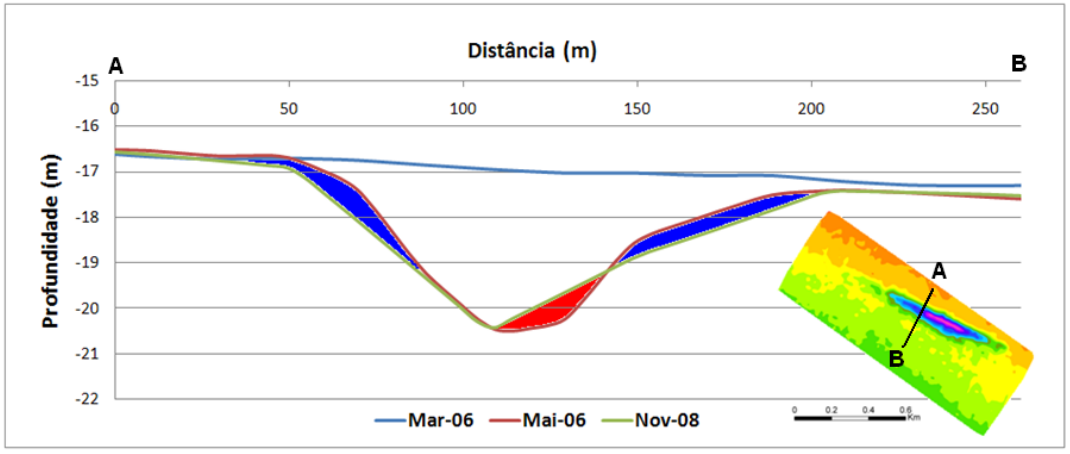
Figura 92 – (a) Perfil longitudinal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil qu o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos.

Da análise do perfil longitudinal (Figura 94) verifica-se que houve, de uma forma geral uma acumulação de sedimentos em toda a extensão da escavação. Apenas se verifica alguma erosão nos bordos da escavação (em particular na zona mais a NW), o que era de prever nas zonas de maior declive.

Quanto à análise dos perfis transversais verifica-se que há igualmente um preenchimento com sedimentos na parte mais profunda da escavação, e alguma erosão nos flancos, o que resulta numa suavização geral dos perfis batimétricos, mais acentuada para os flancos com maior declive inicial. De uma forma geral, a zona onde se observa maior deposição de sedimentos coincide com a base do flanco que originalmente tinha maior declive (Figura 94 e Figura 95). Apenas no perfil mais a NW, tal parece não se verificar.

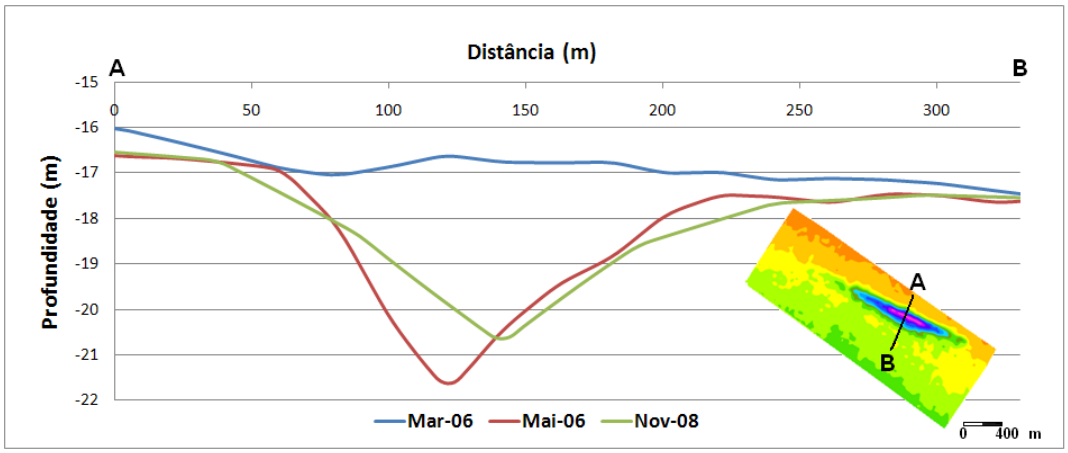


a)

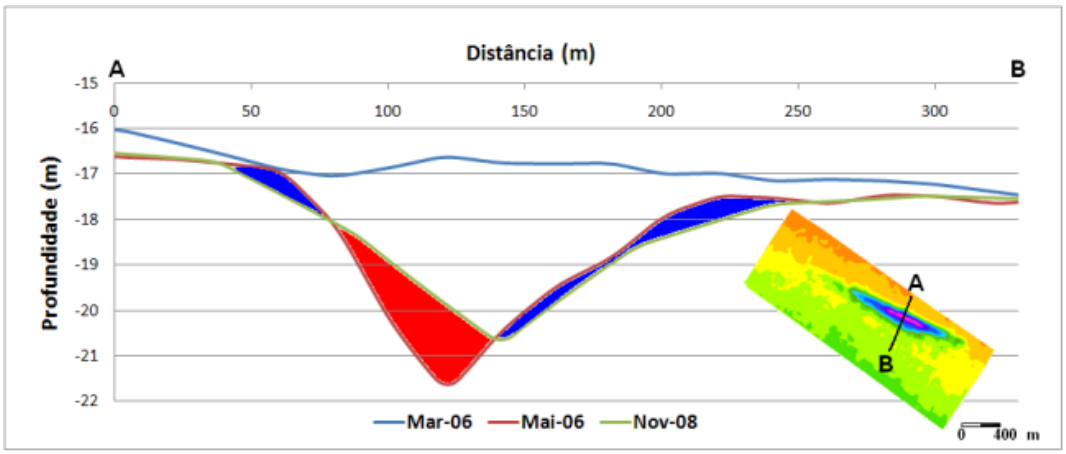


b)

Figura 93 – (a) Perfil transversal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil que o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos.



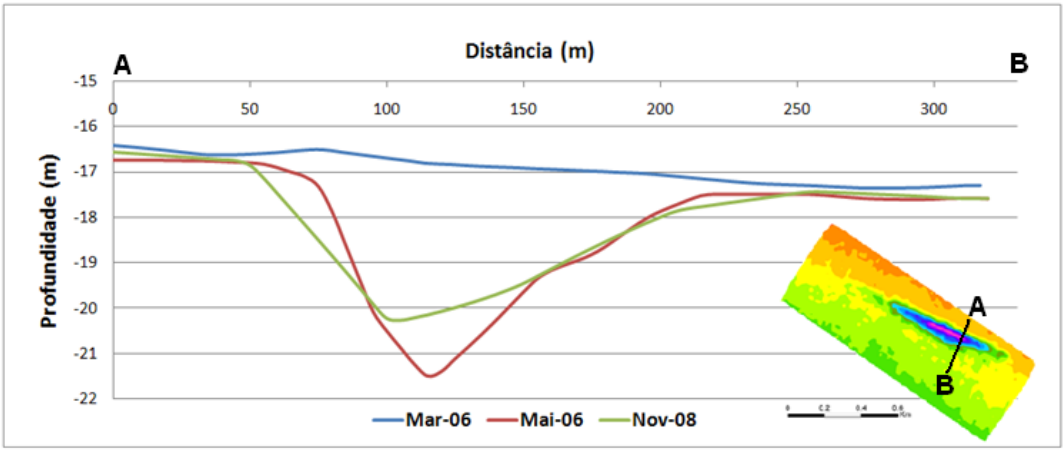
a)



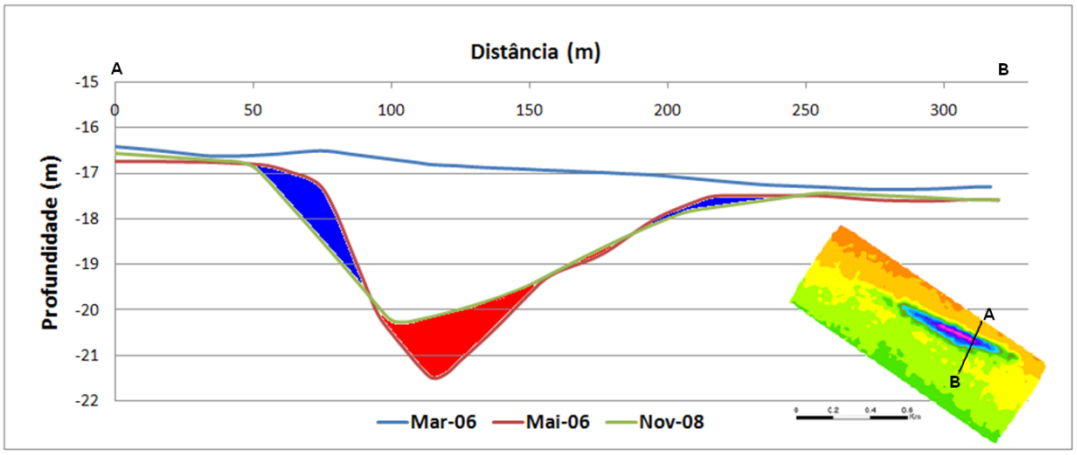
b)

Figura 94 – (a) Perfil transversal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil que o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos.

Para verificar se esta assimetria é real ou resulta somente da deficiente cobertura de dados, é manifestamente necessário preceder a um levantamento de detalhe nesta zona, de preferência com batimetria multifeixe.



a)



b)

Figura 95 – (a) Perfil transversal ao eixo principal da escavação. (b) Mesmo perfil que o anterior, mas com indicação das zonas onde ocorreu remoção (a azul) e acumulação (a vermelho) de sedimentos.

Estimativa de enchimento da escavação profunda

Tentou-se de seguida estimar a taxa de enchimento de uma área essencialmente circunscrita à escavação profunda realizada em 2006, de modo a poder obter uma estimativa do tempo de persistência da maior perturbação da batimetria realizada. Para esse efeito foram usadas duas estimativas: uma primeira que se baseia no enchimento da escavação ocorrido entre Maio de 2006 e Novembro de 2008 (30 meses) e assume que a taxa de enchimento é constante; e uma segunda estimativa que já considera a taxa de enchimento variável, sendo por isso mais realista.

1ª estimativa: neste caso, o tempo de enchimento (t) é estimado através da razão entre o volume inicial escavado (V_0) e o volume acumulado anualmente (V_a):

$$T = \frac{V_0}{V_a} \qquad \text{(Equação 8)}$$

Assim, considerando apenas uma área que envolve a escavação profunda obtêm-se 214000m^3 de sedimento removido na extração de 2006 (V_0) e uma recuperação de 14000m^3 passados 2,5 anos, ou seja, em Novembro de 2008. Considerando estes valores, obtém-se uma estimativa do tempo de enchimento da escavação de aproximadamente 40 anos.

2ª estimativa: neste caso tem-se em conta que a taxa de enchimento não é constante e que o volume da escavação vai ter uma evolução o longo do tempo com um decaímento exponencial. Assim, o volume da escavação (V) passado um determinado tempo (t), é calculado, tendo em conta o volume inicial escavado (V_0) e um factor τ que representa uma escala característica de enchimento (o tempo ao fim do qual o volume de escavação é 37% do volume inicial) (Ramos, *et al.*, 2005):

$$V = V_0 \, e^{-t/\tau} \qquad \text{(Equação 9)}$$

Resolvendo esta equação em ordem a τ, obtém-se:

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{V_0}{V}} \qquad \text{(Equação 10)}$$

Após realizados os cálculos com o mesmo valor de V_0 utilizado na 1ª estimativa (214000m^3) e utilizando um valor para V de cerca de 200000m^3 (calculado através da diferença entre o volume escavado de 214000m^3, e o volume acumulado nos 2.5 anos, de 14000m^3), determinou-se que a escavação irá recuperar para 37% do volume de escavação inicial em cerca de 38 anos. Assim, o tempo necessário para a recuperação total da escavação será, neste caso, superior ao estimado

assumindo um enchimento constante ao longo do tempo (1ª estimativa), uma vez que se espera uma diminuição da taxa de enchimento à medida que a escavação vai sendo preenchida por sedimentos.

V.4. Trabalho Futuro e Recomendações

De todo o trabalho realizado ressalta claramente o facto de que, no caso de se pretender monitorizar devidamente a evolução da recuperação de uma área de escavação é manifestamente necessário efectuar, antes e após as escavações, levantamentos batimétricos com sistemas multifeixe com sensores de movimento, nomeadamente *pitch* (cabeceamento) e *roll* (balanço bombordo estibordo), com posicionamento por GPS diferencial, e com correcções cuidadosas dos efeitos de maré e da profundidade e offsets dos sensores. De outra forma os erros associados aos levantamentos batimétricos convencionais, condicionam muito uma análise rigorosa e detalhada da evolução da área da escavação e o cálculo dos volumes acumulados e extraídos.

No caso estudado verificou-se que por muito que se tente corrigir os erros, esta correcção será sempre insuficiente para uma análise rigorosa dos dados e não permite tirar conclusões fidedignas sobre os detalhes dos processos. Assim, de forma a poder constranger melhor a análise deste caso de estudo em particular, pensa-se que seria muito importante dispor dos dados dos levantamentos originais e dos logs da aquisição, de forma a poder efectuar as correcções necessárias aos dados.

Atendendo a que esta área de estudo é um dos poucos casos em Portugal onde se podem investigar estes processos com algum detalhe, realça-se a importância de se poder vir a continuar a monitorização desta escavação com levantamentos batimétricos adequados durante os próximos anos, de forma a verificar as previsões relativas ao tempo de recuperação da escavação e analisar em detalhe

a evolução morfológica e o balanço sedimentar não só na área da escavação, mas também na área circundante.

Seria ainda importante analisar nesta mesma área a evolução dos ecossistemas associados de forma e poder compreender como os organismos se vão adaptando a estas novas condições.

Bibliografia

Alpar, B.; Yuksel, Y.; Dogan, E; Gazioglu, C; Çevik, E.; Altmok, Y., 2001. *An Estimate of Detailed Depth Soundings in Izmit Bay Before and After 17 August 1999 Earthquake*. Turkish Journal Marina Sciences, Vol. 7; pp. 3-18.

Azevedo, A. J., 1990. *Vento*. Noícia Explicativa I.7, Atlas do Ambiente, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Lisboa, 23 p.

Bender, C.J.; Dean, R.G., 2003. *Wave Field Modification by Anomalies and Resulting shoreline Changes: a Review with Recent Results*. Coastal Engineering; Vol.49; pp. 125-153.

Carter, G.S.; Shankar, U., 1997. *Creating Bathymetry Grids for Environmental Numerical Modelling of Gravel-bed Rivers*. Application Math. Modelling, Vol. 21; pp. 699-708.

CCDRA, 2003. *Relatório do Estado do Ambiente – Algarve 2003*. Comissão Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional; 66p.

Coelho, C., 2009. *Dinâmica Sedimentar*. 1º Curso Técnico de Dragagens – Aveiro 2009.

Cooper, K.; Boyd, S.; Eggleton, J.; Limpenny, D.; Rees, H.; Vanstaen, K., 2007. *Recovery of the Seabed Following Marine Aggregate Dredging on the Hastings Shingle Bank off the Southeast Coast of England*. Estuarine Coastal and Shelf Science, Vol. 75; pp. 547-558.

Costa, P.; Simões, T.; Estranqueiro, A., 2006. *Avaliação do Potencial Eólico da Região do Algarve*. Projecto ENERSUR; Parceria AREAL-INETI.

Davis, J.D., 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley e Sons, New York; pp. 375-390.

Decisão 2001/118/CE de 16 de Janeiro de 2001, Decisão da Comissão.

Decreto-Lei Nº 69/2000 de 3 de Maio; Diário da República 102 - Série I – A; Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei nº 197/2005 de 8 de Novembro de 2005, Diário da República 214 - Série I – A; Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Dias, J.M.A., 2003. *Portugal e o Mar: Importância da Oceanografia para Portugal*. Universidade do Algarve, Faro, 14 p.

Dias, J.M.A., 2005. *Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos e Naturais*. Encontros Científicos - Tourism & Management Studies, Nº 1, pp. 8-28.

Dias, J.M.A.; Monteiro, J.H.; Gaspar, L.C., 1980. *Potencialidades em Cascalhos e Areias da Plataforma Continental Portuguesa*. Serviços Geológicos de Portugal, t. 66, Lisboa, pp. 227-240.

Dias, R.P., 2001. Neotectónica da Região do Algarve. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; 369 p.

Diaz, R.J.; Cutter, G.R.; Hobbs, C.H., 2004. Potencial Impacts of Sand Mining *Offshore Maryland and Delaware: Part 2 – Biological Considerations*. Journal of Coastal Research; Vol. 20, Num. 1; pp. 61-69.

Diesing, M.; Schwarzer, K.; Zeiler, M.; Klein, H., 2004. *Comparison of Marine Sediment Extraction Sites by Means of Shoreface Zonation*. Journal of Coastal Research; Special Issue, Vol. 39.

Directiva 75/442/CEE de 15 de Julho de 1975, Directiva do Conselho.

Directiva 85/337/CE de 27 de Junho de 1985, Directiva do Conselho.

Directiva 97/11/CE de 3 de Março de 1997, Directiva do Concelho.

Directiva 99/31/CE de 16 de Abril de 1999, Directiva do Concelho.

Directiva n.º 2000/60/CE de 23 de Outubro de 2000, Parlamento do Europeu e do Conselho.

Directiva 2003/35/CE de 26 de Maio de 2003, Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho.

Faires, J.D.; Burden, R. L., 1993. Numerical methods. PWS Publishing Company; pp. 107-123.

Gomes, F.V., 2009. *Alimentação Artificial de Praias a Sul da Barra de Aveiro*. 1º Curso Técnico de Dragagens - Aveiro 2009.

Gomes, F.V.; Barroco, A.; Pereira, A.; Reis, C.; Calado, H.; Ferreira, J.; Freitas, M.; Biscoito, M., 2006. *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*; Projecto Relatório Grupo de Trabalho – Versão para Discussão Pública; 62 p.

Gonzalez, M.V., 2004.*Historia y Evolution de los Dragados* in 2º Curso General de Dragados, Puertos del Estado, Edición 1ª, pp. 13-26.

Hitchcock, D.; Bell, S., 2004. *Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits*. Journal of Coastal Research; Vol. 20, Num. 1; pp. 101-114.

IH, 2009. *Bóias Ondógrafo*. {http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php} (Julho, 2009).

IHO; 2005. *Manual on Hydrography*. International Hydrographic Organization; . International Hydrographic Bureau, 1st Edition, Monaco; 540 p.

IM, 2006. *Caracterização Climática – Ano 2006*. Instituto de Meteorologia, I.P., Lisboa, 40 p.

Isaaks, E.H; Srivastava, R.M., 1989. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York; 561 p.

Kubicki, A.; Manso, F.; Diesing, M., 2007. *Morphological Evolution of Gravel and Sand Extration Pits, Tromper Wiek, Baltic Sea*. Estuarine Coastal and Shelf Science, Vol. 71; pp. 647-656.

Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro de 2005, Diário da República 249 Série I-A. Assembleia da República

Lei nº 49/2006 de 29 de Agosto de 2006, Diário da República 166 - Série I. Assembleia da República.

Li, J.; Heap, A.D., 2008. *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Geoscience Australia Record 2008/23; Australia Government; 137 p.

Lopes, F.; Monteiro, A., 2007. *Modelado Cársico no Concelho de Loulé.* {http:\\sapiens.no.sapo.pt} (Julho, 2009).

Magalhães, F.M.Q., 1999. *Os Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa: Contrastes Espaciais, Perspectiva Temporal , Potencialidades Económicas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 289 p.

Manuppella, G.; Rodrigues, A.; Bartolomeu, A.; Leal, S.G.; Ramalho, M.M.; Rocha, R.; Marques, B.; Telles Antunes, M.; Pais, J.; Rey, J., 1985. *Carta Geológica de Portugal, Folha 53-A, Faro (escala 1: 50 000)*. Serviços Geológicos de Portugal – Direcção Geral de Geologia e Minas; 52p.

Manuppella, G.; Ramalho, M.M.; Telles Antunes, M.; Pais, J., 1987. *Notícia Explicativa da Folha 53-A, Faro (escala 1: 50 000)*. Serviços Geológicos de Portugal – Direcção Geral de Geologia e Minas.

MAOTDR, 2007. Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Marques, F.F., 1997. *As Arribas do Litoral do Algarve – Dinâmica, processos e mecanismos*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 556 p.

Merwade, V., 2009. *Effect of Spatial on Interpolation of River Bathymetry*. Journal of Hydrology, doi :10.1016/j.jhydrol.2009.03.026.

Merwade, V.; Maidment, D.R., 2004. *Geospatial Description of River Channels in Three Dimensions*. University of Texas at Austin Center for Research in Water Resources Online Report 04-08; pp. 88-127. {http://www.crwr.utexas.edu/reports/2004/rpt04-8.shtml} (Maio, 2009).

Merwade, V.; Maidment, D.R.; Goff, J.A., 2006. *Anisotropic Considerations while Interpolating River Channel Bathymetry*. Journal of Hydrology, Vol. 331; pp. 731-741.

Moura, D.; Boski, T., 1999. *Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Plistocénico no Algarve*. Comunicação Instituto Geológico e Mineiro, t. 86, pp. 85-106.

Nairn, R.; Johnson, J.A.; Hardin, D.; Michel, J., 2004. A Biological and Physical *Program to Evaluate Long-Term Impacts from Sand Dredging Operations in the Outer Continental Shelf*. Journal of Coastal Research, Vol. 20, Num. 1; pp. 126-137.

Newell, R.C.; Seiderer, L.J.; Simpson, N.M.; Robinson, J.E., 2004.*Impacts on Marine Aggregate Dredging on Benthic Macrofauna off the South Coast of the United Kingdom*. Journal of Coastal Research, Vol. 20, Num. 1; pp. 115-125.

Oliveira, S.M., 2005. *Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve)*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Tese de Mestrado; 115p.

Paiva, R., 2009. *Definição do Campo de Actividade das Dragagens*. 1º Curso Técnico de Dragagens – Aveiro 2009.

Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Pórtela, M.M.; Hipólito, J.R., 1999. *Modelo do Escoamento superfícial em Malhas Triangulares Irregulares. Resolução Numérica Pelo Método Explícito de Euler e por um Método Implícito*. Ingenieria del Agua, Vol. 6, Num. 2; pp. 163-178.

Ramos, M., Silva, P.A. e F. Sancho, 2005. *Morphological modelling using a 2DH model*. In van Rijn, L., Soulsby, R., Hoekstra, P., Davies, A.G. (Eds.) SANDPIT – Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits. Aqua Publications, The Netherlands, ISBN 90-800356-7-X, pp. AT 1-10

Rebêlo, L., 2004. *Evolução e Dinâmica dos Sistemas Dunares da Manta Rota e do Guincho-Oitavos: Dois Sistemas Distintos na Evolução das Dunas Costeiras em Portugal*. Dissertação referente às provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar do Instituto Geológico e Mineiro; pp. 45-51.

Robinson, J.E.; Newell, R.C., Seiderer, L.J.; Simpson, N.M., 2005. *Impacts of Aggregate Dredging on Sediments Composition and Associated Benthic Fauna at an Offshore site in the Southern North Sea*. Marine Environmental Research, Vol. 60; pp. 51-68.

Roos, P.C., 2004. *Seabed Pattern Dynamics and Offshore Sand Extraction*. PhD Thesis, University of Twente, The Netherlands.

Roos, C.P.; Hulscher, S.H.; de Vriend, H.J., 2008. *Modelling the Morphodynamic Impact of Offshore Sandpit Geometries*. Coastal Engineering, Vol. 55; pp. 704-715.

Silva, M.; 1988. *Hidrogeologia do Miocénico do Algarve*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Departamento de Geologia. Lisboa. 496p.

Van Rijn, L. e Walstra, D.J., 2002. *Morphology of Pits, Channels and Trenches*. Part I: Literature Review and Study Approach. Report Z3223, WL Delft Hydraulics.

Sambridge, M.; Braun, J.; McQueen, H.,1995. Geophysical Parameterization and *Interpolation of Irregular Data using Natural Neighbours*. Geophysical Journal International, pp. 837–857.

Sambridge, M.; Braun, J.; McQueen, H.,1996. *Computational Methods for Natural Neighbours Interpolation in Two and Three Dimensions*. In Computational Techniques and Applications: CTAC95, pp. 685–692.

Sibson, R., 1981. *A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation*, Chapter 2 in Interpolating multivariate data, John Wiley & Sons, New York, pp. 21-36.

Silva, M., 1988. *Hidrogeologia do Miocénico do Algarve.* Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 496 p.

Silva, P., 2009. *Exploração de Inertes na Plataforma Continental*. 1º Curso Técnico de Dragagens – Aveiro 2009.

Sukumar, N.; Moran, B.; Yu Semenov, A.; Belikov, V.V., 2001. *Natural Neighbour Galerkin Methods*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 50, pp.1-27.

Taborda, R.; Magalhães, F.; Ângelo, C., 2005. *Evaluation of Coastal Defence Strategies in Portugal*. Environment Friendly Coastal Protection Structures. Dean, B. And Zimmermann, C. (Eds). Kluwer, Netherlands.

Teixeira, C., 1981. *Geologia de Portugal* - Vol. I - Precâmbrico, Paleozóico. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa; pp. 13-44.

Teixeira, F.C., 1997. *Contribuição dos Métodos Geofísicos para o Estudo da Evolução Geológica da Ria de Aveiro e da Plataforma Continental Adjacente*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro; pp.63-75.

Teixeira, S.B., 2009. *Alimentação Artificial de Praias com Agregados no Algarve*. 1º Curso Técnico de Dragagens, Aveiro.

Terrinha, P., 1998. Structural Geology and Tectonic Evolution of the Algarve Basin, South Portugal. PhD dissertation. Imperial College, London, 430 p.

Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M.R., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R.P., Gafeira, J., Matias, H., Matias, L., Madeira, J., Marques da Silva, C., Munhá, J., Rebêlo, L., Ribeiro, C., Vicente, J.; Youbi, N., 2006. *A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica* In: Dias ,R.; Araújo, A.; Terrinha, P.; Kullberg, J.C.(Eds), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*; Universidade de Évora, pp. 247-316.

Trindade, M.J.F., 2007. *Geoquímica e Mineralogia de Argilas da Bacia Algarvia: Transformações Térmicas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 432 p.

Verfaillie, E.; Lancker, V.V.; Meirvenne, M.V., 2006. *Multivariate Geostatistics for the predictive modelling of the superficial sand distribution in shelf seas*. Continental Shelf Research 26; pp. 2454-2468.