



**Universidade de  
Aveiro  
Ano 2018**

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Flávia Andreia  
Cerqueira Peixoto**

**Os impactos de incêndios florestais e gestão pós-  
fogo na qualidade do solo e sua erosão hídrica em  
plantações de eucalipto**





**Flávia Andreia  
Cerqueira Peixoto**

**Os impactos de incêndios florestais e gestão pós-  
fogo na qualidade do solo e sua erosão hídrica em  
plantações de eucalipto**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria de Fátima Lopes Alves, Professora Auxiliar com Agregação do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e co-orientação do Doutor Jan Jacob Keizer, Investigador Principal do Departamento de Ambiente e Ordenamento e da Doutora Dalila Serpa, investigadora em regime pós-doutoramento no Departamento de Ambiente e Ordenamento e do Engenheiro Sérgio Fabres, Coordenador da área da Silvicultura do RAIZ.



...porque um herói não se esquece.



## **o júri**

presidente

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela**

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Doutor Jan Jacob Keizer**

Investigador Principal do Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Doutora Carla Sofia Santos Ferreira**

Investigadora pós-doutorada do Departamento de Ambiente da Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC)





## **agradecimentos**

Em primeiro lugar, agradeço aos orientadores, Professora Doutora Fátima Alves, Doutor Jan Jacob Keizer e Doutora Dalila Serpa, Engenheiro Sérgio Fabres, pela confiança e apoio ao longo da realização do trabalho.

Ao Raiz, em especial à Doutora Ana Quintela e Engenheiro Cláudio Teixeira que sempre se mostraram disponíveis para qualquer questão, contribuindo para o meu processo de aprendizagem.

Ao Doutor Oscar González-Pelayo pelas dicas, ajuda, motivação e paciência, assim como também a toda a equipa ESP, que sempre me apoiaram incondicionalmente.

A toda a minha família, pois, sem eles nada disto seria possível. E aos meus amigos que contribuíram para esta jornada, em especial à Daniela pelo companheirismo e pelas vezes que me fazia ver a “luz ao fundo do túnel”.

A todos MUITO OBRIGADA!



## palavras-chave

Incêndio florestal, erosão hídrica, “mulching”, eucalipto, gestão pós-fogo.

## resumo

Os incêndios florestais e as práticas de gestão pós-fogo são indissociáveis. Em Portugal, nos últimos anos, tem ardido uma extensa área de floresta, principalmente de produção, pelo que as operações de gestão pós-fogo se avizinham frequentes.

De forma a avaliar os efeitos dos incêndios e gestão pós-fogo na perda física e nas características do solo via erosão hídrica, recorreu-se ao estudo de áreas de povoamentos de produção florestal recentemente sujeita a um fogo florestal. Em adição, também se procurou fazer a identificação e análise de potenciais medidas mitigadoras dos impactos dos incêndios no ecossistema florestal na gestão pós-fogo.

A avaliação dos processos de fenómenos erosivos foi feita mediante instalação de 9 parcelas de erosão (16 m<sup>2</sup> cada), sendo 3 delas num terreno sem gestão (C) e 6 delas numa plantação sob gestão de uma empresa de gestão florestal, com respetiva gestão. Destas 6 parcelas, 3 apresentavam diferentes severidades de incêndio avaliado pela quantidade de folhada que permaneceu na copa da árvore no pós-fogo, um “mulching” natural (LS- *Lower Severity* e HS – *Higher Severity*) sobre o solo. Nas parcelas de ensaio foi feita a caracterização do solo e da folhada residente sobre o solo e feita a monitorização regular para recolha do solo retido nas parcelas de erosão. Foi ainda efetuada análise da biomassa radicular nas parcelas instaladas.

Ao nível de resultados de caracterização do solo e de perda física de solo (g/cm<sup>2</sup>) verificam-se diferenças entre os blocos de parcelas. No bloco sem gestão florestal, os valores de perda de solo foram cerca de 15 vezes superiores aos blocos do povoamento com gestão florestal.

Havendo intervenção de gestão futura dos povoamentos onde se instalaram os blocos de ensaio (rearborização ou gestão em talhadia), recomenda-se o corte e rechega da madeira à curva de nível, preferencialmente fora do período de maior pluviosidade, utilizando os sobrantes de exploração como “mulching”. Os resultados obtidos no presente estágio evidenciam que a montante da mitigação de fenómenos erosivos no solo, num cenário de pós-fogo, está a sua prevenção com uma gestão florestal adequada e responsável dos povoamentos.



**keywords**

Forestry fire, erosion, mulching, eucalyptus, post-fire management.

**abstract**

Forest fires and post-fire management practices are inseparable. In Portugal, in recent years, an extensive area of forest has been burned, mainly of production, reason why the post-fire management operations are frequent.

In order to evaluate the effects of fires and post-fire management on physical loss and soil characteristics through water erosion, we used the study of areas of stands of forest production recently subject to a forest fire. In addition, it was also sought to identify and analyze potential mitigation measures of the impacts of fires on the forest ecosystem in post-fire management.

Erosion processes were evaluated through the installation of 9 erosion plots (16 m<sup>2</sup> each), 3 of them on unmanaged land (C) and 6 on a plantation under management by the forest management company. Of these 6 plots, 3 had different fire severities evaluated by the amount of puff that remained in the tree canopy in the post-fire, a natural mulching (LS- Lower Severity and HS - Higher Severity) on the soil. In the test plots the characterization of the soil and the resident puff was carried out on the soil and regular monitoring was done to collect the soil retained in the erosion plots. Root biomass was also analyzed in the installed plots.

At the level of soil characterization results and soil physical loss (g / cm<sup>2</sup>), there are differences between the blocks of plots. In the block without forest management, the values of soil loss were about 15 times higher than the blocks of the stands with forest management.

If there is a future management intervention of stands where the test blocks (re-drilling or management in coppice) have been installed, it is recommended to cut and trim the wood to the level curve, preferably outside the period of higher rainfall, using the leftovers as "mulching". The results obtained in the present stage show that upstream of the mitigation of erosive phenomena in the soil, in a post-fire scenario, is its prevention with adequate and responsible forest management of stands.



*Agradecimentos*

*Resumo*

*Abstract*

***Índice de figuras ..... XVII***

***Índice de tabelas ..... XIX***

***Capítulo 1 – Introdução ..... 1***

**1.1 Contextualização do estágio ..... 1**

**1.2 Entidades envolvidas no estágio ..... 2**

1.2.1 Orientação Científica: ESP Team ..... 2

1.2.2 Instituição de acolhimento: RAIZ ..... 4

**1.3 Enquadramento do tema e objetivos do estágio ..... 8**

**1.4 Metodologia de estágio ..... 10**

**1.5 Estrutura do relatório ..... 12**

***Capítulo 2 – Enquadramento teórico ..... 15***

**2.1 A importância da floresta ..... 15**

**2.2 A floresta e os incêndios florestais ..... 17**

**2.3 Silvicultura do eucalipto ..... 21**

**2.4 Gestão pós-fogo de povoamentos de eucalipto ..... 24**

***Capítulo 3 – Material e métodos ..... 27***

**3.1 Área de estudo ..... 27**

3.1.1 Local de estudo ..... 27

3.1.2 Climatologia ..... 27

3.1.3 Uso do solo ..... 28

3.1.4 Histórico de incêndios ..... 29

**3.2 Desenho Experimental ..... 31**

**3.3 Dados de campo e amostragem ..... 33**

3.3.1 Amostragem ..... 33

3.3.2. Caracterização das parcelas de ensaio ..... 34

**3.4 Análise laboratorial das amostras ..... 35**

3.4.1 Caracterização do solo ..... 35

3.4.2 Caracterização do material vegetal ..... 43

3.4.3 Monitorização da erosão ..... 43

***Capítulo 4 – Resultados e discussão ..... 45***

**4.1 Dados de campo ..... 45**

4.1.1 Caracterização das parcelas de erosão .....	45
<b>4.2 Análise laboratorial de amostras .....</b>	<b>47</b>
4.2.1 Caracterização do solo.....	47
4.2.2 Caracterização do material vegetal .....	58
4.2.3 Monitorização da erosão .....	60
<b>Capítulo 5 – Considerações finais .....</b>	<b>63</b>
5.1 Conclusões .....	63
<b>Capítulo 6 – Bibliografia .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>71</b>
Anexo I .....	71
Anexo II .....	72
Anexo III .....	73



## Índice de figuras

<b>Figura 1-</b> Logótipo do ESP Team (ESP team 2017) .....	2
<b>Figura 2-</b> Organigrama da ESP team .....	3
<b>Figura 3-</b> Concelhos de estudo da equipa ESP, em Portugal. ....	4
<b>Figura 4-</b> Logótipo do RAIZ (Raiz 2018) .....	4
<b>Figura 5-</b> Organigrama do RAIZ (Raiz 2018).....	7
<b>Figura 6-</b> Cronograma de atividades realizadas no desenvolvimento deste trabalho.....	10
<b>Figura 7-</b> Metodologia para a revisão bibliográfica. ....	11
<b>Figura 8-</b> Tarefas principais seguidas de forma a dar resposta aos objetivos. ....	12
<b>Figura 9-</b> Distribuição, em percentagem, do uso do solo em Portugal continental no ano 2010 (ICNF 2013). ....	15
<b>Figura 10-</b> Evolução do uso dos solos em Portugal continental (1995-2010) (ICNF 2013). ....	16
<b>Figura 11-</b> Distribuição das espécies por áreas totais (ICNF 2013). ....	17
<b>Figura 12-</b> Distribuição das áreas ardidas em Portugal de 1990-2017 (ICNF 2017). ....	18
<b>Figura 13-</b> Distribuição do número médio de ocorrências com causa apurada, no período 2003-2013 (ICNF 2014). ....	19
<b>Figura 14-</b> Modelo de erosão pós-fogo (adaptado de SHAKESBY, 2011).....	20
<b>Figura 15-</b> Compasso de plantação num povoamento de eucalipto. ....	23
<b>Figura 16-</b> Modelo de erosão do solo ardido potenciado pela gestão pós-fogo. ....	24
<b>Figura 17-</b> Localização da área de estudo em Serpins. ....	27
<b>Figura 18-</b> Registo termopluiométrico obtido pela da estação de Coimbra entre o período de 1961 e 1990 (GTF Lousã 2007). ....	28
<b>Figura 19-</b> Ocupação dos solos em Serpins, 2005 (GTF Lousã, 2007).....	29
<b>Figura 20-</b> Distribuição dos povoamentos florestais nas áreas florestais (GTF Lousã, 2007). ....	29
<b>Figura 21-</b> Histórico de incêndios em Serpins no período 1990-2016.....	30
<b>Figura 22-</b> Locais de estudo onde foram instaladas as parcelas de erosão, identificando o bloco I e II (com gestão silvícola e plantação com mobilização do solo à curva de nível, com evidencia de diferente severidade de fogo) e bloco III (sem gestão silvícola). ....	32
<b>Figura 23-</b> Desenho experimental das parcelas de erosão com bloco I e II, povoamento com gestão silvícola, e bloco III, sem gestão silvícola pré-fogo.....	32
<b>Figura 24-</b> Esquema de amostragem realizada a uma profundidade de 20 cm, de solo e folhada, e às profundidades de 0-2 cm e de 2-7 cm, por cada parcela de sedimentação.....	34
<b>Figura 25-</b> Diagrama para a classificação da textura. A classe textural do solo efetuada mediante a interseção das percentagens de limo, argila e areia obtidas. Onde, Ar (Arenoso), ArF (Arenoso-Franco), FAr (Franco-Arenoso), F (Franco), FAAr (Franco-Argilo-Arenosa), FA (Franco-Argilosa), AAr (Argilo-Arenosa), A (Argiloso), AL (Argilo-Limoso), FAL (Franco-Argilo-Limoso), FL (Franco-Limoso) e L (Limoso). ....	41
<b>Figura 26-</b> Wet Sieving Apparatus (Aparelho de peneiração húmida) .....	42
<b>Figura 27-</b> Medidores de precipitação e intensidade, a) medidor totalizador e b) medidor automático .....	44
<b>Figura 28 -</b> Rugosidade média das parcelas por tratamento considerado, onde HS e LS correspondem à plantação com gestão e C sem gestão florestal (valores de rugosidade por parcela de erosão podem ser consultados no anexo II). ....	47
<b>Figura 29-</b> Perfil médio representativos do tipo de solo da área de estudo.....	48
<b>Figura 30 -</b> Resultados do pH do solo medido nos blocos em estudo para uma profundidade de solo de 0-2 cm, 2-7 cm e 0-20 cm. ....	49
<b>Figura 31 -</b> Condutividade elétrica de tratamento, segundo duas metodologias diferentes, medida com amostras de solo recolhidas a 0-2 cm e 2-7 cm. ....	50
<b>Figura 32 -</b> Condutividade elétrica diferentes tratamentos, medida com amostras de solo recolhidas a 0-20 cm.....	51

<b>Figura 33-</b> Quantificação da matéria orgânica no solo dos blocos do ensaio em Serpins a profundidades de 0-2 cm e 2-7 cm através do método da calcinação e pelo método Walkley-Black. ....	53
<b>Figura 34 -</b> Densidade aparente do solo dos blocos de ensaio em Serpins a diferentes profundidades (0-2 cm – fração total, 2-7 cm – fração total e 0-20 cm fração <2 mm).....	54
<b>Figura 35-</b> Biomassa radicular e densidade aparente média nas profundidades de 0-2 cm a 2-7 cm para os blocos de ensaio, Serpins, 2018. ....	55
<b>Figura 36-</b> Composição média do solo por tratamento do ensaio instalado em 2018, em Serpins, tendo em conta a biomassa radicular (raízes grandes e pequenas) e a percentagem de partículas do solo com dimensões superiores a 2mm, em percentagem. ....	56
<b>Figura 37 –</b> Análise granulométrica do solo de cada parcela de erosão no ensaio de Serpins, 2018. ....	56
<b>Figura 38-</b> Quantidade de sedimentos exportados por ação da erosão hídrica, por tratamento (média de 3 parcelas), por cada “read out” no ensaio de Serpins, 2018.....	60
<b>Figura 39 -</b> Precipitação (mm) e I30 (mm/h) no período de ensaio de Serpins. (RO – Read out) ..	61
<b>Figura 40 -</b> Rugosidade média por parcela de erosão, considerando 3 medições por cada um.....	72

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1-</b> Classificação do pH adotada pelo RAIZ (Costa 1999) .....	36
<b>Tabela 2-</b> Classificação do grau de repelência, segundo Bisdorn et al. (1993). .....	42
<b>Tabela 3-</b> Caracterização dos blocos e avaliação dendrométrica dos eucaliptos dos blocos de ensaio, Serpins, 2018.....	46
<b>Tabela 4-</b> Características físicas do solo para o perfil médio da área de estudo. Onde a textura, consoante a profundidade, é classificada como: ArFhum – Arenoso Franco húmífero; FAr – Franco Arenoso; ArF – Arenoso Franco. ....	48
<b>Tabela 5-</b> Resultados da avaliação da fertilidade do solo (0-20 cm de profundidade) amostrado nas parcelas dos locais de ensaio em Serpins, em plantações de eucalipto, para os parâmetros MO (matéria orgânica), N total (Azoto total), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), K (Potássio), Na (Sódio), GSBe (grau de saturação de bases efetiva) e CTCe (Capacidade de troca catiónica efetiva). Cada número de parcela corresponde a uma amostra de solo composta. ....	52
<b>Tabela 6-</b> Resultados da avaliação da fertilidade do solo (0-20 cm de profundidade) amostrado nas parcelas dos locais de ensaio em Serpins, em plantações de eucalipto, para os micronutrientes: Zn (Zinco), Cu (Cobre), Mn (Manganês), Fe (Ferro), B (Boro). Cada número de parcela corresponde a uma amostra de solo composta.....	52
<b>Tabela 7-</b> Resultados da repelência do solo de Serpins à água e matéria orgânica classificadas segundo a mediana de valores num universo de 9 amostras (n) por cada fração granulométrica. ...	57
<b>Tabela 8-</b> Estabilidade dos agregados do solo dos blocos de ensaio de Serpins à ação de erosão hídrica.....	58
<b>Tabela 9</b> – Quantidade e caracterização química do mulching amostrado em cada parcela de ensaio, em Serpins, janeiro de 2018 no que se refere aos parâmetros N (azoto), P (fósforo), K (potássio), Mg (magnésio), S (enxofre), Fe (ferro), Mn (manganês), B (boro), Cu (cobre) e Zn (zinco). ....	59
<b>Tabela 10</b> - Percentagem de perdas de “mulch” em relação à concentração inicial medida através de amostragem no local, ilustrado pelas figuras referentes à primeira amostragem e à última monitorização da área de estudo. ....	62
<b>Tabela 11-</b> Tempo de sedimentação para pipetagem das frações limo + argila e argila a 10 cm de altura de queda. ....	71
<b>Tabela 12-</b> Dados relativos à repelência de água por cada parcela com identificação da média e mediana dos valores e matéria orgânica a uma profundidade de 0-2 cm. ....	73
<b>Tabela 13-</b> Dados relativos à repelência de água por cada parcela com identificação da média e mediana dos valores e matéria orgânica a uma profundidade de 2-7 cm. ....	78



## 1.1 Contextualização do estágio

Este trabalho está enquadrado na componente dissertação/estágio do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, administrado no Departamento de Ambiente e Ordenamento (DAO) da Universidade de Aveiro (UA).

O estágio curricular teve como tema “os impactos de incêndios florestais e gestão pós-fogo na qualidade do solo e sua erosão hídrica em plantações de eucalipto”. Este resultou de uma parceria entre a ESP Team, que possui uma vasta experiência em estudos de erosão hídrica e minimização de impactos derivados do fogo, e o RAIZ reconhecido pelos estudos e serviços ao nível da floresta e do eucalipto, que permitiram uma análise enquadrada no contexto laboral.

Conforme o acordo estipulado pelas entidades em questão, este decorre entre as datas de 10/10/2017 e 31/07/2018 apresentando uma duração de 810 horas de trabalho. O estágio teve lugar nas instalações das entidades envolvidas (Universidade de Aveiro e RAIZ- Eixo), mediante as tarefas delegadas. A orientação foi da responsabilidade da Professora Doutora Maria de Fátima Lopes Alves, professora Auxiliar do DAO, a coorientação esteve ao encargo do Doutor Jan Jacob Keizer e da Doutora Dalila Serpa. Na equipa ESP o responsável pela minha orientação ao nível laboral foi o Doutor Óscar González-Pelayo. Ao nível da instituição de acolhimento, RAIZ, a orientação foi da responsabilidade do Engenheiro Sérgio Fabres, com o apoio da Doutora Ana Quintela e do Engenheiro Cláudio Teixeira.

## 1.2 Entidades envolvidas no estágio

### 1.2.1 Orientação Científica: ESP Team

Com o início do projeto “Erosfire”, a Equipa ESP (Earth Surface Processes) foi fundada em 2005 (ESP team 2017). A ESP (figura 1) é uma das quatro equipas do grupo G\_Intra, coordenada pela Professora Doutora Fátima Alves, do DAO.

A ESP apresenta como missão o desenvolvimento da área de investigação de estudos hidrológicos do CESAM. O CESAM é o laboratório associado ao departamento de ambiente e ordenamento (DAO) que desenvolve pesquisa ao nível do meio

ambiente, com especial destaque nas áreas marinhas e costeiras. Com a ESP pretende efetuar uma avaliação integrada dos impactos do uso do solo inerentes aos processos de superfície da terra e das águas superficiais de forma a fornecer bases científicas para um uso mais sustentável dos recursos hídricos e terrestres (CESAM 2009).

A ESP, desde a sua formação, tem integrado diversos projetos desde os nacionais e financiados pela União Europeia, às bolsas quer de doutoramentos quer de pós-doutoramento e aos inúmeros alunos, de diversos países, de mestrado ou pós-graduações, que permitem intercâmbio de informação e metodologias desenvolvendo o grupo em questão (ESP team 2017).

#### Organigrama institucional

A equipa ESP, atualmente, é composta por 23 pessoas, como é possível verificar pela figura 2.



Figura 1- Logótipo do ESP Team (ESP team 2017)

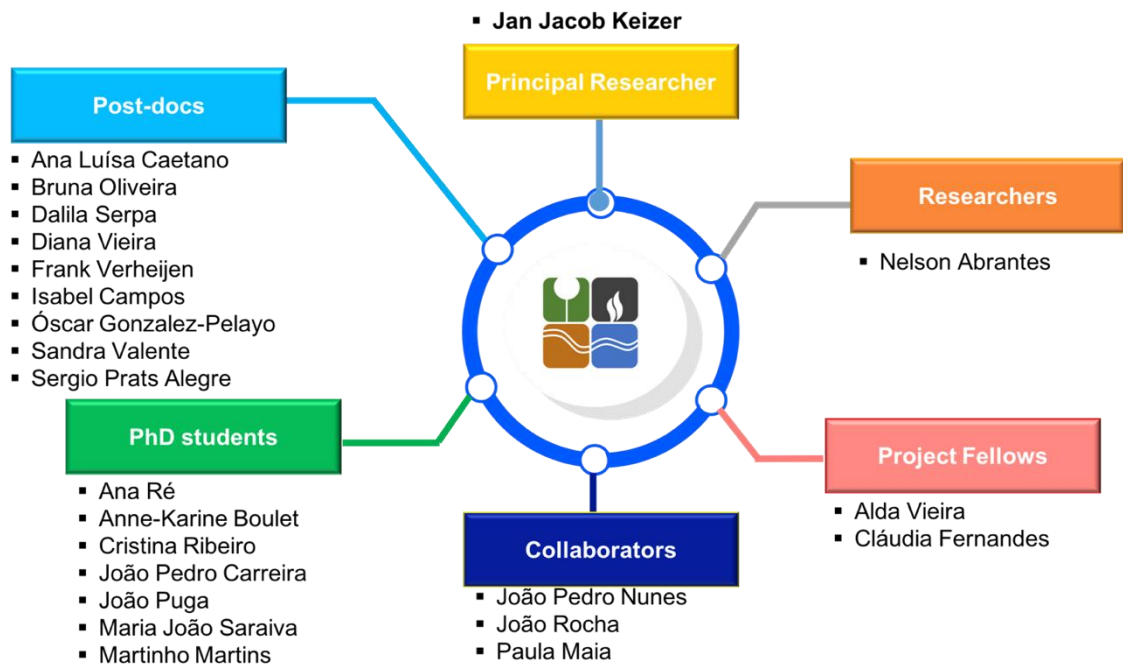


Figura 2- Organograma da ESP team

### Áreas de atuação

A ESP tem como principal foco:

- Impactos dos incêndios florestais relativamente à erosão hídrica e mitigação;
- Efeitos ecotoxicológicos da cinza gerada pelo fogo em organismos aquáticos;
- Hidrologia florestal e modelação eco hidrológica;
- Perdas de carbono e a análise do ciclo de nutrientes e fertilidade do solo;

Assim, a equipa atua maioritariamente em áreas ardidas, de forma a:

- Avaliar os impactos dos incêndios florestais nos ecossistemas aquáticos;
- Analisar impactos das mudanças climáticas nos processos das bacias hidrográficas e nos estados ecológicos das massas de água;
- Garantir a manutenção sustentável de áreas florestais e agrícolas em parceria com as partes interessadas.

Relativamente às áreas de atuação, a ESP apresenta diversas áreas de estudo maioritariamente inseridas no centro de Portugal Continental. A figura 3 apresenta as áreas de estudo das quais durante o período de estágio fiz o acompanhamento.



Figura 3- Concelhos de estudo da equipa ESP, em Portugal.

Os estudos realizados até ao presente têm sido divulgados à comunidade científica através da publicação de diversos artigos. Adicionalmente, é uma equipa cuja projeção inclui diversas aparições em reportagens televisivas, alertando também o público geral para as temáticas da erosão pós-fogo.

### 1.2.2 Instituição de acolhimento: RAIZ

O RAIZ (figura 4), Instituto de Investigação da Floresta e Papel, fundado em 1996, é uma organização privada sem fins lucrativos, cuja atividade se desenvolve numa perspetiva de produção e transformação do conhecimento em produtos, tecnologia e serviços. Este apresenta uma natureza competitiva e pretende otimizar a relação custo/benefício das empresas financiadoras,



Figura 4- Logótipo do RAIZ (Raiz 2018)



umentando as suas vantagens competitivas, garantindo a sustentabilidade empresarial da indústria da celulose e papel e da Companhia (The Navigator Company 2018).

O RAIZ apoia os setores florestal e papelero nas áreas da investigação e desenvolvimento, consultoria, apoio tecnológico e formação especializada. O âmbito de atividade cobre a fileira árvore/papel e surge como resposta do setor à necessidade de identificar a cada momento segmentos prioritariamente elegíveis para a atividade de investigação aplicada, visando otimizar, numa ótica de custo/benefício, as vantagens competitivas da fileira silvo-industrial nacional garantindo a sua sustentabilidade.

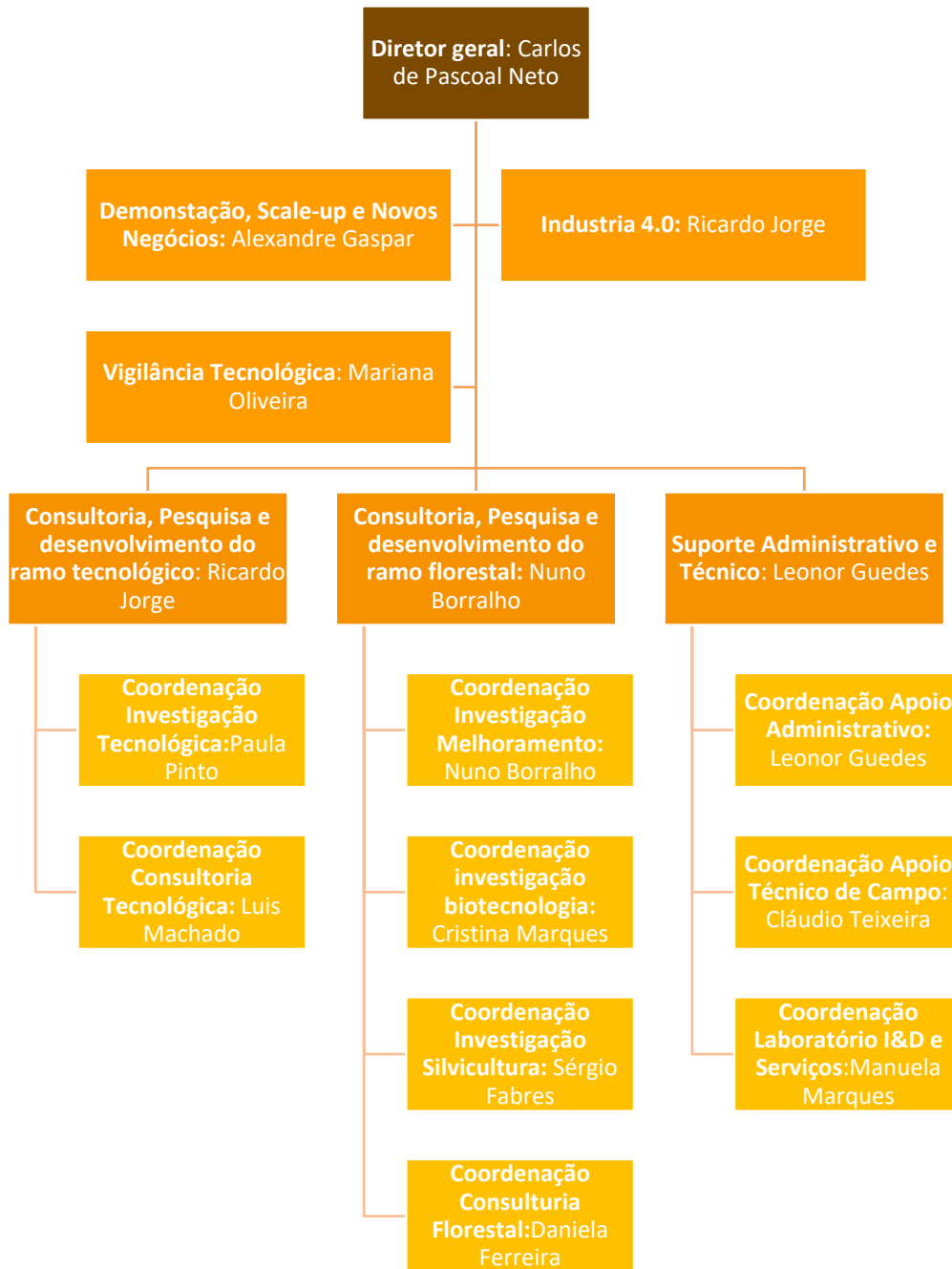
O RAIZ apresenta a si associados a *The Navigator Company*, a Universidade de Aveiro, a Universidade de Coimbra e a Universidade de Lisboa (Instituto Superior de Agronomia) (The Navigator Company 2018).

#### Organigrama institucional

O RAIZ é composto por uma equipa de 51 investigadores e técnicos e 26 bolseiros de investigação e desenvolvimento (I&D) (Raiz 2018). A atividade do RAIZ (figura 5) desenvolve-se em três linhas principais: Investigação Aplicada (tecnologia e floresta), Consultoria e Formação (quadros especializados). O RAIZ possui instalações em Aveiro, na Quinta de São Francisco, onde se localiza a sede do Instituto e se desenvolve a maior parte da atividade de investigação, possui ainda viveiros e parques de hibridação e o laboratório de genética molecular que se encontram em Pegões, na Herdade de Espirra. Possui uma estreita relação com os seus associados e parceiros. Estes permitem uma troca de conhecimento e acesso a novas técnicas e meios de investigação entre equipas. Os parceiros do RAIZ (universidades e institutos de investigação), são (Raiz 2018):

- Universidade da Beira-Interior
- Universidade do Minho
- Universidade Nova de Lisboa
- Universidade do Porto
- Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Instituto Superior Técnico
- Instituto Fraunhofer
- Laboratório Ibérico de Nanotecnologia

- Instituto de Biologia Experimental e Tecnológica
- Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária
- Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores- Tecnologia e Ciência
- RISE- Bioeconomy
- ELIXIR
- Universidade de Trás os Montes e Alto Douro
- Escola Superior Agrária de Coimbra
- Universidade Católica Portuguesa
- Universidade de Évora
- Escola Superior Agrária de Castelo Branco
- Universidade de Tasmânia, Austrália
- Institutos de Investigação Agrária de Moçambique
- Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique
- AIFF- Associação para a Competitividade da Indústria da Fileira Florestal
- IUFRO: International Union of Forest Research Organisations
- BBI: Bio-Based Industry Consortium
- Smart Waste Portugal: Business Development Network
- Cluster Habitat Sustentável



**Figura 5-** Organograma do RAIZ (Raiz 2018).

O presente estágio foi realizado no âmbito de competência da Investigação e Consultoria Florestal do RAIZ, particularmente na vertente de Silvicultura. A área de Silvicultura contempla o desenvolvimento de competências específicas em diversas temáticas como sejam solos e nutrição florestal, práticas silvícolas, proteção florestal, ecofisiologia e biometria.

## Áreas de atuação

O RAIZ é um instituto multidisciplinar, que tem o seu trabalho direcionado para a investigação e consultoria, focado no ramo tecnológico e florestal. A sua pesquisa é orientada para um uso mais sustentável do eucalipto, garantindo a sua competitividade no mercado da indústria do papel (The Navigator Company 2018). Nesta perspetiva, o RAIZ tem muitas áreas de estudo distribuídas pelo país, nas quais realizam ensaios de campo e monitorizações dos parâmetros relevantes no âmbito silvícola.

O ramo tecnológico está mais direcionado para a indústria do papel. Pretende implementar ações que fomentem uma economia circular dos subprodutos industriais, preservando o ambiente. No que concerne as competências de âmbito florestal, apresenta como principais domínios a produção e melhoria genética do eucalipto, de forma a torná-lo mais resistente a pragas, a produtividade e proteção florestal, e a valorização dos serviços ecossistémicos. Esta última é conseguida através da melhoria de práticas silvícolas com a finalidade de potenciar o cultivo sustentável do eucalipto.

### **1.3 Enquadramento do tema e objetivos do estágio**

O setor florestal corresponde ao património natural com maior importância para Portugal, sob o ponto de vista económico, social e ambiental (AIFF 2013; Oliveira 2005). Em 2010, a floresta ocupava 35,4% de Portugal Continental, representando o uso dominante do solo (ICNF 2013).

O fogo representa um fator natural importante para a manutenção e proteção dos ecossistemas (Fernandes et al. 2002). Quando não é controlado e afeta a vegetação em áreas florestais dá lugar ao incêndio florestal. Os fogos não controlados podem provocar a perda de vidas humanas, danos atmosféricos e hídricos, degradação do solo, da fauna e da vegetação e danos paisagísticos (López 2004). Nos ecossistemas florestais, os incêndios podem alterar a sua composição e estrutura que sustentam as funções ecológicas de suporte à preservação da biodiversidade florestal e provisão de serviços ecossistémicos (Proença et al. 2010). Relativamente à paisagem, os incêndios alteram a composição e estrutura de mosaicos paisagísticos que levam à destruição de habitats (Silva et al. 2011). No solo, os efeitos podem ser diretos e indiretos. Os diretos, estão principalmente relacionados com a ação da temperatura na composição orgânica uma vez que provocam a mineralização da matéria orgânica existente no solo, deixando-a suscetível à exportação pelos processos erosivos e hidrológicos. Os indiretos, que incluem desaparecimento de folhada e cobertura vegetal, levam a uma alteração do

regime hidrológico e suscetibilidade do solo à erosão. Os impactos no solo descritos conduzem a um déficit de nutrientes no solo uma vez que podem ser mais facilmente exportados através de fenómenos erosivos. Os incêndios alteram as características das áreas afetadas e podem ter repercussões a jusante, devido aos movimentos de águas e sedimentos (Neary et al. 1999).

Em 2017, a temática dos incêndios florestais foi muito debatida, pela comunidade científica e comunicação social, principalmente devido aos incêndios que devastaram Portugal. Sendo um tema complexo e multifatorial não pode associar-se uma causa e explicação única mas a prevalência de espécies de crescimento rápido, a falta de gestão silvícola e de ordenamento da floresta portuguesa tem sido fatores realçados (Collins et al. 2013).

Além dos incêndios, práticas de gestão pós-fogo indevidas podem contribuir para um aumento da dos processos de erosão (Shakesby et al. 1996; Fernández et al. 2007; Martins et al. 2013; Shakesby et al. 1996). Em Portugal, os povoamentos de eucalipto e pinheiro são conduzidos como florestas de produção, ou seja, com a finalidade de produzir madeira. As duas operações mais críticas neste sistema de floresta de produção são a plantação e o corte do povoamento. Contudo, em áreas pós-fogo a exploração da madeira (corte das árvores) tem sido um dos temas mais debatidos, isto atendendo aos consideráveis impactos ecológicos, que podem compreender a remoção de habitats, introdução de espécies exóticas, redução da cobertura vegetal e diversidade (McIver and Starr 2001; Maia et al. 2012).

O presente trabalho procura avaliar o efeito dos incêndios e consequente gestão pós-fogo na erosão do solo e nas características do solo. Numa tentativa de dar resposta a algumas questões, tais como: i) Qual o impacto dos incêndios e gestão pós-fogo na qualidade do solo? ii) Qual o contributo dos incêndios e da gestão pós-fogo na erosão hídrica do solo? De forma a dar resposta a estas questões, recorrer-se-á ao estudo de uma área inserida num povoamento de produção florestal recentemente sujeita a um fogo florestal.

Assim, focando-se nas plantações de eucalipto que é o principal foco do RAIZ, para o presente estágio curricular foram estabelecidos como principais objetivos:

- Avaliação dos impactos de incêndios florestais na qualidade física e química do solo em plantações de eucalipto e influência do “*mulching*” natural para as mesmas;

- Identificação e análise de potenciais medidas mitigadoras dos impactos dos incêndios no ecossistema florestal de modo a serem consideradas no plano de gestão pós-fogo.

## 1.4 Metodologia de estágio

A abordagem adotada para este estágio subdividiu-se em três fases principais. A familiarização com o tema, seguida da revisão bibliográfica e da realização do estágio curricular no RAIZ (figura 6).

Tarefas	2017			2018					
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
<b>1. Familiarização com o tema</b>									
<b>2. Revisão bibliográfica</b>									
<b>3. Elaboração da apresentação intermédia</b>									
<b>4. Estágio Curricular: RAIZ</b>									
Verificação da influência da severidade do fogo e da presença de “mulching” na qualidade química e física de solos recentemente ardidos.									
Análise da forma como diferentes operações silvícolas pré e pós-fogo influenciam a erosão hídrica do solo em plantações do eucalipto recentemente ardidas.									
Averiguação da necessidade de adoção de medidas mitigadoras dos impactos de incêndios florestais e operações silvícolas na erosão pós-fogo									
<b>4. Elaboração do relatório</b>									

**Legenda**



Tarefas realizadas

**Figura 6-** Cronograma de atividades realizadas no desenvolvimento deste trabalho.

A primeira fase consistiu num acompanhamento da equipa ESP e das suas áreas de estudo. Esta fase permitiu uma familiarização com os conceitos de erosão hídrica, através de trabalho de campo, análises laboratoriais de amostras de sedimentos recolhidos e uma observação geral dos impactos paisagísticos dos incêndios florestais.

Posteriormente, realizou-se a revisão bibliográfica. A metodologia utilizada, sintetizada na figura 7, consistiu na identificação do problema (incêndios florestais) e no estabelecimento de objetivos, anteriormente mencionados, relativo ao tema dos impactos de incêndios florestais e da gestão pós-fogo na qualidade física e química do solo e erosão hídrica em plantações de eucalipto.

Ao nível de pesquisa, em ferramentas, como o *Scopus*, *Google scholar* e *Ria*, foi efetuada uma pesquisa generalizada sobre os incêndios florestais e plantações de eucalipto. Assim, percebendo os “conceitos base”, foi possível estruturar o relatório e perceber quais os tópicos mais relevantes a abordar.

A pesquisa específica subdividiu-se em duas vertentes: a vertente teórica e a vertente de campo/laboratório. Na teórica, a pesquisa abordou as questões da constituição e importância da floresta, a temática dos incêndios florestais em Portugal, utilizando ferramentas mencionadas e relatórios como o “6º Inventário Nacional Florestal”, “Relatório

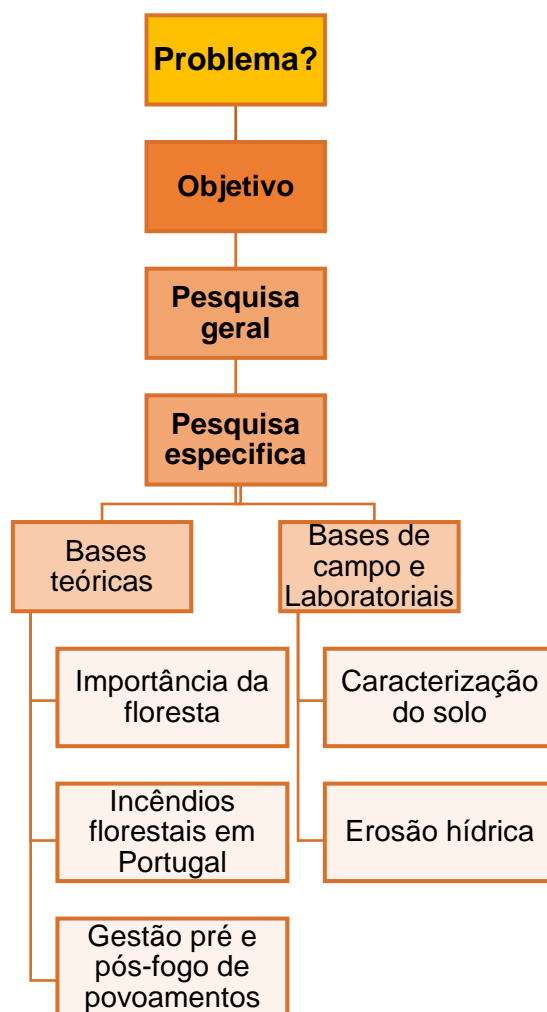
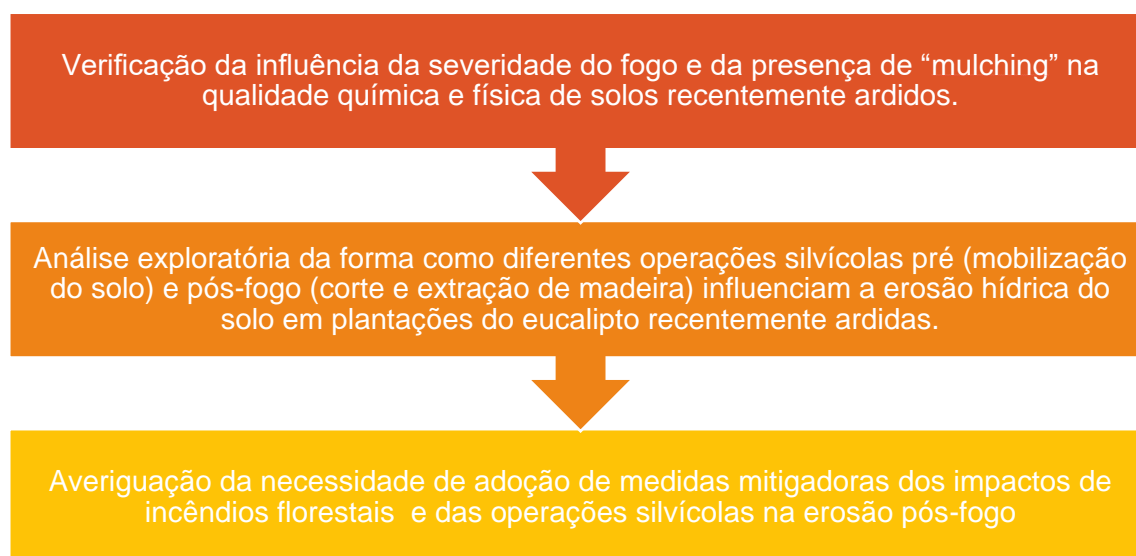


Figura 7- Metodologia para a revisão bibliográfica.

Provisório de Incêndios Florestais (2017)”, “Lei de Bases de Política Florestal” (Lei nº33/96 de 17 Agosto de 1996) e a gestão pré e pós-fogo onde se direccionou a pesquisa para documentos e relatórios da CELPA (Associação da Industria Papeleira), Projeto Melhor Eucalipto, documentos internos do RAIZ e artigos científicos relativos à

exploração florestal no pós-fogo. Na vertente de dados de campo e laboratoriais, efetuou-se um levantamento de estudos ao nível de erosão e caracterização do solo, de modo a compreender as possíveis análises realizadas e suas metodologias. A fase de revisão bibliográfica pretendeu complementar as tarefas de estágio, uma vez que permitiu a aprendizagem de conceitos e metodologias essenciais para as tarefas propostas pelas entidades envolvidas no estágio.

Para o estágio curricular, definiram-se 3 tópicos principais (figura 8), que refletem os meios para dar resposta aos objetivos e questões estabelecidas.



**Figura 8-** Tarefas principais seguidas de forma a dar resposta aos objetivos.

Para a consecução dos objetivos estabelecidos, selecionou-se um local de estudo e implementaram-se parcelas para monitorizar a erosão. Foi feito o reconhecimento da área e recolheram-se amostras de solo e folhada, quando presente, para a caracterização inicial do solo e folhada, respetivamente, e monitorizaram-se as parcelas de erosão em 3 momentos distintos para recolha dos sedimentos depositados e material vegetal. As amostras foram encaminhadas para análise laboratorial externa quando não havia capacidade de resposta internamente ao RAIZ e UA.

## 1.5 Estrutura do relatório

Este relatório encontra-se organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo foi de carácter introdutório onde foi feito um enquadramento da temática e uma breve caracterização das entidades envolvidas no estágio. Foram apresentados também os objetivos estabelecidos tal como a metodologia seguida para a sua concretização.



No segundo capítulo é apresentado um enquadramento teórico onde se referem as principais temáticas referentes a florestas, incêndios e gestão silvícola.

O terceiro capítulo, referente ao material e métodos, apresenta a descrição da área de estudo em diversos níveis e as metodologias para a caracterização física e química e erosão hídrica do solo.

O quarto capítulo, expõe os resultados obtidos e a discussão dos mesmos.

O quinto e último capítulo, sintetiza as principais conclusões e apresenta algumas recomendações para trabalhos futuros.



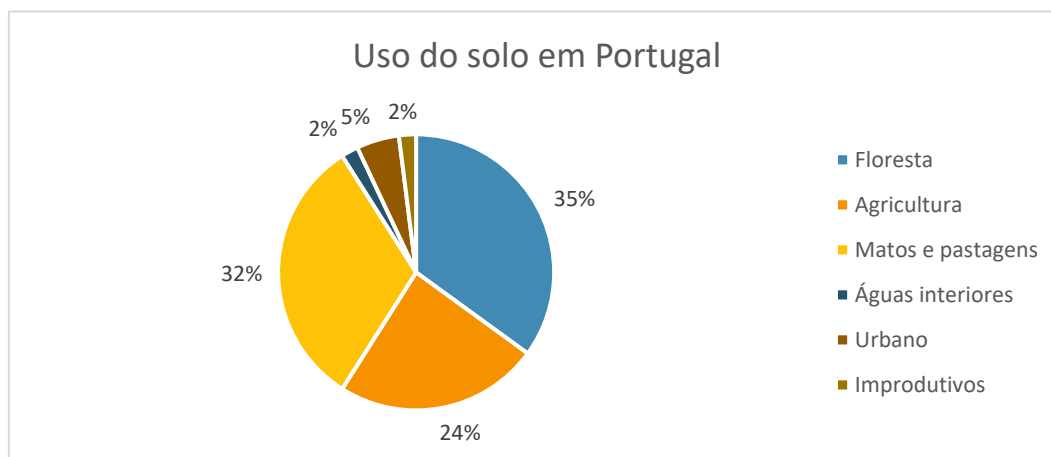
## Capítulo 2 – Enquadramento teórico

### 2.1 A importância da floresta

A floresta é reconhecida, pela política florestal nacional, segundo a (*Lei nº 33/1996, de 17 de Agosto 1996*), como um recurso renovável devido à sua enorme diversidade de serviços e bens que oferece. Desta forma, é imprescindível um uso sustentável dos recursos naturais para permitir a satisfação das necessidades das gerações presentes, sem comprometer as das gerações futuras.

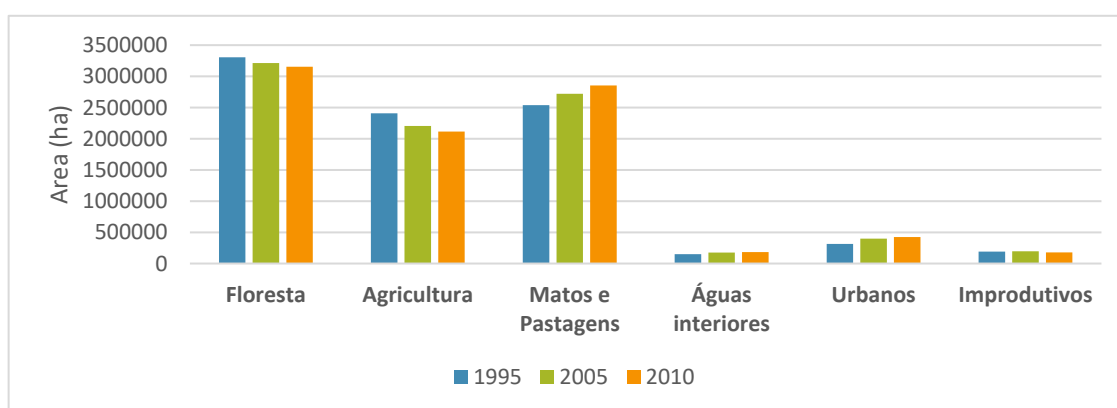
As florestas representam um ecossistema complexo uma vez que estão associadas a inúmeras interações. A capacidade de desenvolvimento das florestas é medida em décadas, pois tem a si associado longos períodos temporais. Estes são representados pelo crescimento e desenvolvimento de povoamentos florestais que são o reflexo de decisões, planos e intervenções efetuadas no setor há muitos anos atrás (DGRF 2015).

Em Portugal continental, é muito importante preservar as florestas uma vez que representam uma grande percentagem do território (cerca de 35% no ano 2010) e constituem um dos pilares do desenvolvimento económico e social (Figura 9, ICNF 2013).



**Figura 9-** Distribuição, em percentagem, do uso do solo em Portugal continental no ano 2010 (ICNF 2013).

Na figura 10 verifica-se um aumento mais significativo das áreas de matos e pastagens e urbanas e uma diminuição das áreas de uso agrícolas e das áreas florestais (cerca de 4,6% de 1995-2010) (ICNF 2013). Assumindo que o termo matos é definido por uma “extensão de terreno (...) com cobertura de espécies lenhosas de porte arbustivo, ou de herbáceas de origem natural, onde não se verifique atividade agrícola ou florestal, que podem (...) constituir uma pastagem espontânea ou terreno pura e simplesmente abandonado” (ICNF 2018), é possível inferir que os hectares de floresta e agricultura tenham sido convertidos em matos e pastagens, através do seu abandono e da má gestão, ou em áreas urbanas devido a pressões demográficas, entre os anos 1995-2010.



**Figura 10**-Evolução do uso dos solos em Portugal continental (1995-2010) (ICNF 2013).

Em 15 anos a área florestal diminuiu em cerca de 5 %. O ICNF (2013) não considera acentuada esta diminuição da área florestal, ao longo do período de análise, considerando-a resiliente face às perturbações ambientais, económicas e sociais.

Ao nível da distribuição de espécies por área florestal (figura 11), ao longo do período de 1995-2010, destaca-se a diminuição da espécie pinheiro-bravo e a pouca abundância de espécies autóctones portuguesas, como carvalho, castanheiro ou azinheira. O aumento da plantação de eucalipto prende-se, essencialmente, com o surgimento da indústria da celulose, a partir da década de 70 (Barbosa 2009). A massiva extração da madeira fez repensar a estruturação da floresta e levar a um maior investimento na plantação sustentável e gestão do eucalipto, uma vez que apresenta um crescimento e produção de material lenhoso mais rápido levando a um maior retorno económico a curto prazo (Bidarra 2013).

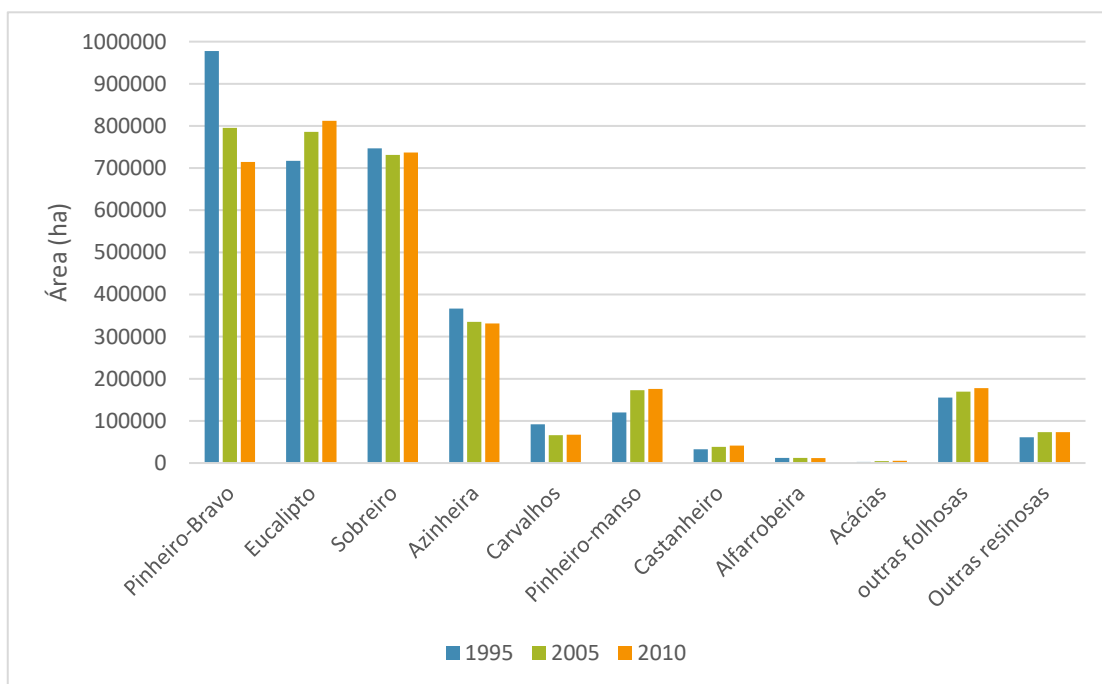


Figura 11- Distribuição das espécies por áreas totais (ICNF 2013).

## 2.2 A floresta e os incêndios florestais

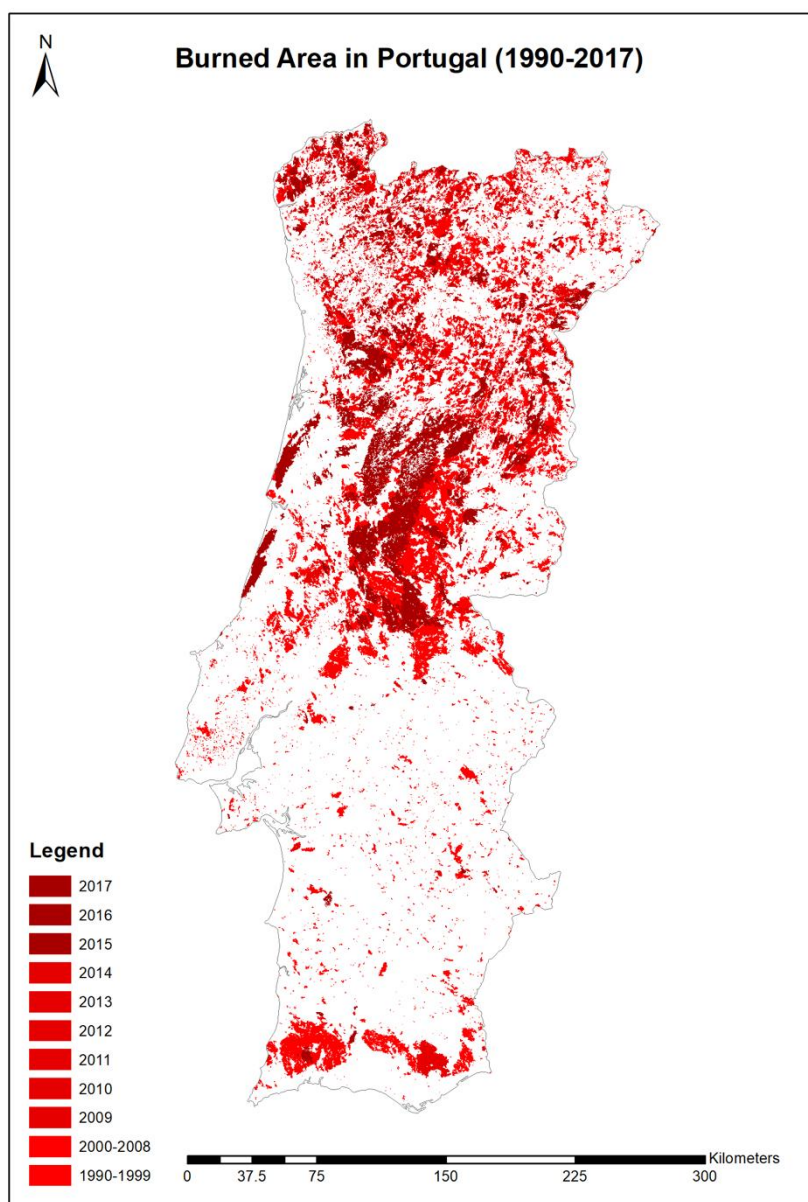
Uma paisagem florestal mais diversificada, constituída por espécies variadas é mais “resistente” ao fogo. Entender como a estrutura paisagística influencia a propagação das perturbações tem sido um fator determinante na tentativa de compreender o seu papel na dinâmica da paisagem (Baker 1989; Turner et al. 2002).

O fogo é um instrumento que pode ser usado para a gestão de uma ampla gama de ecossistemas selvagens. Quando descontrolado, pode provocar grandes danos ecológicos e económicos, dependendo das características da zona afetada, recursos existentes, severidade, entre outros (DeBano et al. 1998).

Os incêndios florestais têm afetado fortemente a região do mediterrâneo, particularmente Sul de França, Itália, Espanha, Grécia e Portugal (Román et al. 2013).

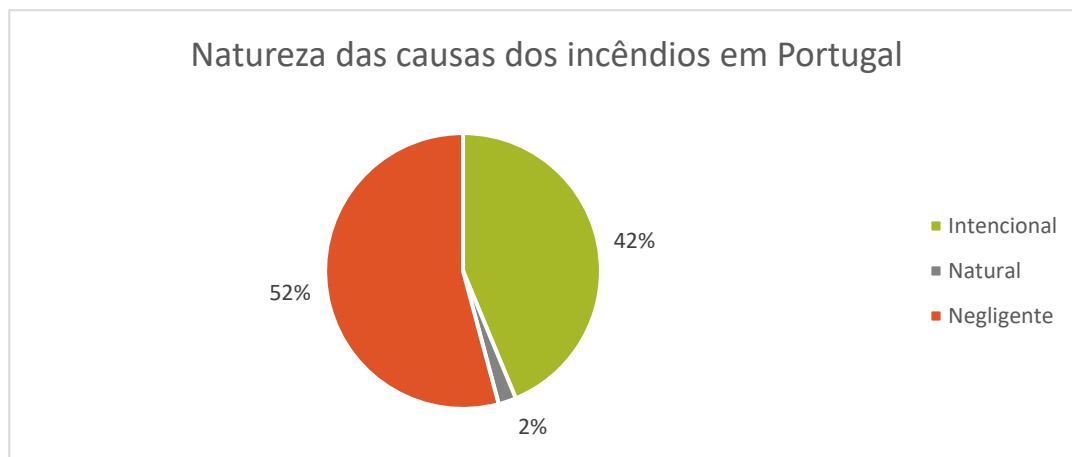
Portugal apresenta um clima temperado, ou seja, invernos chuvosos e verões quentes e secos, que resulta em ecossistemas naturais com densas coberturas vegetais. Estas características, associadas a uma falta de gestão, promovem uma acumulação de biomassa florestal que tem potenciado a magnitude e frequência de incêndios florestais, nas últimas décadas (Ferreira et al. 2005).

Nas últimas três décadas é possível perceber que Portugal foi muito devastado pelos incêndios (figura 12). Focando no ano de 2017, o ICNF (2017) refere que entre o período de 1 de janeiro e 31 de outubro, foram verificadas cerca de 16 981 ocorrências que resultaram numa área ardida de espaços florestais de 442 418 hectares, estando mais concentrada no centro de Portugal. Comparativamente à média 10 anos anteriores, os valores referentes a 2017 refletiram um aumento em cerca de 428% de área ardida (ICNF 2017).



**Figura 12-** Distribuição das áreas ardidas em Portugal de 1990-2017 (ICNF 2017).

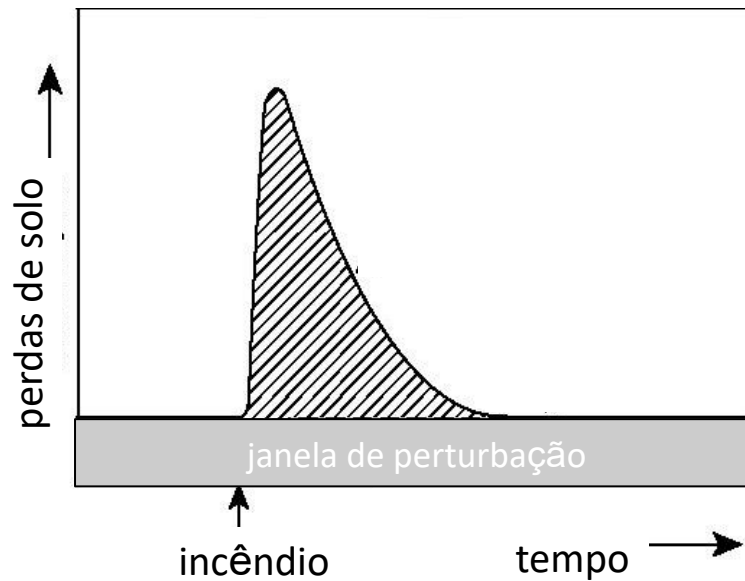
No ecossistema florestal, o fogo é considerado um fenómeno natural, no entanto, segundo ICNF (2014) os que ocorrem em Portugal possuem uma natureza antropogénica inequívoca (figura 13).



**Figura 13-** Distribuição do número médio de ocorrências com causa apurada, no período 2003-2013 (ICNF 2014).

Como já referido, os incêndios provocam inúmeros danos ambientais, como perda de rendimentos em povoamentos de produção e alterações físicas e químicas ao nível do solo e nas comunidades vegetais.

Dependendo das características da área ardida e do fogo, um incêndio poderá apresentar diferentes efeitos ao nível do solo florestal. Geralmente estas implicações, provocadas pelo fogo, apresentam consequências mais negativas em áreas com uma maior inclinação como é o caso das encostas (Neary et al. 2005). Nestas áreas, após um incêndio florestal verifica-se uma "janela de perturbação" (figura 14), onde, sem intervenção antrópica, o solo sofre uma redução de nutrientes e espessura, através da erosão do solo, podendo levar à contaminação de linhas de águas e instabilidade de terras, podendo resultar em desabamentos ou cheias, constituindo um perigo de carácter de proteção civil e de saúde pública. Os efeitos do incêndio manifestam-se logo após as primeiras chuvas de forma mais intensificada, ocorrendo elevadas perdas de solo (Ferreira et al. 2008; Robichaud et al. 2010), mas poderão prolongar-se durante cerca de 3-10 anos (Shakesby 2011).



**Figura 14-** Modelo de erosão pós-fogo (adaptado de SHAKESBY, 2011)

Na perspectiva de minimizar as consequências enumeradas poderá referir-se a aplicação de tratamentos de estabilização do solo, como é o caso da aplicação de cobertura vegetal morta (mulching), barreiras de erosão, entre outros (RECARE-HUB 2018).

De forma a avaliar a eficácia do tratamento pós-fogo, segundo Robichaud et al. (2010), deve-se ter em consideração os fatores independentes do fogo:

- Características de precipitação: avaliando a quantidade e a intensidade, uma vez que ambas contribuem para o aumento das taxas de erosão;
- A topografia, visto que geralmente grandes inclinações promovem a erosão, tal como grandes comprimentos de encostas podem promover escorrências superficiais;
- Uso do solo, uma vez que quanto mais antropicamente modificado com infraestruturas impermeáveis ou dependendo do tipo de cultivo praticado ou respetivas manobras de manutenção maior é a perda de capacidade de infiltração do solo promovendo a escorrência e erosão do solo.

É importante ter em consideração que fatores dependentes do fogo são também relevantes na análise da eficácia do tratamento uma vez que características físicas do solo distintas resultam em diferentes suscetibilidades à erosão, como é o caso de:

- Grau de severidade do incêndio;
- Degradação do solo que afetará a matéria orgânica disponível no solo;



- A densidade de vegetação, uma vez que solo nu influencia o estado de agregação das partículas do solo, deixando-o mais suscetível à erosão.

## 2.3 Silvicultura do eucalipto

Considera-se que a floresta portuguesa possa dividir-se entre floresta natural ou plantada. Dependendo da classificação, possuem características distintas que expressam diferentes formas na contenção dos processos hidrológicos e erosivos. A exploração dos ecossistemas florestais como fonte de extração de biomassa altera as condições naturais do solo florestal uma vez que as perdas do ecossistema estão dependentes do grau e frequência da extração de biomassa (Vejre 1999).

Na perspetiva de uma floresta de produção para obtenção de matéria-prima e biomassa há uma intensificação da intervenção sobre o ecossistema (Miller 1989; Fox 2000). Na exploração de florestas de produção pode verificar-se uma redução da disponibilidade de nutrientes e do teor em matéria orgânica no solo, tal como uma modificação das suas características físicas, se não forem tomadas medidas adequadas de gestão florestal (Gent et al. 1984; Merino and Edeso 1999).

Poore and Fries (1985) consideram que o eucalipto representa uma espécie pouco eficiente no controlo da erosão (em áreas semi-áridas), no entanto, aquando plantadas em terrenos com uma preparação que permita a conservação de água no solo, não ocorrem processos erosivos e verifica-se uma elevada produção de biomassa. Nesta perspetiva, em áreas de produção, o eucalipto (como o *Eucalyptus globulus*) tem-se revelado a espécie eleita devido à sua elevada produtividade, representando uma produtividade potencial de  $16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para um período de 12 anos sendo praticamente o dobro da do pinheiro bravo ( $7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para cerca de 40 anos) (DGRF 2007). Esta elevada produtividade e precocidade tornam a espécie muito usada ao nível dos produtores florestais, uma vez que é possível obter retorno do seu investimento em tempo viável, compensar as possíveis adversidades, como, por exemplo, os incêndios florestais. As empresas certificadas possuem regras e metodologias muito rígidas que permitem minimizar danos económicos, que vão desde a seleção do local para exploração e preparação do mesmo, até à respetiva extração da biomassa e replantação. Como tal, a plantação ou rearborização do eucalipto deve obedecer a uma série de passos de forma a garantir um maior rendimento, a preparação do terreno, a escolha da planta e a plantação (CELPA 2015).

A preparação do terreno constitui a primeira fase para a instalação de um empreendimento florestal (Quiqui et al. 2001). Esta consiste na mobilização do solo e controlo da vegetação espontânea de forma a garantir um melhor acesso das plantas à água e nutrientes, promovendo a infiltração, retenção de água, arejamento e disponibilidade de nutrientes no solo, que são características essenciais ao desenvolvimento radicular, crescimento e sucesso da plantação. Nesta fase podem estar envolvidas as operações de destroçamento mecânico de cepos, caso seja necessário destroçar antigos sistemas radiculares de povoamentos anteriores que interfiram na preparação do terreno, a gradagem que permite controlar a vegetação espontânea e incorporar o material lenhoso no solo, e a ripagem, que consiste no rompimento vertical do solo, segundo as curvas de nível do terreno.

A segunda etapa, a escolha da planta, deve ter em consideração essencialmente 3 fatores principais. O tipo de solo é um fator muito importante uma vez que a profundidade, capacidade de retenção da água e disponibilidade de nutrientes podem influenciar o maior ou menor desenvolvimento de determinadas espécies (CELPA 2015). A ocorrência de pragas e doenças é também um fator a considerar na adequação da espécie em determinada região (Quiqui et al. 2001). As características do clima, sendo importante uma precipitação suficiente para garantir um adequado equilíbrio hídrico ou, por exemplo, em áreas com temperaturas muito baixas, se devem escolher espécies mais tolerantes a este fator uma vez que geadas muito fortes podem provocar a queima superficial da folha, extensão das perdas em plantações recentes e mesmo provocar danos na madeira (Filho et al. 2006). Apesar de estes fatores representarem características importantes na seleção inicial do local de plantação, são também importantes para a escolha da espécie.

A última etapa é a plantação que engloba todas as fases que a antecedem, a forma como é efetuada e o pós-plantação que cumprindo os requisitos exigidos em cada, contribuem para o sucesso da plantação. Desta forma, a plantação deve ser evitada em solos com restrição hídrica ou com excesso de água. No outono devem ser evitadas zonas propícias a geadas ou desenvolvimento de vegetação espontânea pois poderá diminuir os nutrientes disponíveis para o desenvolvimento da planta. A plantação, deve ser evitada em zonas de clima seco, no final da primavera, uma vez que as plantas não possuirão raízes suficientemente desenvolvidas para suportar a seca do verão. Quanto ao número de árvores a plantar irá depender das características climáticas do terreno. Em zonas mais secas, para um bom aproveitamento de madeira devem ser plantadas cerca de

1100 plantas por hectare e em áreas com uma precipitação mais elevada pode plantar-se até 1400 plantas/hectare (CELPA 2015).

Consoante o número de árvores, as distâncias entre elas também podem variar. Genericamente, a distância entre linhas de plantação deve estar compreendida entre 3,25 - 4 metros de forma a não inviabilizar as operações mecânicas de manutenção e uma distância entre plantas de 1,8 a 2,5 metros, mediante a densidade pretendida (figura 15). No caso de terraços a distância entre plantas deve ser no mínimo 1,8 metros e de linhas igual ou superior a 5 metros (CELPA 2015).



Figura 15- Compasso de plantação num povoamento de eucalipto.

A distância entre linhas de plantação e entre plantas pretende garantir a entrada de maquinaria para exploração, mas também se trata de uma medida de gestão silvícola. Assim, idealmente, os compassos de plantação devem ser definidos tendo por base a qualidade do sítio e o tipo de declive da área, para permitir uma otimização da utilização dos recursos naturais (solo, água e luz).

Ainda na plantação (início da 1ª rotação), deve-se efetuar um diagnóstico visual, análise ao solo e foliar de forma a verificar as suas necessidades nutritivas e impulsionar o seu crescimento. O controlo da vegetação espontânea pode ser realizado de forma química (herbicidas), mecânica (corta-mato ou gradagem) ou manual (utilizando a sacha ou motorroçadora) (CELPA 2015).

Após um crescimento de 12 anos, em condições normais, o eucalipto é cortado, encerrando o período produtivo, rotação. Após o corte, o eucalipto pode ser gerido em regime de talhadia, ou seja, em rotações sucessivas. Beneficiando da elevada capacidade de rebentação dos seus cepos, através da emissão de rebentos (varas) a partir de gomos (*lignotuber*), permite a condução dos povoamentos até três ou quatro rotações. Estas varas precisarão de ser selecionadas de forma a garantir o crescimento sustentável do povoamento, tentando manter o número de varas por hectare próximo do número de árvores plantadas na primeira rotação (CELPA 2015).

Considerado que, em cenários de incêndios florestais, os fatores independentes do fogo não podem ser controlados ou alterados, a forma de minimizar os danos por eles

provocados e tornar os povoamentos florestais menos vulneráveis é por meio de uma adequada gestão florestal. Esta é feita através da gestão de combustíveis e silvicultura preventiva, que, em espaço florestal, apresenta como principal objetivo evitar que um fogo de superfície atinja a copa das árvores, sendo capaz de modificar o comportamento do fogo permitindo a diminuição da intensidade, da propagação e dos impactos (Fernandes 2006). Assim, tendo em conta o normal desenvolvimento do fogo, a silvicultura preventiva deve, numa primeira etapa, reduzir ou alterar o combustível superficial como é o caso da manta morta e vegetação, de forma a limitar a intensidade do fogo e diminuir a sua propagação. Em seguida deve efetuar a desramação das árvores de forma a diminuir a propagação vertical do fogo, e garantir que o número de árvores não é superior ao recomendado de forma a criar uma resistência à sua transmissão entre copas (Finney and Cohen 2003; Graham et al. 2004).

## 2.4 Gestão pós-fogo de povoamentos de eucalipto

Em cenário pós-fogo, como referido anteriormente, há maior risco de perda de solo porque este se encontra exposto a agentes erosivos e houve degradação das suas propriedades químicas. Quando a área é sujeita a uma gestão pós-fogo desadequada, este risco pode ser potenciado e efetivado (figura 16).

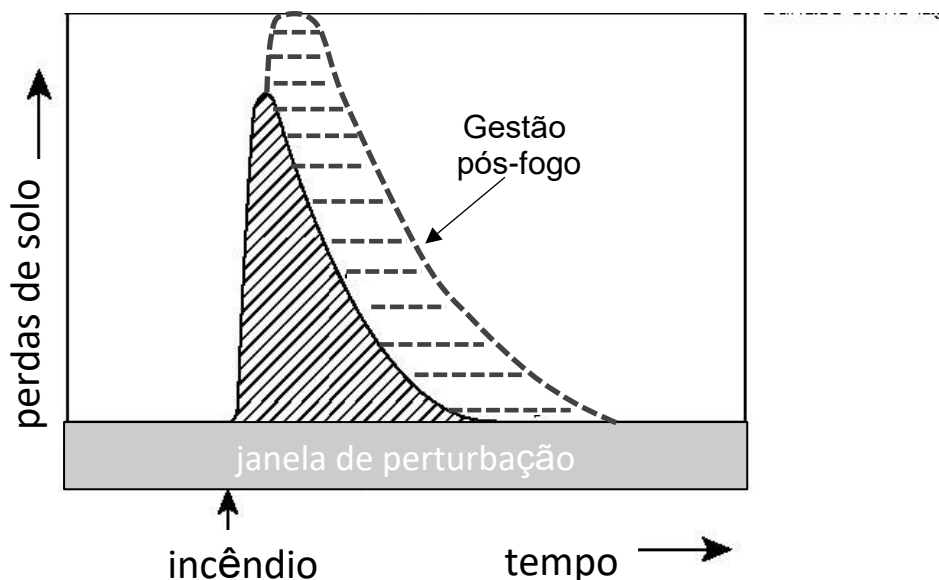


Figura 16- Modelo de erosão do solo ardido potenciado pela gestão pós-fogo.

Em povoamentos ardidos cujas árvores possuam algum interesse ou valor comercial, verifica-se uma exploração da área com vista a obter rendimento com a madeira morta. Técnicos florestais norte-americanos (Beschta et al. 1995) afirmam que a vantagem da exploração pós-fogo é meramente económica uma vez que não há motivos ecológicos que justifiquem a imediata intervenção. Sob o ponto de vista ambiental, uma vez que a erosão se verifica imediatamente após o fogo (depois dos primeiros eventos de precipitação (Cortizo 2013)). Shakesby et al. (1996), recomenda a intervenção (exploração florestal) o mais rapidamente possível, uma vez que os resíduos de exploração contribuem para a proteção do solo. Nesta perspetiva, a gestão pós-fogo poderá gerar novos os impactes no solo visto que, após as primeiras chuvas, o solo vai-se regenerando e com as intervenções de exploração haverá novamente uma perturbação do solo.

Os efeitos dos incêndios, dependendo da sua intensidade, afetam a cobertura vegetal do solo, fomentam a perda de matéria orgânica e nutrientes. Apresentam também influências sobre o escoamento superficial e sobre a rugosidade do solo levando a um aumento de fenómenos erosivos (Guiomar et al. 2011). Estes efeitos após atividades de gestão florestal podem ser aumentados. Vallejo et al. (2006) sugere que a prioridade deve ser a conservação do solo e da água. Florestar (2007) apresenta práticas geralmente recomendadas neste contexto que incluem a realização de uma sementeira de herbáceas (de forma a criar raízes capazes de sustentar o solo), a não realização da reflorestação das zonas ardidas antes de serem previamente avaliadas (de forma a verificar o nível de regeneração), as áreas de regeneração deverão ter acompanhamento técnico na perspetiva de assegurar o correto povoamento. Em zonas declivosas realizar os trabalhos em curvas de nível e dar preferência a operações manuais invés das mecânicas. Em situações de incêndios mais severos, aconselha também a construção de estruturas que protejam o solo da erosão. Vallejo (2006) reforça a ideia, mencionando que as barreiras ou estruturas podem ser construídas com a madeira queimada de forma a retardar o escoamento superficial e as perdas de solo e que as sementeiras devem ser efetuadas de forma a garantir uma cobertura mínima de 30% do solo ou ainda proceder a uma aplicação dos resíduos orgânicos (mulching), provenientes da exploração (Guiomar et al. 2011).



## Capítulo 3 – Material e métodos

### 3.1 Área de estudo

#### 3.1.1 Local de estudo

Os locais de estudo foram seleccionados pelo RAIZ e pela ESP Team (figura 17). De forma a analisar os impactos dos incêndios florestais e gestão pós-fogo, os parâmetros de seleção basearam-se em áreas com eucalipto sob a gestão de uma empresa de gestão florestal, que tivessem ardido recentemente, e nos quais será necessário intervir com operações de gestão pós-fogo. Procedeu-se ao reconhecimento da área e seleção dos locais I e II. Selecionou-se ainda uma área extra, o local III, próximo dos dois locais anteriores, surge numa perspectiva de perceber o impacto do fogo na erosão hídrica e características de um solo num terreno sem gestão silvícola.

Em cada local foram instaladas 3 parcelas de erosão (“*sediment fences*”) totalizando 9 parcelas fechadas de erosão. Serpins, vila onde ficam localizadas as parcelas, situa-se no município da Lousã, distrito de Coimbra, centro de Portugal Continental.

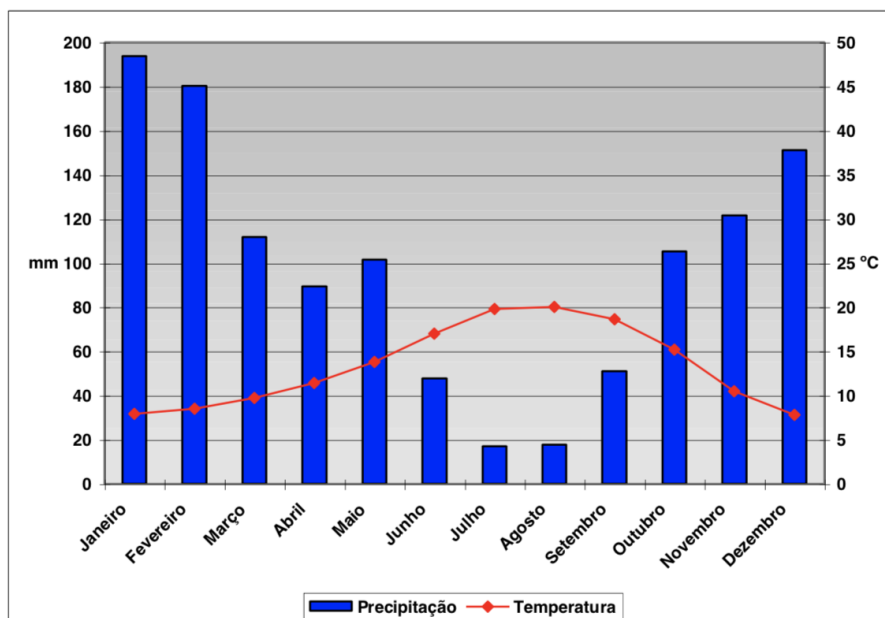


Figura 17- Localização da área de estudo em Serpins.

#### 3.1.2 Climatologia

Ao nível climatológico, o concelho da Lousã, segundo (GTF Lousã 2007), é marcado por características mediterrâneas (figura 18) uma vez que apresenta meses de inverno com

maior pluviosidade e temperaturas suaves (10 °C) e meses de verão com menor pluviosidade e temperaturas mais elevadas (20 °C). Influenciado fortemente pela altitude, o concelho da Lousã, apresenta uma temperatura média anual de 15,7 °C e valores de precipitação anuais (janeiro a dezembro) entre o 1000 e os 1800 mm (GTF Lousã 2007).



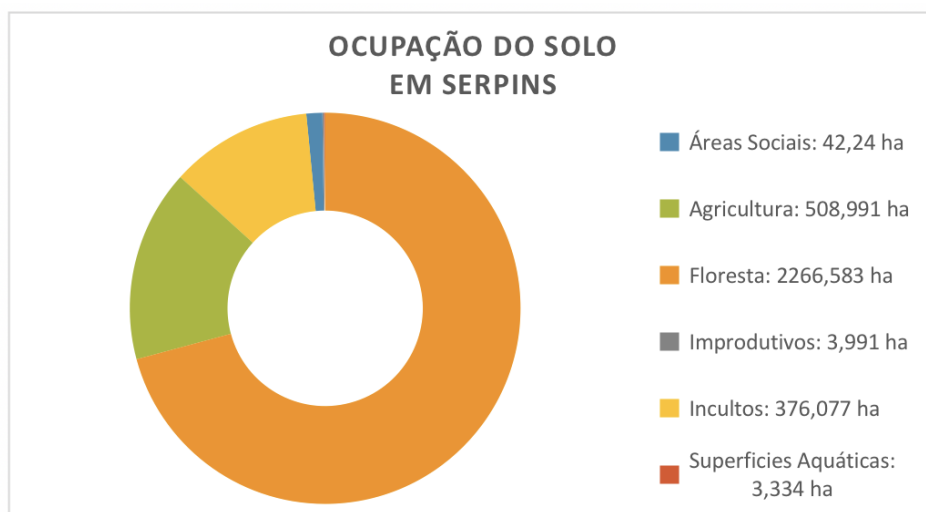
**Figura 18-** Registo termopluiométrico obtido pela da estação de Coimbra entre o período de 1961 e 1990 (GTF Lousã 2007).

Segundo a GTF Lousã (2007), durante o período crítico (junho a setembro), verificaram-se médias mensais de 20 °C o que possibilitava maior facilidade de ocorrência de incêndios florestais.

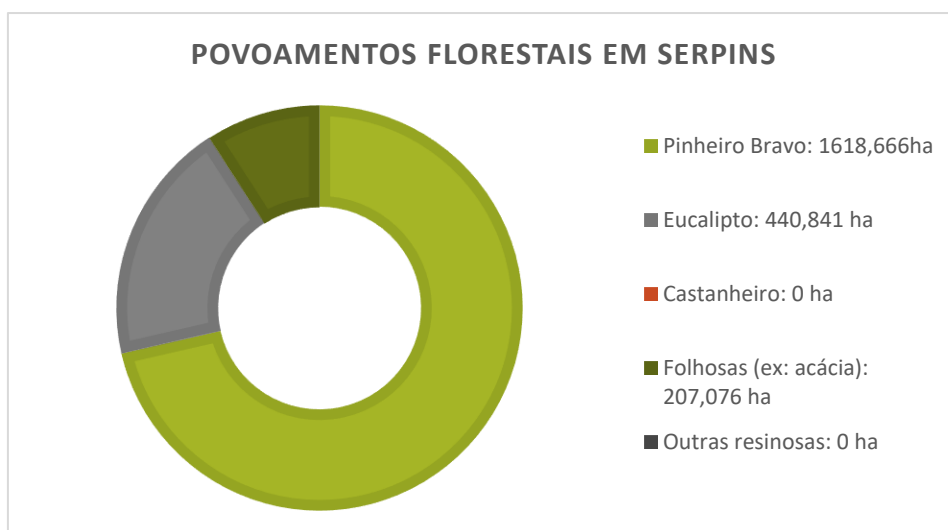
### 3.1.3 Uso do solo

A floresta é a principal ocupação do solo na freguesia de Serpins (figura 19). A área florestal é constituída, maioritariamente, pela espécie do pinheiro bravo, com cerca de 36%, seguida pelo eucalipto com 10% (figura 20).





**Figura 19-** Ocupação dos solos em Serpins, 2005 (GTF Lousã, 2007).



**Figura 20-** Distribuição dos povoamentos florestais nas áreas florestais (GTF Lousã, 2007).































### 3.1.4 Histórico de incêndios

Segundo GTL Lousã (2007), Serpins, apresenta uma área ardida de 0,02 % dos espaços florestais, no ano 2006 e no período de 2001-2005 uma área média ardida de 1,30%. Efetivamente, verifica-se que, no concelho da Lousã, têm sido frequente a ocorrência de incêndios florestais no período compreendido entre 1990-2016. No entanto, nos locais de ensaio, não se verificaram ocorrências no período referido (figura 21). Os locais de estudo arderam em outubro de 2017 sendo um dos critérios para a seleção dos mesmos.



### Área de estudo e áreas ardidas passadas

#### Legenda

-  Locais de ensaio
-  Serpins
-  Concelho Lousã
-  2016
-  2015
-  2014
-  2013
-  2012
-  2011
-  2010
-  2009
-  2007
-  2006
-  2005
-  2008
-  2004
-  2003
-  2002
-  2001
-  2000
-  1999
-  1998
-  1997
-  1996
-  1995
-  1994
-  1993
-  1992
-  1991
-  1990

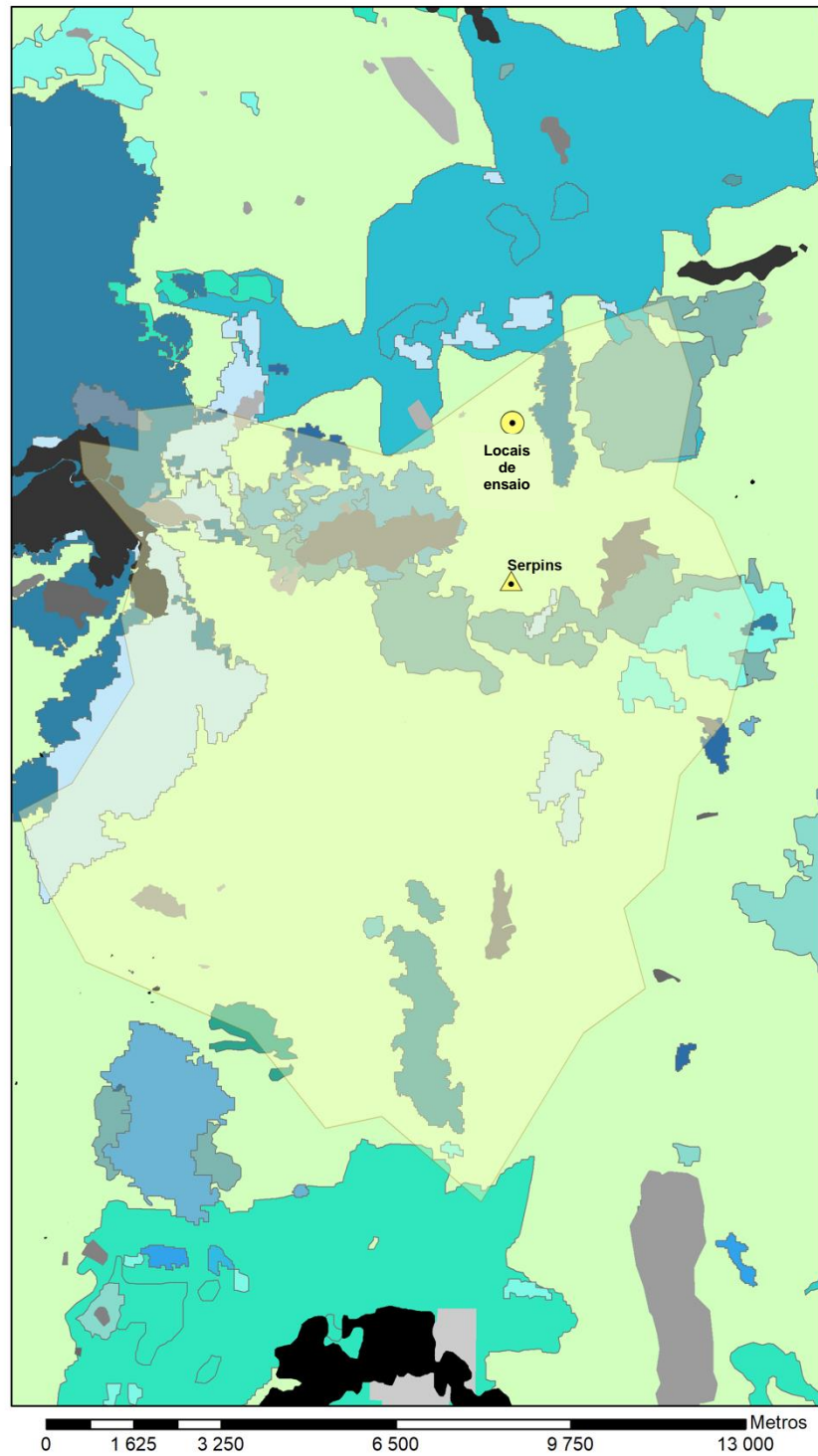


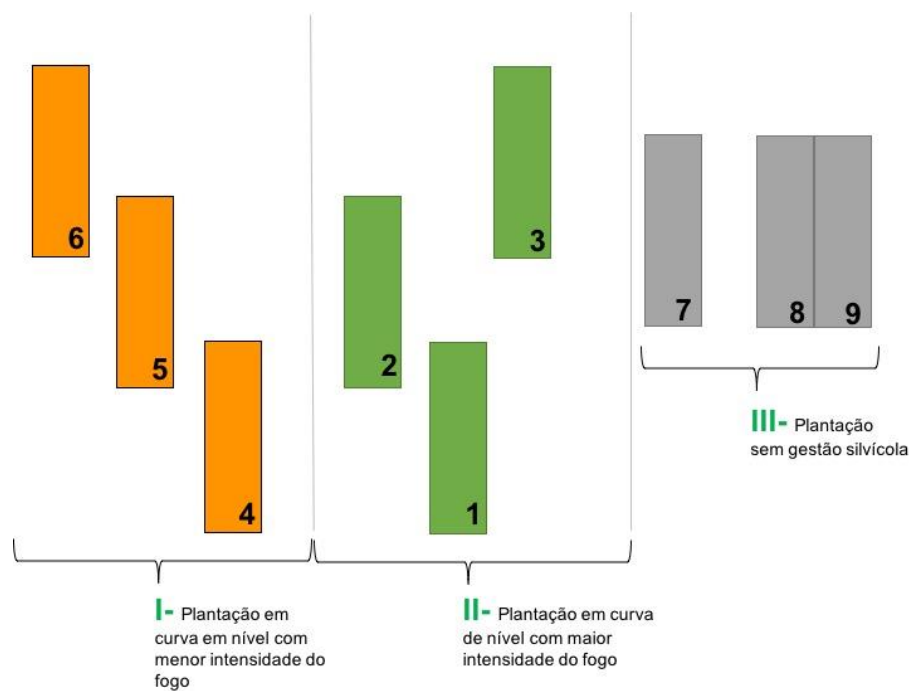
Figura 21- Histórico de incêndios em Serpins no período 1990-2016.

## 3.2 Desenho Experimental

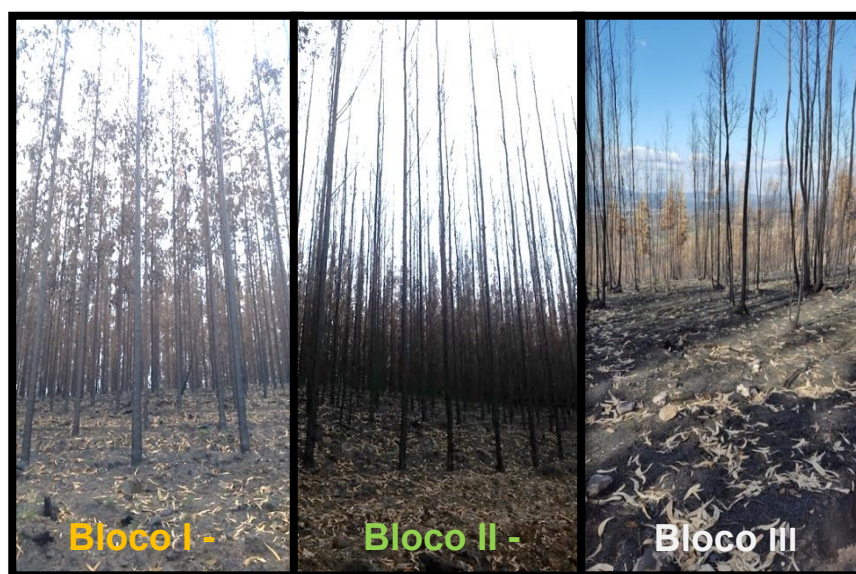
As parcelas de monitorização de erosão (8m x 2m) (figura 22) foram implementadas com o intuito de quantificar as perdas de solo por erosão hídrica, num contexto de pós-fogo. Foram selecionados dois locais com gestão silvícola pré-fogo distinta. No povoamento sob a gestão de uma empresa de gestão florestal foram implementadas, a 19 de janeiro de 2018, 6 parcelas (1-6) (figura 23). Esta área apresenta ter gestão silvícola, com controlo de vegetação espontânea (gestão de combustíveis), e caracteriza-se por ter uma preparação do terreno e plantação à curva de nível, com ligeira armação do terreno em vala e cômodo. Foram individualizados dois blocos de estudo distintos e contíguos, cada um com 3 repetições, uma vez que apresentavam evidências de severidade do incêndio, ao nível da vegetação, diferentes: nas parcelas 1-3 (bloco II) a copa das árvores ficou “despida” e nas parcelas 4-6 (bloco I) a copa das árvores ainda apresentava alguma folhada queimada no pós-fogo, permitindo existência de um “*mulching*” natural sobre o solo como constatado na instalação do ensaio. O estabelecimento destes blocos visou avaliar o contributo da folhada na minimização da perda de solo no pós-fogo. Num povoamento vizinho, não gerido pela empresa, instalou-se mais 3 parcelas de erosão (parcelas 7-9, bloco III) com as mesmas dimensões, numa área sem gestão silvícola (figura 23) evidenciado pela não existência de compasso de plantação. Assim, adotou-se como terminologia no presente relatório: “Bloco I” ou “LS” (*Low Severity*) – o fogo teve um impacto menor nas copas das árvores, “Bloco II” ou “HS” (*High Severity*) - o fogo queimou quase por completo a copa das árvores, e “Bloco III” ou “C”, uma vez que se trata de uma área sem gestão sem evidências de mobilização do solo.

Previamente à instalação dos blocos e respetivas parcelas no povoamento com gestão foi efetuada a caracterização edafoclimática das áreas selecionadas, de forma a garantir a comparabilidade entre parcelas e blocos em termos de solo, exposição, topografia e variáveis ambientais. Um terceiro bloco (III) (figura 22) composto igualmente por três repetições (parcelas 7-9) foi instalado a 1 de fevereiro de 2018 com autorização do proprietário num povoamento de eucalipto sem gestão.

As parcelas dos blocos I e II são comparáveis e possibilitaram avaliar a influência da cobertura vegetal ou manta morta na mitigação de fenómenos erosivos e impacto na fertilidade do solo. O bloco III pretendeu avaliar principalmente a perda de solo numa área florestal não gerida. Não pode ser estabelecida comparação entre o bloco III e os blocos I e II uma vez que diferem em muitos fatores como a fase de desenvolvimento do povoamento, rotação, compasso de plantação, densidade de plantas e material genético.



**Figura 23-** Desenho experimental das parcelas de erosão com bloco I e II, povoamento com gestão silvícola, e bloco III, sem gestão silvícola pré-fogo.



**Figura 22-** Locais de estudo onde foram instaladas as parcelas de erosão, identificando o bloco I e II (com gestão silvícola e plantação com mobilização do solo à curva de nível, com evidência de diferente severidade de fogo) e bloco III (sem gestão silvícola).

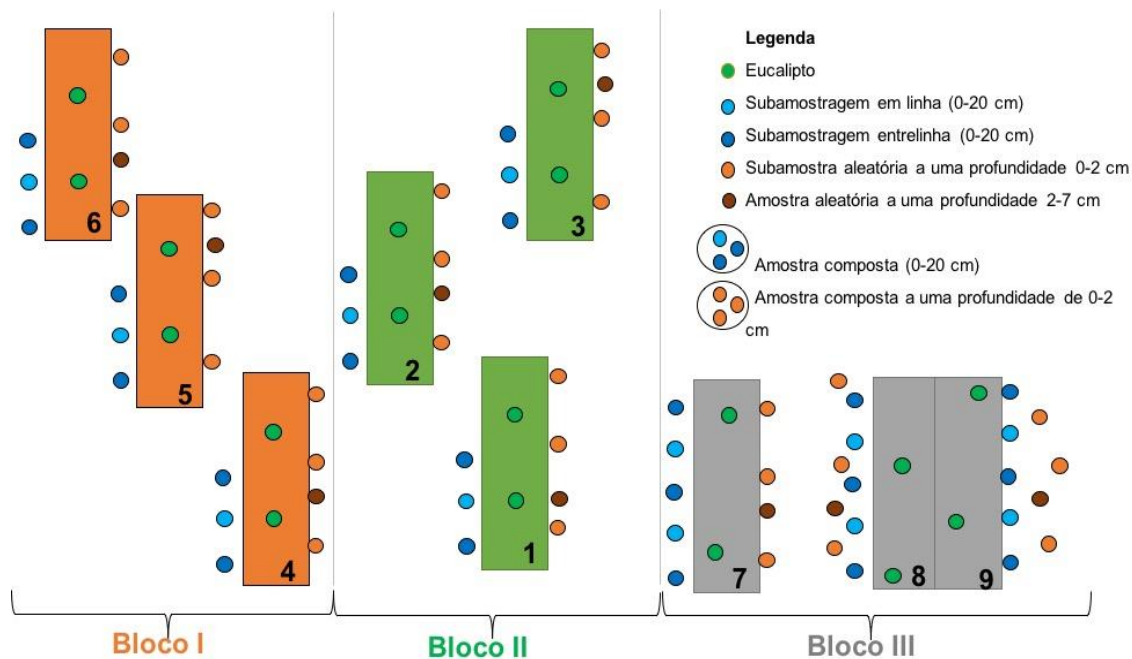
## 3.3 Dados de campo e amostragem

### 3.3.1 Amostragem

A amostragem é considerada a etapa mais importante na caracterização de um solo. Para posterior análise no RAIZ foi realizada uma amostragem inicial (primeiros 20 cm) de solo e folhada depositada, em cada parcela segundo o esquema da figura 24. Previamente à recolha de solo, foi feita uma recolha da folhada caída sobre o solo numa área delimitada de 0,16 m<sup>2</sup> (caixa com dimensão 40cm x 40cm). Os locais de amostragem foram dispostos aleatoriamente na linha e na entrelinha de plantação na proporção de uma recolha na linha para duas recolhas na entrelinha de plantação assegurando a representatividade das áreas de ensaio. O solo foi colhido com uma sonda de meia-cana a uma profundidade de 20 cm. Nas parcelas de erosão de 1 a 6 recolheu-se uma amostra de solo composta por 3 subamostras (uma na linha de plantação e duas em entrelinhas diferentes). No caso das parcelas 7 a 9 (bloco III), como o compasso de plantação era irregular (sem linhas de plantação definidas) e a quantidade de natural “mulching” era consideravelmente mais reduzida que nos blocos I e II, optou-se pela recolha de uma amostra composta por 5 subamostras (figura 24).

Foram também recolhidas amostras a uma profundidade de 0-2 cm e 2-7 cm para posterior caracterização nos laboratórios da ESP para análise dos parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE), matéria orgânica, repelência do solo à água, estabilidade dos agregados, densidade aparente e biomassa radicular. Para a amostragem de 0-2 cm foram recolhidas 3 subamostras por cada parcela de erosão, de forma aleatória, homogeneizou-se e formaram uma amostra composta (figura 24). A uma profundidade compreendida entre 2-7 cm, foi recolhido uma amostra simples por cada parcela fechada de erosão.

As amostragens pretenderam avaliar as características físico-químicas do solo após um incêndio florestal como referência inclusive para análise, posterior, dos impactos em cenário de gestão pós-fogo.



**Figura 24-**Esquema de amostragem realizada a uma profundidade de 20 cm, de solo e folhada, e às profundidades de 0-2 cm e de 2-7 cm, por cada parcela de sedimentação.

A folhada recolhida foi conservada numa câmara frigorífica (durante cerca de 2 dias) de forma a não se deteriorar até a sua preparação física. Esta consistiu numa secagem a 65°C durante 48h e na limpeza individual de cada folha seca de eucalipto de forma a eliminar os resíduos de solo agregados. Após isso, a folhada foi triturada e enviada para análise para determinação de Azoto total, Carbono, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Boro, Cobre, Zinco, Ferro, Manganês, Enxofre, Molibdénio, Alumínio, Sódio e Cloretos.

Relativamente ao solo, as amostras foram secas ao ar até peso constante. De seguida, foram crivadas com uma malha de 2 mm, de forma a remover a fração mais “grosseira”, enviando para análise a fração inferior a 2 mm. Para as amostras de 0-2 cm e 2-7 cm, a preparação das amostras esteve de acordo com a ISO 11464, isto é, secas a uma temperatura não superior a 40°C e crivadas com uma malha quadrada de 2 mm, à exceção das amostras para análises de densidade aparente (anéis) e biomassa radicular.

### 3.3.2. Caracterização das parcelas de ensaio

Procedeu-se à avaliação dendrométrica dos povoamentos dos blocos de ensaio para recolha de informação de altura e dap (diâmetro à altura do peito, altura de cerca de 130 cm medido desde a base) das árvores. O dap foi medido com uma fita métrica (perímetro do eucalipto depois convertido para diâmetro) e a altura dos eucaliptos foi medida com o

VERTEX IV. O instrumento VERTEX IV foi também utilizado para a medição dos declives das encostas e das parcelas.

Para caracterizar cada parcela de erosão foi medida a sua orientação, com uma bússola, e a rugosidade média superficial (Saleh 1993). Este parâmetro foi estimado a partir da diferença entre o comprimento de uma corrente disposta na superfície do solo, ao longo da mesma, contabilizando as elevações da base até ao topo, e o comprimento total da parcela. Em cada parcela, foram efetuadas 3 medições de rugosidade (aproximadamente equidistantes) e calculou-se a média.

### 3.4 Análise laboratorial das amostras

#### 3.4.1 Caracterização do solo

A caracterização do solo das diferentes parcelas de erosão que compõem o presente estudo foi efetuada, ao nível de propriedades químicas, mediante determinação de pH, de condutividade elétrica (CE) e do complexo de troca; ao nível de propriedades físico-química, por avaliação do conteúdo de matéria orgânica. Ao nível de propriedades físicas por determinação do teor de água e da densidade aparente, análise textural por análise granulométrica, avaliação da biomassa radicular e da repelência do solo à água e determinação da estabilidade dos agregados do solo.

##### Propriedades químicas

- **pH do solo**

O pH corresponde ao potencial do hidrogénio iónico de uma solução em equilíbrio num substrato. É determinado pela concentração de iões de hidrogénio ( $H^+$ ) e pretende medir o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução. Este é expresso como  $-10\log(H^+)$  (ISO 10390 2005).

O pH foi determinado segundo a metodologia explicada na ISO 10390:2005, para as amostras recolhidas às profundidades de 0-20 cm, 0-2 cm e 2-7 cm.

Mediu-se 10 ml de solo e adicionou-se 50 ml de água ultrapura. Levou-se a agitação durante um período de 60 minutos + 10 minutos e deixou-se repousar durante cerca de 1h, tendo em conta que não deve ultrapassar as 3 horas. A leitura foi realizada com um medidor de pH, previamente calibrado. De forma a minimizar erros associados à leitura, é

aconselhado, durante a respetiva, uma agitação que permita uma razoável homogeneização das partículas do solo. A classificação do pH (tabela 1), segue a escala a escala mencionada por (Costa 1999):

**Tabela 1-** Classificação do pH adotada pelo RAIZ (Costa 1999)

<b>pH do solo</b>	<b>Designação</b>
Menor que 4,5	Extremamente ácido
4,5 a 5,0	Muito fortemente ácido
5,1 a 5,5	Fortemente ácido
5,5 a 6,0	Medianamente ácido
6,1 a 6,5	Levemente ácido
6,6 a 7,3	Neutro
7,4 a 7,8	Levemente alcalino
7,9 a 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 a 9,0	Fortemente alcalino
9,1 ou maior	Muito fortemente alcalino

- **Condutividade elétrica (CE) no solo**

A condutividade elétrica (CE) refere-se à capacidade que uma solução aquosa para transportar uma corrente elétrica. Esta, quando se encontra em solução suspensa de água do solo e em equilíbrio, é expressa em mili-Siemens por metro (mS/m). A condutividade elétrica está relacionada com a disponibilidade de sais presente, quanto mais elevada esta for, maior será a CE.

A medição da condutividade elétrica (CE) do solo, nas amostras correspondentes a uma profundidade de 0-20 cm, realizou-se nos laboratórios do RAIZ, baseado na CEN/TS 15937. Para tal, pesou-se 20 g de solo e transferiu-se para um recipiente. Adicionou-se 100 ml de água, a uma temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e colocou-se a agitar durante 30 minutos. Após um período de repouso, filtrou-se o conteúdo por ação da gravidade e, de seguida, efetuou-se a leitura recorrendo a um medidor de condutividade, previamente calibrado.

A análise da CE, para as amostras de solo recolhidas a uma profundidade de 0-2 cm e 2-7 cm, foi efetuada segundo duas metodologias diferentes. A primeira que denominei de



método CE 1, consistiu em, após a medição do pH em suspensão, deixar o conteúdo em repouso durante cerca de 12 horas (uma noite) e ler a CE do sobrenadante. O método CE 2 foi baseado na CEN/TS 15937 e aplicado às amostras de 0-20 cm, com algumas alterações. Pesou-se 10 g uma vez que o conteúdo de amostra, destinado à análise era reduzido e adicionou-se 50 ml de água. Levou-se a uma agitação durante 30 minutos e filtrou-se o conteúdo, não por ação da gravidade, mas por vácuo e procedeu-se à leitura das amostras.

- **Fertilidade do solo**

A fertilidade de um solo representa a capacidade que este tem em ceder nutrientes às plantas (Fabres et al. 2001). A fertilidade do solo exerce um papel preponderante na produtividade florestal. Entre as propriedades do solo com influência na sua fertilidade está a capacidade de troca catiónica. Esta propriedade é variável consoante a tipologia do solo e representa a capacidade de trocar elementos relevantes para a nutrição vegetal com a solução do solo tornando-os disponíveis. Os catiões de troca mais comuns são o  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ . Ao nível de metodologia aplicada, como o pH das amostras era inferior a 7,6, utilizou-se acetato de amónio (1M a pH7), para extração, numa razão sólido: líquido=1:10 (m/v). Os parâmetros foram medidos por ICP-OES (Carrow and Duncan 2011).

Como valores de referência para avaliação da fertilidade do solo para povoamentos de eucalipto (*E. globulus*) em Portugal utilizaram-se os estabelecidos por Fabres et al. (2005) in Teixeira (2015).

- **Matéria orgânica**

A matéria orgânica pelo método de calcinação é quantificada através da diferença entre a amostra seca a  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$  e a amostra submetida a uma temperatura de  $550^\circ\text{C}$  durante quatro horas (Comissão Técnica dos métodos químico-analíticos 1920).

Foi também realizado o método Walkley-Black (Jackson 1958) nas amostras recolhidas a uma profundidade de 0-2 cm e 2-7 cm. Para a realização do método pesou-se 0,5 g de solo, por se estimar que os solos possuem um teor normal de matéria orgânica (6 a 11%) e introduziu-se a amostra num Erlenmeyer de 250 ml. Adicionou-se 10 ml de dicromato de potássio 1 N, agitou-se cuidadosamente durante cerca de 20 segundos e adicionou-se 20 ml de ácido sulfúrico concentrado e agitou-se por cerca de 30 segundos.

O conteúdo foi deixado em repouso durante 30 minutos e adicionou-se 200 ml de água destilada em cada erlenmeyer e 10 ml de ácido fosfórico a 85%. Com um frasco de lavagem limpou-se todos os detritos que estivessem na parte superior do recipiente e deixou-se o conteúdo arrefecer durante cerca de 2 horas até atingir a temperatura ambiente. Para a titulação, adicionou-se 1 ml de solução de difenilamina e titulou-se com 0,5 N de sulfato de amónio ferroso com agitação simultânea (agitador magnético). No início, a solução apresentou uma cor azul escura, mas ao adicionar a solução titulante a cor tornou-se um pouco mais pálida até mudar drasticamente para um verde brilhante simbolizando o ponto de viragem. Simultaneamente também se realizou um ensaio em branco que foi realizado da mesma forma que as amostras, mas sem solo.

### Propriedades físicas

- **Teor de água e humidade**

O teor de humidade e teor de água no solo apenas diferem na preparação da amostra, ou seja, o teor de água é considerado para uma amostra que tenha secado a uma temperatura não superior a 40 °C, enquanto que o teor de humidade é considerado, neste relatório, para uma amostra com a humidade de campo.

O procedimento efetuado seguiu as normas ISO 11465:1993, e consistiu na determinação da diferença entre a massa de solo antes e após a secagem a 105 °C até atingir uma massa constante. Para tal, colocou-se um prato de evaporação, ou cadinho, na estufa, a uma temperatura de 105 °C ( $\pm 5$  °C) durante um mínimo de 30 minutos e, em seguida, foi deixado arrefecer até temperatura ambiente num exsiccador. Pesou-se o prato com precisão mínima de 0,01 g. Colocou-se uma determinada quantidade de amostra no recipiente, pesou-se e registou-se o valor. Levou-se o recipiente de evaporação ou cadinho, que continha a amostra, à estufa regulada para 105 °C durante cerca de 24h. Após o arrefecimento no exsiccador, pesou-se o recipiente de evaporação e o respetivo conteúdo pela primeira vez (MC). A massa (MC - MA) deve ser considerada como constante se a massa obtida depois de mais uma hora de secagem não difere mais do que 0,5 % do valor anterior ou 2 mg, o que for maior. Caso contrário, deve repetir-se a secagem até atingir a massa constante.

- **Densidade aparente**

Este parâmetro trata-se da razão entre a massa da parte sólida de um dado volume aparente. A densidade aparente ("bulk density"), de terra fina, foi medida, de forma

expedita (nas amostras 0-20 cm), numa proveta, efetuando batimentos verticais de forma a, por ação da força da gravidade, promover a sedimentação. A razão entre o peso da amostra de solo contido na proveta sobre o volume obtido no final do processo corresponde ao valor da densidade aparente (identificado nos resultados como Método Dap 1). No campo, realizou-se a amostragem a uma profundidade de 0-2 cm e 2-7 cm com diferentes anéis de amostragem com volume conhecido (amostra composta por 3 anéis de 44 cm<sup>3</sup> para 0-2 cm de profundidade e uma amostra simples com um anel de 250 cm<sup>3</sup> para uma profundidade de 2-7 cm), para aferição da densidade. Assim, em laboratório, as amostras foram secas (teor de humidade), garantindo a não perda de solo durante o processo, e pesadas (identificado nos resultados como Método Dap 2). A densidade aparente foi dada pela razão entre o peso obtido e o volume dos anéis de amostragem.

- **Biomassa radicular**

No seguimento da amostragem de solo com os anéis, após a aplicação da metodologia da densidade aparente, procedeu-se à análise da biomassa radicular de acordo com o método explicado em Santana et al. (2016). Para tal, pesou-se a amostra seca e crivou-se com uma malha quadrada de 2 mm. Assim, removeu-se, manualmente, as raízes de dimensão superior às da referida malha reservando-se em sacos de papel e, a fração mineral superior a 2 mm, foi armazenada em recipientes. Ambas subfrações foram pesadas. A fração de solo e raízes com dimensões inferiores a 2 mm foram recolhidas através de uma crivagem via húmida. Com um crivo, com malha de 0,065 mm, lavou-se a amostra de solo, de forma a eliminar limo e argila presentes, para recolher apenas as areias finas e raízes pequenas. Colocou-se num copo com água e mexeu-se vigorosamente, de forma a homogeneizar o conteúdo. Aguardou-se que as pequenas raízes ascendessem à superfície e a areia fina se depositasse no fundo do recipiente. Decantou-se as raízes para a malha utilizada e lavou-se em água corrente para eliminar resíduos de solo. Colocou-se num recipiente de alumínio e levou-se à estufa, a uma temperatura de 65 °C durante 2 a 3 dias. A areia fina, após lavagem, foi colocada num recipiente de alumínio e levada à estufa, a uma temperatura de 105 °C durante cerca de 24 horas. Adicionalmente, e de forma a garantir a contabilização das raízes que não foram capazes de flutuar e se misturaram com a areia fina, procedeu-se à determinação de matéria orgânica segundo o método de calcinação.

- **Análise textural por análise granulométrica**

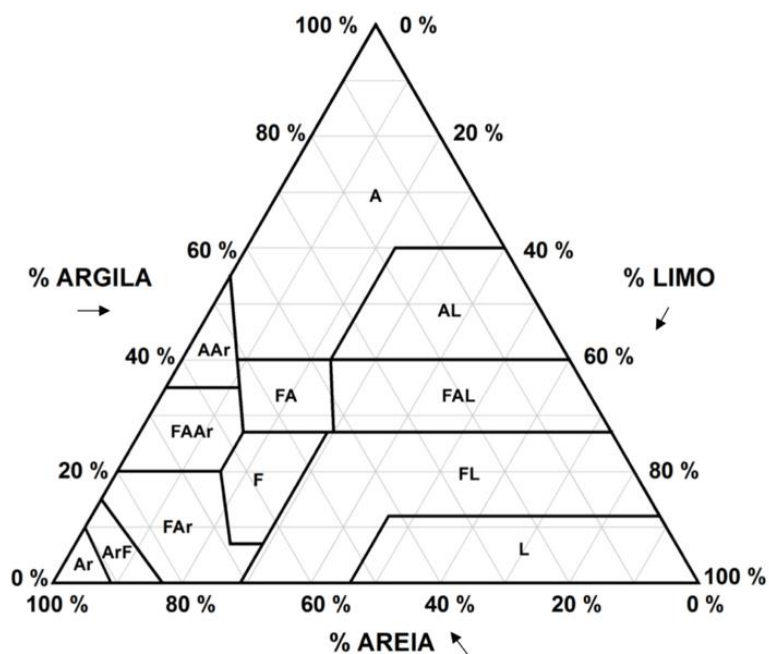
O método realizado foi o método da pipeta de Robinson (Gee and Bauder 1986). Numa primeira fase, calculou-se o teor de água da amostra de solo, segundo a metodologia já descrita. Conforme o teor de água calculado, pesou-se o correspondente a 20 g de amostra seca e colocou-se num gobelé, adicionando água destilada e peróxido de hidrogénio numa relação 1:1 e deixou-se reagir durante uma noite, cobrindo com um vidro de relógio. Garantiu-se a oxidação de toda a matéria orgânica. Adicionou-se 10 ml de hexametáfosfato de sódio, tamponado com carbonato de sódio, e transferiu-se o conteúdo para um recipiente com tampa, agitou-se mecanicamente durante 16 horas de forma a dispersar as partículas do solo. O conteúdo foi vertido através de uma peneira de 20 cm de diâmetro com malha de 0,053 mm e colocado sobre um funil apoiando-se numa proveta de 1 litro. Lavou-se o material retido na peneira, com água destilada e aferiu-se o conteúdo ao volume da proveta. Secou-se a peneira e transferiu-se o conteúdo para um recipiente, com massa conhecida, e pesou-se.

Para recolher o limo e argila, selou-se a proveta com uma tampa de borracha, e agitou-se o conteúdo durante 30 segundos. Deixou-se em repouso o tempo previsto no anexo I tendo por base a temperatura da solução. A sua recolha foi efetuada com uma pipeta de Robinson (que deve ser mergulhada a 10 cm de profundidade). Recolheu-se 25 ml de amostra e colocou-se numa cápsula, previamente pesada, na estufa a 105 °C, até evaporar completamente a suspensão. Colocou-se num exsiccador para arrefecer e pesou-se com uma aproximação de 0,0001 g, concluindo assim a determinação do limo e argila.

A argila é recolhida segundo o procedimento de recolha do limo e argila. A evidente diferença é a grandeza do tempo de sedimentação (anexo I, AI), uma vez que a recolha de limo e argila é quantificada em minutos e a da argila é em horas.

De forma a avaliar as interferências da solução dispersante, realizou-se um ensaio em branco onde foram seguidos todos os passos já mencionados. Os resultados associados à extração do branco deverão ser retirados ao valor da argila, uma vez que o dispersante apresenta comportamentos semelhantes à mesma.

A amostra restante, após extração de argila, foi lavada de forma a extrair a areia fina. A classificação da textura do solo é efetuada segundo diagrama Gomes e Silva (1962) Gomes and Silva (1962) (figura 25), de acordo com a classificação ISSS (Ramos et al. 2016).



**Figura 25-** Diagrama para a classificação da textura. A classe textural do solo efetuada mediante a interseção das percentagens de limo, argila e areia obtidas. Onde, Ar (Arenoso), ArF (Areno-Franco), FAr (Franco-Arenoso), F (Franco), FAAr (Franco-Argilo-Arenosa), FA (Franco-Argiloso), AAr (Argilo-Arenosa), A (Argiloso), AL (Argilo-Limoso), FAL (Franco-Argilo-Limoso), FL (Franco-Limoso) e L (Limoso).

- **Repelência do solo à água**

A metodologia utilizada é baseada na descrita por Bisdorn et al. (1993). Esta consistiu numa preparação das amostras segundo a ISO 11464. Separou-se a amostra e crivou-se com as malhas de 1 mm e 0,2 mm de forma a obter quatro tipologias de amostra com dimensões <2 mm, 2-1 mm, 1-0,2 mm e <0,2 mm. A crivagem foi realizada de forma manual de forma a evitar a destruição dos aglomerados do solo. Colocou-se as amostras em recipientes com altura de 13 mm e diâmetro de 35 mm e nivelou-se o conteúdo através de uma leve agitação. O conteúdo foi deixado a estabilizar a uma temperatura ambiente (22°C), consideravelmente constante durante cerca de 24 horas. De forma a medir o tempo de penetração de uma gota de água no solo, colocou-se 10 gotas de água destilada (≈0,05 ml), com uma pipeta de Pasteur, na amostra de solo e registou-se o

tempo que a gota demorou a penetrar completamente. A média ou mediana, do tempo de penetração das amostras permitiu classificá-las de acordo com Bisdom et al. (1993) (tabela 2).

**Tabela 2-** Classificação do grau de repelência, segundo Bisdom et al. (1993).

Classificação	Grau de repelência (segundos)
Hidrofílico	<5 (classe 0)
Levemente hidrofóbico	5 – 60 (classe 1)
Fortemente hidrofóbico	60 – 600 (classe 2)
Severamente hidrofóbico	600 – 3600 (classe 3)
Extremamente hidrofóbico	>3600 (classe 4)

- **Estabilidade dos agregados**

Este teste foi realizado integralmente segundo a metodologia elaborada por Kemper & Rosenau (1986). Assim, da fração de 2-1 mm, pesou-se 4 g de solo e colocou-se em crivos (fornecidos com máquina), previamente numerados e pesados (1-8 - setup de análise), tal como as cápsulas de metal (1-16). Nas cápsulas de metal (1-8), colocou-se 100 ml de água destilada e estas foram posteriormente colocadas na parte inferior da máquina. Os crivos foram dispostos na parte superior, com os números correspondentes (figura 26). Borrifou-se (3 vezes) as amostras de solo presentes nos crivos (para evitar perdas de solo por flutuação), e cuidadosamente inseriu-se os crivos nas cápsulas de metal e iniciou-se o motor no programa de 3 minutos.

Finalizados os 3 minutos, retiraram-se as cápsulas de metal (1-8) e inseriram-se as restantes (9-16), contendo 100 ml de solução dispersantes (NaOH, 2 g/L, uma vez que o pH das amostras era inferior a 7) e repetiu-se o programa. Após o procedimento referido, as cápsulas de metal devem ser sujeitas a uma secagem de 105 °C de forma a eliminar todo o conteúdo de água, e devem ser pesadas.



**Figura 26-** Wet Sieving Apparatus (Aparelho de peneiração húmida)

### **3.4.2 Caracterização do material vegetal**

Após preparação do material vegetal, como referido, as amostras foram enviadas para entidades externas com o já referido pacote analítico.

### **3.4.3 Monitorização da erosão**

A metodologia aplicada para a quantificação de fenómenos erosivos consistiu em três etapas principais:

- Recolha de “mulching” e de sedimentos

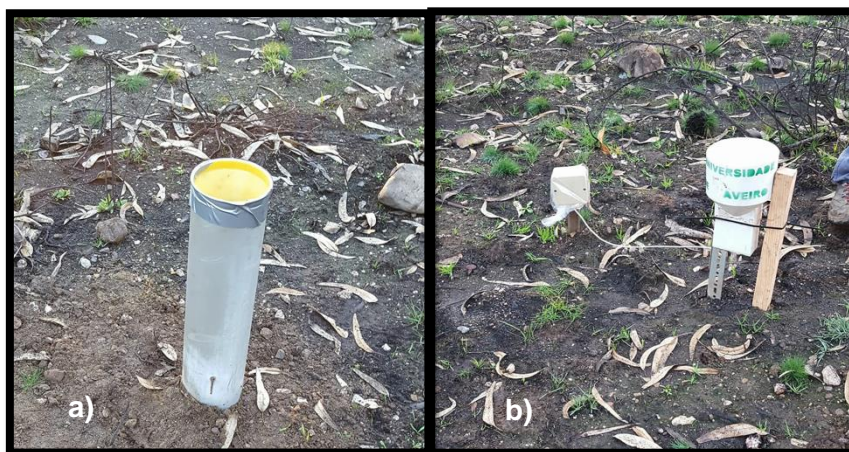
A recolha de “mulching” e sedimentos foi efetuada em três situações (em 01/02/18, 13/03/18 e 17/04/18), pois as condições meteorológicas não justificaram nem permitiram um maior número. A recolha de “mulching” consistiu na retirada de material vegetal sedimentado, na bacia da parcela de erosão, para um saco de papel e a recolha de sedimentos consistiu na retirada do solo erodido, para um saco plástico.

- Análise laboratorial dos sedimentos

Relativamente ao “mulching”, de forma a quantificar a sua perda, as amostras recolhidas sofreram uma secagem a 65 °C durante 48 horas. Ao nível dos sedimentos erodidos - solo perdido por ação da erosão hídrica - determinou-se a humidade, de forma a obter as perdas de solo em base seca, e a matéria orgânica por calcinação. Foi também medido o pH, pela metodologia anteriormente descrita, nos sedimentos do segundo read-out (ida ao campo), numa perspetiva de perceber temporalmente como evoluiria. No entanto, por uma questão de falta de tempo disponível para a tarefa, não foi possível efetuar o procedimento para os restantes.

- Dados de precipitação

Como a erosão hídrica está relacionada com a precipitação e intensidade, foi necessário efetuar as respetivas medições, durante o período de análise. Para tal, foram instalados um totalizador e um pluviómetro automático (figura 27). O medidor totalizador de precipitação foi usado com a principal função de validar os dados obtidos pelo medidor automático ligado para medir a precipitação e que funcionava à base de “tips” (cada um correspondia a volume de 0,2 mm). O download dos dados foi efetuado a partir do programa “HOBOWare” e a partir daí foi possível calcular o parâmetro I30, que corresponde à intensidade máxima registrada em 30 minutos.



**Figura 27-** Medidores de precipitação e intensidade, a) medidor totalizador e b) medidor automático



## Capítulo 4 – Resultados e discussão

---


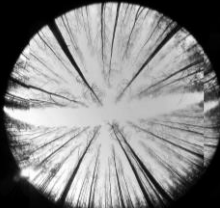

### 4.1 Dados de campo

#### 4.1.1 Caracterização das parcelas de erosão

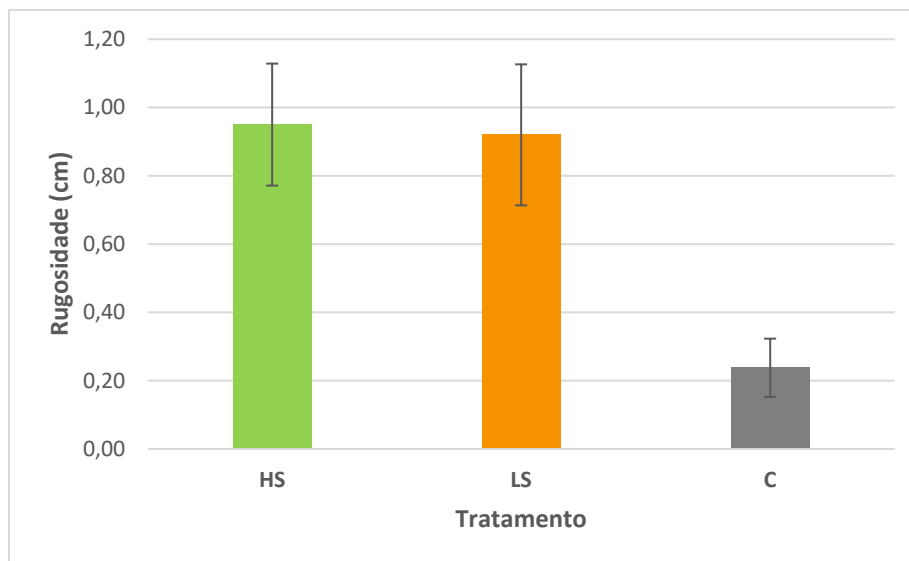
A avaliação dendrométrica e as características gerais do povoamento (blocos I e II) permitem assegurar a comparabilidade dos dados. Os blocos I e II estão em primeira rotação e o bloco III em talhadia, o que poderá conferir a este último bloco uma maior densidade de raízes. A relação altura média (m) /diâmetro à altura do peito (cm), das árvores nos três tratamentos/blocos é semelhante. Qualitativamente verificou-se, também, que as densidades dos povoamentos diferem, uma vez que os blocos I e II possuem uma distribuição de árvores segundo um compasso regular (4m x 2m) enquanto que no bloco III a distribuição é irregular. Os declives médios das parcelas (tabela 3) de cada tratamento são semelhantes.

Relativamente à análise da severidade do incêndio, esta foi classificada como moderada pelo fato de, aquando da instalação das parcelas de erosão, não se ter encontrado vegetação verde (baixa severidade) sobre o solo, nem se verificar a calcinação do solo provocada por elevadas temperaturas (alta severidade), o que lhe conferiu um grau moderado. Na determinação da quantidade do “mulching” para caracterização inicial dos locais de ensaio, registou-se um valor de 290,8 ( $\pm$  67,4) g de mulching /m<sup>2</sup> de solo para o bloco I e um valor de 84,0 ( $\pm$  47,5) g de mulching /m<sup>2</sup> de solo para o bloco II, estando concordante com a perspectiva de presença ou ausência de folhas queimadas na copa no pós-fogo, respetivamente (tabela 3). No que concerne o bloco III (C) as copas dos eucaliptos ficaram “despidas” no incêndio e quantificaram-se 6,6 ( $\pm$  2,3) g de mulching /m<sup>2</sup> de solo.

**Tabela 3-** Caracterização dos blocos e avaliação dendrométrica dos eucaliptos dos blocos de ensaio, Serpins, 2018.

Caracterização do povoamento						
Bloco	Rotação	dap (cm)		Altura (m)		Altura média (m)/dap (cm)
		Média	sd	Média	sd	
I - LS	1ª rotação	13,4	2,6	14,7	1,1	1,1
II - HS	1ª rotação	14,2	1,4	16,5	1,2	1,2
III - C	≥ 2ª rotação	4,9	1,3	6,1	2,0	1,2
Fisionomia dos blocos						
Bloco	Declive médio de parcelas (°)		sd (°)			
I - LS	16,3		0,6			
II - HS	16,2		0,8			
III - C	16,5		1,0			
Indicador de severidade do fogo						
Bloco	Avaliação visual da copa das árvores no pós-fogo					
I - LS	Parcial					
II - HS	Total					
III - C	Total					

Relativamente ao parâmetro rugosidade média das parcelas por tratamento, mediante os resultados é possível verificar a diferença ( $\cong 0,50$  cm) entre a plantação à curva de nível (HS e LS) e o povoamento sem gestão (C) (figura 28). Como uma rugosidade mais elevada está associada a uma menor quantidade de sedimentos perdidos por erosão hídrica (Malvar et al. 2017), é possível inferir, mediante este parâmetro, que haverá uma maior perda de solo no tratamento C, comparativamente aos restantes.



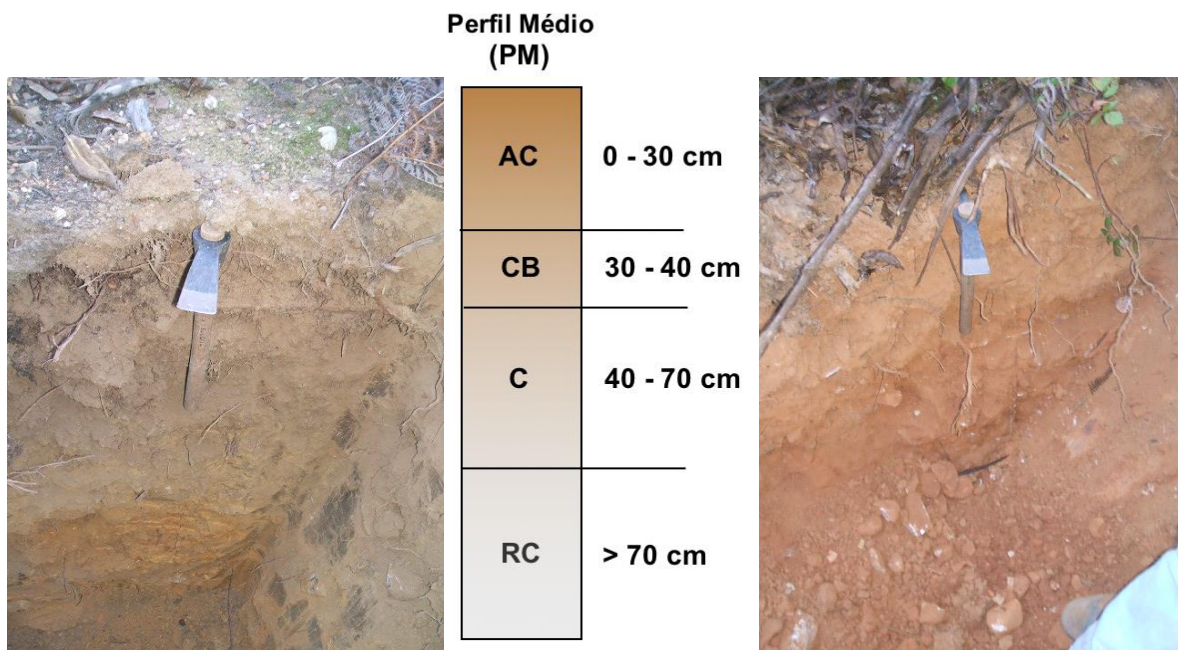
**Figura 28** - Rugosidade média das parcelas por tratamento considerado, onde HS e LS correspondem à plantação com gestão e C sem gestão florestal (valores de rugosidade por parcela de erosão podem ser consultados no anexo II).

Do ponto de vista da rugosidade e possível impacto da gestão no pós-fogo, será de considerar a operação de exploração (corte e recheia do material queimado) como crítica pois esta inclui maquinaria a deslocar-se pela área e movimentação de madeira ao longo da encosta. De forma a assegurar que se minimizam os impactos da operação seria conveniente a deslocação das máquinas sobre resíduos do abate deixados no terreno, sempre que possível com corte e recheia da madeira feita em curva de nível, minimizando o número de passagens por área.

## 4.2 Análise laboratorial de amostras

### 4.2.1 Caracterização do solo

O solo da propriedade com gestão florestal de Serpins é classificado, segundo a nomenclatura FAO, como um Regossolo endoléptico arénico húmico esquelético (figura 29 e tabela 4), ou seja, um solo pouco desenvolvido sem horizonte B individualizado, com contacto lítico a mais de 50 cm de profundidade e com pedregosidade entre 40 e 90% (em peso). Este solo deriva de uma litologia de base sedimentar (areias, calhaus rolados, arenitos pouco consolidados).



**Figura 29-** Perfil médio representativos do tipo de solo da área de estudo.

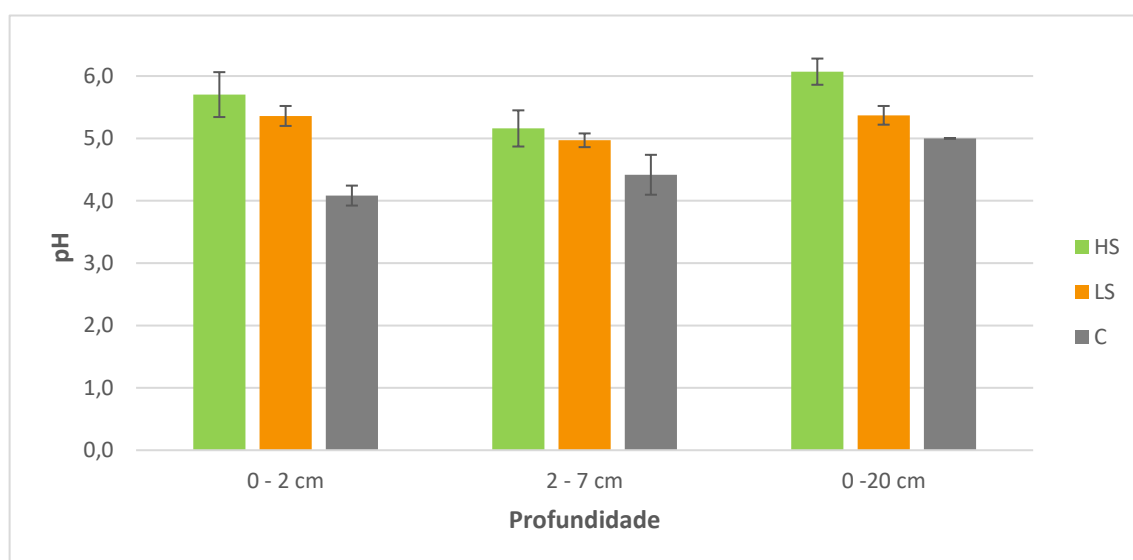
**Tabela 4-**Características físicas do solo para o perfil médio da área de estudo. Onde a textura, consoante a profundidade, é classificada como: ArFhum – Arenoso Franco humífero; FAr – Franco Arenoso; ArF – Arenoso Franco.

<b>PM</b>	<b>Horiz.</b>	<b>Text. <sup>1</sup></b>	<b>Pedr. (%)</b>	<b>Estrutura<sup>2</sup></b>	<b>Adensamento</b>	<b>Cor</b>
	AC	ArFhum	35	Sem	Ausente	Cinzeno amarelado
1	CB	FAr	40	Fraco Blocos Pequeno	Ausente – Fraco	Castanho amarelado
	C	ArF	50	Sem	Ausente – Fraco	Amarelado
	RC	--	--	--	--	--

## Propriedades químicas

- **pH do solo**

Os resultados de pH do solo amostrado nos blocos de ensaio de Serpins apresentam-se na figura 30. Para profundidades 0-2 cm, 2-7 cm e 0-20 cm registaram-se valores de pH compreendidos entre 4 e 6, sendo que o tratamento HS e LS apresentam valores ligeiramente superiores às parcelas sem gestão florestal (C). O solo do bloco HS apresenta um carácter levemente ácido, o LS um solo fortemente ácido e o C um solo muito fortemente ácido segundo o sistema de classificação adotada pelo RAIZ (Costa 1999). Os resultados revelam coerência entre os valores de pH do solo a diferentes profundidades (0-2, 2-7 e 0-20 cm).



**Figura 30** - Resultados do pH do solo medido nos blocos em estudo para uma profundidade de solo de 0-2 cm, 2-7 cm e 0-20 cm.

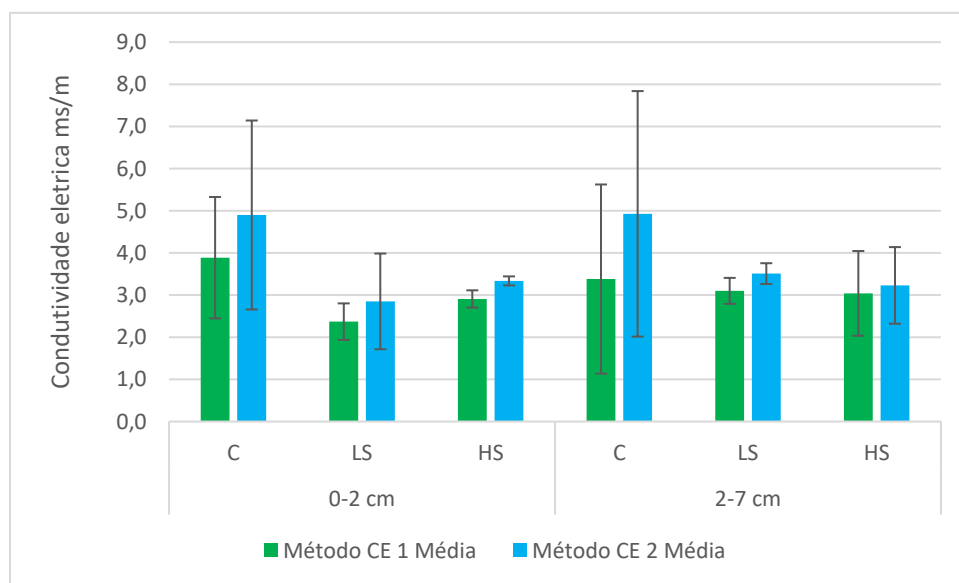
- **Condutividade elétrica (CE) no solo**

Na figura 31 são apresentados os valores de condutividade para as profundidades 0-2 cm e 2-7 cm segundo dois métodos diferentes (CE1 e CE2). Relativamente ao método CE1, o solo apresenta valores de condutividade por tratamento compreendidos entre 2,4 e 3,9 para uma profundidade de 0-2 cm e 3,0 e 3,4 para a profundidade de 2-7 cm, e para o método CE 2 valores entre 2,9 - 4,9 e 3,2 - 4,9, respetivamente. Assim, verifica-se que o método CE 2 apresenta CE do solo superiores relativamente ao método CE 1. Analisando os resultados por tratamento verifica-se que o C apresenta valores de condutividade superiores comparativamente com os restantes tratamentos, este fator

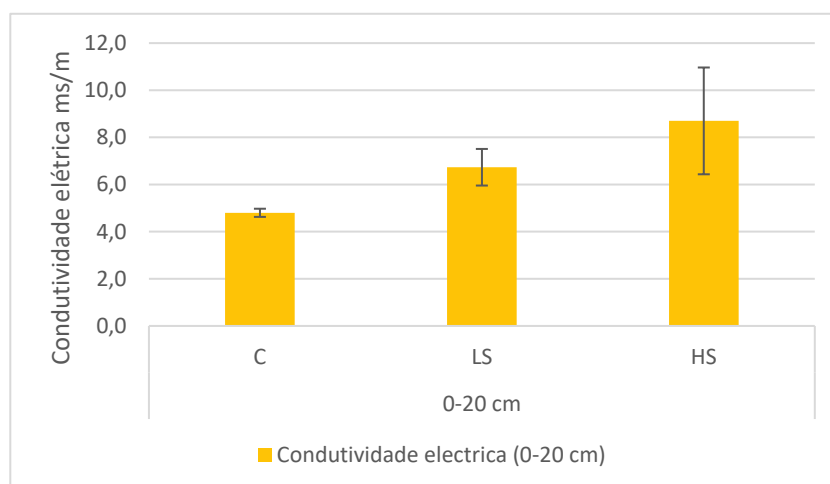
pode estar relacionado com a quantidade de cinzas mais elevada presente nas parcelas de erosão do bloco III (C).

Relativamente à comparação entre métodos, e embora sem apoio estatístico dado o número reduzido de leituras, os resultados sugerem uma correlação entre os métodos, mas com desvios entre leituras mais baixos para o método CE 2. Isto deve-se ao facto de, pelo método CE 1, ao efetuar as medições das amostras em conteúdo não filtrado, não se conseguiu fazer uma estabilização do valor da condutividade elétrica medida levando a erros experimentais associados à sua leitura. O mesmo não ocorreu com as amostras do método CE 2. Desta forma para posteriores realizações de análise de condutividade aconselha-se a metodologia sugerida pelo método CE2.

Ao nível de tratamentos, para a profundidade de amostragem de 20 cm (figura 32), é possível verificar que o tratamento HS e LS apresentam valores de condutividades mais elevados que o tratamento C. A comparação com os valores de CE para as profundidades 0-2 e 2-7 cm é apenas indicativo, uma vez que a amostragem do solo a diferentes profundidades foi feita com metodologia diferente e em dias diferentes.



**Figura 31** - Condutividade elétrica de tratamento, segundo duas metodologias diferentes, medida com amostras de solo recolhidas a 0-2 cm e 2-7 cm.



**Figura 32** - Condutividade elétrica diferentes tratamentos, medida com amostras de solo recolhidas a 0-20 cm.

- **Fertilidade do solo**

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados dos parâmetros analisados para avaliação da fertilidade do solo dos blocos de ensaio. Comparando os resultados com a faixa de referência estabelecida por Fabres et al. (2005) in Teixeira (2015) para solo de povoamentos de eucalipto em Portugal, verifica-se que a concentração em fósforo é média para o bloco HS, baixa a muito baixa para os blocos C e LS, respetivamente. Os blocos I e II, área de povoamento com gestão florestal, apresentam valores de complexo de troca, particularmente em cálcio e magnésio, mais elevados do que o bloco C. Relativamente à concentração em micronutrientes (tabela 6), com exceção do ferro que se encontra em teor elevado, os restantes elementos estão presentes em concentrações muito baixas a médias comparando com o referencial.

**Tabela 5-** Resultados da avaliação da fertilidade do solo (0-20 cm de profundidade) amostrado nas parcelas dos locais de ensaio em Serpins, em plantações de eucalipto, para os parâmetros MO (matéria orgânica), N total (Azoto total), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), K (Potássio), Na (Sódio), GSB<sub>e</sub> (grau de saturação de bases efetiva) e CTC<sub>e</sub> (Capacidade de troca catiônica efetiva). Cada número de parcela corresponde a uma amostra de solo composta.

Bloco	Tratamento	Nº da parcela	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (%)	P mg kg <sup>-1</sup>	N total (%)	Complexo de troca					CTC <sub>e</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )
							Ca	Mg	K	Na	GSB <sub>e</sub>	
							(cmol kg <sup>-1</sup> )				(%)	
II	HS	1	5,9	7,09	7,00	0,30	3,44	0,32	0,12	0,22	83,30	4,92
		2	6,0	7,53	17,00	0,33	4,52	0,46	0,19	0,18	92,40	5,79
		3	6,3	9,98	22,00	0,42	7,54	0,76	0,21	0,16	97,40	8,90
I	LS	4	5,4	8,75	2,14	0,38	2,14	0,29	0,14	0,24	56,90	4,94
		5	5,5	9,12	2,43	0,38	2,43	0,28	0,12	0,22	62,00	4,92
		6	5,2	7,54	1,48	0,33	1,48	0,30	0,12	0,18	44,30	4,69
III	C	7	5,0	7,70	16,00	0,33	0,15	0,38	0,23	0,16	17,50	5,26
		8	5,0	7,22	4,00	0,32	0,09	0,23	0,15	0,14	12,20	5,00
		9	5,0	7,52	3,00	0,31	<0,05	0,20	0,13	0,16	11,10	4,85

**Tabela 6-** Resultados da avaliação da fertilidade do solo (0-20 cm de profundidade) amostrado nas parcelas dos locais de ensaio em Serpins, em plantações de eucalipto, para os micronutrientes: Zn (Zinco), Cu (Cobre), Mn (Manganês), Fe (Ferro), B (Boro). Cada número de parcela corresponde a uma amostra de solo composta.

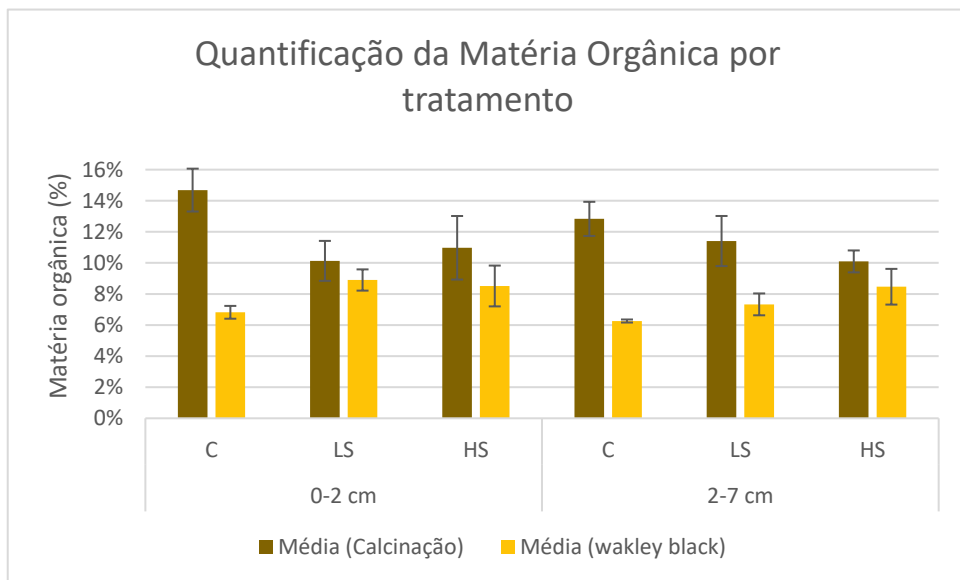
Bloco	Tratamento	Nº da parcela	Micronutrientes				
			Zn	Cu	Mn	Fe	B
			(mg kg <sup>-1</sup> )				
II	HS	1	0,73	0,56	20,13	173,10	1,39
		2	0,87	0,64	21,79	199,00	1,35
		3	1,57	0,77	59,20	241,80	2,25
I	LS	4	0,49	0,42	5,55	208,80	1,38
		5	0,78	0,50	18,57	231,70	1,28
		6	0,69	0,70	8,80	233,80	1,26
III	C	7	1,00	0,60	3,52	304,00	1,09
		8	0,90	0,53	3,43	273,70	0,90
		9	0,51	0,43	3,64	270,80	0,83



- **Matéria orgânica**

Na figura 33 é apresentada a comparação entre as duas metodologias de análise testadas (calcinação e método de Walkley-Black). Aplicando o método da calcinação os valores de matéria orgânica são mais elevados (10,9% - 14,7%) do que pelo método de Walkley-Black (6,3% - 8,9%). Pelo método de calcinação, o bloco C apresenta valores superiores comparativamente aos restantes, com o método de Walkley-Black os valores não foram congruentes. Pela experiência laboratorial adquirida durante o presente estágio, foi possível constatar que o método de Walkley-Black, por se basear num método de avaliação química, a nível laboratorial estará menos sujeito a erros experimentais do que a perda por calcinação (Costa 1999). No entanto, o método Walkley-Black é utilizado mais usualmente para amostras de solos agrícolas e carece de uma maior quantidade de solo para a aplicação do método (solos com menor teor de matéria orgânica requerem maior quantidade de solo para análise). Por este facto e por representar um método mais poluente e de execução demorada, é geralmente preterido face ao método da calcinação.

Analisando os valores obtidos por calcinação, verifica-se em média uma maior percentagem de matéria orgânica nas camadas de 0-2 cm e o bloco C é o que apresenta percentagens mais elevadas nas camadas analisadas, provavelmente devido à elevada concentração de cinzas.

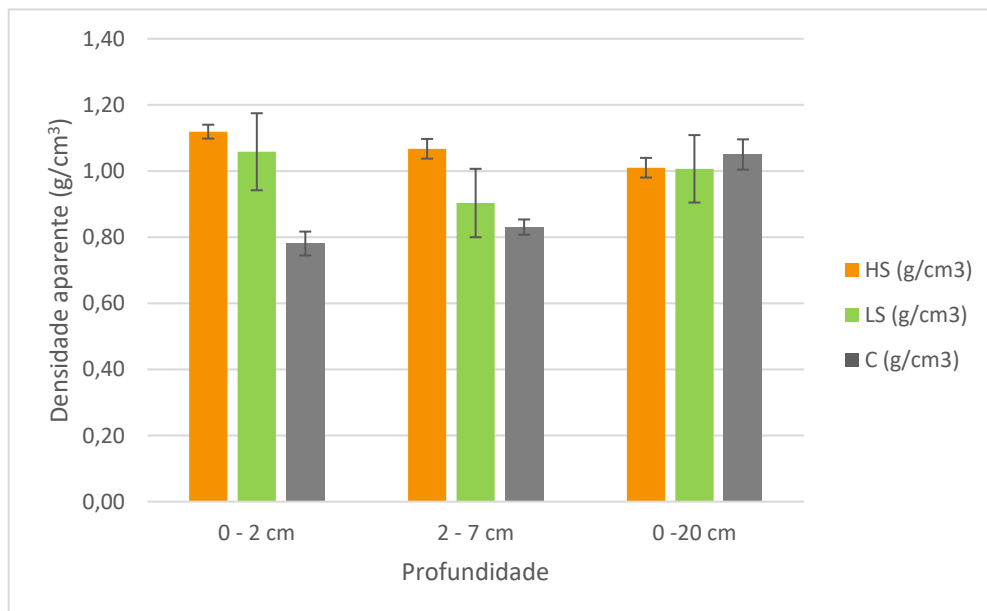


**Figura 33-** Quantificação da matéria orgânica no solo dos blocos do ensaio em Serpins a profundidades de 0-2 cm e 2-7 cm através do método da calcinação e pelo método Walkley-Black.

## Propriedades físicas

### • Densidade aparente

As densidades aparentes do solo para os diferentes blocos encontram-se compreendidas entre 0,78 e 1,12 g/cm<sup>3</sup> para uma profundidade de 0-2 cm, entre 0,83 e 1,07 g/cm<sup>3</sup> (método Dap 2) para 2-7 cm e entre 1,01 e 1,05 g/cm<sup>3</sup> para 0-20 cm (método Dap 1) (figura 34). Estes valores encontram-se concordantes com outros valores disponíveis na literatura para solos florestais (Malvar et al. 2017; Pardini et al. 2004). Apesar das diferenças ligeiras entre os valores registados para os blocos de ensaio, os resultados sugerem um valor mais baixo da densidade aparente para o bloco III (sem gestão florestal) para as camadas mais superficiais não sendo este o reflexo quando se considera a profundidade de 0-20 cm. Tal facto corrobora a existência de uma quantidade superficial mais elevada de cinzas no bloco III ou C. Esta propriedade do solo pode ser afetada pela utilização de maquinaria de exploração promovendo a compactação do solo (Malvar et al. 2017). A compactação do solo impacta negativamente na fertilidade do mesmo (principalmente a nível da porosidade, aeração e disponibilidade hídrica) pelo que a gestão pós-fogo deverá, desejavelmente, passar por minimizar a passagem de máquinas por unidade de área.



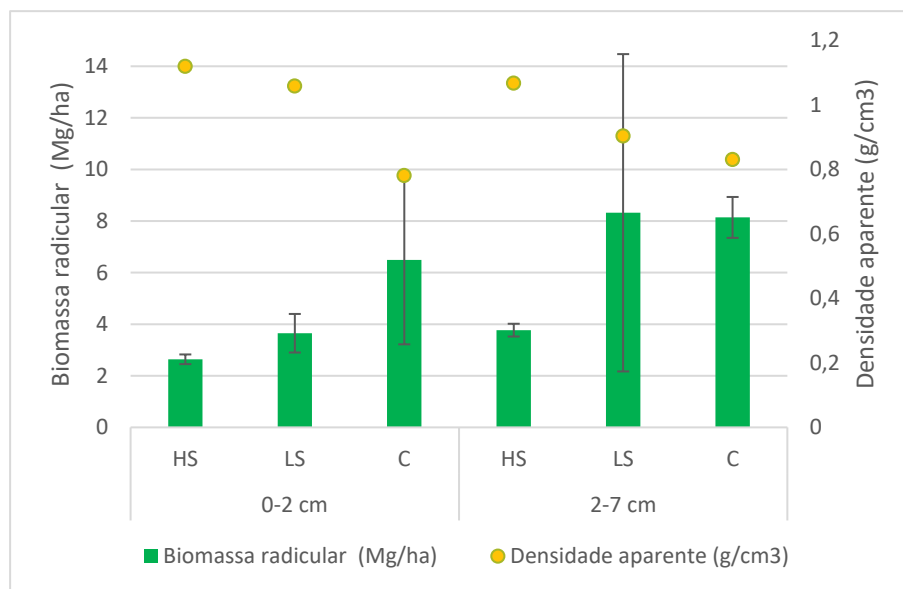
**Figura 34** - Densidade aparente do solo dos blocos de ensaio em Serpins a diferentes profundidades (0-2 cm – fração total, 2-7 cm – fração total e 0-20 cm fração <2 mm).

- **Biomassa radicular**

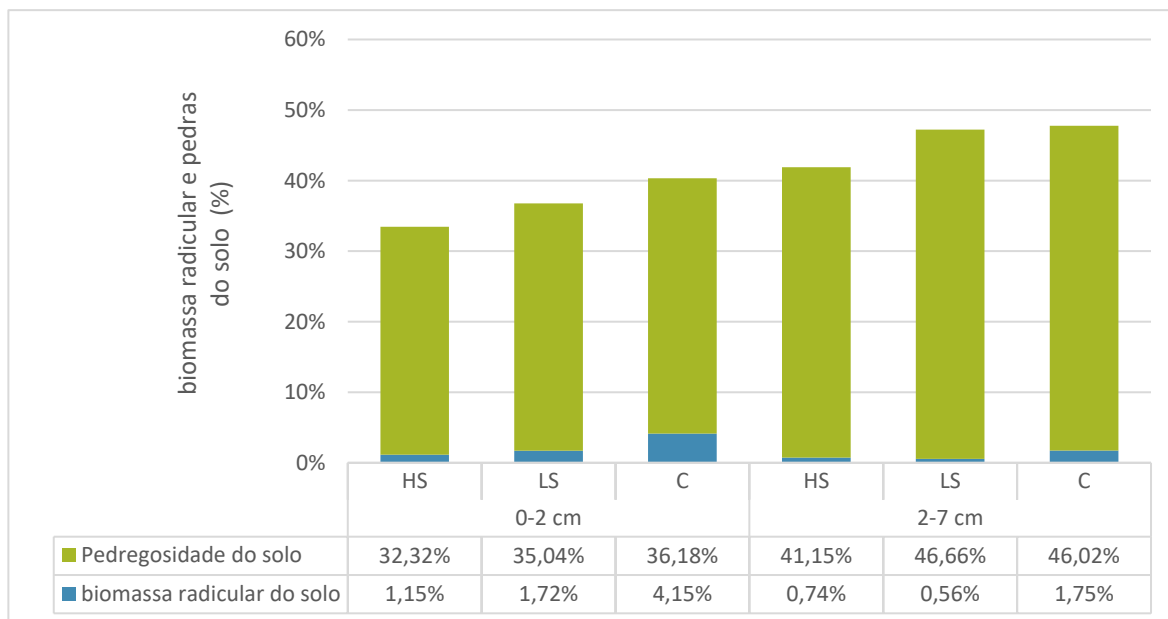
Os resultados da quantificação da biomassa radicular dos blocos do ensaio estão compreendidos entre 2,64 e 6,49 Mg/ha para uma profundidade de 0-2 cm e valores entre 3,77 e 8,32 Mg/ha para profundidades de 2-7 cm (figura 35).

Analisando individualmente cada parcela verifica-se que na profundidade de 0 a 2 cm as parcelas do bloco C apresentam uma maior concentração de biomassa radicular, e a uma profundidade de 2 a 7 cm as parcelas LS são as que registam uma maior quantidade (figura 36). Não obstante o número de amostras reduzido, relacionando os valores de biomassa radicular com a densidade aparente do solo verifica-se uma tendência de relação entre biomassa radicular mais baixas e densidade aparente do solo mais elevadas. Esta tendência é mais evidenciada para a profundidade de 0-2 cm.

Em todos os tratamentos verifica-se a predominância das partículas do solo com dimensões superiores a 2 mm sob a biomassa radicular (figura 36), apresentando valores percentuais de pedregosidade para a profundidade de 0-2 cm de 35% e para 2-7 cm de 45%. Tendo em conta a camada mais representativa de solo, 2-7 cm, porque abrange uma maior profundidade de solo (5 cm), verifica-se que a pedregosidade está diretamente relacionada com as características da tipologia do solo anteriormente descrita.



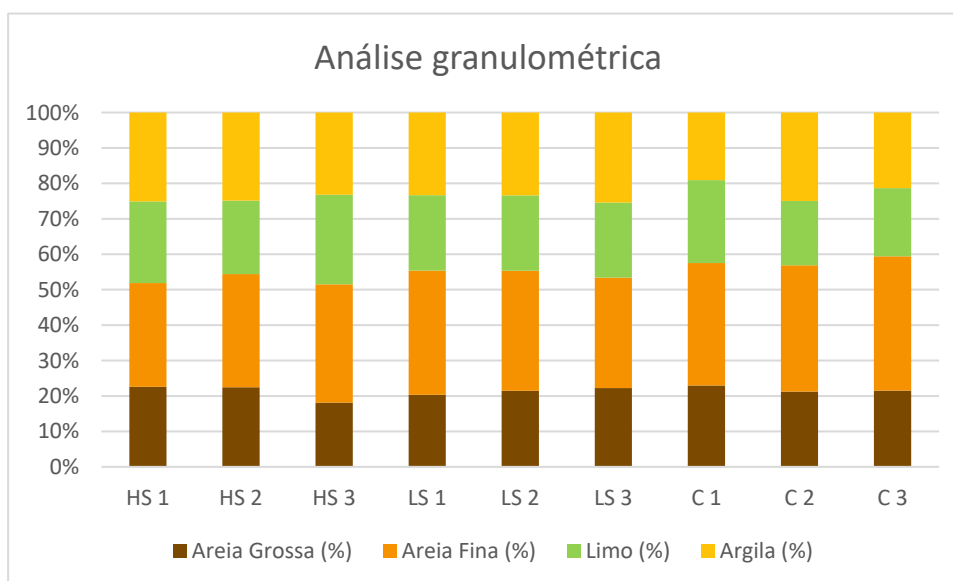
**Figura 35-**Biomassa radicular e densidade aparente média nas profundidades de 0-2 cm a 2-7 cm para os blocos de ensaio, Serpins, 2018.



**Figura 36-** Composição média do solo por tratamento do ensaio instalado em 2018, em Serpins, tendo em conta a biomassa radicular (raízes grandes e pequenas) e a percentagem de partículas do solo com dimensões superiores a 2mm, em percentagem.

- **Análise textural por análise granulométrica**

A textura e estrutura do solo são parâmetros essenciais para a compreensão das funções do ecossistema (Brady and Weil 2002). Relativamente à constituição das amostras verificam-se que são compostas por mais de 50% de areia (figura 37), sendo a textura do solo classificada, segundo o diagrama ternário, como franca.



**Figura 37 –** Análise granulométrica do solo de cada parcela de erosão no ensaio de Serpins, 2018.

- **Repelência do solo à água**

A avaliação da repelência do solo à água permitiu verificar a influência da tipologia do solo na sua hidrofobicidade, podendo vir a ser comparada futuramente após a gestão silvícola pós-fogo (anexo III). A tabela 7 apresenta os resultados obtidos e permite verificar que as amostras recolhidas a uma profundidade de 0-2 cm apresentam uma maior hidrofobicidade e que as frações mais hidrofóbicas são as de menor diâmetro de partícula, não se verificando diferenças em relação à matéria orgânica. Desta forma, há indícios que a repelência do solo pós-fogo à água no caso dos blocos de ensaio de Serpins é resposta à granulometria do solo.

O método seleccionado para análise deste parâmetro na amostragem de Serpins foi o “WDP” ao invés do “MED”, vulgarmente utilizado. Contrariamente ao método “MED” que é efetuado no terreno e a sua repetibilidade está dependente da estação do ano, condições de humidade e temperatura, o método laboratorial “WDP”, pode ser repetido com amostras de solo recolhidas em diferentes alturas do ano.

**Tabela 7-** Resultados da repelência do solo de Serpins à água e matéria orgânica classificadas segundo a mediana de valores num universo de 9 amostras (n) por cada fração granulométrica.

Profundidade de amostragem 0-2 cm			Profundidade de amostragem 2-7 cm		
	Fração	Matéria Orgânica		Fração	Matéria Orgânica
<2 mm	Repelente (n=1)	11%	<2 mm	Repelente(n=3)	11%
	Não repelente (n=8)	12%		Não repelente(n=6)	10%
1-2 mm	Repelente(n=4)	11%	1-2 mm	Repelente(n=0)	---
	Não repelente (n=5)	10%		Não repelente (n=9)	10%
0,2-1 mm	Repelente(n=7)	11%	0,2-1 mm	Repelente (n=3)	8%
	Não repelente (n=2)	8%		Não repelente (n=6)	11%
<0,2 mm	Repelente (n=8)	11%	<0,2 mm	Repelente (n=8)	12%
	Não repelente(n=1)	11%		Não repelente (n=1)	10%

- **Estabilidade dos agregados**

A estabilidade dos agregados pode ser definida como a capacidade que os agregados possuem de se manterem intactos quando sujeitos a tensões externas, capazes de provocar a sua desagregação. Esta propriedade afeta o armazenamento de água e conservação do solo (Amezqueta et al. 2003). Os agregados são os responsáveis também

pelo armazenamento de minerais importantes para a atividade biológica, assim quanto maior a estabilidade de agregados maior a disponibilidade de nutrientes para o solo

É possível também relacionar este parâmetro com a matéria orgânica uma vez que a sua decomposição promove uma maior agregação das partículas. No entanto, no caso de estudo de Serpins, houve estabilidade dos agregados “constante” apesar das ligeiras variações de matéria orgânica (tabela 8).

**Tabela 8-** Estabilidade dos agregados do solo dos blocos de ensaio de Serpins à ação de erosão hídrica.

			Estabilidade dos agregados 1-2 mm		Matéria orgânica 1-2 mm	
			Média	sd	Média	sd
Fração 1-2 mm	0-2 cm	HS	79%	14%	9%	2%
		LS	80%	10%	12%	1%
		C	76%	19%	11%	2%
	2-7 cm	HS	73%	10%	8%	2%
		LS	83%	19%	9%	1%
		C	83%	6%	11%	1%

Em contexto de gestão pós-fogo, será de esperar que o valor da estabilidade dos agregados diminua aumentando a suscetibilidade do solo à erosão hídrica razão pela qual deverão ser tomadas as medidas mitigadoras do efeito da passagem da maquinaria e arrasto de madeira.

#### 4.2.2 Caracterização do material vegetal

A folhada representa um retorno de nutrientes ao solo, numa ótica circular da ciclagem de nutrientes em povoamentos de produção florestal. Este aporte contribuirá para a fertilidade do solo. Na tabela 9 são apresentados os resultados da análise química da amostragem do “mulching”.

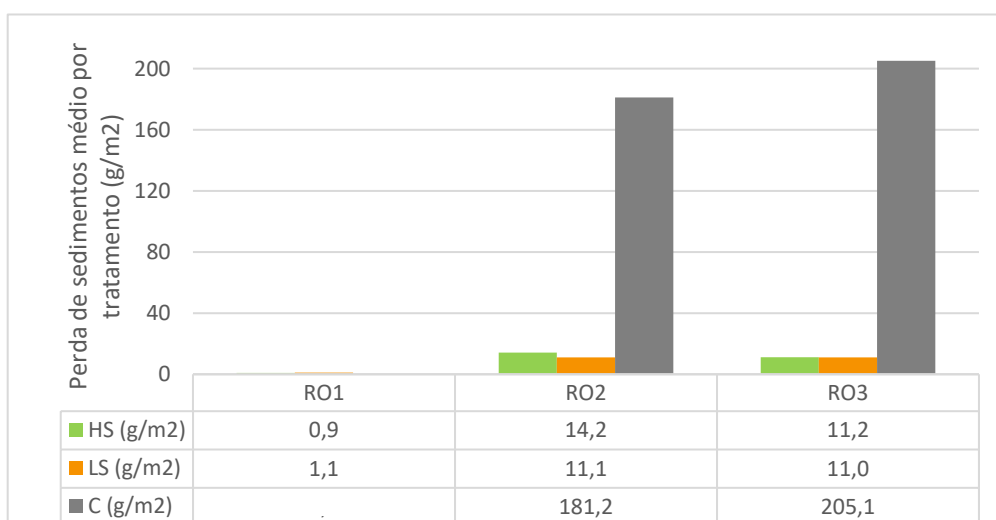
**Tabela 9** – Quantidade e caracterização química do mulching amostrado em cada parcela de ensaio, em Serpins, janeiro de 2018 no que se refere aos parâmetros N (azoto), P (fósforo), K (potássio), Mg (magnésio), S (enxofre), Fe (ferro), Mn (manganês), B (boro), Cu (cobre) e Zn (zinco).

Bloco	Tratamento	Nº da parcela	Quantidade mulch inicial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Cu	Zn
			g/m <sup>2</sup>	%						mg/kg				
II	HS	1		1,57	0,08	0,09	1,30	0,08	0,14	306,4	171,7	2,3	7,1	13,8
		2	84,0	1,68	0,09	0,10	1,51	0,07	0,14	626,8	226,9	2,1	7,6	14,2
		3		1,68	0,09	0,10	1,42	0,07	0,15	504,2	174,8	2,4	7,7	14,5
I	LS	4		1,52	0,07	0,10	1,34	0,08	0,13	573,9	159,3	3,2	7,1	12,9
		5	290,8	1,49	0,08	0,10	1,46	0,09	0,13	738,2	189,8	2,7	7,1	15,3
		6		1,50	0,08	0,11	1,24	0,09	0,14	874,2	223,5	3,5	7,6	14,5
III	C	7		1,72	0,09	0,10	0,85	0,16	0,15	479,1	109,9	0,5	11,0	24,0
		8	6,6	1,74	0,09	0,08	0,79	0,10	0,14	564,6	185,0	0,5	7,7	17,6
		9		1,85	0,10	0,08	0,81	0,12	0,15	538,3	103,1	0,5	8,7	14,8

Com base nos valores apresentados é possível perceber que o contributo da folhada em macronutrientes para o ecossistema florestal segue a ordem: N > Ca > S > K > Mg > P e o contributo em micronutrientes a ordem: Fe > Mn > Zn > Cu > B. Para a adequada nutrição do eucalipto são especialmente relevantes o N (em fase de manutenção) e o P (na fase de instalação da plantação). Comparando os três blocos de ensaio, verifica-se que o bloco I (LS) potenciará um maior retorno de nutrientes da folhada para o solo dada a maior quantidade de biomassa de folhada por unidade de área seguida do bloco II (HS) e, por fim, do bloco III (C). Em resumo, nos blocos da área com gestão, o aporte de nutrientes via folhada ao solo é maior contribuindo, por conseguinte, para o restauro da fertilidade do solo quando comparado com o bloco sem gestão florestal. Este contributo será tanto maior quanto menor a severidade do incêndio.

### 4.2.3 Monitorização da erosão

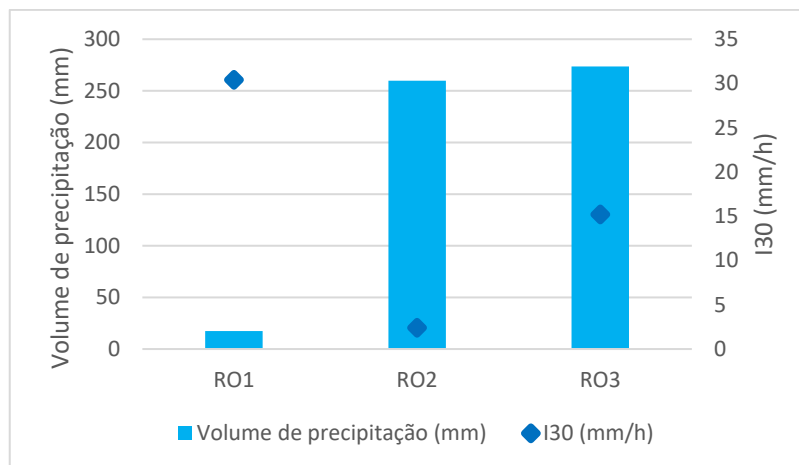
Ao nível de erosão não foi possível efetuar uma análise significativa dos resultados uma vez que apenas se efetuaram 3 medições. No entanto, é possível verificar, ao nível de sedimentos perdidos por ação de erosão hídrica, que nas parcelas HS as perdas foram de 26,3 g/m<sup>2</sup> (0,3 t/ha), nas LS de 23,2 g/m<sup>2</sup> (0,2 t/ha) e nas C de 386,3 g/m<sup>2</sup> (3,9 t/ha). Ao nível de perdas de sedimentos por “read out” (ida ao campo) destaca-se, para perdas médias de sedimentos o realizado no dia 17 de Abril de 2018 (Ro3), com 205,1 g/m<sup>2</sup> para as parcelas C, e 11 g/m<sup>2</sup> para as parcelas HS e LS (figura 38). Verifica-se, assim, diferença entre a quantidade de sedimentos erodidos nas parcelas sem gestão comparativamente às restantes. Apesar de poder não ser comparável ao nível de povoamento instalado com as restantes parcelas, a parcela “C” encontra-se em regime de 2<sup>a</sup> rotação o que conferiria uma estrutura radicular mais estável e maior sustentação dos agregados do solo pelo que, era expectável, um valor mais baixo de erosão. Pelo exposto, os resultados de perda física do solo evidenciam que com uma gestão florestal adequada é possível minimizar-se eventuais fenómenos erosivos num cenário de pós-fogo. Esta gestão inclui, entre outras, a plantação à curva de nível.



**Figura 38-** Quantidade de sedimentos exportados por ação da erosão hídrica, por tratamento (média de 3 parcelas), por cada “read out” no ensaio de Serpins, 2018.

Durante o período de ensaio, a precipitação foi de 551 mm, a maior quantidade de precipitação ocorreu no 3<sup>o</sup> read out (figura 39), ou seja, entre o período temporal compreendido entre o dia 13/03/2018 e 17/04/2018, com 274 mm. A maior intensidade verificou-se entre a instalação das parcelas de erosão e o primeiro “read out” com 30,4 mm/h.





**Figura 39** - Precipitação (mm) e I30 (mm/h) no período de ensaio de Serpins. (RO – Read out)

Quantificando a perda de “mulching”, constata-se que, durante o período de ensaio, as perdas totais verificadas nas parcelas HS, LS e C foram de 5 g/cm<sup>2</sup>, 24 g/cm<sup>2</sup> e 11 g/cm<sup>2</sup>, respectivamente (tabela 10). No tratamento HS e LS, as perdas de “mulch” apresentam perdas percentuais inferiores a 10%. No caso do tratamento C, como a concentração de folhada, medida inicialmente, é muito baixa, as perdas verificadas são maiores, apresentando um valor superior a 100% de perdas (total). Este valor indica que nas parcelas, perdeu-se a totalidade de “mulch” existente aquando da amostragem de caracterização e ainda indica um transporte de folhagem por ação do vento para o local ou queda residual de folhas ardidas do eucalipto. De forma a corroborar estes resultados, seria aconselhável a repetição da caracterização da folhada existente no solo de forma a quantificar a evolução da manta morta do solo.

**Tabela 10** - Percentagem de perdas de “mulch” em relação à concentração inicial medida através de amostragem no local, ilustrado pelas figuras referentes à primeira amostragem e à última monitorização da área de estudo.

Tratamento	Quantidade de "mulch" (g/m <sup>2</sup> )	Perdas totais de "mulch" (g/m <sup>2</sup> )	% de perdas de "mulch"
HS	84	5	6%
LS	290,8	24	8%
C	6,6	11	100%

Ao nível de erosão hídrica, a exploração pós-fogo dependendo das operações realizadas poderão ter um maior ou menor impacto. Usualmente as operações pós-fogo são realizadas no sentido da linha de maior declive, com maquinaria pesada, promovendo um arrastamento de troncos pela encosta, danificando a estrutura física do solo e promovendo canais preferenciais para escorrência de água. É possível também inferir que o impacto da maquinaria poderá ser menor nas áreas florestais geridas uma vez que possuem uma “proteção” natural do solo (material vegetal e “mulch”), enquanto que na área sem gestão ainda apresenta uma cobertura vegetal reduzida.

## Capítulo 5 – Considerações finais

---

### 5.1 Conclusões

Ao nível de resultados destacam-se as diferenças entre as áreas sem gestão (bloco III) e com gestão (blocos I e II) ao nível de perda física de solo com valores, em unidades de  $g/m^2$ , cerca de 15 vezes superiores na área sem gestão florestal. Os blocos com gestão florestal apresentam, no geral, melhor fertilidade do solo e maior contributo do natural mulching no pós-fogo para a capacidade produtiva do solo. No entanto, é importante salvaguardar que estes locais de estudo (blocos I/II e bloco III) estão situados em áreas que, embora próximas não são contíguas e que podem, portanto, ter variabilidade de condições entre si.

Dada a fragilidade do solo a fenómenos como os incêndios florestais que promovem degradação de características físicas e químicas tornando o sistema mais suscetível a agentes erosivos, no pós-fogo é importante adotar medidas mitigadoras que promovam a preservação do solo e potenciem a regeneração do ecossistema florestal. Através dos trabalhos efetuados foi possível entender alguns dos impactos dos incêndios florestais e a influência que uma gestão silvícola poderá apresentar sobre a alteração das características físicas e químicas e erosão hídrica do solo. Não foi possível, dada a limitação de tempo para a concretização do estágio e o desfasamento temporal com as práticas de gestão florestal no pós-fogo nas áreas acompanhadas, avaliar o impacto de medidas mitigadoras que poderiam ser testadas. No entanto, ao longo do relatório tentou fazer-se uma análise exploratória crítica de quais os possíveis impactos da gestão pós-fogo a nível do solo e sugerir medidas práticas para os minimizar. Independente da gestão futura do povoamento onde se acompanhou o ensaio (rearborização ou gestão em talhadia), recomenda-se o corte e recheia da madeira à curva de nível preferencialmente em Julho ou Agosto (fora do período de maior pluviosidade). Idealmente, recomenda-se a utilização de resíduos de exploração (como ramos e casca de eucalipto trituradas) como “mulching”, associado também a uma redefinição da estrutura de plantação em curva de nível, caso esta tenha sido danificada com a exploração da madeira. Da análise dos resultados obtidos no presente estágio ficou evidente que a montante da mitigação de fenómenos erosivos no solo num cenário de

pós-fogo está a sua prevenção com uma gestão florestal adequada e responsável dos povoamentos.

O ano de 2017 ficará para sempre marcado na história de Portugal. “Portugal arde! E agora?”. Foi o dilema com que todos nos deparamos. O ano de 2017 deu-nos 112 motivos para perceber que realmente precisamos de fazer algo para proteger as pessoas, mas outros quantos para entender que também devemos proteger as florestas que, como verificado, abrange uma adequada gestão dos espaços florestais.

## Capítulo 6 – Bibliografia

---

- AIFF. (2013). *Uma visão para o sector florestal*.
- Amezketeta, E., Aragües, R., Carranza, R., and Urgel, B. (2003). "Macro- and micro-aggregate stability of soils determined by a combination of wet-sieving and laser-ray diffraction." *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(4), 83–94.
- Baker, W. (1989). "A review of models of landscape change." *Landscape ecology*, 2(2), 111–133.
- Barbosa, C. (2009). "A Biodiversidade na floresta: politicas vs visão dos proprietários." Universidade de Aveiro.
- Beschta, R. L., Frissell, C. A., Gresswell, R., Hauer, R., Karr, J. R., Minshall, G. W., Perry, D. A., and Rhodes, J. J. (1995). "Recommendations for Ecologically Sound Post- Fire Salvage Managemme ...." (March).
- Bidarra, J. P. S. (2013). "A Gestão Florestal e a Gestão Pós-Fogo – Visão dos Proprietários." Universidade de Aveiro.
- Bisdorn, E. B. A., Dekker, L. W., and Schoute, J. F. T. (1993). "Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure." *Geoderma*, (56), 105–118.
- Brady, N. C., and Weil, R. R. (2002). *Arquitetura e Propriedades físicas do solo*.
- Carrow, R. N., and Duncan, R. R. (2011). *Best Management Practices for Saline and Sodic Turfgrass Soils: Assessment and Reclamation*.
- CELPA. (2015). "Projecto Melhor Eucalipto." <<http://www.celipa.pt/melhoreucalipto/>>.
- CESAM. (2009). "earth surface processes team." <<http://www.cesam.ua.pt/subsites/index.php?subsiteid=71&language=pt>> (May 20, 2018).
- Collins, R. D., De Neufville, R., Claro, J., Oliveira, T., and Pacheco, A. P. (2013). "Forest fire management to avoid unintended consequences: A case study of Portugal using system dynamics." *Journal of Environmental Management*, 1–9.
- Comissão Técnica dos metodos quimico-analiticos. (1920). *Metodos oficiais para a análise agronómica de solos aráveis*. Coimbra.

- Cortizo, M. M. (2013). “Avaliação do efeito conjunto da gestão florestal e dos incêndios na ocorrência e erosão do solo no norte-centro de Portugal.” Universidade de Aveiro.
- Costa, J. B. (1999). *Caracterização e Constituição do solo*. Lisboa.
- DeBano, L. F., Neary, D. G., and Ffolliott, P. F. (1998). *Fire Effects on Ecosystems*. Canada.
- DGRF. (2007). *Estratégia Nacional para as florestas*. ICNF.
- DGRF. (2015). *Estratégia nacional para as Florestas - Atualização*. *Diário da República*, 1.<sup>a</sup> série — N.º 24 — 4 de fevereiro de 2015.
- ESP team. (2017). “Earth Surface Processes team.”  
<<http://espteam.web.ua.pt/#contacts>> (Jan. 2, 2018).
- Fabres, A. ., Barrocas, H., Rafael, J., and Borralho, N. (2001). “Desenvolvimento de indicadores do estado nutricional de povoamentos de eucalipto para a gestão da fertilização.” *Tecnicelpa*.
- Fabres, A. ., Ferreira, D., Silva, P., and Meireles, E. (2005). “Deliverable 5: Indicadores da fertilidade do solo e do estado nutricional da planta para o cultivo de *Eucalyptus globulus*.” Relatório técnico, PT035, RAIZ.
- Fernandes, P. A. M. (2006). “Silvicultura Preventiva e Gestão de Combustíveis: Opções e Optimização.”
- Fernandes, P., Botelho, H., and Loureiro, C. (2002). *Manual de formação para a técnica do fogo controlado*. Vila Real.
- Fernández, C., Vega, J. A., Fonturbel, T., Pérez-Gorostiaga, P., Jiménez, E., and Madrigal, J. (2007). “Effects of wildfire, salvage logging and slash treatments on soil degradation.” *Land Degradation & Development*, Wiley-Blackwell, 18(6), 591–607.
- Ferreira, A. J. D., Coelho, C. O. A., Boulet, A. K., and Lopes, F. P. (2005). “Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal.” *International Journal of Wildland Fire*, 14, 401–412.
- Ferreira, A. J. D., Coelho, C. O. A., Ritsema, C. J., Boulet, A. K., and Keizer, J. J. (2008). “Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach.” *Catena*, 74, 273–285.
- Filho, E. P., Santos, P. E. T. dos, and Ferreira, C. A. (2006). *Eucaliptos indicados para plantios no estado do Paraná*. Embrapa Florestas, Colombo.

- Finney, M. A., and Cohen, J. D. (2003). *Expectation and Evaluation of Fuel Management Objectives*.
- Florestar. (2007). *Guia prático de intervenção em áreas florestais sensíveis aos riscos: - Risco de incêndio/Erosão/Fitossanitário*.
- Fox, T. R. (2000). "Sustained productivity in intensively managed forest plantations." *Forest Ecology and Management*, Elsevier, 138(1–3), 187–202.
- Gee, G. ., and Bauder, J. . (1986). "Particle Size Analysis. In: Methods of Soil Analysis, Part A." *Am. Soc. Agron., Madison, WI*, 9(2), 383–411.
- Gent, J. A., Ballard, R., Hassan, A. E., and Cassel, D. K. (1984). "Impact of Harvesting and Site Preparation on Physical Properties of Piedmont Forest Soils<sup>1</sup>." *Soil Science Society of America Journal*, Soil Science Society of America, 48(1), 173.
- Gomes, M. P., and Silva, A. A. (1962). "Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo." *Garcia da Orta*, 10, 171–179.
- Graham, R., McCaffrey, S., and Jain, T. (2004). *Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity*.
- GTF Lousã. (2007). *PMDFCI*. Lousã.
- Guiomar, N., Palheiro, P., Loureiro, C., Salgueiro, A., Tomé, J., and Fernandes, J. P. A. (2011). *Manual De Boas Práticas De Gestão Dos Espaços Florestais Na Bacia Drenante Da Albufeira De Castelo De Bode*.
- ICNF. (2013). *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental em 1995, 2005 e 2010*. Lisboa.
- ICNF. (2014). *Análise das Causas dos Incêndios florestais 2003-2013*.
- ICNF. (2017). *10º Relatório provisório de incêndios florestais*.
- ICNF. (2018). "Glossário Técnico." <<http://www2.icnf.pt/portal/florestas/gf/gloss-tec>>.
- ISO 10390. (2005). *Soil quality -Determination of pH*.
- Jackson. (1958). *Walkley-Black method. Soil chemical analysis. Prentice Hall Inc, London*.
- Kemper, W. D., and Rosenau, R. C. (1986). "Aggregate Stability and Size Distribution." *Methods of Soil Analysis, Part 1 - Physical and Mineralogical Methods*, 9(9), 425–442.
- Lei nº 33/1996, de 17 de Agosto. (1996). *Diário da República nº 190, Série I-A*.

- López, L. G. Z. (2004). "Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales." *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Maia, P., Pausas, J. G., Vasques, A., and Keizer, J. J. (2012). "Fire severity as a key factor in post-fire regeneration of *Pinus pinaster* (Ait.) in Central Portugal." *Annals of forest science*, 489–498.
- Malvar, M. C., Silva, F. C., Prats, S. A., Vieira, D. C. S., Coelho, C. O. A., and Keizer, J. J. (2017). "Short-term effects of post-fire salvage logging on runoff and soil erosion." *Forest Ecology and Management*, Elsevier B.V., 400, 555–567.
- Martins, M. A. S., Machado, A. I., Serpa, D., Prats, S. A., Faria, S. R., Varela, M. E. T., González-Pelayo, Ó., and Keizer, J. J. (2013). "Runoff and inter-rill erosion in a Maritime Pine and a Eucalypt plantation following wildfire and terracing in north-central Portugal." *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61(4), 261–268.
- McIver, J. D., and Starr, L. (2001). "A literature review on the environmental effects of postfire logging." *West. J. Appl. For.*, 16, 159–168.
- Merino, A., and Edeso, J. M. (1999). "Forest ecology and management." *Forest Ecology and Management*, Elsevier Science Pub. Co, 116(1–3), 83–91.
- Miller, H. G. (1989). "Internal and External Cycling of Nutrients in Forest Stands." *Biomass Production by Fast-Growing Trees*, Springer, Dordrecht, 73–80.
- Neary, D. G. ., Ryan, K. C. ., and DeBano, L. F. (2005). "Wildland Fire in Ecosystems, effects of fire on soil and water." *USDA-FS general technical report*, 4(September), 250.
- Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., and Ffolliott, P. F. (1999). "Fire effects on belowground sustainability: A review and synthesis." *Forest Ecology and Management*, 122(1–2), 51–71.
- Oliveira, M. da G. de A. (2005). "Propagação do Fogo e Dinâmicas Florestais." Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Pardini, G., Gispert, M., and Dunjó, G. (2004). "Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain." *Science of the Total Environment*, 328(1–3), 237–246.
- Poore, M. E. D., and Fries, C. (1985). *The ecological effects of eucalyptus*. Rome:FAO.



- Proença, V., Pereira, H. M., and Vicente, L. (2010). "Resistance to wildfire and early regeneration in natural broadleaved forest and pine plantation." *Acta Oecologica*, 36, 626–633.
- Quiqui, E. M. Del, Martins, S. S., and Shimizu, J. Y. (2001). "Avaliação de espécies e procedências de Eucalyptus para o Noroeste do Estado do Paraná." *Acta Scientiarum*, 23(5), 1173–1177.
- Raiz. (2018). "Instituto de Investigação da Floresta e do Papel." <<http://raiz-iifp.pt>> (Apr. 3, 2018).
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. da C., Martins, J. C., and Pereira, L. S. (2016). *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*.
- RECARE-HUB. (2018). "RECARE Project." <<https://www.recare-hub.eu/soil-threats/soil-erosion#prevent>>.
- Robichaud, P. R., Ashmun, L. E., and Sims, B. D. (2010). "Post-Fire Treatment Effectiveness for Hillslope Stabilization." *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-240*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 62.
- Román, M. V., Azqueta, D., and Rodrigues, M. (2013). "Methodological approach to assess the socio-economic vulnerability to wildfires in Spain." *Forest Ecology and Management*, 294, 158–165.
- Saleh, A. (1993). "Chain method: Soil roughness measurement." *Journal of Soil and Water Conservation*, 48(6), 527–529.
- Santana, V. M., González-Pelayo, O., Maia, A. A. P., Varela, M. E. T., Vallejo, J. R., and Keizer, J. J. (2016). "Effects of fire recurrence and different salvage logging techniques on carbon storage in Pinus pinaster forests from northern Portugal." *European Journal of Forest Research*.
- Shakesby, R. A. (2011). "Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions." *Earth-Science Reviews*, Elsevier B.V., 105(3–4), 71–100.
- Shakesby, R. A., Boakes, D. J., Coelho, C. O. A., Gonçalves, A. B., and Walsh, R. P. D. (1996). "Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests in Portugal." *Applied Geography*, 16, 337–355.
- Silva, J. S., Vaz, P., Moreira, F., Catry, F., and Rego, F. C. (2011). "Wildfires as a major driver of landscape dynamics in three fire-prone areas of Portugal." *Landscape and*

- Urban Planning*, Elsevier B.V., 101(4), 349–358.
- Teixeira, C. E. B. (2015). “Fertilização de manutenção em *Eucalyptus globulus* Labill .” Universidade de Trás-os Montes e alto Douro.
- The Navigator Company. (2018). “RESEARCH & DEVELOPMENT.”  
<<http://en.thenavigatorcompany.com/Pulp-and-Paper/Research-Development>> (Jan. 4, 2018).
- Turner, M. G., Tinker, D. B., Gergel, S. E., and Stuart, F. (2002). *Landscape Disturbance. Location, Pattern, and Dynamics*. Springer Verlag, New York, NY.
- Vallejo, R. (2006). *Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas aridas*.
- Vallejo, R., Aronson, J., Pausas, J. G., and Cortina, J. (2006). “Restoration of Mediterranean woodlands.” *Restoration ecology. The new frontier*, 193–207.
- Vejre, H. (1999). “Stability of Norway spruce plantations in western Denmark – soil nutrient aspects.” *Forest Ecology and Management*, 114(1), 45–54.

Anexo I

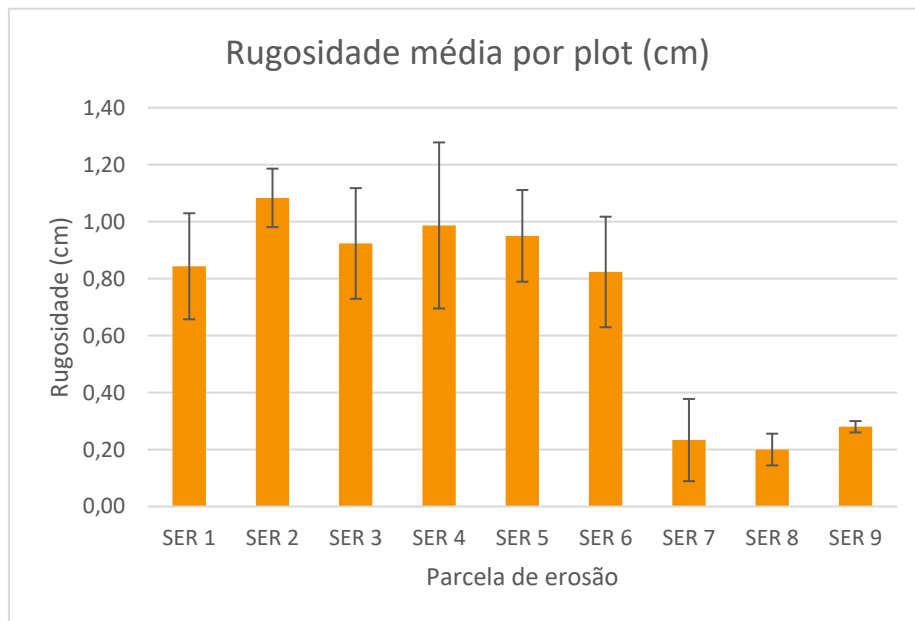
A I- Material e métodos (textura por análise granulométrica)

Tabela 11- Tempo de sedimentação para pipetagem das frações limo + argila e argila a 10 cm de altura de queda.

Temperatura (°C)	Tempo de sedimentação para pipetagem a 10 cm de altura de queda			
	(Limo + argila) < 0,020 mm		Argila < 0,002 mm	
	Minutos	Segundos	Horas	Minutos
10	6	14	10	23
11	6	3	10	6
12	5	54	9	49
13	5	44	9	34
14	5	35	9	19
15	5	27	9	5
16	5	19	8	51
17	5	10	8	37
18	5	3	8	24
19	4	55	8	12
20	4	48	8	0
21	4	41	7	48
22	4	34	7	37
23	4	28	7	26
24	4	22	7	46
25	4	15	7	6
26	4	10	6	56
27	4	4	6	47
28	3	59	6	38
29	3	54	6	29
30	3	48	6	21
31	3	43	6	12
32	3	39	6	5
33	3	34	5	57
34	3	30	5	50
35	3	26	5	43

## Anexo II

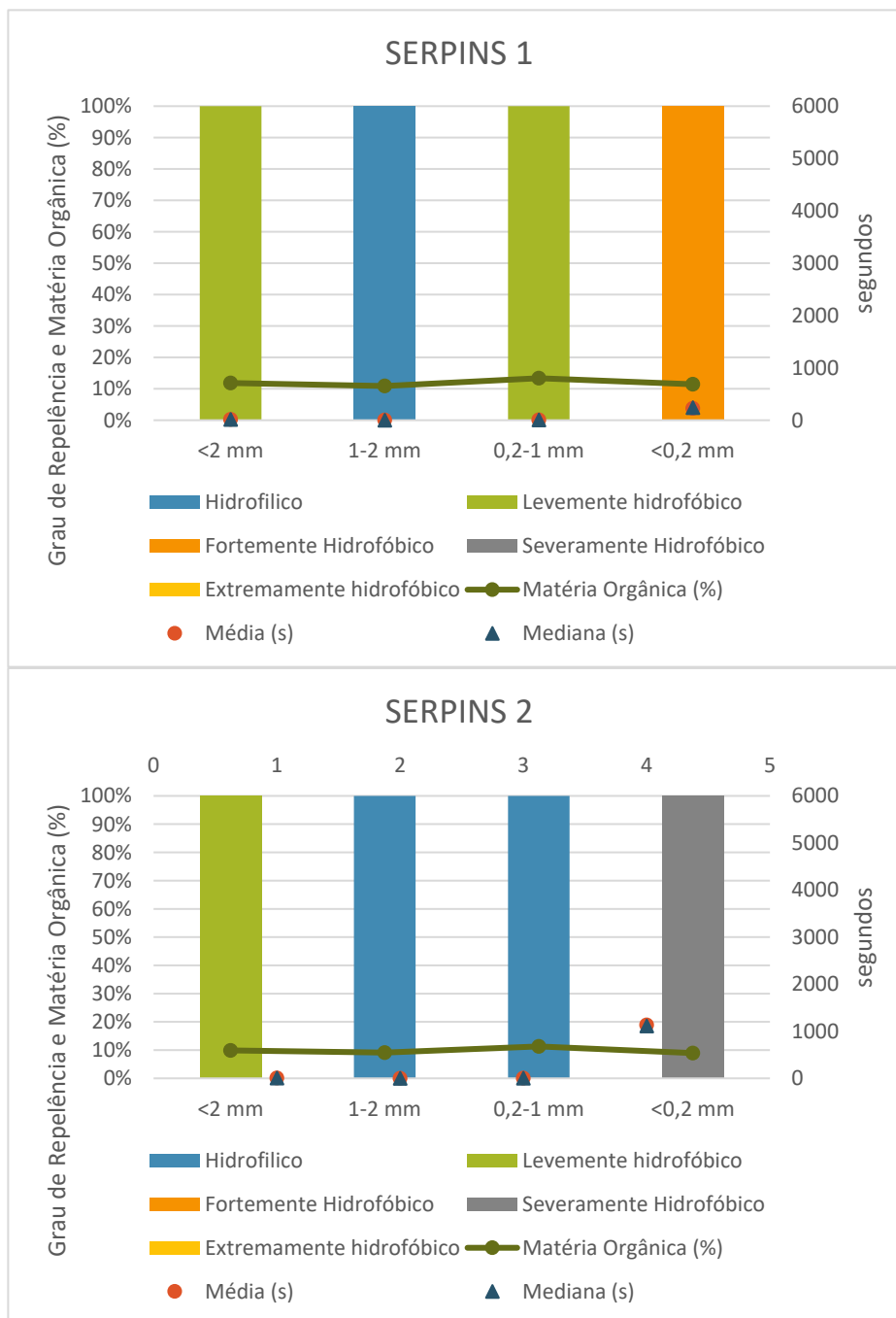
### A II- Caracterização das parcelas de erosão (Rugosidade)



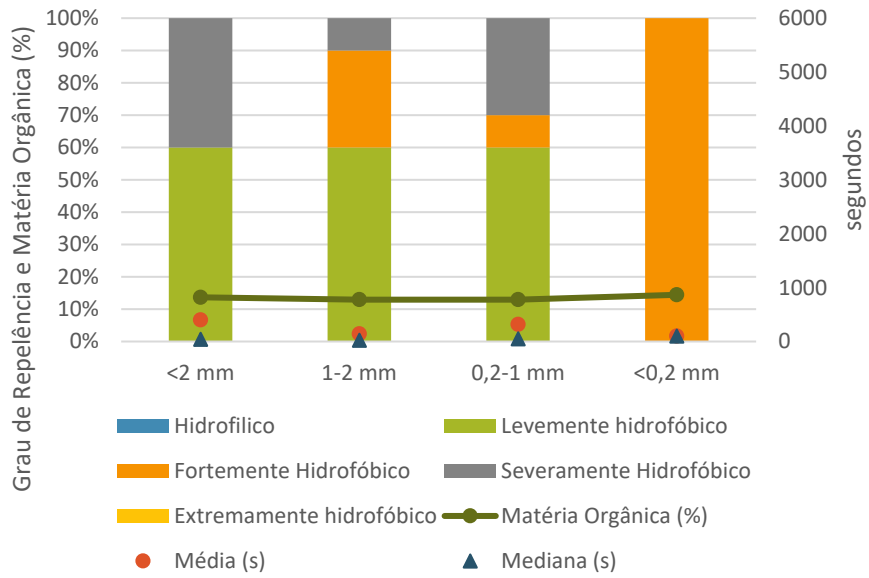
**Figura 40** -Rugosidade média por parcela de erosão, considerando 3 medições por cada um.

### Anexo III

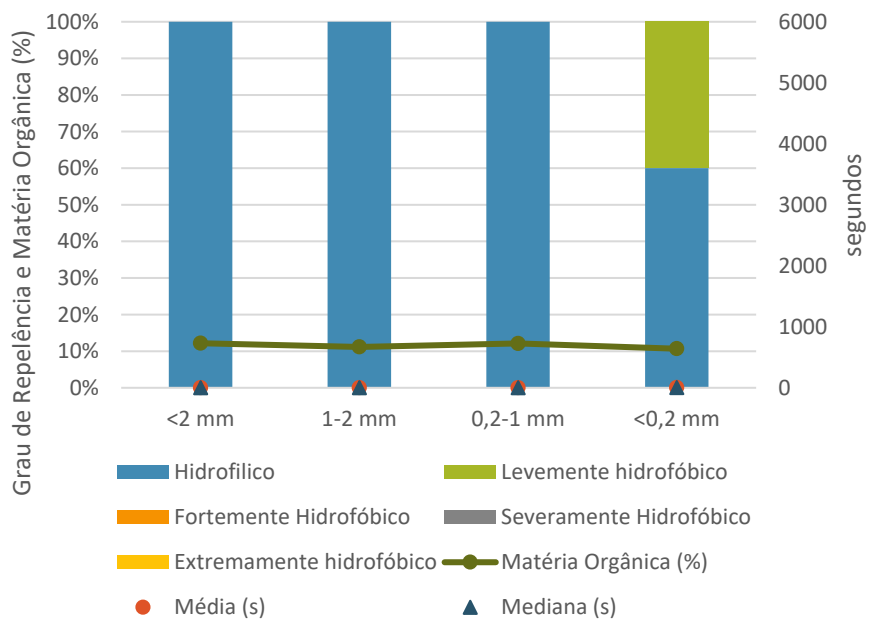
**Tabela 12-** Dados relativos à repelência de água por cada parcela com identificação da média e mediana dos valores e matéria orgânica a uma profundidade de 0-2 cm.



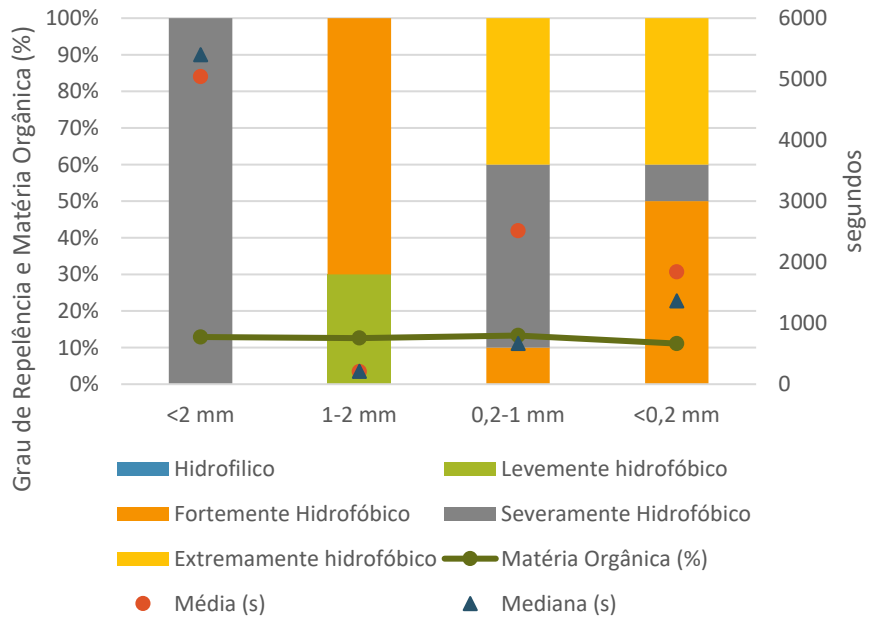
### SERPINS 3



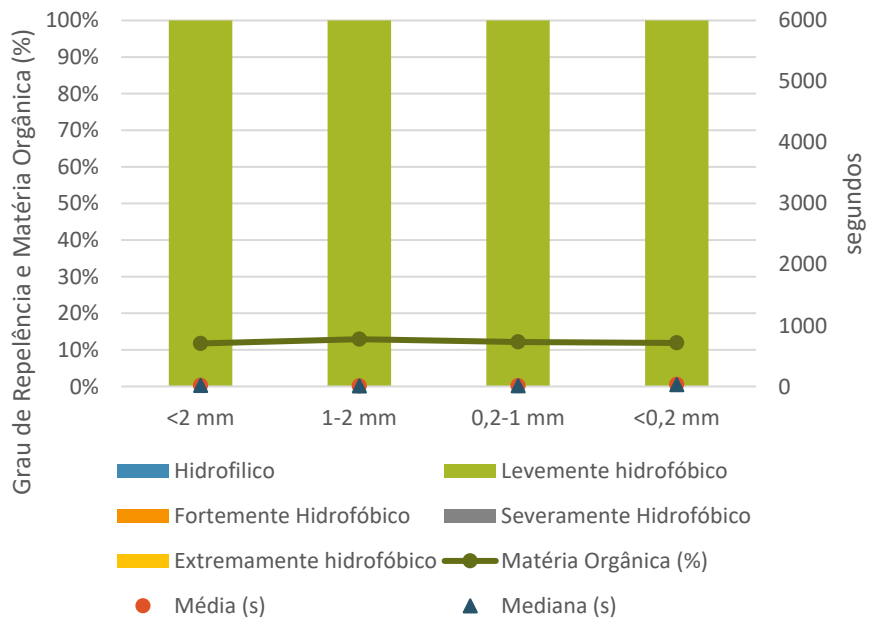
### SERPINS 4



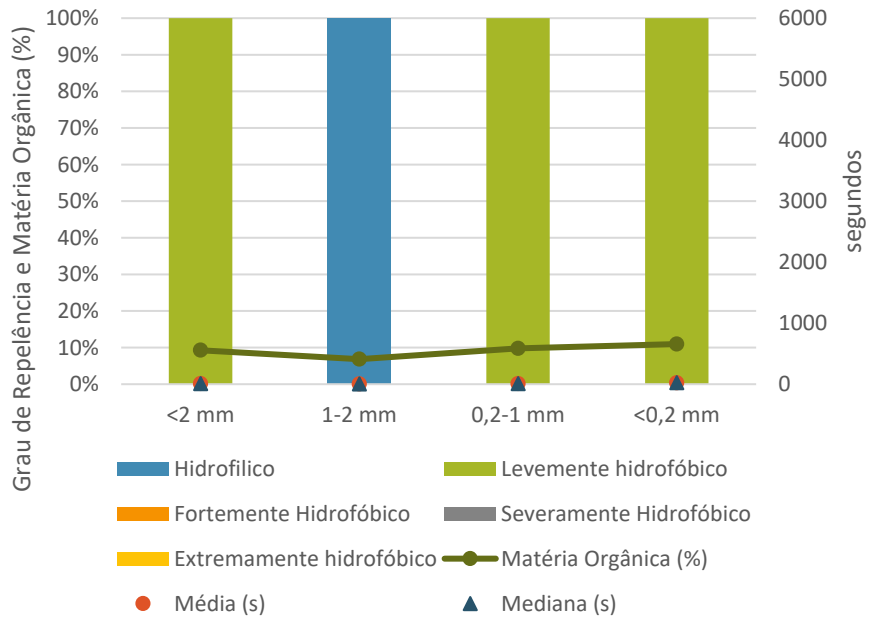
### SERPINS 5



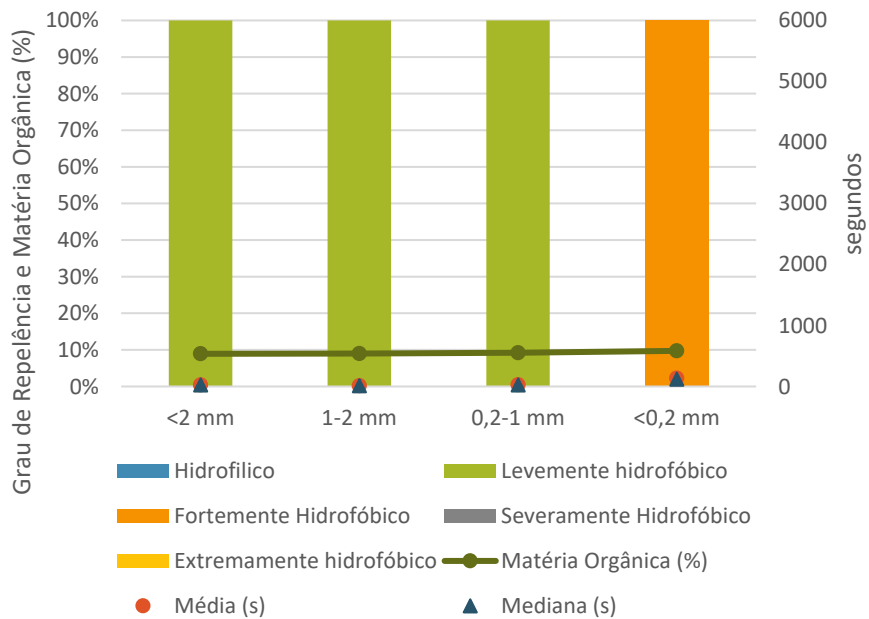
### SERPINS 6



### SERPINS 7

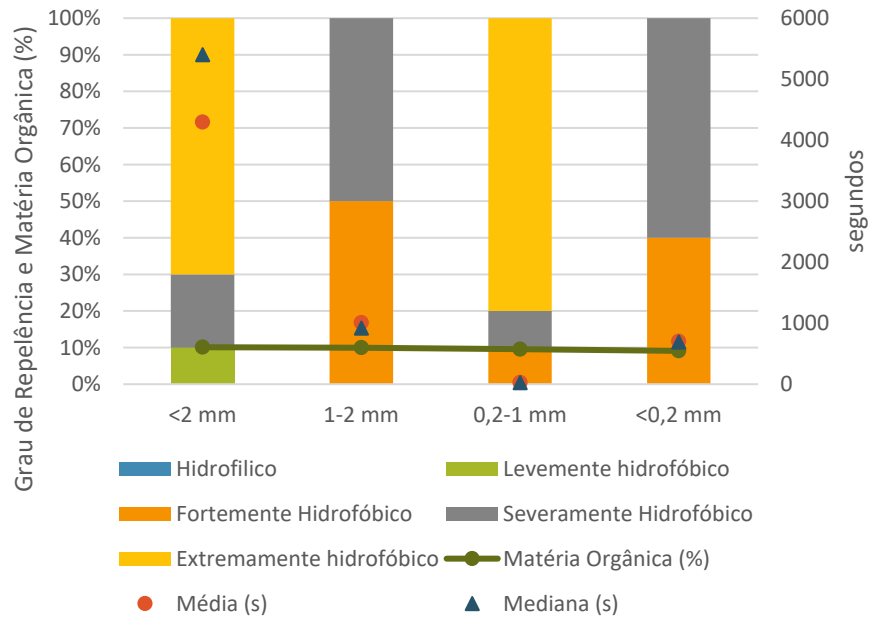


### SERPINS 8

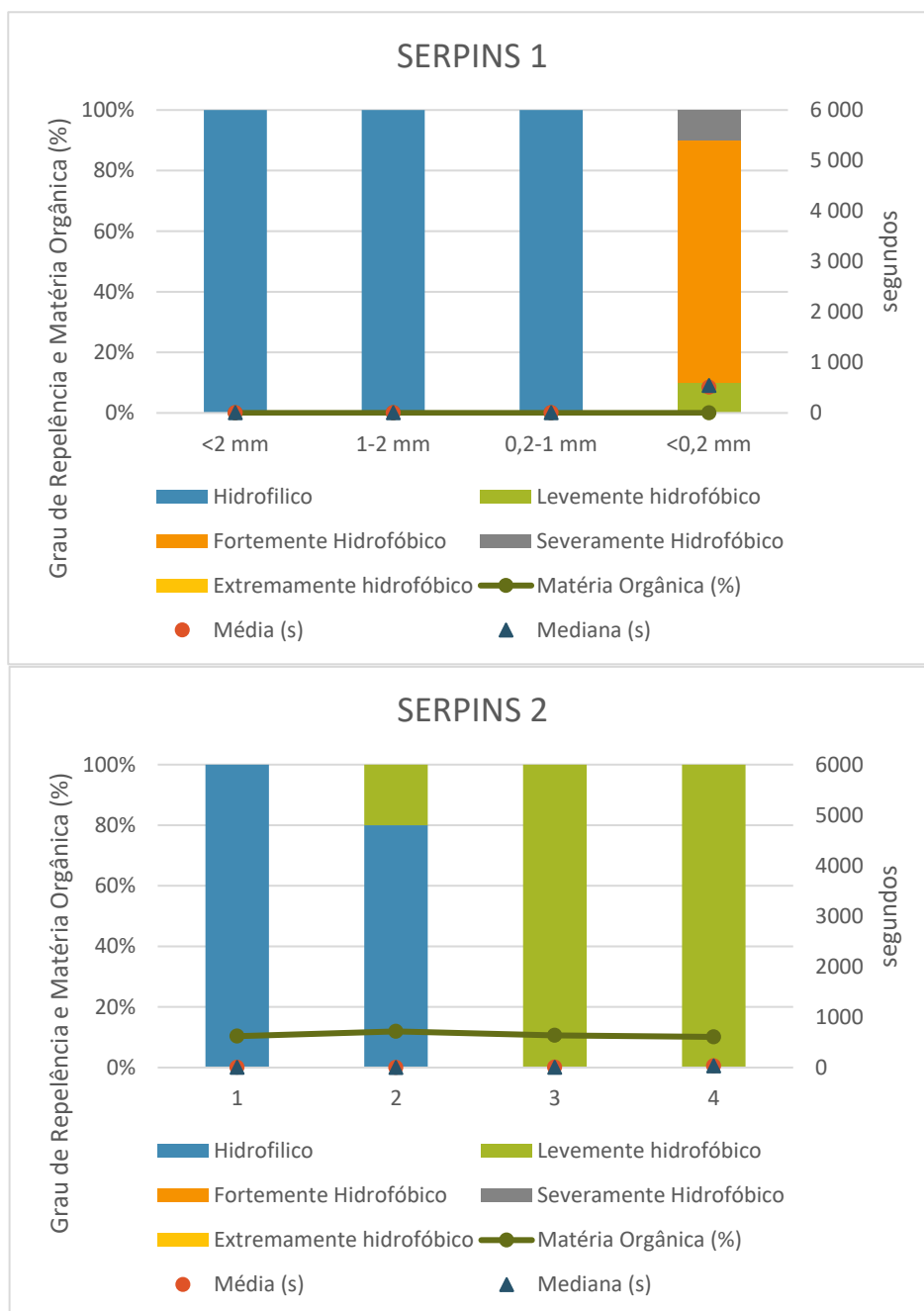




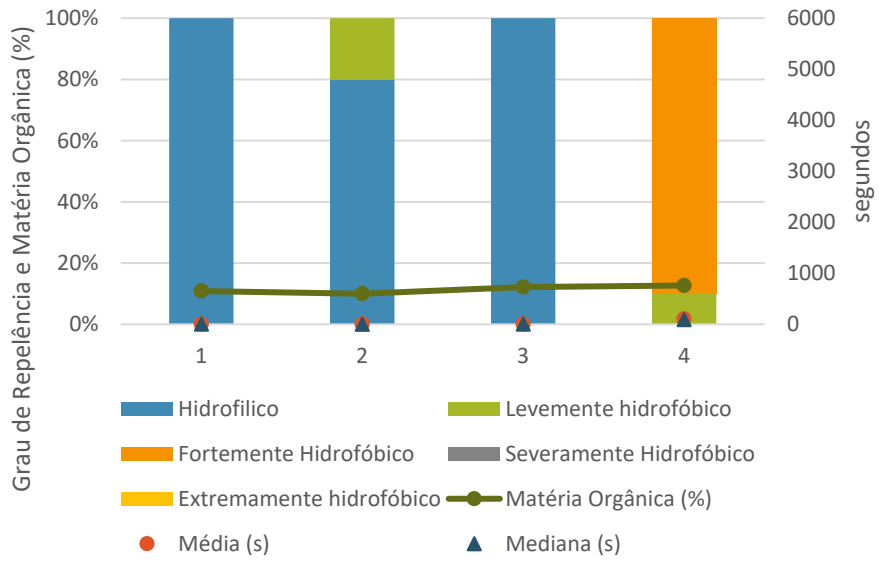
### SERPINS 9



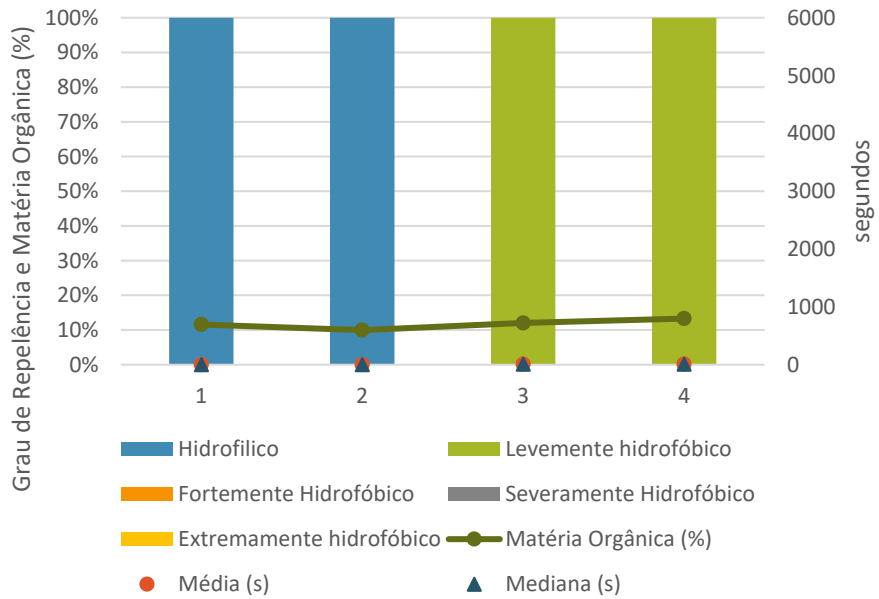
**Tabela 13-**Dados relativos à repelência de água por cada parcela com identificação da média e mediana dos valores e matéria orgânica a uma profundidade de 2-7 cm.



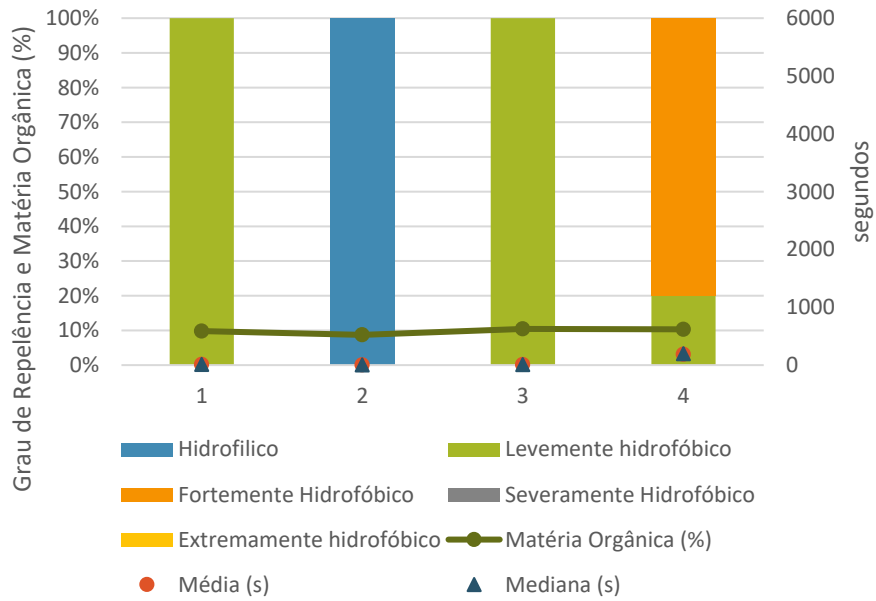
### SERPINS 3



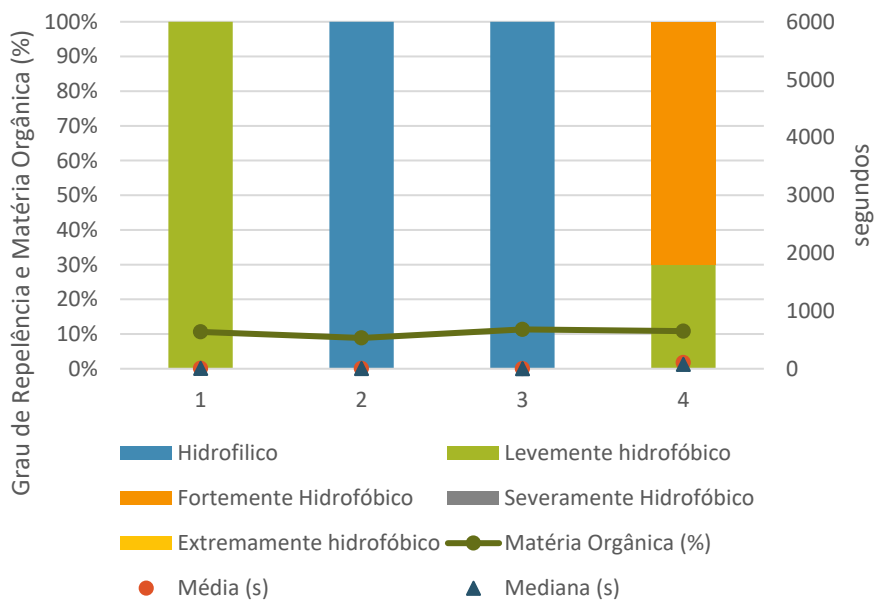
### SERPINS 4



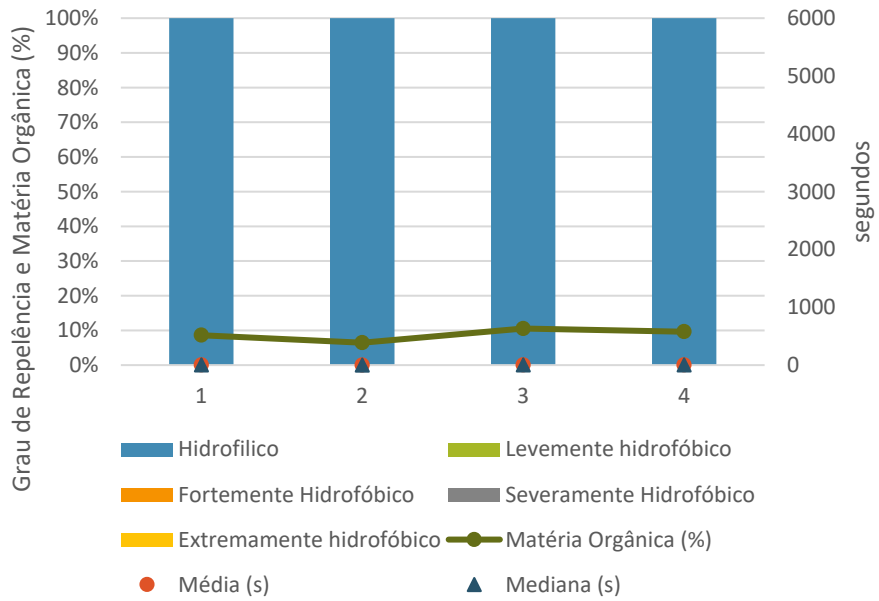
### SERPINS 5



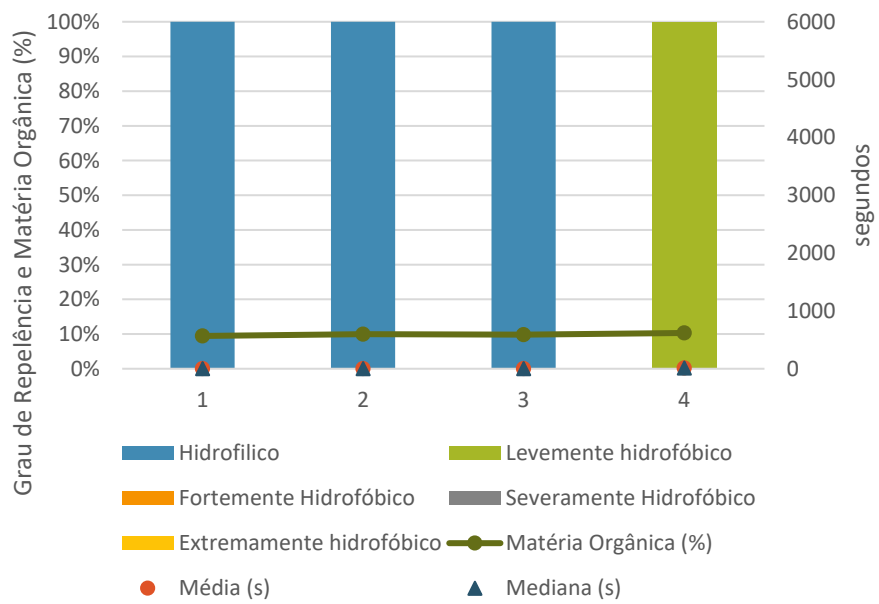
### SERPINS 6



### SERPINS 7



### SERPINS 8



### SERPINS 9

