



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



## **Efeito do fogo prescrito nas propriedades físico-químicas dos solos: estudo de caso**

**Diogo Cantante Ferreira Alves**

**isep** Instituto Superior de  
Engenharia do Porto

**P. PORTO**



**2021**

---

(página propositadamente em branco)



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Efeito do fogo prescrito nas propriedades físico-químicas dos solos: estudo de caso**

*Effects of prescribed fire on physical and chemical properties of soil: case study*

**Diogo Cantante Ferreira Alves**

**1191174**

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação da Doutora Maria Manuela Martins de Carvalho, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Júri**

### **Presidente**

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

*Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutora Cristina Maria Fernandes Delerue Alvim de Matos

*Professora Coordenadora Principal, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor Antonio Vega y de la Fuente

*Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutora Maria Manuela Martins de Carvalho

*Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

---

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente** (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, por **Diogo Cantante Ferreira Alves**, em 17 de Novembro de 2021 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **16 (dezasseis) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Agradecimentos**

São devidos agradecimentos a todas as pessoas e instituições que, desde o início deste percurso, me acompanharam.

À Doutora Manuela Carvalho (DEG|ISEP), minha orientadora, agradeço todo o interesse demonstrado ao longo deste trabalho. Toda a dedicação e paciência necessárias para orientar um aluno com, virtualmente, zero experiência laboratorial, com um sorriso na cara e sempre disponível para ajudar. Um sincero muito obrigado por tudo, sem a sua ajuda, este trabalho não seria possível.

Ao REQUIMTE|LAQV, na pessoa da Professora Cristina Delerue-Matos e à Engenheira Maria João Fernandes por toda a ajuda e acompanhamento prestado na realização dos ensaios laboratoriais.

Ao LGMC – Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do ISEP pelo apoio no tratamento das amostras e na realização dos ensaios de laboratório.

Aos parceiros do Projeto TERRAMATER, pela possibilidade que me foi dada de desenvolver este trabalho no âmbito deste projeto e ao apoio na realização de algumas tarefas.

A toda a minha família, com especial carinho à minha Mãe, Pai, irmã e cunhado, por todos os sacrifícios e apoio, desde o início do meu percurso, até agora, ao final desta etapa.

Os todos os meus amigos e colegas de mestrado que, de alguma maneira me ajudaram nesta etapa. Um especial obrigado ao Brito, Zé, Daniela e Inês por todo o apoio ao longo deste percurso académico.

Ao projeto TERRAMATER. Projeto cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do INTERREG V-A Espanha-Portugal (POCTEP) 2014-2020.

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Palavras-chave**

*Fogo prescrito, solo, solo queimado, geoambiente.*

## **Resumo**

Os fogos florestais são uma realidade presente com graves consequências ambientais, sociais e económicas. Em Portugal a ocorrência de fogos florestais tem-se vindo a agravar, verificando-se considerável aumento na média anual de área ardida; nos últimos dez anos, mais de 1,5 milhões de hectares arderam. As questões relacionadas com a gestão da floresta e as condições climáticas, nas quais se chega a atingir temperaturas superiores a 40°C, com escassez de água no solo, nos meses mais quentes, serão fatores chave neste problema. Estes fogos, com as mais variadas intensidades, provocam danos graves nos ecossistemas, causando efeitos nefastos no solo, pondo em causa as suas funções e serviços ao ecossistema. Assim, o estudo das propriedades físico-químicas do solo, antes e após o fogo, é relevante, o seu conhecimento permite uma melhor compreensão e previsão do comportamento do solo e, ainda, planear e adotar estratégias mais eficazes na mitigação dos danos causados pelo fogo. O presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação do impacto de um fogo prescrito nas propriedades físicas e químicas de um solo florestal da zona do Parque de Montesinho em Bragança (NE de Portugal), avaliando o seu impacto ao longo do tempo, a quatro profundidades diferentes, entre os 0 e os 20 cm. Para o efeito, foi realizada amostragem antes do fogo prescrito, imediatamente após o fogo e dois meses após. Em cada um destes momentos, foram realizados ensaios laboratoriais sobre as amostras colhidas para determinação da granulometria, teor em água, condutividade elétrica, pH, teor em matéria orgânica, conteúdo em carbono orgânico total e análise química elementar. Na presente dissertação é apresentada uma síntese teórica da problemática em estudo, as metodologias de trabalho utilizadas durante os estudos realizados, os resultados obtidos nos vários ensaios e respetiva análise. Por fim, são tecidas considerações finais e apresentadas algumas perspetivas para trabalhos futuros.

---

**Keywords**

*Prescribed fire, soil, burnt soil, geoenvironment.*

**Abstract**

Wildfires are a present reality with serious environmental, social, and economic consequences. In Portugal, wildfires have been worsening, with a considerable increase in the average annual area burnt; in the last ten years, more than 1.5 million hectares have burnt. Issues related to forest management and climatic conditions, in which temperatures can reach over 40°C, with a shortage of water on the ground in the hottest months, are key factors in this problem. Furthermore, these fires, with the most varied intensities, cause severe damage to ecosystems, causing harmful effects on the soil, calling into question their functions and services to the ecosystem. Thus, the study of soil physical and chemical properties before and after the fire is relevant. Its knowledge allows a better understanding and prediction of soil behaviour and plans and adopts more effective strategies to mitigate damage caused by fire. The main objective of the present work was to evaluate the impact of prescribed fire on the physical and chemical properties of forest soil in the Montesinho Park area (Bragança, NE Portugal), assessing its impact over time, at four different depths, between 0 and 20 cm. For this purpose, sampling was carried out before the prescribed fire, immediately after the fire and two months after. At each moment, laboratory tests were performed on the samples collected to determine granulometry, water content, electrical conductivity, pH, organic matter content, total organic carbon content, and elemental chemical analysis. This dissertation presents a theoretical synthesis of the problem under study, the work methodologies used during the studies carried out, the results obtained in the various tests, and their analysis. At last, final remarks are made, and some perspectives for future work are presented.



---

## Índice

1.	Introdução .....	3
1.1.	Enquadramento e importância do tema.....	3
1.2.	Estrutura da dissertação .....	4
2.	Solos e suas características.....	8
2.1.	Conceito de solo .....	8
2.2.	Importância do solo.....	9
2.3.	Propriedades dos solos.....	10
2.3.1.	Fases constituintes do solo.....	10
2.3.2.	Propriedades físico-químicas.....	11
2.3.2.1.	Textura.....	11
2.3.2.2.	Estrutura .....	13
2.3.2.3.	Componente orgânica .....	14
2.3.2.4.	Peso volúmico .....	15
2.3.2.5.	Porosidade .....	16
2.3.2.6.	Cor .....	16
2.3.2.7.	Permeabilidade .....	17
2.3.2.8.	Condutividade elétrica (CE) .....	18
2.3.2.9.	pH .....	19
2.3.2.10.	Potencial de oxidação-redução (redox).....	22
3.	Fogos florestais .....	25
3.1.	O que são fogos florestais? .....	25
3.2.	Fogos prescritos ou controlados .....	25
3.3.	Evolução histórica dos fogos florestais em Portugal .....	26
3.4.	Principais causas de incêndios em Portugal.....	29
3.5.	Portugal em relação à Europa .....	30
3.6.	Distribuição espacial dos fogos florestais em Portugal .....	31
3.7.	Ocupação do solo das áreas ardidadas.....	33
4.	Influência dos incêndios florestais nas propriedades do solo .....	36
4.1.	Textura .....	36
4.2.	Estrutura .....	36
4.3.	Peso volúmico aparente, Porosidade e Permeabilidade .....	37
4.4.	Cor .....	37
4.5.	Condutividade Elétrica.....	37
4.6.	pH .....	38
4.7.	Matéria Orgânica.....	38
4.8.	Potencial de oxidação-redução .....	38
5.	Material e métodos.....	41
5.1.	Solo .....	41
5.1.1.	Geologia e geomorfologia do local de amostragem .....	42
5.1.2.	Condições Climáticas.....	43
5.2.	Amostragem.....	45
5.2.1.	Designação das amostras .....	46
5.3.	Caracterização física e química do solo .....	46
5.3.1.	Preparação das amostras de solo .....	46
5.4.	Determinação da análise granulométrica.....	47
5.5.	Determinação do teor em água natural .....	47
5.6.	Determinação da Condutividade Elétrica .....	48
5.7.	Determinação de pH.....	49

---

5.8.	Determinação do Teor Matéria Orgânica .....	50
5.9.	Determinação do Carbono Orgânico Total (TOC).....	52
5.10.	Análise química elementar simplificada .....	53
6.	Resultados e discussão .....	58
6.1.	Textura .....	58
6.2.	Teor em água .....	65
6.3.	Condutividade elétrica.....	67
6.4.	pH .....	70
6.4.1.	pH (H <sub>2</sub> O) .....	70
6.4.2.	pH (KCl).....	73
6.5.	Teor de Matéria Orgânica .....	76
6.6.	Carbono orgânico total (TOC) .....	78
6.7.	Análise Química Elementar Simplificada .....	82
6.8.	Síntese dos resultados obtidos .....	86
7.	Considerações finais.....	89
8.	Referências bibliográficas.....	93

---

(página propositadamente em branco)

---

## Índice de figuras

Figura 1 - Incêndios rurais e área ardida em Portugal continental nos últimos 40 anos.....	3
Figura 2 - Triângulo textural utilizado na classificação textural dos solos segundo USDA. ....	13
Figura 3 - Diferentes tipos de estrutura de solos. a) prismática; b) colunar; c) blocos angulares e subangulares. d) laminar; e) granular. ....	14
Figura 4 - Excerto da Carta de Cores de Munsell utilizada na identificação da cor dos solos.....	17
Figura 5 - Condutividade elétrica depende do tamanho das partículas e textura .....	18
Figura 6 - Escala de pH.....	20
Figura 7 - Evolução da área ardida anual e média por década, 1980-2018.....	27
Figura 8 - Número de megaincêndios registados em Portugal entre os anos 1980 e 2018. ....	28
Figura 9 - Principais causas de incêndios por distrito em Portugal continental.....	29
Figura 10 - Número de ignições investigadas e não investigadas em Portugal continental nos anos compreendidos entre 1996 e 2010.....	29
Figura 11 - Área ardida (ha) para os respetivos países da união europeia. ....	30
Figura 12 – Distribuição espacial do número médio anual de ocorrência por 100 Km <sup>2</sup> , por distritos, e respetiva percentagem de causas de incêndios investigadas entre 1996 e 2010. ....	32
Figura 13 - Parque de Montesinho. ....	41
Figura 14 - Localização da área de estudo. ....	42
Figura 15 - Temperaturas e precipitações médias para a zona de Bragança. ....	43
Figura 16 – Média de temperaturas máximas ocorridas em Bragança nos últimos 30 anos.....	44
Figura 17 - Quantidade de precipitação.....	44
Figura 18 - Locais de amostragem. ....	45
Figura 19 - Agitador de peneiras Retsh.....	46
Figura 20 - Resultado da crivagem efetuada na parcela 1 à profundidade de 10 a 20cm. À esquerda, fração inferior a 2mm e à esquerda, fração superior a 2mm. ....	47
Figura 21 – Determinação do teor em água. Amostras no interior da estufa após secagem.....	48
Figura 22 – Determinação da condutividade elétrica. Filtragem da amostra agitada e amostra filtrada pronta para medição da condutividade elétrica.....	49
Figura 23 – Determinação do pH. Processo de agitação mecânica das amostras, leitura de pH em solução aquosa (centro) e provete em solução de KCl após agitação e repouso. ....	50
Figura 24 - Pesagem da amostra para a determinação da matéria orgânica e amostras após 4h na mufla.....	51
Figura 25 – Determinação do carbono orgânico total. TOC-Vcsn Shimadzu E200V e amostras prontas para a determinação do TOC.....	53
Figura 26 -Equipamento de bancada para fluorescência de RX, Nilton™ XL3t XRF Analyser.....	53
Figura 27 – Análise química elementar simplificada por fluorescência de RX – preparação da amostra de solo. Crivos utilizados e exemplo de crivagem de amostra de solo.....	54
Figura 28 – Análise química elementar simplificada. Preparação dos provetes para leitura por fluorescência de raio-X.....	54
Figura 29 – Realização das leituras por fluorescência de RX.....	55
Figura 30 - Frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, antes do fogo (Bb).....	58
Figura 31 - Frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, antes do fogo (Bb).....	58
Figura 32 - Frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, imediatamente após o fogo (B1a). ....	59
Figura 33 - Frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a). ....	59
Figura 34 - Frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, dois meses após o fogo (B2a). ....	60

---

Figura 35 - Frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, dois meses após o fogo (B2a). .....	60
Figura 36 – Comparação das frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, para o momento antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a). .....	62
Figura 37 - Comparação das frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, para o momento antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a). .....	63
Figura 38 – Comparação das classes texturais, segundo a classificação do USDA, para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a). .....	64
Figura 39 - Teor em água para as amostras antes do fogo. ....	65
Figura 40 - Comparação dos valores médios, das onze parcelas, por profundidade, obtidos nas amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a), dois meses após o fogo e a respectiva variação relativa ao valor inicial, em percentagem. ....	66
Figura 41 - Valores médios de condutividade elétrica, por parcela e profundidade, antes do fogo (Bb). .....	67
Figura 42 – Valores médios de condutividade elétrica, por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a). ....	67
Figura 43 - Valores médios de condutividade elétrica, por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a). .....	68
Figura 44 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de condutividade elétrica para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais. ....	69
Figura 45 - Análise comparativa entre os valores médios da parcela 10, por profundidade, de condutividade elétrica para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais. ....	69
Figura 46 – Valores médios de pH (H <sub>2</sub> O), por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb). ....	70
Figura 47 – Valores médios de pH (H <sub>2</sub> O), por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a). ....	71
Figura 48 – Valores médios de pH (H <sub>2</sub> O), por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a). .....	71
Figura 49 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de pH (H <sub>2</sub> O) para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais. ....	72
Figura 50 – Valores médios de pH (KCl), por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb). ....	73
Figura 51 – Valores médios de pH (KCl), por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a). ....	74
Figura 52 – Valores médios de pH (KCl), por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a). .....	74
Figura 53 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de pH (KCl) para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais. ....	75
Figura 54 – Valores médios de teor de matéria orgânica, por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb). .....	76
Figura 55 - Valores médios de teor de matéria orgânica, por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a). ....	77
Figura 56 - Valores médios de teor de matéria orgânica, por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a). ....	77
Figura 57 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de teor de matéria orgânica para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais. ....	78

---

Figura 58 - Valores médios de teor de carbono orgânico total, por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb). .....	79
Figura 59 - Valores médios de teor de carbono orgânico total, por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a). .....	80
Figura 60 - Valores médios de teor de carbono orgânico total, por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a). .....	80
Figura 61 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de teor carbono orgânico total para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respetiva variação percentual relativamente aos valores iniciais. ....	81
Figura 62 – Principais elementos constituintes dos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas antes do fogo (Bb). .....	82
Figura 63 - Elementos traço, detetados nos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas antes do fogo (Bb). .....	83
Figura 64 - Principais elementos constituintes dos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas imediatamente após o fogo (B1a). .....	83
Figura 65 - Elementos traço, detetados nos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas imediatamente após o fogo (B1a). .....	84
Figura 66 - Principais elementos constituintes dos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas dois meses após o fogo (B2a). .....	84
Figura 67 - Elementos traço, detetados nos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas dois meses após o fogo (B2a). .....	85
Figura 68 - Análise comparativa das médias totais, por momento de amostragem, da análise química elementar simplificada. ....	85

---

(página propositadamente em branco)

---

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Diferentes aspetos a considerar e respetivo âmbito de estudo para as diferentes fases constituintes do solo.....	11
Tabela 2 - Termos gerais utilizados para descrever a textura do solo em relação ao nome das classes texturais.....	12
Tabela 3 – Valores médios de permeabilidade para diferentes tipos de textura de solos. ....	18
Tabela 4 - Evolução dos incêndios florestais. As diferentes gerações de incêndios .....	27
Tabela 5 - Principais causas de incêndios em Portugal continental. Dados do ICNF referentes aos anos de 1996 a 2010. ....	30
Tabela 6 - Ocupação da área ardida média anual e respetiva área total nos anos compreendidos entre 1996 e 2012.....	33
Tabela 7 - Designação das amostras recolhidas nas diferentes campanhas.....	46
Tabela 8 - Classes de pH do solo de USDA .....	50
Tabela 9 – Elementos exclusivos de cada um dos modos de análise química por fluorescência de RX. ....	55
Tabela 13 - Tabela resumo dos resultados obtidos para as alterações das propriedades físico-químicas do solo, a diferentes profundidades, nos períodos imediatamente após o fogo e dois meses após o fogo, relativamente aos valores antes do fogo. ....	86

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Índice de acrónimos ou abreviaturas**

*CE – Condutividade Elétrica*

*EFFIS – European Forest Fire Information System*

*FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations*

*FRX – Fluorescência de Raio-X*

*ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas*

*ISRM – International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*

*I TPS – Intergovernmental Technical Panel on Soils*

*IUSS – International Union of Soil Sciences*

*PNM – Parque Natural de Montesinho*

*PORDATA – Base de dados Portugal Contemporâneo*

*SSDS – Soil Science Division Staff*

*TERRAMATER – Medidas inovadoras de recuperação preventive em áreas queimadas (0701 TERRAMATER 1 E); Projeto cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do INTERREG V-A Espanha-Portugal (POPCTEP) 2014-2020*

*TOC – Total Organic Carbon*

*USDA – United States Department of Agriculture*

*WHO – World Health Organization*

*WRB – World Reference Base for Soil Resources*

---

(página propositadamente em branco)



## **Capítulo I**

### **Introdução**

---

---

(página propositadamente em branco)

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento e importância do tema

Nas últimas décadas, a frequência, extensão e gravidade dos incêndios aumentou em grande parte do bioma florestal, em conjugação com o aquecimento global (Alexander et al., 2018). Uma vez que este bioma contém uma grande proporção das reservas globais de carbono terrestre (Pan et al., 2011), tem havido grande interesse em entender os efeitos que um incêndio pode causar nestes ecossistemas (Beck et al., 2011).

A maior preocupação acerca de fogos florestais na região mediterrânica começou nos anos 60, 70 e 80, quando se verificou um aumento exponencial do número de incêndios com uma média de 600000 ha queimados anualmente até ao final do século (Lloret, Piñol, & Castellnou, 2009).

Nas duas últimas décadas, a média anual de área ardida em Portugal mais do que duplicou face aos anos 1980-1989 (WWF, 2019). Este aumento culminou nos incêndios mais avassaladores da história de Portugal, sentidos nos anos de 2003, 2005 e 2017 (figura 1). Neste conjunto de anos, a média anual de área ardida, apenas em Portugal, aproximou-se da totalidade de área ardida em toda a região mediterrânea em décadas passadas (Martín et al., 2018; Pereira et al., 2006).

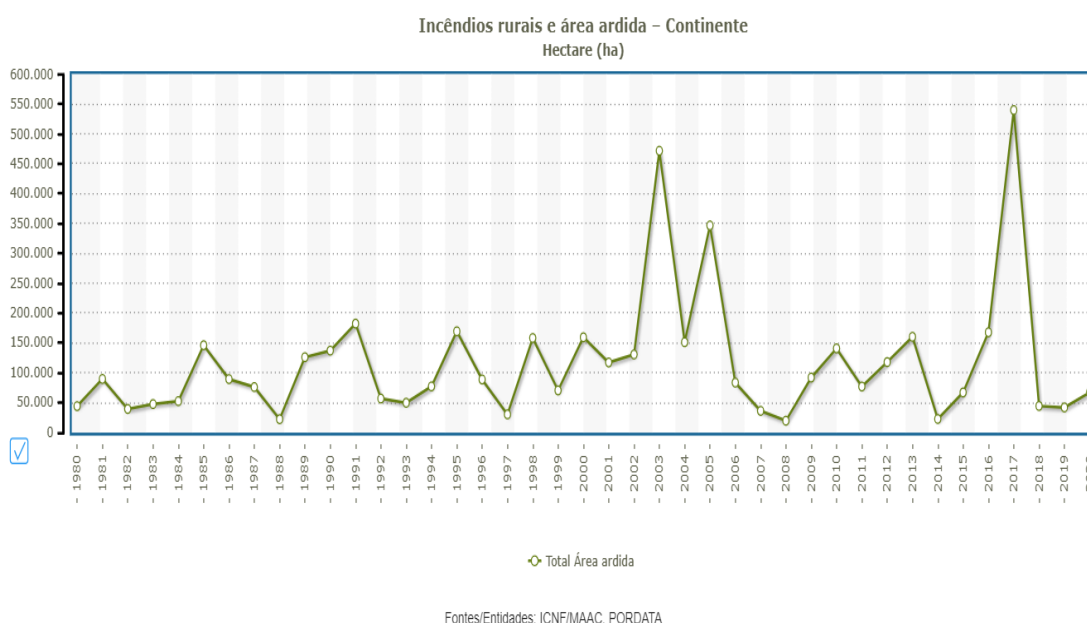


Figura 1 - Incêndios rurais e área ardida em Portugal continental nos últimos 40 anos. (Fonte: <https://www.pordata.pt/Portugal/Inc%c3%aandios+rurais+e+%c3%a1rea+ardida+%e2%80%93+Continente-1192-9576>)

---

Os solos são recursos florestais críticos que armazenam carbono e sustentam o crescimento das plantas e a produtividade florestal, uma vez que podem regular os processos biogeoquímicos e fornecer nutrientes para a vegetação. Alterações pós-incêndio nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem desempenhar papéis cruciais nos processos de regeneração e recuperação de plantas (Alexander et al., 2018). Para além disso, os fogos alteram, em grande parte, as propriedades físicas das paisagens por eles afetados. Durante a queima, a cobertura vegetal e as camadas de detritos são consumidas e o solo mineral é aquecido, resultando em mudanças nas suas propriedades, como: densidade a granel, porosidade, textura, cor, humidade e permeabilidade (Wells et al., 1979). Estas transformações acabam por induzir, ao longo do tempo, alterações nas capacidades naturais dos solos, e conseqüentemente das suas funções naturais e serviços prestados ao ecossistema.

Este estudo teve por objetivo a avaliação do impacto de um fogo prescrito nas propriedades físicas e químicas de um solo florestal da zona do Parque de Montesinho em Bragança, avaliando o seu impacto em quatro profundidades diferentes, entre os 0 e os 20 cm, tendo sido realizado no âmbito do curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do ISEP, com apoio do centro de investigação REQUIMTE/LAQV, do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do ISEP e do projeto TERRAMATER - Medidas inovadoras de recuperação preventiva em áreas de queimadas. O projeto TERRAMATER nasceu da ideia de um grupo de técnicos e especialistas preocupados com a gestão de áreas queimadas, seja na perspetiva paliativa ou preventiva, é um projeto internacional, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do programa Interreg A-V Espanha-Portugal (POCTEP) 2014-2020. Este projeto tem como principal objetivo a recuperação das funções ambientais e produtivas das áreas queimadas, reduzindo as perdas de solo por erosão e aumentando a sua resiliência a novos episódios de incêndio, tendo como parceiros a Universidade de Santiago de Compostela (USC), o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), o Instituto Politécnico de Bragança (IPB), a Universidade do Minho (UM) e a empresa Recursos y Valorización Ambiental, S. L.

## ***1.2. Estrutura da dissertação***

A presente dissertação encontra-se organizado em 7 capítulos e referências bibliográficas.

De seguida, apresenta-se uma breve explicação do que é abordado em cada um desses capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução. Neste capítulo é apresentado o enquadramento geral do tema da dissertação e a sua importância na sociedade atual. É também feita a planificação dos temas abordados ao longo da mesma.

- 
- Capítulo 2 – Solos e suas características. É apresentado o conceito de solo e a sua importância para o ecossistema que o rodeia. São também analisadas as suas principais características físico-químicas.
  - Capítulo 3 – Fogos florestais. Neste capítulo é feita uma síntese da evolução histórica dos fogos florestais em Portugal, as suas características e as principais causas para os mesmos. É também tida em conta a sua distribuição espacial e tipo de ocupação dos terrenos queimados.
  - Capítulo 4 – Efeitos espectáveis dos fogos florestais. São demonstrados os prováveis efeitos que os fogos florestais podem ter nas mais diversas propriedades físico-químicas do solo.
  - Capítulo 5 – Métodos e materiais. São apresentados os métodos e materiais utilizados na determinação dos parâmetros estudados.
  - Capítulo 6 – Resultados. São apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos solos, em diferentes fases do estudo: antes, imediatamente após e dois meses após o fogo. É, também, realizada a discussão dos resultados obtidos.
  - Capítulo 7 – Considerações finais. São apresentadas as conclusões retiradas dos ensaios realizados e algumas sugestões para trabalhos futuros.

---

## **Capítulo II**

### **Solos e suas características**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 2. Solos e suas características

### 2.1. Conceito de solo

Como várias outras palavras, “solo” tem significados diferentes em função do meio, do utilizador e da área técnica ou científica em causa. No seu significado tradicional, solo é o meio natural que atua como impulsionador do crescimento das plantas, quer tenha ou não vários horizontes diferenciáveis (Staff Soil Survey, 2010)

No *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) de 1998, solo foi definido como um corpo natural, contínuo, que possui dimensões espaciais e uma temporal. Neste caso, as três principais características a considerar nos solos são:

- Os seus constituintes: os solos são misturas complexas, constituídos por uma fase sólida composta por partículas inorgânicas e orgânicas, e por uma fase fluída constituída por substâncias líquidas e/ou gasosas. Os constituintes do solo são reveladores e influenciadores das suas propriedades físicas e químicas, sendo importantes parâmetros que permitem analisar, por exemplo, os fenómenos de meteorização e de, formação de agregados (Porta Casanellas et al., 2003) .
- A organização dos constituintes: nos solos os constituintes estão organizados em estruturas, específicas do meio pedológico. Estas estruturas formam o aspeto morfológico, equivalente à anatomia num ser vivo. São resultado da história de deposição do solo, e da sua dinâmica e propriedades reais. O estudo das estruturas do solo facilita a perceção das propriedades físicas, químicas e biológicas, permite conhecer o passado e o presente do solo e prever o seu futuro;
- A variação temporal: o solo está em constante evolução, apresentando, assim, uma dimensão temporal.

Em 2006, o WRB adotou uma abordagem mais compreensiva para nomear o que faça parte da “epiderme” da Terra. Esta abordagem tem inúmeras vantagens nomeadamente, para a resolução de problemas ambientais de forma sistemática e holística e evita a discussão estéril sobre uma definição universalmente acordada de solo, sua espessura e estabilidade (WRB-IUSS, 2014). Assim, segundo o WRB(2006), o solo é qualquer material situado a menos de dois metros de profundidade e que esteja em contacto com a atmosfera, excetuando os organismos vivos, as áreas de gelo contínuo não cobertas por outros materiais e os corpos de água com mais de 2m de profundidade.

Esta definição inclui rocha contínua, solos urbanos pavimentados, solos de áreas industriais, solos de cavernas, bem como solos subaquáticos. Solos sob rocha contínua, exceto os que ocorrem em cavernas, geralmente não são considerados para classificação. Em casos especiais, o WRB pode ser

---

utilizado para classificar os solos sob rocha, por exemplo para a reconstrução do paleoambiente (WRB-IUSS, 2014).

Por outro lado, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) define solo como o produto final resultante da influência combinada, ao longo do tempo, do clima, da topografia e dos organismos (flora, fauna e humanos) sobre o material original (rocha original e minerais). Como resultado deste processo evolutivo, o solo difere da rocha mãe em textura, consistência, cor, constituintes e propriedades físicas, químicas e biológicas.

Tendo o solo uma definição tão abrangente, pessoas com diferentes formações acadêmicas irão ter diferentes percepções do que é o solo (Channarayappa & Biradar, 2018).

- Geólogos vêem o solo como material mineral ou orgânico formado na superfície da Terra por processos dinâmicos e complexos;
- Engenheiros consideram o solo como todo os materiais, orgânicos e inorgânicos, ocorrentes na zona que sobrepõem a crosta rochosa;
- Agrônomos vêem o solo como a camada superficial da Terra na qual os processos orgânicos são predominantes, sendo o responsável pelo suporte da vida vegetal (Murthy, 2002);
- Filósofos pensam no solo como um tesouro (comparado ao ouro). Solos ricos geram riqueza e materiais essenciais para a vida de todos os seres da Terra (Channarayappa & Biradar, 2018).

## **2.2. Importância do solo**

Os solos, para além de fornecerem nutrientes para as plantas sintetizarem alimentos, fornece, também, serviços de ecossistema críticos para a sustentação da vida na Terra. Assim, o solo atua como filtro de água, no armazenamento de água e como meio de cultivo; fornece habitat para milhares de milhões de organismos contribuindo para a grande diversidade existente no nosso planeta e fornece a maioria dos antibióticos utilizados no combate a doenças. Os seres humanos utilizam o solo diariamente, quer seja como base para instalações de depósitos de resíduos sólidos, como filtro para águas residuais ou mesmo como fundação para as suas cidades. O solo é a base dos agroecossistemas de todas as nações, que nos fornecem alimentação, fibras, alimentos, madeira e combustível (Zedan, 2020). Portanto, o solo é para tudo, mas sem ele não há nada. Em suma, a gestão dos nutrientes do solo e a sua estrutura física e biológica é essencial na manutenção, não só, de uma boa paisagem mas também na produção de alimentos seguros e saudáveis para sustentar a vida na Terra (Channarayappa & Biradar, 2018).

Muitas nações têm procurado políticas de conservação para proteger os recursos do solo e, desta maneira, salvaguardar e preservar a base dos recursos alimentares e manter a qualidade do ar e da

---

água. Contudo, os solos continuam a ser degradados a nível global através da salinização, da erosão, da perda de atividade biológica e da acumulação de compostos tóxicos o que poderá vir a afetar o modo como vivemos atualmente (Bezdicek et al., 1996).

### **2.3. Propriedades dos solos**

#### *2.3.1. Fases constituintes do solo*

Os solos são sistemas abertos, dinâmicos, constituído por três fases: sólida, líquida e gasosa. Os grãos de solo (partículas orgânicas e inorgânicas) constituem a sua fase sólida, e, na sua distribuição espacial, originam espaços vazios (poros) nos quais se instalam os constituintes das fases líquidas e gasosas. O volume de vazios pode ser total ou parcialmente ocupado por água, sendo que em algumas situações poderá ser totalmente ocupado por gases. O ar, constitui o principal componente da fase gasosa, enquanto a água é a componente principal da fase líquida, sendo de extrema importância uma vez que pode conter iões e substâncias em solução ou suspensão. Nos vazios, podem, também, encontrar-se raízes e organismos vivos que vivem no solo. As proporções relativas destas três fases desempenham um papel importante na compreensão do comportamento dos solos. (Porta Casanellas et al., 2003).

O estudo das diversas fases do solo, suas características e interações constituem um dos principais objetivos das ciências do solo. Para cada uma das fases, os aspetos a considerar e o âmbito do seu estudo está apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Diferentes aspetos a considerar e respetivo âmbito de estudo para as diferentes fases constituintes do solo (Porta Casanellas et al., 2003).

Fases	Aspetos a considerar	Âmbito de estudo
Sólida	Distribuição de partículas minerais segundo o tamanho	Textura.
	Componentes inorgânicos	Mineralogia. Superfície Específica. Meteorização. Processos de transporte.
	Componentes orgânicos	Composição. Processos de transformação e transporte.
	Organização	Estrutura: forma de agregação das partículas e espaços vazios.
Sólido-líquido	Interação solo-água	Reações de superfície.
Líquida	Água do solo	Estados energéticos da água. Movimento da água. Regime de humidade.
	Excesso de água	Processos de hidromorfismo.
Gasosa	Aeração do solo	Composição.
		Humidade do ar.
		Fluxo de ar.

Sendo o solo um sistema aberto e dinâmico, encontra-se sujeito à intrusão de elementos externos que podem comprometer a sua integridade; segundo a FAO, estas intrusões podem levar a contaminação ou poluição do solo. Contaminação ocorre quando a concentração de uma determinada substância é mais elevada do que aconteceria naturalmente, mas não causa, necessariamente, algum perigo à saúde humana. Poluição, por outro lado, refere-se à presença indevida de constituintes e/ou a sua anormal concentração elevada que possui efeitos adversos para organismos não-alvo (FAO & ITPS, 2015). Embora a maioria dos poluentes seja de origem antropogénica, alguns contaminantes podem ocorrer naturalmente nos solos e podem ser tóxicos em elevadas concentrações (Eugenio et al., 2018).

### 2.3.2. *Propriedades físico-químicas*

#### 2.3.2.1. *Textura*

No sentido mais amplo, a textura do solo refere-se ao aspeto do solo, à sua aspereza ou finura. Mais especificamente, são as proporções relativas no solo de areia, limo e argila (Foster et al., 2013). A textura é a propriedade física que menos sofre alterações ao longo do tempo, contudo, condições extremas como erosão excessiva após inundações ou temperaturas bastante elevadas provocadas por incêndios podem causar-lhe alterações. (Porta Casanellas et al., 2003).

De acordo com o United States Department of Agriculture (USDA), os principais grupos de solos são: arenosos, francos e argilosos. Dentro de cada um destes grupos, classes texturais específicas

forneem uma ideia mais precisa da distribuição do tamanho das partulas constituintes e da natureza geral das propriedades físicas do solo. As classes texturais, definidas estão apresentadas na tabela 2 onde se observa uma seqüencia gradual desde arenosa, com textura mais grosseira, até argilosa, que possuem uma textura muito fina. Nas classes arenosa e areia franca ocorre predomínio das propriedades da areia, pois a fração areia presente , de pelo menos, 70% do material em peso, sendo a fração de argila inferior a 15% do material. No entanto, a maioria dos solos está em algum tipo de franco (Reinert & Reichert, 2006).

Tabela 2 - Termos gerais utilizados para descrever a textura do solo em relação ao nome das classes texturais (Costa, 1999).

Termos gerais		Classe textural
Nomes comuns	Textura	
Solos Arenosos	Grosseira	Arenosa
		Areia Franca
Solos Limosos	Moderadamente Grosseira	Franco Arenosa
		Franca
	Média	Franco limosa
		Limosa
	Moderadamente fina	Franco argilo-arenosa
		Franco argilo-limosa
Solos Argilosos	Fina	Franco argilosa
		Argilosa arenosa
		Argilosa limosa
		Argilosa

Na maioria das situações, os solos são essencialmente constituídos por partulas com dimensões inferiores a 2mm. Assim, desconsiderando a presença da matéria orgânica e das partulas maiores do que 2 mm, de maneira a tornar o sistema de classificao mais funcional, foram desenvolvidos sistemas de classificao gráficos para definio da textura, baseados nas percentagens de areia, limo e argila presentes nos solos, tais como o desenvolvido pela USDA e apresentado na figura 2. O sistema apresentado consta da sobreposio de três triângulos isósceles que representam a quantidade de argila, limo e areia no solo (Reinert & Reichert, 2006).

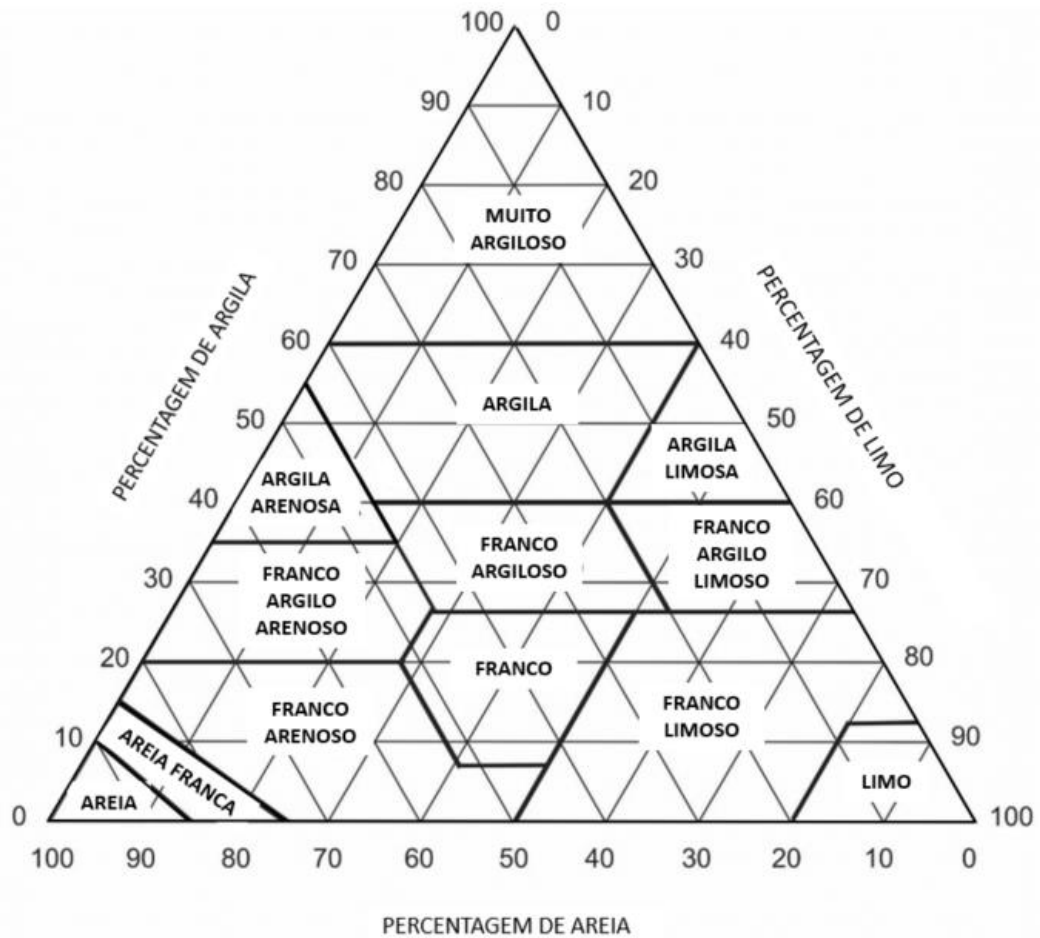


Figura 2 - Triângulo textural utilizado na classificação textural dos solos segundo USDA. (SSDS, 2017)

### 2.3.2.2. Estrutura

Em todos os solos, com a exceção das areias, as partículas tendem a manter-se juntas ou agregadas. A distribuição das partículas em agregados com uma forma definida é conhecida como estrutura do solo. A estrutura é importante porque afeta o movimento da água para e pelo solo, a penetração das raízes, a porosidade e a densidade a granel do solo (Porta Casanellas et al., 2003).

Um solo bem agregado apresenta melhor aeração, penetração da água, crescimento das raízes, assimilação de nutrientes e liberação de gases do solo. Em solos que não possuem estrutura como areias soltas, a água infiltra e percola muito rapidamente (Foster et al., 2013).

Nos solos, é usual considerar 5 tipos estruturais, (figura 3) sendo eles:

- Prismática: Típico de horizontes ricos em argila. Estas estruturas prismáticas podem ter elevada dureza e as raízes podem não ser capazes de penetrá-los. Os planos de fraqueza correspondem a fendas de retração;
- Colunar: Típico de solos alcalinos e raro na zona da península ibérica. Trata-se de prismas coroados no topo por uma cúpula;
- Angular/subangular: Típicos de solos em zonas semiáridas e áridas com solos pobres em matéria orgânica. São esferas imperfeitas, blocos com arestas retas a ligeiramente curvas e faces retangulares ou curvas;
- Laminar: Formadas em materiais depositados debaixo de água, como, por exemplo, em planície de inundação. Causado pelo impacto de gota de chuva em solos de superfície e crostas;
- Impede a penetração vertical das raízes, da água e do ar;
- Granular: São estruturas típicas de ambientes biologicamente ricos e com matéria orgânica (Porta Casanellas et al., 2003).

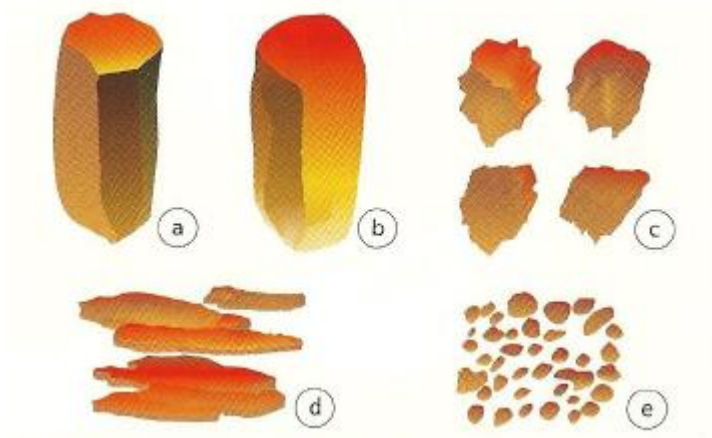


Figura 3 - Diferentes tipos de estrutura de solos. a) prismática; b) colunar; c) blocos angulares e subangulares. d) laminar; e) granular. (Fonte: (Lepsch, 2010))

### 2.3.2.3. *Componente orgânica*

A matéria orgânica presente no solo, que em muitos casos chega a constituir 30% da sua massa total, é qualquer material produzido originalmente por organismos vivos (plantas ou animais) que é devolvido ao solo e atravessa um processo de decomposição. A qualquer momento, a matéria orgânica no solo consiste numa variedade de materiais, desde tecidos intactos originais das plantas e animais a misturas de materiais substancialmente decompostos conhecidos como húmus (Bot & Benites, 2005). A decomposição é um processo biológico que inclui a quebra física e a

---

transformação bioquímica de moléculas orgânicas complexas de material morto em moléculas orgânicas e inorgânicas mais simples (Juma, 2001).

Embora a matéria orgânica do solo possa ser convenientemente dividida em diferentes frações, estas não representam produtos finais estáticos. Em vez disso, as quantidades presentes refletem um equilíbrio dinâmico. A quantidade total e partição da matéria orgânica no solo é influenciada pelas propriedades do solo e pela quantidade de entradas anuais de resíduos vegetais e animais no ecossistema. Por exemplo, num determinado ecossistema, a taxa de decomposição e acumulação de matéria orgânica é determinada por propriedades do solo tais como textura, pH, temperatura, humidade, aeração, mineralogia e atividades biológicas. Por outro lado, a matéria orgânica, por sua vez, influencia ou modifica muitas destas mesmas propriedades do solo (Bot & Benites, 2005).

O teor de matéria orgânica no solo influencia a sua capacidade de fornecer azoto (N), fósforo (P), enxofre (S) e metais traço; a infiltração e retenção de água; o grau de agregação e estrutura que, por sua vez, afeta a relação ar/água, a capacidade de trocas catiónicas e a cor do solo, que irá afetar a relação com a temperatura do mesmo (Mattigod & Zachara, 1996).

#### 2.3.2.4. *Peso volúmico*

Peso volúmico dos solos ( $\gamma$ ), também conhecido por densidade a granel, é o rácio entre a massa dos constituintes do solo (partículas,  $W_s$  e água,  $W_w$ ), pelo volume total de solo ( $V_t$ ), tal como expresso na (Equação 1) (Lal & Shukla, 2004)

$$[1] \gamma = \frac{W_s + W_w}{V_t}, \text{ expressa em kN/m}^3.$$

O peso volúmico é um bom indicador da compactação do solo, pelo que, ele afeta a infiltração, a profundidade das raízes, a capacidade de água disponível, a porosidade e aeração do solo, a disponibilidade de nutrientes e a atividade dos microrganismos, todos eles importantes fatores para um solo “saudável” (Sparling, 2008).

Esta propriedade é dependente da textura do solo, da densidade dos constituintes minerais e orgânicos, bem como, do seu grau de compactação. Geralmente, solos arenosos possuem peso volúmico relativamente alto já que a porosidade total em areias é, frequentemente, inferior à do limo e da argila. Solos com textura mais fina, que possuem boa estrutura têm maior espaço entre as partículas e, conseqüente, menor peso volúmico quando comparados a solos arenosos (USDA, 2019).

O peso volúmico, normalmente, aumenta com a profundidade uma vez que as camadas subjacentes apresentam menor teor em matéria orgânica, agregação e penetração de raízes

---

comparado com as camadas superficiais e conseqüentemente, contêm menos espaço entre partículas (Sparling, 2008).

#### 2.3.2.5. Porosidade

A porosidade,  $\phi$ , define-se como o volume de solo não ocupado por partículas sólidas, sendo a razão entre o volume de vazios ( $V_v$ ) e o volume total da amostra ( $V_t$ ), tal como expresso na equação 2.

$$[2] \phi = \frac{V_v}{V_t}, \text{ exprime-se em percentagem.}$$

A porosidade dos solos influencia os percursos e os volumes disponíveis para fluxo e transporte de fluidos, bem como para armazenamento e retenção de água. É nos poros que ocorrem processos de troca química, a sua distribuição e tamanho são utilizados para estimar a retenção de humidade e as curvas de permeabilidade relativa, bem como a permeabilidade saturada de uma amostra (Flint & Flint, 2002).

#### 2.3.2.6. Cor

A cor é uma das características mais óbvias e muitas vezes a mais significativa do solo. A cor da superfície que difere da do material de origem, é, geralmente, resultante dos processos de formação e manutenção do solo, indicando também outras facetas tais como excessos de salinidade ou a erosão. A importância da cor é demonstrada pelo seu papel definitivo na classificação dos solos (Shields et al., 1966).

A cor de um solo é de fácil identificação e permite estabelecer correlações com os níveis de matéria orgânica, tipos de óxidos de ferro, processos de formação, entre outros. Como padrão, internacional, para identificação da cor do solo, utiliza-se a Carta de Cores de Munsell (figura 4), que considera as variações da cor em escalas de três componentes: matriz, valor e croma (SBCS, 2018).



Figura 4 - Excerto da Carta de Cores de Munsell utilizada na identificação da cor dos solos. Fonte: <https://www.torso.de/en/Color-Standards/Munsell-Colors/Munsell-Scientific-Colors/Munsell-Soil-Color-YR-Kit::417.html>

### 2.3.2.7. Permeabilidade

A permeabilidade do solo é a medida da sua capacidade em permitir o fluxo de um fluido através dele. O fluido pode ser um líquido ou um gás, mas, geralmente, apenas é alvo de atenção a permeabilidade líquida, sendo o líquido habitualmente considerado a água (Jackson, 2006).

Os solos são constituídos por partículas sólidas com vazios entre elas. Em geral, os vazios estão interligados, o que permite a circulação da água através deles. Em laboratório, o grau de permeabilidade é determinado através da aplicação de um gradiente hidráulico numa amostra de solo, totalmente saturada, e medindo o conseqüente fluxo de água. A lei de Darcy descreve o fluxo de um fluido através de um meio poroso, sendo expressa pela Equação 3. O coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) é expresso em termos de velocidade e na tabela 3 são apresentados alguns valores característicos nos solos.

$$[3] Q = k \times i \times A$$

Em que:  $Q$  = caudal ( $m^3/s$ ),  $k$  = coeficiente de permeabilidade ( $m/s$ ),  $i$  = gradiente hidráulico estabelecido e  $A$  = área transversal da amostra de solo.

Tabela 3 – Valores médios de permeabilidade para diferentes tipos de de solos. Fonte: FAO

Tipo de solo	k (m/s)
Arenoso	$1,39 \times 10^{-5}$
Franco Arenoso	$6,94 \times 10^{-6}$
Franco	$5,83 \times 10^{-6}$
Franco Argiloso	$2,22 \times 10^{-6}$
Argilo Siltoso	$6,94 \times 10^{-7}$
Argiloso	$1,39 \times 10^{-7}$

### 2.3.2.8. Condutividade elétrica (CE)

Um indicador da qualidade dos solos, útil e de fácil medição, é a condutividade elétrica. A condutividade elétrica de uma solução está relacionada com o total de catiões ou aniões presentes nela presentes. Estes iões podem ser catiões ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ) ou aniões ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ ), solúveis na suspensão de solo. A condutividade elétrica tem sido, geralmente, associada ao estudo da salinidade do solo, contudo, esta também pode servir como medida de outros constituintes solúveis (Smith & Doran, 2015).

A CE é uma medida da capacidade de um material transmitir (conduzir) carga elétrica, é uma característica intrínseca do material. Nos solos, a condutividade elétrica está fortemente relacionada com o tamanho das suas partículas e com a sua textura (Williams & Hoey, 1987), verifica-se que, tendencialmente, as areias possuem baixa condutividade, os siltes média condutividade e as argilas elevada condutividade (figura 5).

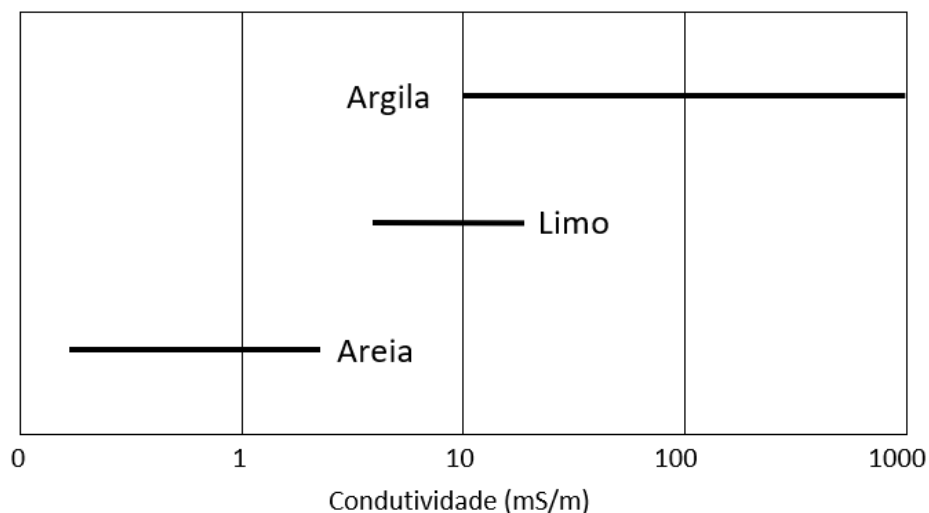


Figura 5 - Condutividade elétrica em função do tamanho das partículas (Lund, Christy, & Drummond, 1972).

---

Em complemento às suas capacidades de identificar variações na textura do solo e de determinação da sua salinidade, a condutividade elétrica, está comprovadamente relacionada com outras propriedades do solo que podem afetar a sua qualidade como, por exemplo:

- Matéria orgânica – o carbono orgânico acumula-se em zonas de solos pouco drenados e com maior teor de argila (Jaynes, Novak, Moorman, & Cambardella, 1995);
- Profundidade de camadas de argila – a variação da condutividade elétrica em resposta à argila tem sido usada para prever, com precisão, a profundidade das camadas superficiais que se encontrem por cima de uma camada de argila (Jaynes, 1996);
- Capacidade de retenção/drenagem de água – as áreas secas ou com excesso de humidade têm, tipicamente, texturas distintas; estas diferenças podem ser identificadas utilizando a condutividade elétrica. (Jaynes, 1996).

#### 2.3.2.9. pH

O pH do solo é, provavelmente, uma das propriedades mais determinadas e que mais informações fornece sobre as suas características. Todas as reações (bio)químicas no solo são influenciadas pela atividade do próton ( $H^+$ ), que é medida pelo pH do solo. Os valores de pH na maioria dos solos naturais (medidos em 0,01M  $CaCl_2$ ) variam entre 3 (muito ácido) e 8 (pouco alcalino) (Goleman, Boyatzis, & Mckee, 2004). O pH dá-nos mais do que, apenas, a indicação do solo ser ácido ou básico, pode, por exemplo, indicar a disponibilidade de nutrientes essenciais e, também, a toxicidade de outros elementos pode ser estimada devido à sua relação conhecida com os diversos valores de pH (Mattigod & Zachara, 1996).

Por definição, o pH é o negativo do algoritmo da concentração do catião de Hidrogénio [ $H^+$ ], ou seja,  $pH = -\log [H^+]$ . Os solos são referidos como sendo ácidos, neutros ou alcalinos (básicos), dependendo dos seus valores de pH que variam entre o 0 e o 14 (figura 6). Um pH de 7 considera-se um pH neutro, menor que 7, ácido e maior que 7, alcalino. Uma vez que o pH é uma função logarítmica, cada unidade na escala do pH é dez vezes menos ácida (mais alcalina) que a unidade que a precede. Por exemplo, uma solução com pH = 6 tem dez vezes maior concentração de iões  $H^+$  do que uma solução com pH = 7 e cem vezes mais que uma com pH = 8 (McCauley, Jones, & Jacobsen, 2009).



Figura 6 - Escala de pH (McCauley et al., 2009)

Nos solos, a determinação do pH pode fazer-se com recurso a diferentes métodos, dependendo das necessidades e objetivos do estudo. Para além do método tradicional de medição de pH numa solução aquosa, existem outros métodos que envolvem diferentes soluções eletrolíticas utilizadas no estudo do solo para fins específicos, especialmente os necessários para alguns critérios taxonómicos (SSDS, 2017). Fazer uma medição precisa e consistente do pH do solo não é fácil, pois há uma série de fatores que podem afetar significativamente a sua determinação. O uso de uma solução salina de cloreto de cálcio 0,01 M ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou de cloreto de potássio 1 N (KCl) é um modo para superar o “efeito do sal” na determinação do pH, particularmente quando se determina o pH em solos arenosos ou em solos com capacidades de troca catiónica (CEC) relativamente baixas. O pH do solo pode ser determinado usando corantes químicos, no entanto, um medidor de pH equipado com um eletrodo de vidro e célula de referência é o procedimento normal para fazer essa medição (Jones, 2001).

O pH do solo é influenciado tanto por ácidos como por iões formadores de base no solo. Catiões formadores de ácido são o hidrogénio ( $\text{H}^+$ ), o alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e o ferro ( $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ ), enquanto os catiões de base comuns incluem o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), o potássio ( $\text{K}^+$ ) e o sódio ( $\text{Na}^+$ ) (McCauley et al., 2009).

---

Quando determinado em solos, o pH pode ser útil na avaliação de importantes características, assim, os valores de pH em água podem ser usados para prever, com relativa precisão, os cátions dominantes nas trocas ocorridas no solo no momento da amostragem e análise. Verifica-se ainda que é possível relacionar os valores de pH dos solos com as seguintes situações:

- Presença de ácidos livres – geralmente, valores de pH na casa de 2 ou 3 indicam a presença de ácidos livres, normalmente, o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Um valor de pH muito inferior a 4,0 é impossível de registrar com saturação de  $Al^{3+}$  de modo que a acidez 10 a 100 vezes mais intensa (pH 2-3) indica não só a presença de  $H^+$ , mas também, uma fonte continua dele. Situações comuns em que este excesso de ácidos livres é encontrado estão, habitualmente, relacionadas com despojos de minas e sedimentos marinhos recentemente dragados, ambos frequentemente associados a pirites (Mattigod & Zachara, 1996).
- Presença de íons de alumínio – em valores de pH de 4 a 5, a presença de alumínio permutável e trivalente será encontrado em solos inorgânicos e, por vezes, até mesmo em certos solos orgânicos (Abdulaha-Al Baquy, Li, Xu, Mehmood, & Xu, 2017).
- Presença de Hidróxido de Alumínio – com pH maior ou igual a 5,5, o íon  $Al^{3+}$  já não se encontra presente. Em vez disso, este intervalo é dominado por uma mistura de íons de hidróxido de alumínio, muitos deles altamente polimerizados e virtualmente não permutáveis. Do ponto de vista do controlo da acidez nos solos, estes compostos de hidróxido de alumínio são muito bem tamponados e resistem bem à tendência dos agentes acidificantes (como o  $NH_4$ ) para reacidificar o solo (Peltier et al., 2010)
- Presença de carbonato de cálcio – no outro extremo da escala, o pH é inestimável como indicador de excesso de  $CaCO_3$  no solo. Embora o efeito da pressão parcial do  $CO_2$  sobre o pH dos solos calcários seja forte, normalmente, os solos com valores de pH de 7,6 a 8,3 são calcários (Carmonara 2018).
- Presença de carbonato de sódio – quando os valores de pH se afastam de 9, para valores mais alcalinos, pode-se inferir que  $CaCO_3$  já não controla o sistema e que  $Na_2CO_3$  se torna dominante, não só sódio é um cátion importante nos permutadores de solo como o cálcio deixa de ser muito importante devido à sua precipitação como o  $CaCO_3$ . Num solo calcário a valores normais de pH menor ou igual a 8,3, o cálcio em solução é relativamente abundante, mas à medida que o pH aumenta para 9,  $CaCO_3$  torna-se tão insolúvel que o solo passa a ser tamponado com  $Na_2CO_3$ . Sendo um sal solúvel, o sistema é saturado com o sódio à custa do cálcio. Quando as concentrações dos sais de sódio, tais como  $NaCl$  ou  $Na_2SO_4$  são relativamente baixas, a combinação de Na permutável e  $Na_2CO_3$  com baixo Ca

---

provoca a dispersão da argila e da matéria orgânica; resultando nos denominados solos alcalinos negros (Mattigod & Zachara, 1996).

#### *2.3.2.10. Potencial de oxidação-redução (redox)*

A redução, como processo químico, ocorre quando um átomo aceita um elétron. Este processo aumenta a valência de um anião ou diminui a valência de um catião. A oxidação é o processo inverso e ocorre quando um átomo perde um elétron. Em solos húmidos, o lençol freático flutuante ao longo do ano, provoca nos átomos de ferro (Fe) presentes nas partículas do solo alternância entre formas oxidadas e formas reduzidas. A saturação dos solos por períodos mais longos que algumas semanas é, geralmente, suficiente para reduzir o Fe. As reações de oxidação-redução (redox) nos solos são maioritariamente controladas por atividade microbiana e pela presença de carbono para os microrganismos que, durante a respiração usam estas substâncias de carbono como dadores de elétrões (Vepraskas & Craft, 2016).

A abundância em substâncias químicas oxidadas e reduzidas pode ser medida como a diferença de potencial entre um eléctrodo indicador inerte e uma célula de referência, utilizando um voltímetro de alta impedância. O potencial redox nos solos varia, geralmente, entre -1 e +1 V, esta variação é devida ao efeito tampão ou equilíbrio da água nas reações de redox ( $O_2/H_2O$ ;  $H_2O/H_2$ ) (Bartlett & James, 1995).

Uma vez que o potencial redox nos solos é maioritariamente controlado pela atividade microbiana, mudanças nas condições externas, como a precipitação e a posição do lençol freático (como fontes indiretas de oxigénio), temperatura e disponibilidade de matéria orgânica, podem levar a mudanças nos valores de Eh. Consequentemente, o potencial redox pode variar tanto temporalmente (minutos, horas ou dias) como espacialmente (horizontes, tipos de solos e paisagens, etc.) (Gao, Tanji, Scardaci, & Chow, 2002).

---

**Capítulo III**  
**Fogos florestais**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

### **3. Fogos florestais**

O fogo tem sido um fator importante na dinâmica do clima terrestre e do desenvolvimento de biomas desde a sua ocorrência global, que se pensa ter começado há cerca de 350-400 milhões de anos atrás. Em ambientes propensos a incêndios, os humanos têm coexistido com o fogo na paisagem, e o seu uso foi a primeira ferramenta antropogénica que afetou a dinâmica do ecossistema para além da escala local (Doerr & Santin, 2016).

#### ***3.1. O que são fogos florestais?***

Um fogo florestal, segundo a WHO, é um incêndio não planeado que queima numa área natural como uma floresta ou pradaria. Podem também ser descritos como qualquer combustão ou queima não controlada e não prescrita de plantas num ambiente natural que consome os combustíveis naturais e se espalha com base nas condições ambientais (por exemplo, vento ou topografia). Os incêndios florestais podem ser iniciados por ação humana, seca extrema ou, em casos raros, por relâmpagos.

Esta combustão descontrolada afeta, de modo expressivo, as diferentes componentes dos ecossistemas naturais onde incide, a vegetação e o solo, provocando na sua passagem efeitos imediatos, como a ausência temporária de vegetação e domínio de cinza, bem como efeitos mais prolongados como a degradação da qualidade dos solos e a aceleração dos processos de erosão, para além dos efeitos negativos que pode ter para a vida e propriedade humana (Lourenço et al., 2012).

#### ***3.2. Fogos prescritos ou controlados***

De acordo com USDA, fogos prescritos são fogos aplicados, num local definido, por profissionais, de forma hábil, em condições meteorológicas rigorosas para alcançar resultados específicos.

Os fogos prescritos são uma prática economicamente fiável em muitas florestas e pradarias, em muitos casos, são a única escolha possível. Poucos tratamentos podem competir com o fogo prescrito pela combinação entre os fatores económicos e a sua eficácia. Os tratamentos químicos e mecânicos podem ser 10 a 20 vezes mais caros e ter custos ambientais, como a destruição de habitats e a erosão do solo. Os fogos controlados também podem ter custos ambientais associados, mas estes problemas podem ser minimizados com uma boa prescrição e execução cuidada (Waldrop et al., 2012).

---

Segundo Waldrop et al, (2012), os fogos prescritos são de bastante utilidade para:

- Reduzir os combustíveis perigosos;
- Eliminar detritos da indústria madeireira;
- Preparar locais para sementeira ou plantação;
- Melhorar o habitat da fauna selvagem;
- Gerir vegetação concorrente;
- Controlar insetos e doenças por eles transmitidas;
- Melhorar as forragens para pastagens;
- Melhorar as paisagens e o seu acesso;
- Perpetuar as espécies e comunidades que requerem fogo.

### ***3.3. Evolução histórica dos fogos florestais em Portugal***

A área florestal começou a aumentar em Portugal a partir do século XX, passando de cerca de 1 milhão de hectares em 1880 para cerca de 3,5 milhões de hectares em 1995, sendo o sub-bosque intensamente explorado para o gado e adubação das terras. Até aos anos 60, os incêndios não eram considerados um problema, o que levou a que, até 1977 apenas fossem recolhidos dados de área ardida quando eram atingidos perímetros florestais públicos ou comunitários, ou seja, áreas geridas pelo Estado. Só no final dos anos 60 e início dos anos 70 é que a área florestal ardida em Portugal começa a ser significativa, a par do crescente abandono rural (Lourenço, 2007).

Nas duas últimas décadas, a média anual de área florestal ardida em Portugal mais do que duplicou face ao decénio 1980-1989 (figura 7). Só entre 2009 e 2018, os grandes incêndios florestais (com áreas superiores a 100 hectares) foram responsáveis por 68% da área ardida, embora representem apenas 0,66% das ocorrências registadas (WWF, 2019).

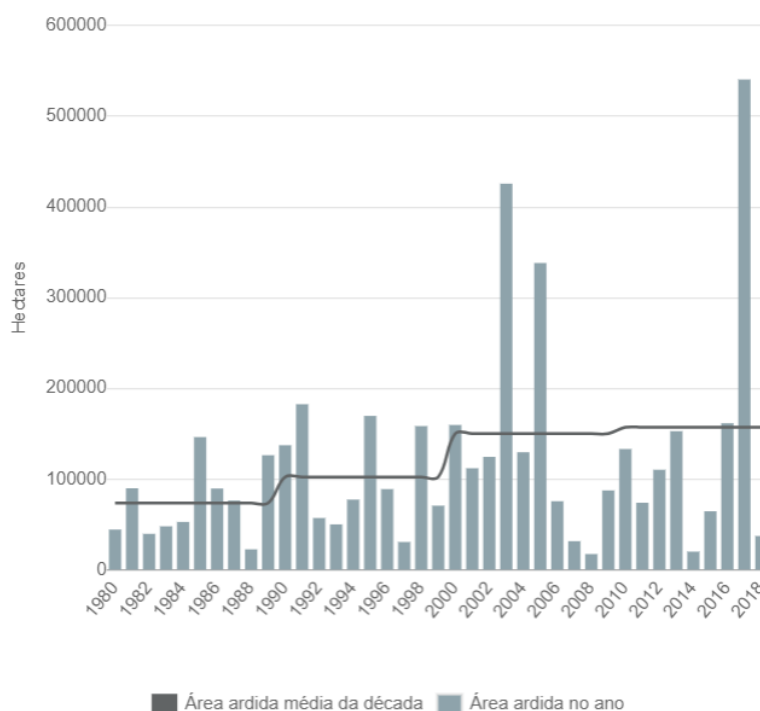


Figura 7 - Evolução da área ardida anual e média por década, em Portugal, no período de 1980 a 2018 (San-Miguel-Ayanz et al., 2019).

Uma nova geração de incêndios, muito rápidos, muito intensos, impossíveis de extinguir e que causam danos catastróficos começou a ser descrita no início deste século (XXI). São denominados incêndios de sexta geração e libertam tanta energia que têm a capacidade de alterar as características meteorológicas ao seu redor (Martín et al., 2018). Na tabela 4 são apresentadas as diferentes gerações de incêndios florestais, em função das suas características principais.

Tabela 4 - Evolução dos incêndios florestais. As diferentes gerações de incêndios (Martín et al., 2018).

Evolução dos incêndios florestais	
<b>1ª Geração</b>	Espaços de cultura diminuem. Maior continuidade florestal: originam fogos de grandes dimensões.
<b>2ª Geração</b>	Ao longo dos anos o combustível acumula-se, e as chamas ganham velocidade de propagação.
<b>3ª Geração</b>	Florestas luxuriantes, incêndios mais intensos. Excedem a capacidade de extinção.
<b>4ª Geração</b>	A continuidade da vegetação leva o fogo até povoações vizinhas. Há vidas em risco.
<b>5ª Geração</b>	Registam-se diferentes focos simultâneos na mesma área geográfica.
<b>6ª Geração</b>	Libertação de energia tão elevada que modificam a meteorologia da sua envolvente.

---

O primeiro registo de um mega incêndio florestal, em Portugal, (com dimensão superior a 10 000 hectares) data da década de 80, tendo os restantes ocorreram depois de 2000 (figura 8). Dos 26 mega incêndios registados desde 2000, 11 ocorreram em 2017 (Guerreiro et al., 2018). Em junho de 2017, em Pedrogão Grande, ocorreu o primeiro incêndio na Europa qualificável como sendo de sexta geração e, em outubro do mesmo ano, ocorreu o segundo (Martín et al., 2018).

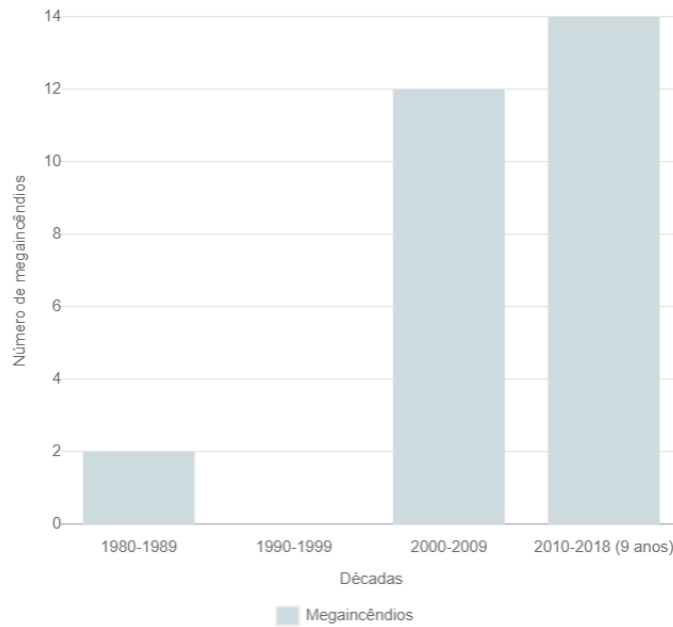


Figura 8 - Número de megaincêndios registados em Portugal entre os de anos 1980 e 2018, por década. (San-Miguel-Ayanz et al., 2019)

### 3.4. Principais causas de incêndios em Portugal

Na figura 9 podemos observar as principais causas de incêndios reportadas entre os anos de 1996 a 2010 em Portugal continental separados pelos seus 18 distritos com a classificação determinada pelas investigações de causas de fogo. É de salientar que, segundos os dados do ICNF, a grande maioria dos casos de incêndios (86%), em Portugal, não são alvo de investigação (figura 10) e, como tal, não há causa definida para o seu acontecimento.

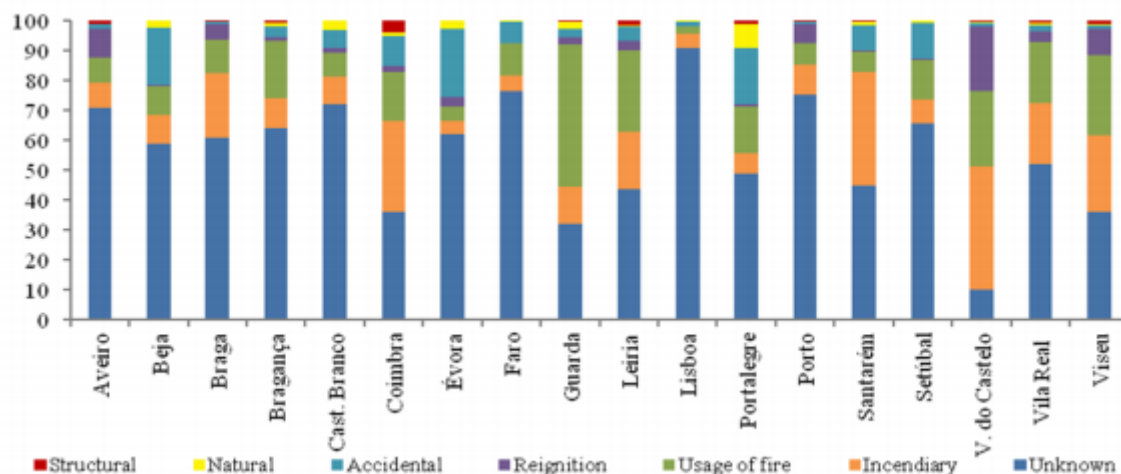


Figura 9 - Principais causas de incêndios por distrito em Portugal continental (Lourenço et al., 2013)

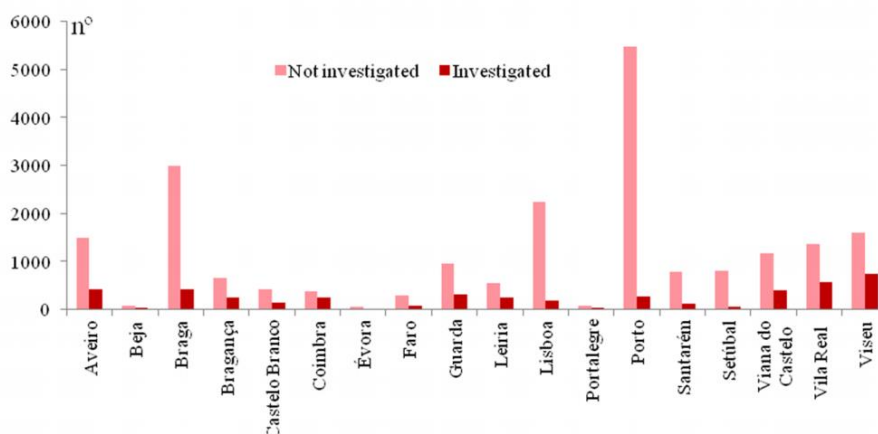


Figura 10 - Número de ignições investigadas e não investigadas em Portugal continental nos anos compreendidos entre 1996 e 2010 (Lourenço et al., 2013).

Na parcela das causas conhecidas, a origem incendiária e uso negligente de fogo são tidas como os principais fatores no começo de fogos florestais em Portugal continental, representando quase 40% das causas identificadas (tabela 5). Nestas, incendiária refere-se a usos irresponsáveis, como piromania ou brincadeiras de crianças, considerando que as motivações responsáveis incluem manobras de diversão, fogo de artifício por prazer, conflitos entre vizinhos, vingança, vandalismo e outros ações deliberadas (Lourenço et al., 2013).

No uso de fogo negligente incluem-se ações como queima de lixo, queima agrícola (limpeza de terrenos agrícolas, matas, renovação de pastagens, melhoramento de acessos para caça e pesca, etc.), fogo de artifício, fogueiras e apicultura. Reignições representam em torno dos 6% dos fogos registados enquanto as ocorrências acidentais (com transportes e comunicações ou maquinaria) correspondem a apenas 3% das causas identificadas. Causas naturais, como relâmpagos, também são fatores de ignição, mas o número de fogos por eles provocados representam apenas 0,8% da totalidade, sendo então, os incêndios provocados por mão humana os mais proeminentes.

Tabela 5 - Principais causas de incêndios em Portugal continental. Dados do ICNF referentes aos anos de 1996 a 2010.

Principais causas	Número de ignições	Percentagem do total (%)
Desconhecida	34638	50,7
Incendiária	13277	19,4
Uso de fogo	12992	19,0
Reigniçao	4243	6,2
Acidental	2060	3,0
Natural	550	0,8
Estrutural	538	0,8
<b>Total</b>	<b>68298</b>	<b>100,0</b>

### 3.5. Portugal em relação à Europa

Na figura 11 é possível observar, para todos os países da união europeia, as áreas florestais ardidas no ano de 2020 e uma média anual no período entre 2008 e 2020. Portugal apresenta dados médios anuais claramente superiores aos dos restantes países.

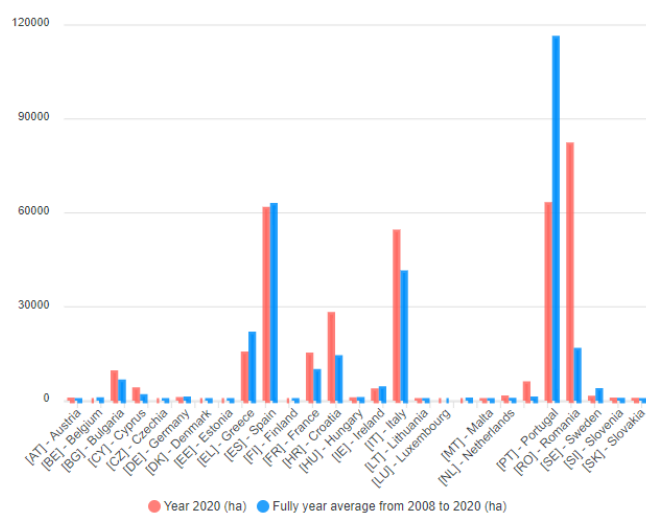


Figura 11 - Área ardida (ha) para os respetivos países da união europeia. Fonte: EFFIS

---

Segundo o inventário nacional da floresta, o eucalipto ocupa 812 kha e representa 26% da área florestal nacional (ICNF, 2013a). Numa avaliação europeia, o eucalipto obteve uma classificação de 4,5 em 5 pontos possíveis numa escala de combustibilidade, imediatamente abaixo de pinhas e matos (Xantopoulos et al., 2012).

Esta marcada presença de tipos de vegetação com elevada combustibilidade (como os eucaliptos, pinheiros-bravos, entre outros) associada ao clima quente sentido em Portugal pode ser um dos fatores que diferenciam Portugal dos restantes países europeus. Quando falamos dos maiores incêndios registados anualmente ( $\geq 2500$ ha), a composição da área ardida mostra uma clara dominância de eucalipto ou uma mistura de eucalipto e pinheiro em 6,3 a 30,6% dos casos, respetivamente (Fernandes & Guiomar, 2018).

### ***3.6. Distribuição espacial dos fogos florestais em Portugal***

A análise comparativa dos valores médios de ocorrências relativos ao período entre 1996 e 2010 pode ser observada na figura 12. Através da análise da mesma, podemos verificar uma concentração de ocorrências na zona litoral e centro norte do país, em particular, junto aos grandes centros urbanos de Porto, Lisboa e Viseu, situação que tem tendência a agravar-se nas próximas décadas (Lourenço et al., 2012). Esta distribuição geográfica fica a dever-se a situações concretas destes contextos geográficos que, de modo geral, se podem relacionar quer com a dispersão das habitações no meio da mancha florestal, quer com a existência, também no interior do espaço florestal, de pequenas unidades industriais de tipo familiar (Lourenço et al., 2012).

No centro, os municípios mais afetados distribuem-se pelas áreas montanhosas da Cordilheira Central (serras da Lousã, Açor, Estrela, Alvelos, Cabeço, Rainho, Gardunha e Malcata), do maciço marginal de Coimbra, da serra do Caramulo, do maciço da Gralheira (serras da Arada, Freita, Arestal e S. Macário) e, por último, das serras de Montemuro, Nave, Lapa e Marofa (Lourenço et al., 2012).

No Norte, os municípios mais afetados correspondem às serras do Marão e Alvão, e, no Sul, no Algarve, as áreas queimadas correspondem aos municípios que se desenvolvem pelas serras de Monchique e do Caldeirão, o que denota uma associação muito próxima das manchas queimadas (Lourenço et al., 2012).

As áreas mais poupadas pelos incêndios florestais encontram-se principalmente no Alentejo e em algumas zonas litorais a sul do país, de modo que, em termos médios, as áreas montanhosas antes mencionadas continuam a ser as mais afetadas, juntamente com aquelas que as envolvem, confirmando-se assim que o relevo e a interioridade acabam por ser determinantes para explicar a distribuição geográfica da generalidade dos grandes incêndios florestais em Portugal (Lourenço et al., 2012).

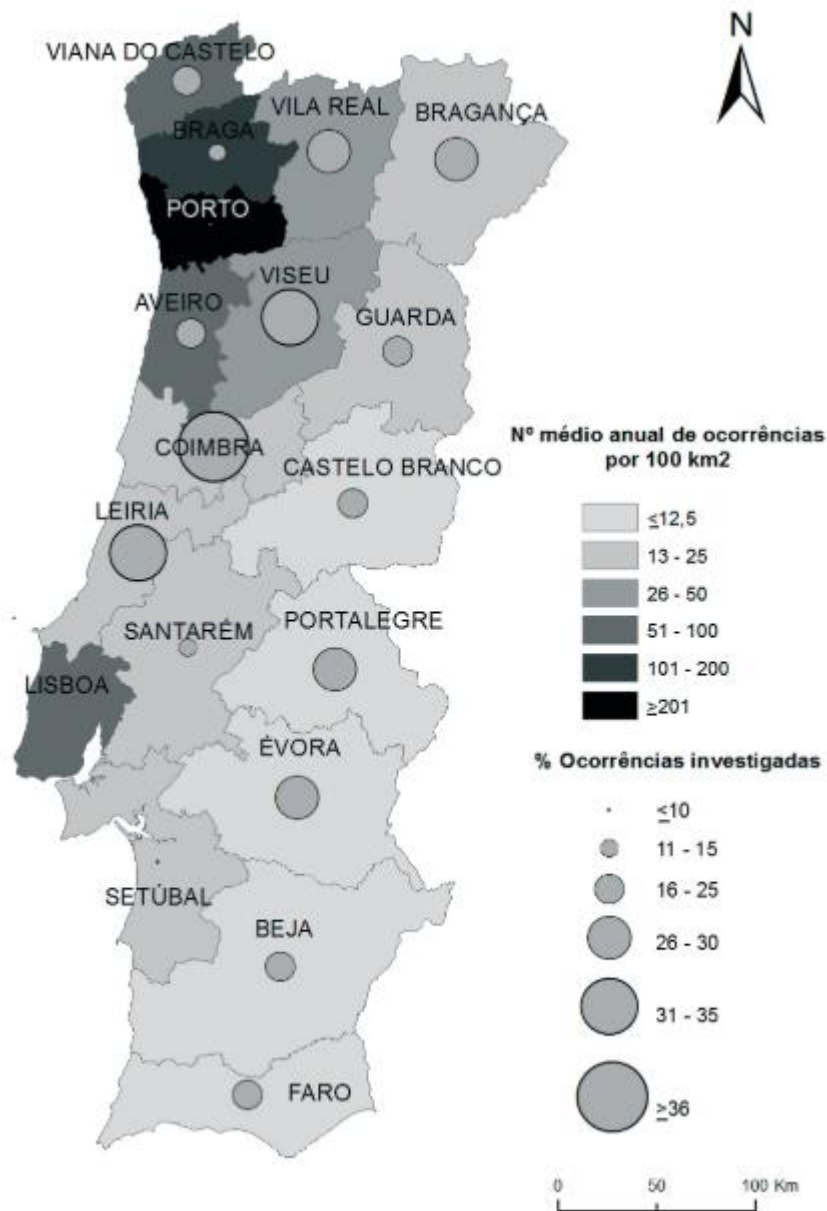


Figura 12 – Distribuição espacial do número médio anual de ocorrência por 100 Km<sup>2</sup>, por distritos, e respetiva percentagem de causas de incêndios investigadas entre 1996 e 2010. Fonte: ICNF

### 3.7. Ocupação do solo das áreas ardidas

Na tabela 6, são apresentados os dados referentes à ocupação de solos das áreas ardidas entre os anos de 1996 e 2012, de acordo com o ICNF (2013b). Estes dados resultaram do cruzamento da cartografia anual de áreas ardidas com os dados preliminares do 6º Inventário Florestal Nacional. Como se pode verificar, a maioria dos incêndios ocorreu em matos e pastagens (51%), sendo o mato destacado nesta categoria (35%). Em seguida, encontra-se o terreno florestal (35%) com a predominância do pinheiro-bravo (16%) e do eucalipto (11%). Os incêndios noutros tipos de ocupações representam apenas 14%.

Tabela 6 - Ocupação da área ardida média anual e respetiva área total nos anos compreendidos entre 1996 e 2012. Fonte: ICNF

Ocupação do solo	Média anual (1996-2012)	Total	Percentagem
<b>Floresta</b>	47031	799520	35%
Pinheiro-bravo	20449	347626	16%
Eucaliptos	13966	237422	11%
Sobreiro	1827	31059	1%
Azinheira	692	11772	1%
Carvalhos	1469	24968	1%
Pinheiro-manso	452	7688	0%
Castanheiros	218	3698	0%
Alfarrobeira	7	125	0%
Acácias	66	1120	0%
Outras folhosas	2207	37521	2%
Outras resinosas	1145	19462	1%
Espécie indeterminada	775	13169	1%
<b>Matos e pastagens</b>	62789	1067408	51%
Matos	43500	739497	35%
Pastagens	19287	327873	16%
<b>Outras ocupações</b>	17342	294814	14%
<b>Total</b>	123960	2107321	100%

---

## **Capítulo IV**

### **Efeitos espectáveis do fogo nas propriedades do solo**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

#### **4. Influência dos incêndios florestais nas propriedades do solo**

Os fogos são uma das maiores causas de impactos nos ecossistemas (Moreira, 2012). Apesar da maioria dos fogos detetados serem de reduzidas dimensões e considerados pequenos inconvenientes, grandes incêndios podem ser considerados grandes perturbações e causar impactos nos ecossistemas que os rodeiam (Gonçalves & Sousa, 2017).

##### **4.1. Textura**

As partículas inorgânicas constituintes do solo (areia, limo e argila) têm grande tolerância a temperaturas elevadas e, geralmente, não são afetadas pelo fogo exceto quando são sujeitas a temperaturas elevadas na camada mineral superficial (horizonte A). A fração inorgânica mais sensível ao aumento de temperatura é a argila, que começa a alterar-se aos 400°C quando a hidratação e a estrutura começam a colapsar. A temperaturas de 700 a 800°C a destruição completa da estrutura interna da argila pode ocorrer (DeBano et al., 2005). Camadas escurecidas e pequenos agregados (tamanho de areias) formadas à superfície durante a queima do solo alteram a distribuição do tamanho das partículas e resultam em texturas mais grosseiras devido à maior proporção de areias. Há casos em que fogos podem também produzir uma textura mais fina devido ao aumento da fração limosa, resultante da decomposição de grãos de areia constituídos por minerais caulinizados (Verma & Jayakumar, 2012).

##### **4.2. Estrutura**

Os principais fatores condicionantes da estrutura do solo são a quantidade e tipo de argila, os catiões, as forças de atração e coesão entre os componentes dos agregados, a atividade microbiana, os óxidos de ferro e de alumínio e a matéria orgânica. Depois de um incêndio florestal, a combustão da matéria orgânica é um dos principais fatores de destruição de agregados. Se chuvas fortes (tempestades de verão e outono em clima Mediterrâneo) ocorrem antes da cobertura vegetal ser reestabelecida, o impacto no solo pode contribuir para o desenvolvimento de uma crosta superficial, o que reduz a infiltração, aumenta a velocidade de escoamento e favorece a perda de nutrientes (Mataix-solera et al., 2011).

Há certos fatores que podem induzir um aumento da estabilidade estrutural após o fogo. Em geral, fogos de baixa intensidade não produzem mudanças drásticas na estabilidade da estrutura dos solos, embora nalguns casos, o aumento da estabilidade tenha sido atribuído ao desenvolvimento de repelência de água após os incêndios. Incêndios de grande intensidade provocam mudanças significativas, mas diferentes alterações são reportadas consoante o tipo de solo. Se a temperatura for alta o suficiente, pode haver maior agregação devido a recristalização de hidróxidos de ferro e alumínio (Mataix-solera et al., 2011).

---

### **4.3. Peso volúmico aparente, Porosidade e Permeabilidade**

O peso volúmico aparente e a permeabilidade dos solos estão diretamente relacionados com a sua porosidade. Como resultados dos fogos florestais, tem sido reportado o colapso dos agregados e o preenchimento dos vazios do solo por cinzas e argilas dispersas, o que provoca decréscimo da porosidade e da permeabilidade e, conseqüentemente, diminuição a capacidade de retenção de água no solo, aumento do escoamento superficial e da erosão (Cerdà & Doerr, 2008; Martin & Moody, 2001).

### **4.4. Cor**

A cor do solo é facilmente alterável com a combustão. A temperaturas elevadas, o avermelhamento do solo ocorre, estes tons, aparecem devido à transformação dos óxidos de ferro e completa remoção da matéria orgânica (Ulery & Graham, 1993). O avermelhamento a altas temperaturas (600°C) não ocorre até 45 minutos após exposição, as tonalidades de Munsell tornam-se mais amareladas à medida que os valores da temperatura diminuem com o aquecimento a curto prazo a 300 a 600°C (Ketterings & Bigham, 2000). Em solos severamente queimados a camada subjacente à superficial é escurecida numa espessura de um a quinze centímetros e os valores de Munsell são mais baixos. A temperaturas baixas a moderadas o solo é coberto por uma fina camada negra ou cinzenta de cinza. (Ulery & Graham, 1993).

### **4.5. Condutividade Elétrica**

A condutividade elétrica do solo após incêndio é referida como sendo temporariamente aumentada como resultado da libertação de iões inorgânicos resultantes da combustão da matéria orgânica (Ciampa, Benedettp, Sequi, & Valentini, 2009; Granged, Zavala, Jordán, & Bárcenas-Moreno, 2011; Paulo Pereira, Úbeda, & Martin, 2012). Sendo que após 5 meses os valores de condutividade elétrica já não apresentam grande variação relativamente aos dados pré-fogo devido à lixiviação do solo e o consumo de nutrientes no terreno queimado por parte da vegetação, que retornaram os valores eletrólitos ao valores pré-fogo (Paulo Pereira et al., 2017).

---

#### **4.6. pH**

O pH do solo geralmente aumenta após um fogo florestal devido à destruição de ácidos orgânicos e à contribuição dos carbonatos, bases e óxidos provenientes das cinzas. Após fogos de elevada intensidade e com intensa redução da matéria orgânica por combustão, o pH pode aumentar significativamente em 4 ou 5 unidades (Iglesias, Cala, & Gonzalez, 1997) devido à perda de grupos de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) dos minerais de argila, a formação de óxidos, a libertação de catiões ou a substituição de prótons no complexo de troca catiónico (Gimeno-García et al., 2000; Wondafrash et al., 2005).

Em geral, o aumento de pH é efêmero devido à formação de novos húmus e à lixiviação das bases, no entanto, já foram registados períodos de até 50 anos para a recuperação do valor de pH pré-fogo (Etiégni & Campbell, 1991), este período é dependente da capacidade tampão do solo. Por vezes, o pH recupera muito rápido após a remoção das cinzas por processos de erosão (Pereira et al., 2015).

#### **4.7. Matéria Orgânica**

Os efeitos de fogos florestais na matéria orgânica do solo são altamente variáveis desde a sua destruição completa a um aumento que pode chegar aos 30% em camadas superficiais consequência de fatores externos, como a presença de folhas seca ou vegetação queimada (Abrams et al., 2001). Esta grande variação está dependente de vários fatores como humidade da matéria orgânica, intensidade e duração do fogo e até a topografia do terreno (González-Pérez et al., 2004). Após o fogo, o declínio da matéria orgânica que pode ser observado em alguns solos, pode ser acelerado por mudanças nas propriedades físico-químicas e pela remoção temporária da camada herbácea, que possui um controlo eficaz da erosão controlando as estruturas radiculares debaixo do solo. A remoção da camada herbácea resulta num aumento da erodibilidade do solo e leva a uma rápida perda das camadas superficiais (Andreu et al., 1996).

#### **4.8. Potencial de oxidação-redução**

A avaliação do potencial redox do solo é particularmente útil para caracterizar o início das condições de redução num solo causado pela falta de  $\text{O}_2$  e para interpretar parcialmente os seus processos biogeoquímicos associados, tais como os processos de desnitrificação ou de degradação bacteriana (Aldridge & Ganf, 2003). Segundo Mitic (2015), amostras de solo provenientes do meio antes do fogo e da área após fogo apresentam valores semelhantes de potencial redox. Em todos os casos, os valores de potencial redox, de acordo com os resultados do teste Mann-Whitney, não indicam diferença significativa entre os valores de potencial redox de amostras do solo antes do fogo e de após o fogo.

---

## **Capítulo V**

### **Material e métodos**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 5. Material e métodos

### 5.1. Solo

As amostras de solo utilizadas no presente trabalho foram obtidas por amostragem numa zona montanhosa, de matos, localizada no Parque Natural de Montesinho, em Bragança, na região nordeste de Portugal continental (figura 13). Nesta zona, foi escolhida uma área para o estudo dos efeitos do fogo controlado nas propriedades do solo, zona a sombreado na figura 14. Foram levadas a cabo três campanhas de amostragem, uma antes do fogo e duas após a realização da ação de fogo controlado. As amostras obtidas foram seguidamente submetidas a caracterização física e química, tendo sido determinadas as seguintes características: análise granulométrica, teor em água natural, condutividade elétrica, pH, teor em matéria orgânica, teor em carbono total (TOC) e análise química elementar simplificada.



Figura 13 - Parque de Montesinho. Fonte: <http://www.walkingportugal.com>



Figura 14 - Localização da área de estudo. Adaptado de: Google Earth

#### *5.1.1. Geologia e geomorfologia do local de amostragem*

O Parque Natural de Montesinho (PNM) engloba unidades autóctones da Zona Centro Ibérica e unidades parautóctones e alóctones da Zona Galiza-Trás-os-Montes, intrusões graníticas variscas e depósitos cenozoicos. A geologia da região é dominada pelo maciço máfico/ultramáfico, polimetamórfico de Bragança (Meireles, 2000). A área de amostragem, de acordo com a carta geológica à escala 1:50 000 de Espinhosela (3-D), encontra-se na sequência paleozoica subautóctone envolvente do maciço de Bragança, onde existe um predomínio dos xistos do Silúrico e do Devónico, apresentando contactos geológicos truncados por cavalgamentos (Meireles, 2000).

A paisagem geomorfológica no PNM é controlada pela diversidade litológica e pela tectónica. A orientação hercínica predomina na orientação geral dos relevos, que se desenvolvem maioritariamente sobre rochas metassedimentares paleozoicas. (Pereira et al., 2003).

De um modo geral, nas áreas de xisto observamos um modelado suave, fruto de erosão linear e acentuada regularização das vertentes. No PNM, a morfologia é geralmente controlada pela estrutura, mais concretamente pela orientação da xistosidade dos metassedimentos, este efeito origina vertentes mais inclinadas a norte e vertentes mais suaves a sul (Meireles, 2000).

### 5.1.2. Condições Climáticas

A área de amostragem situa-se numa localização com invernos rigorosos e verões bastantes quentes, havendo uma amplitude térmica elevada. Os dados da estação meteorológica de Bragança (575), apresentados nas figuras 15, 16 e 17, demonstram os dados meteorológicos para a zona de Bragança e têm por base os valores obtidos nos últimos 30 anos.

A figura 15 apresenta os dados referentes à temperatura e precipitação médias diárias, por mês; a “média máxima diária” (linha contínua vermelha) mostra a média da temperatura máxima medida diariamente para cada mês em Bragança. Da mesma forma, “média mínima diária” (linha azul contínua) mostra a média de temperatura mínima determinada nas mesmas condições. Os dias quentes e as noites frias (linhas vermelhas e azuis tracejadas) mostram a média do dia mais quente e da noite mais fria de cada mês nos últimos 30 anos.

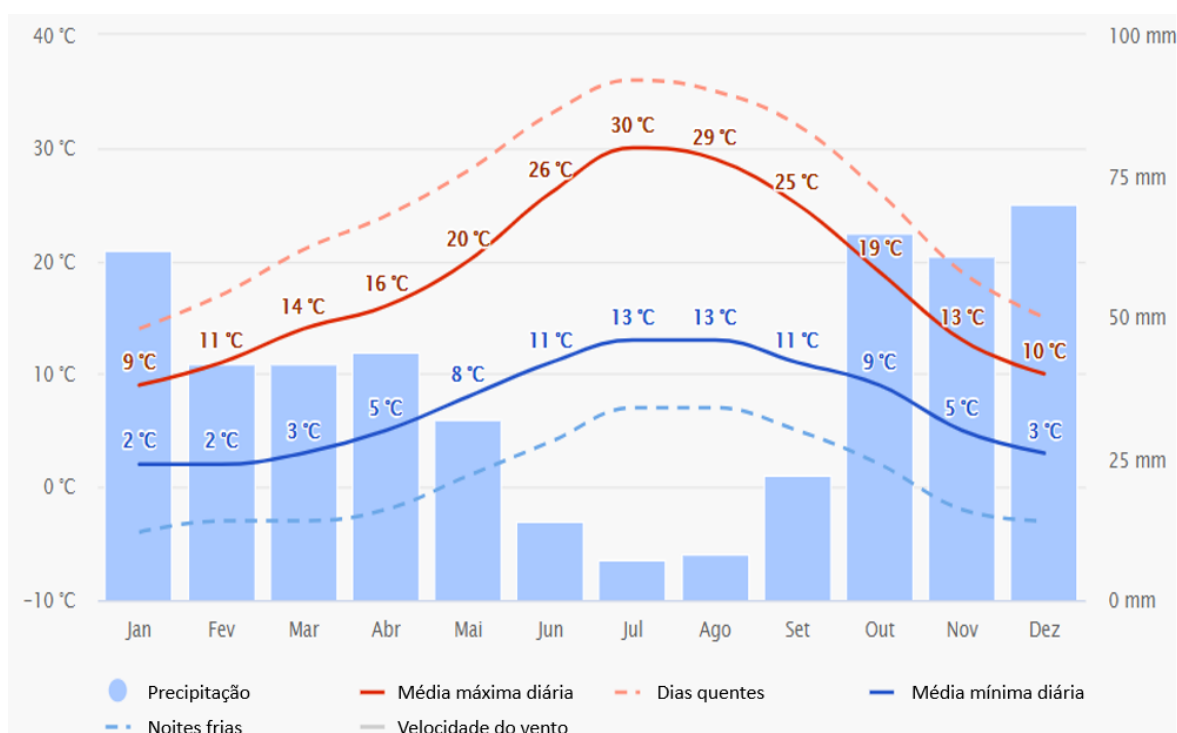


Figura 15 - Temperaturas e precipitações médias para a zona de Bragança. Fonte: [https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/bragan%C3%A7a\\_portugal\\_2742027](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/bragan%C3%A7a_portugal_2742027)

Com base nos dados da estação meteorológica (575) para as temperaturas máximas ocorridas em Bragança (figura 16), é possível observar em quantos dias por mês se registam determinadas temperaturas. Os meses de julho e agosto representam os meses mais quentes com temperaturas máximas, por vezes, superiores a 35°C, dezembro e janeiro são os meses mais frios com temperaturas, por vezes, negativas. Bragança apresenta uma temperatura média anual de 11,5°C.

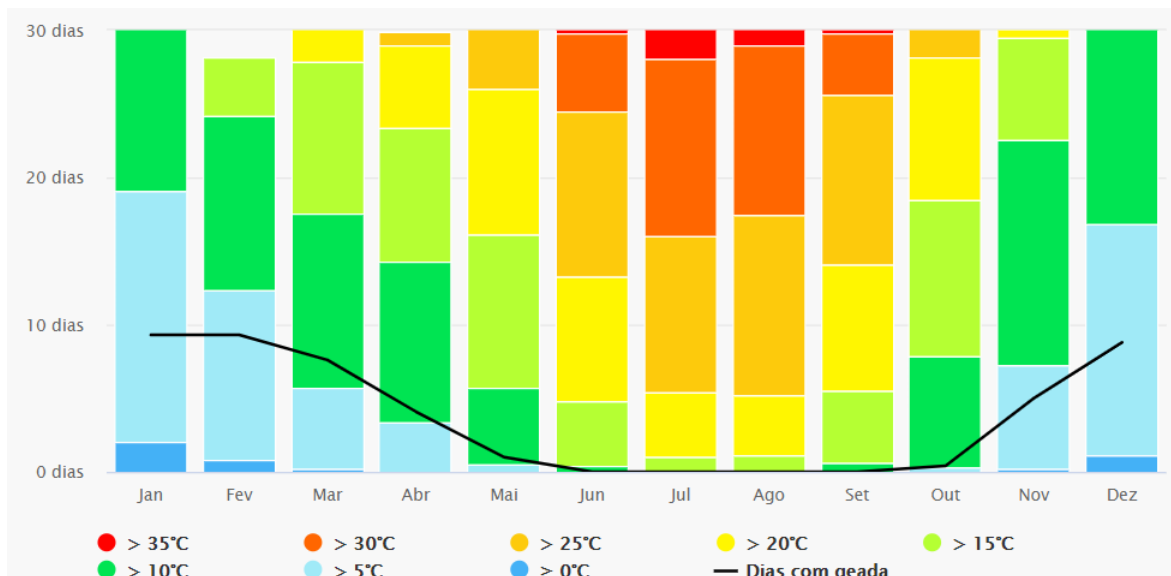


Figura 16 – Média de temperaturas máximas ocorridas em Bragança nos últimos 30 anos. Fonte: [https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/bragan%C3%A7a\\_portugal\\_27420](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/bragan%C3%A7a_portugal_27420)

A figura 17 apresenta os dados da quantidade média de precipitação diária, por mês, para o distrito de Bragança. À semelhança da tendência encontrada na temperatura, os meses de julho e agosto são aqueles que apresentam menor pluviosidade, sendo a maioria dos dias secos. Em contraste, os restantes meses apresentam pluviosidades bastantes mais elevadas, principalmente de outubro a abril. Segundo os dados do PORDATA, Bragança apresenta uma pluviosidade média anual de 920mm.

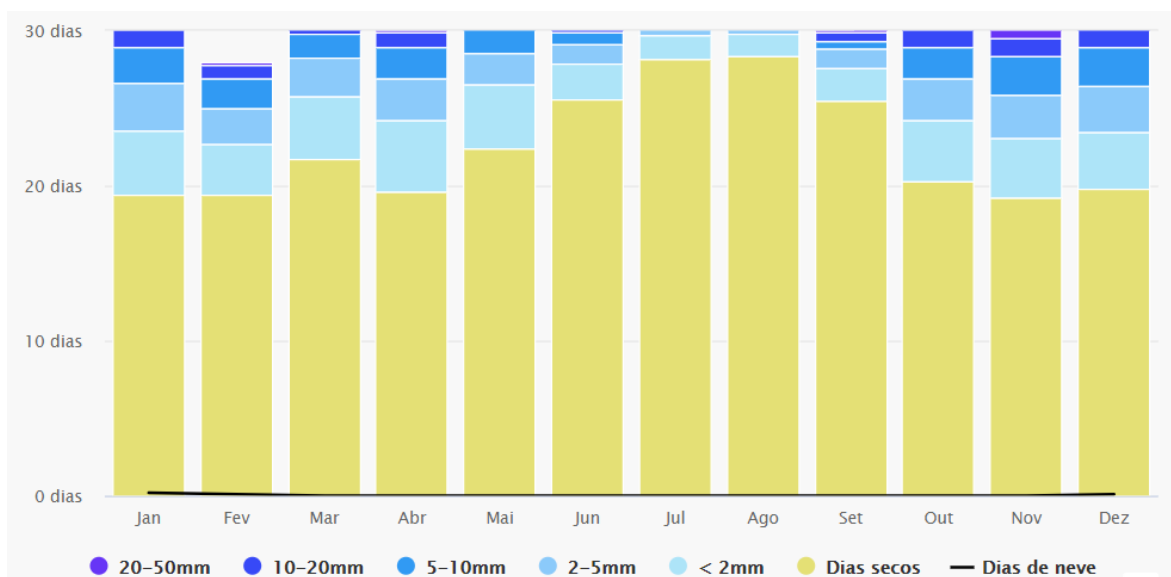


Figura 17 - Quantidade de precipitação. Fonte: [https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/bragan%C3%A7a\\_portugal\\_27420](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/bragan%C3%A7a_portugal_27420)

## 5.2. Amostragem

Na área escolhida para amostragem, foram definidas por um dos parceiros de projeto TERRAMATER (IPB – Instituto Politécnico de Bragança), 11 parcelas de amostragem (figura 18) , nas quais foram realizadas 3 campanhas de amostragem: i) antes do fogo; ii) imediatamente após o fogo controlado e iii) 2 meses após o fogo controlado. Em cada uma destas parcelas e em cada campanha de amostragem foram recolhidas amostras a quatro diferentes profundidades: 0-3 cm, 3-6 cm, 6-10 cm e 10-20cm. Assim, em cada campanha de amostragem, foram recolhidas 44 amostras remexidas. As amostras recolhidas foram colocadas em sacos plásticos, devidamente identificados e encerrados e, posteriormente, levados para os laboratórios do ISEP onde foram secas em estufa a 35°C e posteriormente armazenadas à temperatura ambiente e protegidas da incidência de sol direto. Antes deste processo de secagem foram retirados os provetes necessários para determinação do teor em água natural.



Figura 18 – Área em estudo e locais de amostragem. Adaptado de: Google Earth

### 5.2.1. Designação das amostras

As designações atribuídas às diferentes amostras obtidas nas várias parcelas, a diferentes profundidades e nas diferentes campanhas, encontram-se sintetizadas na tabela 7, onde x é substituído pelo número da parcela (de 1 a 11) onde a amostra foi recolhida.

Tabela 7 - Designação das amostras recolhidas nas diferentes campanhas.

Parcela	Profundidade	Designação das Amostras		
		Antes do fogo	Imediatamente após o fogo	2 meses após o fogo
x	0 - 3 cm	Bb x1	B1a x1	B2a x1
	3 - 6 cm	Bb x2	B1a x2	B2a x2
	6 - 10 cm	Bb x3	B1a x3	B2a x3
	10 - 20 cm	Bb x4	B1a x4	B2a x4

## 5.3. Caracterização física e química do solo

### 5.3.1. Preparação das amostras de solo

Nos ensaios de caracterização física e química efetuados, à exceção da determinação do teor em água natural, de acordo com os procedimentos habituais em geoambiente, apenas foi utilizada a fração inferior a 2mm, como tal, foi necessário executar a preparação da amostra após secagem. Assim, foi realizada desagregação manual dos torrões existentes, remoção das raízes e, em seguida, peneiração aos 2 mm. A peneiração foi realizada mecanicamente por um período de 5 minutos a 70 rpm, com recurso a crivos normalizados de 2mm e agitador mecânico (figura 19) As frações granulométricas obtidas (inferior e superior a 2mm) foram armazenadas separadamente (figura 20).



Figura 19 - Agitador de peneiras Retsh.



Figura 20 - Resultado da crivagem efetuada na parcela 1 à profundidade de 10 a 20cm. À esquerda, fração inferior a 2mm e à esquerda, fração superior a 2mm.

#### **5.4. Determinação da análise granulométrica**

Uma vez que esta dissertação de mestrado foi realizada integrada nos trabalhos do projeto TERRAMATER, coube ao Instituto de Ciências da Terra da Universidade do Minho a realização das análises granulométricas. A sua determinação foi feita recorrendo à técnica de difração a laser, com recurso ao equipamento Mastersize 3000 da Malvern, que mede o tamanho das partículas e analisa a sua distribuição ponderal.

#### **5.5. Determinação do teor em água natural**

A determinação de teor em água foi efetuada pelo método de secagem em estufa de acordo com a norma a EN ISO 17892-1: 2014. Os ensaios foram realizados em duplicata, com provetes de solo húmido (fração inferior a 2 mm) de cerca de 20g (figura 21). De acordo com as especificações do método de ensaio utilizado, foi implementado o seguinte procedimento de ensaio:

- Pesar um recipiente limpo e seco ( $M_r$ );
- Colocar o provete húmido no recipiente limpo e seco de massa conhecida;
- Determinar a massa total do recipiente mais provete de solo húmido ( $M_{sh}$ );
- Colocar o recipiente com o provete na estufa ventilada e secar entre 105 e 110 °C até a massa constante;
- Retirar da estufa o recipiente com o provete seco e deixar arrefecer em ambiente com humidade controlada;
- Determinar a massa total do recipiente mais provete de solo seco ( $M_{ss}$ );
- Calcular o teor em água aplicando a equação 4.



Figura 21 – Determinação do teor em água. Amostras no interior da estufa após secagem.

$$[4] \text{ Teor em Água (\%)} = \frac{M_{sh} - M_r}{M_{ss} - M_r} \times 100$$

### **5.6. Determinação da Condutividade Elétrica**

A determinação da condutividade elétrica seguiu o procedimento estabelecido na norma ISO 11265:1994, sendo realizada a mediação em solução aquosa. Os ensaios foram executados em duplicata, com provetes de solo (fração inferior a 2 mm) de cerca de 10g (figura 22). De acordo com as especificações da norma internacional, foi implementado o seguinte procedimento de ensaio:

- Colocar a amostra de solo (10g) num recipiente de 50 mL;
- Adicionar 50 mL de água desionizada;
- Colocar o recipiente, com a suspensão de solo, no agitador mecânico Certomat® MO II e agitar durante 30 minutos a 180 rpm;
- Retirar o provete do agitador e filtrar a solução com papel de filtro quantitativo 434 (retenção de partículas de 2-3 µm).
- Realizar a medição da condutividade elétrica, na solução filtrada, a uma temperatura de 20°C ± 2°C, com recurso ao medidor multiparâmetro HI-4522-02 da Hanna Instruments com a sonda HI 76312.

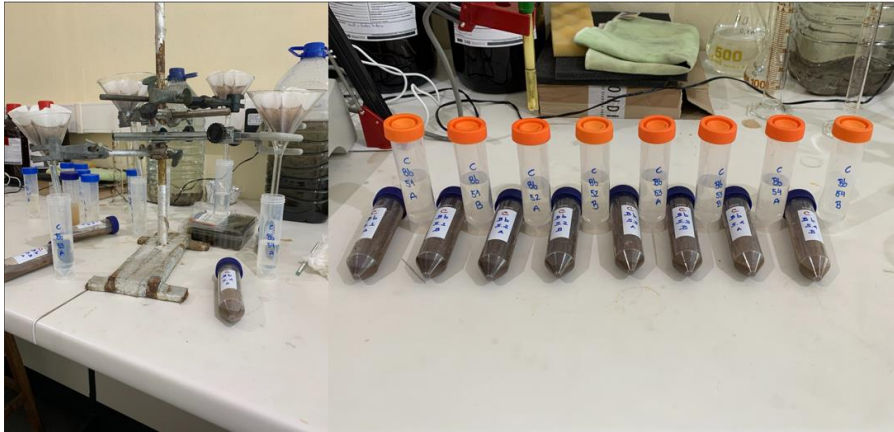


Figura 22 – Determinação da condutividade elétrica. Filtragem da amostra agitada (esquerda) e amostra filtrada pronta para medição da condutividade elétrica (direita).

### **5.7. Determinação de pH**

A determinação de pH foi executada segundo a norma ISO 10390:2005, tendo sido realizada, tanto em solução aquosa, como em solução de cloreto de potássio. Os ensaios foram realizados em duplicata, com provetes de solo (fração inferior a 2 mm) de cerca de 4g. De acordo com as especificações da norma internacional, foi implementado o seguinte procedimento de ensaio:

- Colocar a amostra de solo, 4g, num recipiente de 50mL;
- Adicionar a 25mL de água desionizada ou de solução de cloreto de potássio ( $c(\text{KCl}) = 0,01 \text{ mol/L}$ );
- Colocar o recipiente com a suspensão de solo no agitador mecânico (Certomat® MO II) e agitar durante  $60 \text{ min} \pm 10 \text{ min}$  a 180 rpm
- Retirar o recipiente do agitador mecânico e deixar em repouso, na vertical, durante 1 a 3h.
- Realizar a leitura do pH a uma temperatura de  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , com recurso ao medidor multiparâmetro HI-4522-02 da Hanna Instruments, com sonda HI 1131B.

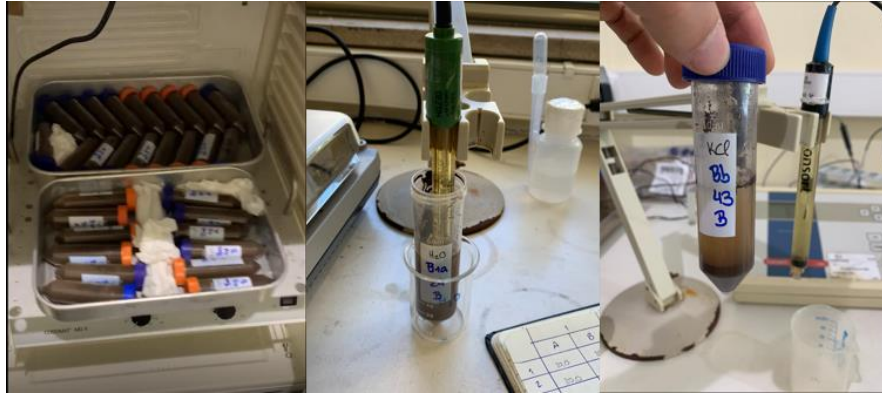


Figura 23 – Determinação do pH. Processo de agitação mecânica das amostras (esquerda), leitura de pH em solução aquosa (centro) e provete em solução de KCl após agitação e repouso (direita).

Na tabela 8, apresentam-se os intervalos de pH e as suas respectivas designações, segundo a classificação do USDA.

Tabela 8 - Classes de pH do solo de USDA (Costa, 1999)

pH do solo	Designação
menor que 4,5	Extremamente ácido
4,5 a 5,0	Muito fortemente ácido
5,1 a 5,5	Fortemente ácido
5,6 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

### **5.8. Determinação do Teor Matéria Orgânica**

A determinação do teor em matéria orgânica foi realizada por inceneração em mufla. Os ensaios foram realizados em duplicata, com provetes de solo (fração inferior a 2 mm) de cerca de 5g (figura 24). De acordo com as especificações do método de ensaio utilizado, foi implementado o seguinte procedimento de ensaio:

- Pesar um recipiente limpo e previamente seco;
- Pesar, dentro do recipiente, um o provete de solo húmido (com mais do que 5 g);
- Colocar o recipiente com o provete a secar, em estufa ventilada, de 105 a 110°C até massa constante;

- Retirar da estufa o recipiente com o provete de solo seco e deixar arrefecer em ambiente com humidade controlada;
- Calcinar a 900°C os cadinhos que irão ser utilizados na inceneração. O aquecimento até 900°C é feito em rampa com duração de 1h e, depois, permanece a 900°C durante 30 minutos;
- Retirar cadinhos da mufla e deixar arrefecer em ambiente com humidade controlada;
- Manuseando sempre com auxílio de uma pinça, retirar os cadinhos do exsicador, determinar a sua massa após calcinação ( $M_r$ ) e identificá-los com as referências das amostras que neles serão colocadas;
- Colocar 5g de solo seco ( $M_{am}$ ) em cada cadinho;
- Colocar os cadinhos com os provetes de solo seco na mufla e incinerar a 400°C. O aquecimento até aos 400°C é feito em rampa, com duração de 2h e, depois, permanece durante 4h a 400°C.
- Deixar arrefecer, dentro da mufla, até ser possível abrir, retirar da mufla os cadinhos e terminar o arrefecimento em exsicador;
- Determinar a massa total do recipiente mais provete de solo após a inceneração ( $M_{dm}$ );
- Calcular a quantidade de matéria orgânica aplicando a equação 5.

$$[5] MO = (M_r + M_{am}) - (M_r + M_{dm})$$



Figura 24 - Pesagem da amostra para a determinação da matéria orgânica (esquerda) e amostras após 4h na mufla.

---

### **5.9. Determinação do Carbono Orgânico Total (TOC)**

A determinação do carbono orgânico total foi realizada com recurso ao equipamento TOC-Vcsn Shimadzu E200V. Os ensaios foram realizados em duplicata, com provetes de solo húmido (fração inferior a 2 mm) de cerca de 100mg (figura 25). Para cada ensaio são necessários dois provetes, um para a determinação do carbono total (TC) e outro para a determinação do carbono inorgânico (IC), sendo o carbono orgânico total determinado por diferença entre TC e IC. De acordo com as especificações, foi implementado o seguinte procedimento de ensaio:

- Colocar o provete de solo húmido num recipiente limpo e seco;
- Colocar o recipiente com o provete húmido na estufa ventilada a secar, entre 105 e 110°C até massa constante;
- Calcinar as barquinhas que irão ser utilizadas para realização do ensaio, a 900°C, na mufla, durante 30 minutos com aquecimento até aos 900°C em rampa com duração de 1h.
- Retirar da estufa o recipiente com o provete seco e deixar arrefecer em ambiente com humidade controlada;
- Deixar arrefecer, as barquinhas, dentro da mufla, até ser possível abri-la;
- Retirar as barquinhas da mufla e terminar o seu arrefecimento em ambiente com humidade controlada;
- Manuseando sempre com uma pinça, retirar as barquinhas do exsiccador e colocar 100mg de solo seco em cada barquinha;
- Colocar as barquinhas com provete de solo seco num tabuleiro com a devida identificação de cada uma delas;
- Para determinar o TC, colocar barquinha no forno TC do equipamento, a 900°C, até que seja pedido para colocar na posição de arrefecimento (aproximadamente 5 minutos);
- Para determinar o IC, colocar barquinha em posição para entrar no forno IC e colocar 0,25mL de ácido fosfórico no provete;
- Colocar, imediatamente, o provete no forno IC, a 200°C.
- A partir das concentrações obtidas pelo equipamento, determinar o teor de carbono orgânico total através da equação 6.

$$[6] \text{ TOC} = \text{TC} - \text{IC}$$



Figura 25 – Determinação do carbono orgânico total. TOC-Vcsn Shimadzu E200V (esquerda) e amostras prontas para a determinação do TOC (direita).

### 5.10. *Análise química elementar simplificada*

A análise química elementar simplificada foi realizada com recurso ao método de fluorescência de raio-X, utilizando o equipamento Nilton™ XL3t XRF Analyser (figura 26).

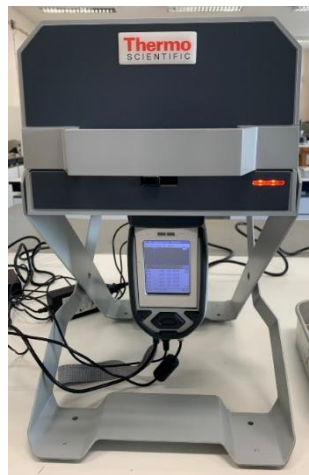


Figura 26 -Equipamento de bancada para fluorescência de RX, Nilton™ XL3t XRF Analyser

A análise química por fluorescência de RX é realizada sobre amostras de granulometria fina pelo que foi necessário efetuar moagem dos material e posterior crivagem, para tal foram utilizados crivos Newark número 10 (2 mm) e 60 (250  $\mu\text{m}$ ) de acordo com as especificações ASTM E-11 (figura 27). Após a crivagem, a fração com dimensão inferior a 250  $\mu\text{m}$  foi compactada numa cápsula específica para o ensaio; os provetes assim obtidos foram utilizados na análise por fluorescência de raio-X (figura 28).



Figura 27 – Análise química elementar simplificada por fluorescência de RX – preparação da amostra de solo. Crivos utilizados e exemplo de crivagem de amostra de solo.



Figura 28 – Análise química elementar simplificada. Preparação dos provetes para leitura por fluorescência de raio-X.

Como o equipamento utilizado pode ser utilizado em dois modos operativos diferentes, para cada amostra, foram realizadas duas leituras, uma em modo minério Cu/Zn e, outra, em modo solo, tendo cada leitura a duração de 180 segundos (figura 29). Cada uma destas leituras permitiu obter informação sobre as concentrações dos elementos presentes no solo. Os diferentes modos, para além dos 23 elementos em comum, permitem a identificação de diferentes elementos. Os elementos comuns e exclusivos de cada modo são identificados na tabela 9.

Tabela 9 – Elementos comuns e exclusivos de cada um dos modos de análise química por fluorescência de RX.

Elementos comuns			Modo Minério	Modo Solo
Sn	W	K	Ag	U
Cd	Zn		Nb	Th
Pd	Cu		Bi	Hg
Mo	Ni		Ca	Sc
Zr	Sb		Al	Ca
Sr	Co		P	Ba
Rb	Fe		Si	Cs
As	Mn		Cl	Te
Se	Cr		Si	Ag
Au	V		Mg	
Pb	Ti		Ba	



Figura 29 – Realização das leituras por fluorescência de RX

---

## **Capítulo VI**

### **Resultados**

---

---

(página propositadamente em branco)

## 6. Resultados e discussão

### 6.1. Textura

As proporções médias, por parcela e por profundidade, de argila, limo e areias, obtidas para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) encontram-se sintetizados nas figuras 30 e 31, 32 e 33 e 34 e 35 respetivamente.

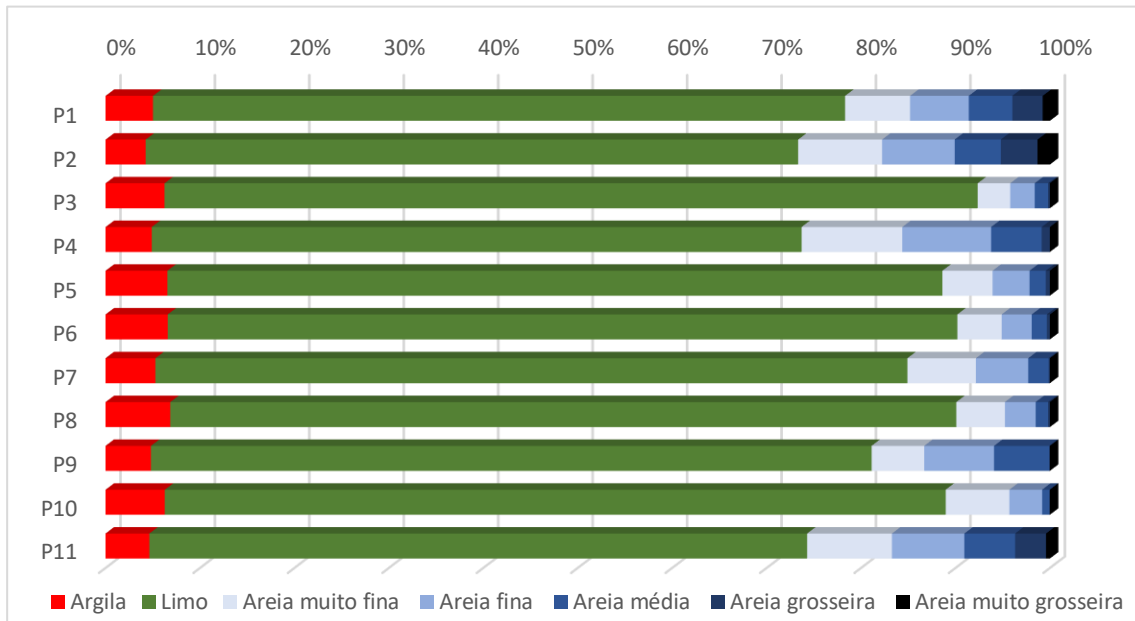


Figura 30 - Frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, antes do fogo (Bb).

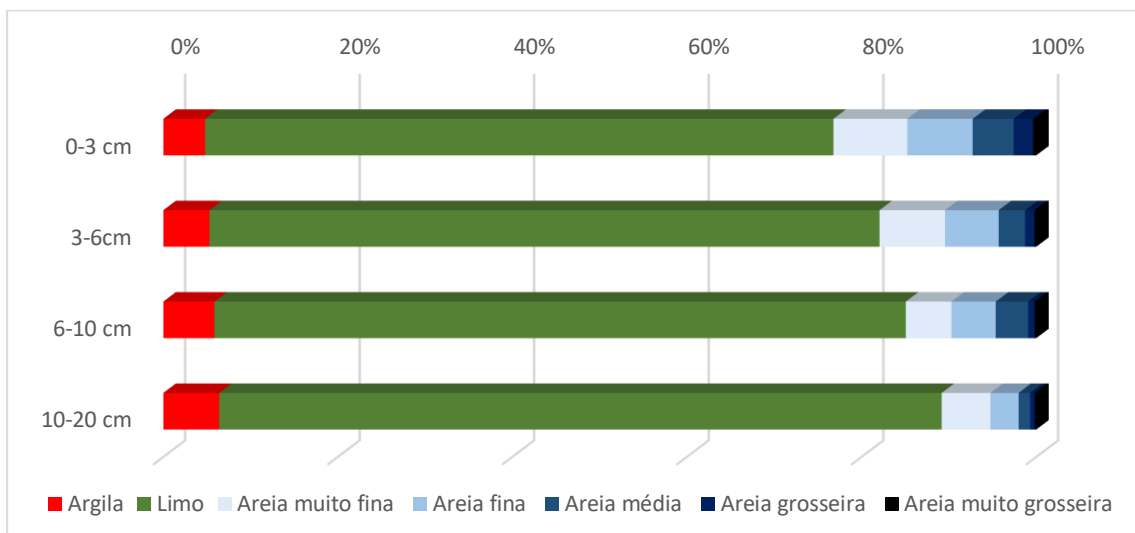


Figura 31 - Frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, antes do fogo (Bb).

Nas amostras obtidas antes do fogo existe uma grande predominância da fração de limo (69 a 86 %), seguido da fração de areia, que apresenta a maior variação, havendo parcelas com apenas 8 % (parcela 3) e parcelas com 27 % (parcela 2) e, por último, a fração de argila que regista os valores

mais baixos e, também, pouca variação ao longo das várias parcelas (entre 4 e 7%). A análise global, por profundidade, permite verificar que os solos se tornam mais finos em profundidade, havendo um aumento das frações argilosa e limo e diminuição da fração arenosa. Em todas as profundidades, a fração limosa é a predominante.

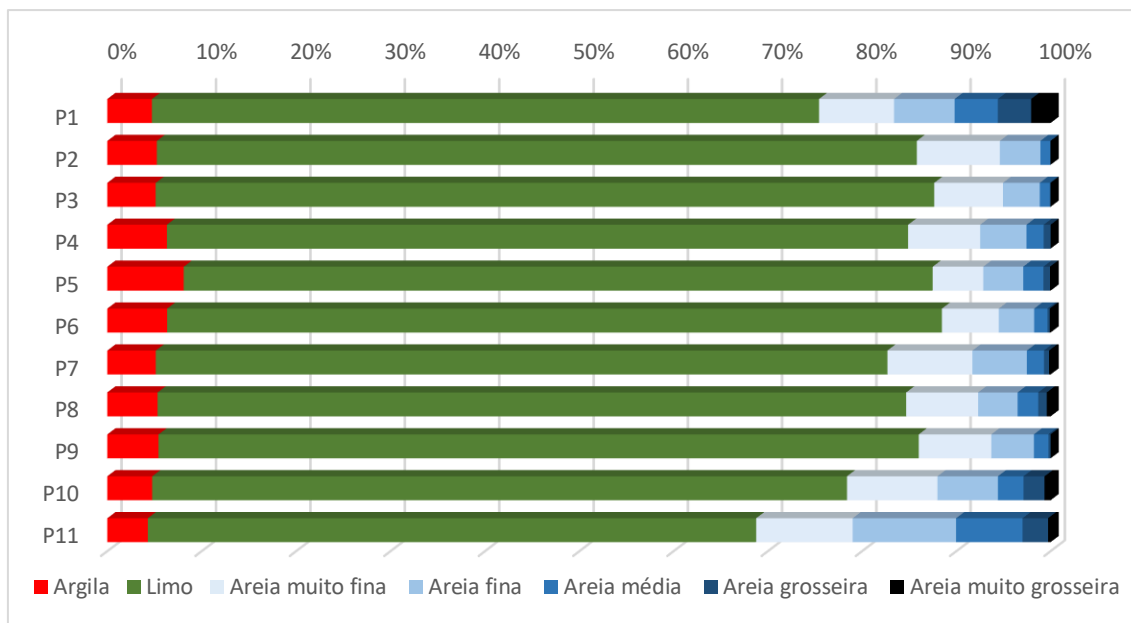


Figura 32 - Frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, imediatamente após o fogo (B1a).

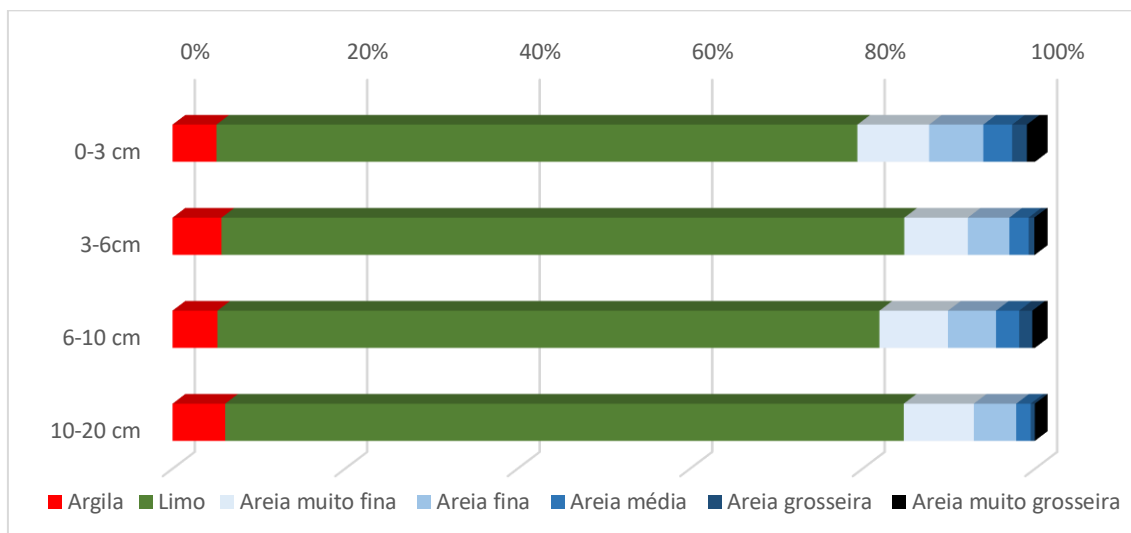


Figura 33 - Frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a).

Nas amostras recolhidas imediatamente após o fogo, continua a verificar-se o predomínio da fração de limo (64 a 82%), em todas as parcelas, e em todas as profundidades, seguido da fração de areia (12 a 24%) e da fração de argila (4 a 8%). A análise parcela a parcela, revela que, na globalidade, a fração de argila não sofre grandes alterações, sendo as alterações mais notórias na fração de areia.

Na análise global das parcelas, por profundidade, a percentagem de argila aumenta muito ligeiramente em profundidade, passando de 5 % dos 0 aos 3 cm para 6% dos 10 aos 20 cm. O limo continua a ser a fração dominante e a percentagem de areia vai oscilando, uma vez que diminui entre os 0-3 e 3-6 cm, aumenta nos 6-10 cm e depois volta a diminuir dos 10 aos 20 cm.

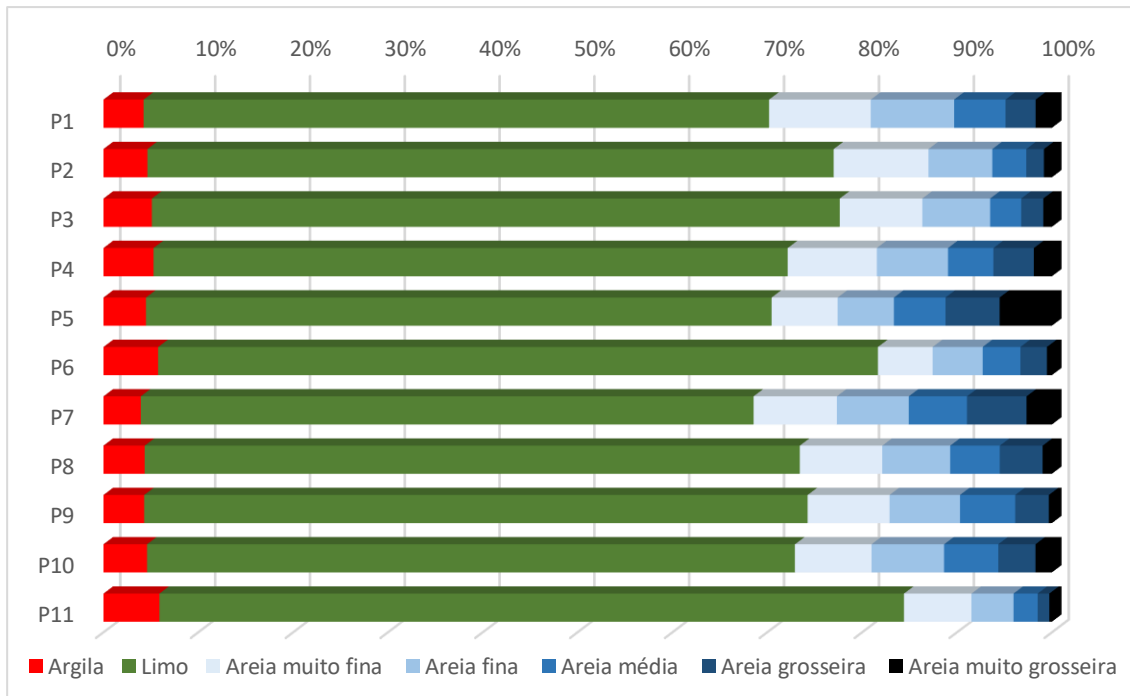


Figura 34 - Frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, dois meses após o fogo (B2a).

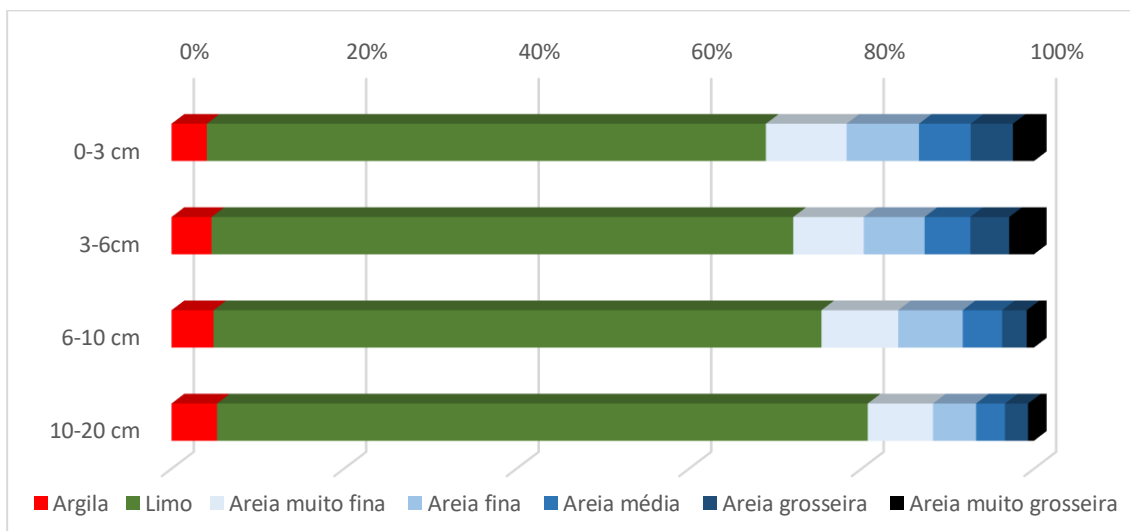


Figura 35 - Frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, dois meses após o fogo (B2a).

---

Nas amostras colhidas dois meses após o fogo, as tendências anteriormente mencionadas são mantidas, à exceção da relativa à fração areia. A fração argila sofre um ligeiro aumento, passando de 4 % dos 0 aos 3 para 5 % dos 10 aos 20 cm; a fração de limo é, novamente, a fração dominante. Quanto à fração areia, diferente do que acontecia imediatamente após o fogo, sofre uma diminuição consoante o aumento da profundidade, passando de 21 % na camada mais superficial (0-3 cm) para 15 % dos 10 aos 20 cm.

Nas figuras 36 e 37, encontra-se a comparação das frações granulométricas, para cada um dos períodos de amostragem, por parcela e por profundidade, respetivamente.

Comparando os resultados obtidos parcela a parcela, nas médias das profundidades estudadas, verifica-se que a fração de limo permanece dominante em todos os momentos. A fração de argila é a menos abundante e sofre pequenas variações ao longo do tempo, notando-se, em algumas parcelas (2, 4, 5 e 9), tendência para aumentar ligeiramente logo após o fogo e, passados dois meses, diminuir. No caso da fração arenosa, as variações ao longo do tempo são mais notáveis. Na maioria das parcelas (1, 3, 5, 6, 7, 8 e 10) a percentagem de areia aumentou logo após o fogo e voltou a aumentar após dois meses. Há, no entanto, algumas parcelas (2, 4 e 9) em que logo após o fogo se verificou diminuição da percentagem de areia, com posterior aumento após 2 meses, tendo o valor inicial sido quase atingido ou, mesmo, ultrapassado. A parcela 11 apresenta um comportamento diferente, uma vez que há aumento da percentagem de areia logo após o fogo, mas, 2 meses depois, esta percentagem diminui para valores inferiores ao inicial, antes do fogo. Com base na análise por profundidades, é possível determinar dois tipos de comportamentos para dois grupos de profundidades diferentes. Dos 0 aos 3 e dos 3 aos 6 cm, imediatamente após o fogo houve um ligeiro aumento, relativamente aos valores iniciais, da fração de argila acompanhado por um aumento da fração de limo que, dois meses após o fogo, diminuem para valores inferiores aos obtidos inicialmente. Dos 6 aos 10 e dos 10 aos 20 cm, existe uma diminuição constante, desde os valores iniciais até dois meses após o fogo, da percentagem da argila e limo nos solos, resultando no aumento da percentagem de areia.

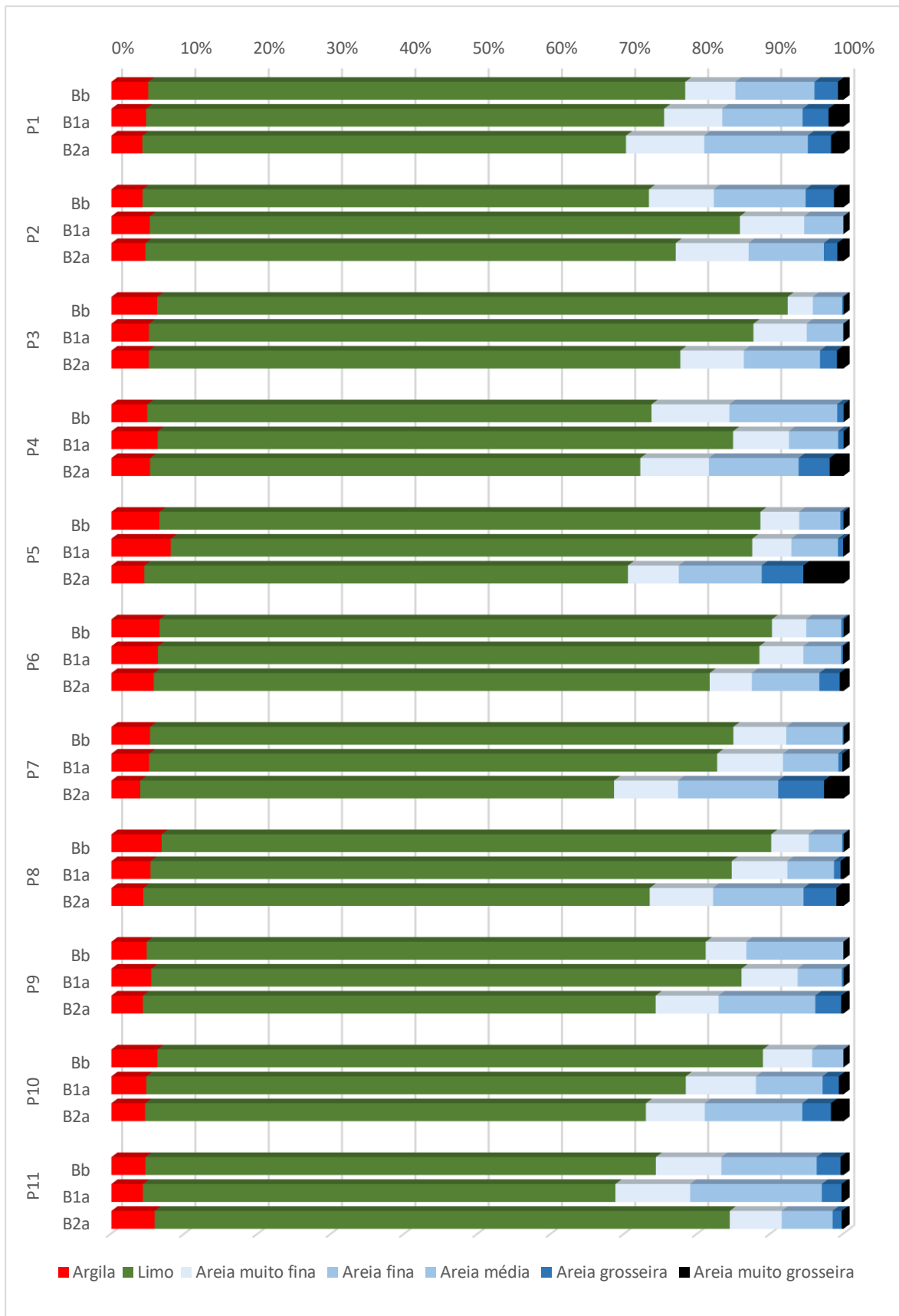


Figura 36 – Comparação das frações granulométricas, médias das quatro profundidades, por parcelas, para o momento antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a).

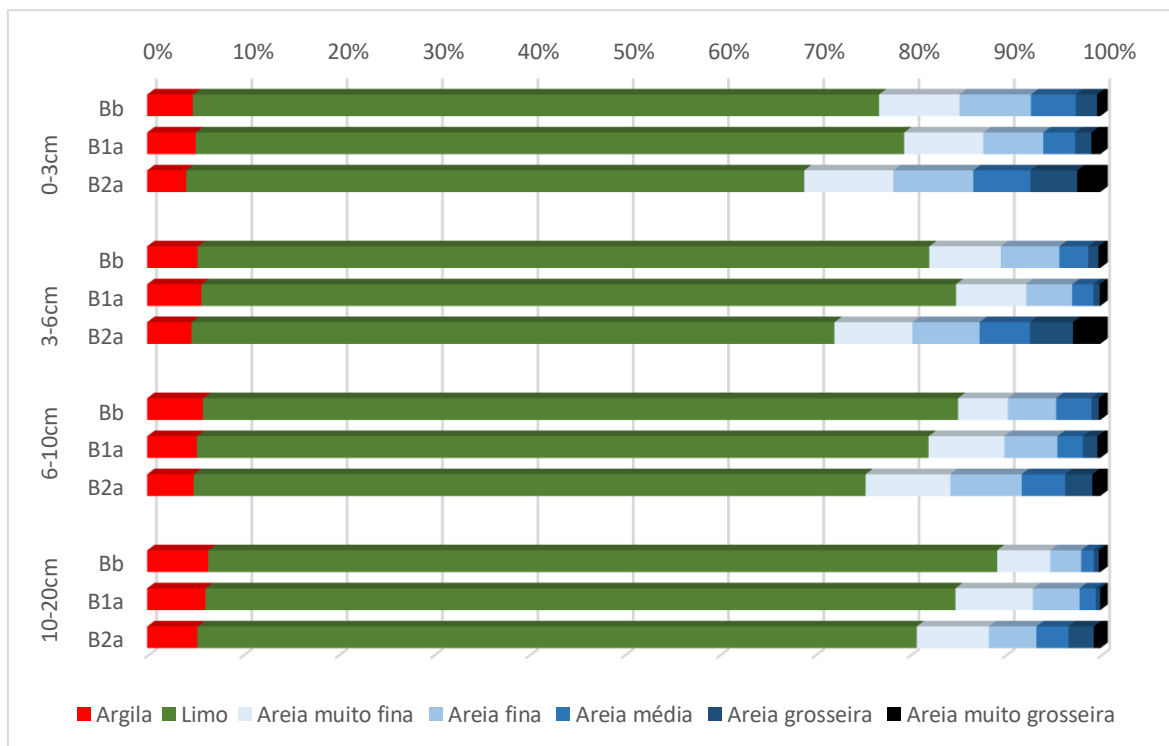


Figura 37 - Comparação das frações granulométricas, médias das 11 parcelas, por profundidade, para o momento antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a).

Com base nos valores obtidos na análise granulométrica, foi realizada a classificação textural dos solos, de acordo com os critérios propostos pelo USDA. Assim, os resultados indicam (Figura 38):

- Antes do fogo: presença de solos com textura média, dos quais 52 % apresentam textura limosa e 48% textura franco-limoso;
- Imediatamente após o fogo: presença, predominante, de solos com textura média, dos quais 41 % apresentam textura limosa, 57 % textura franco-limoso e 2 % textura franco-arenosa;
- Dois meses após o fogo: presença, predominante, de solos com textura média, dos quais 13 % apresentam textura limosa, 85 % textura franco-limoso e 2 % textura franco-arenosa;

Como se verifica, ao longo do tempo, os solos adquirem textura mais grosseira, sendo que, 2 meses após o fogo a diferença é muito notória, este facto está relacionado com o progressivo aumento da fração arenosa, já anteriormente descrito e vem em concordância com o referido por alguns autores como apontado no Capítulo IV. Após o fogo surgem solos classificados como franco-arenosos e regista-se um aumento do número de solos com textura franco-limoso.

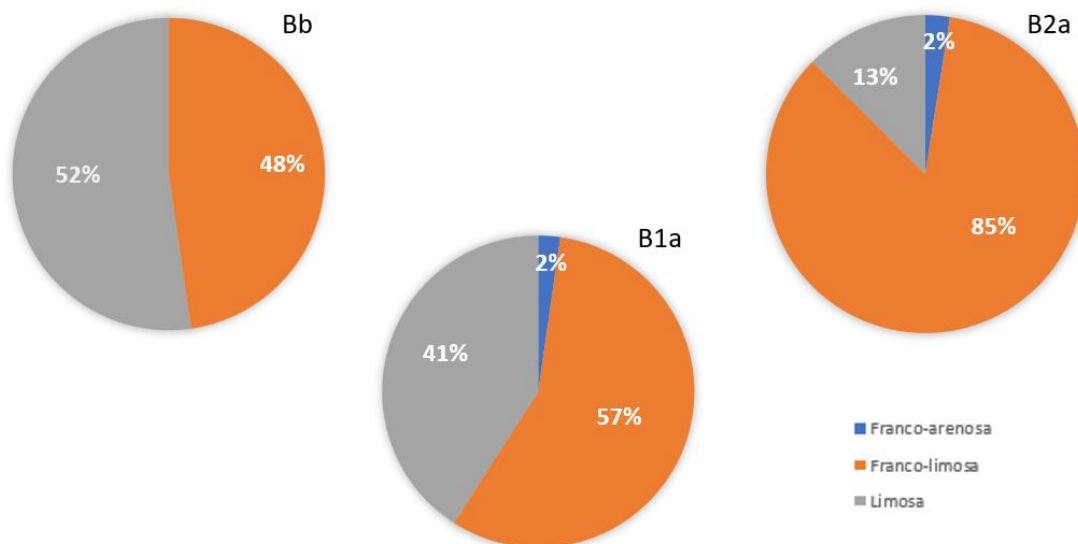


Figura 38 – Comparação das classes texturais, segundo a classificação do USDA, para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a).

## 6.2. Teor em água

Os valores de teor em água natural das amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) são apresentados na figura 39.

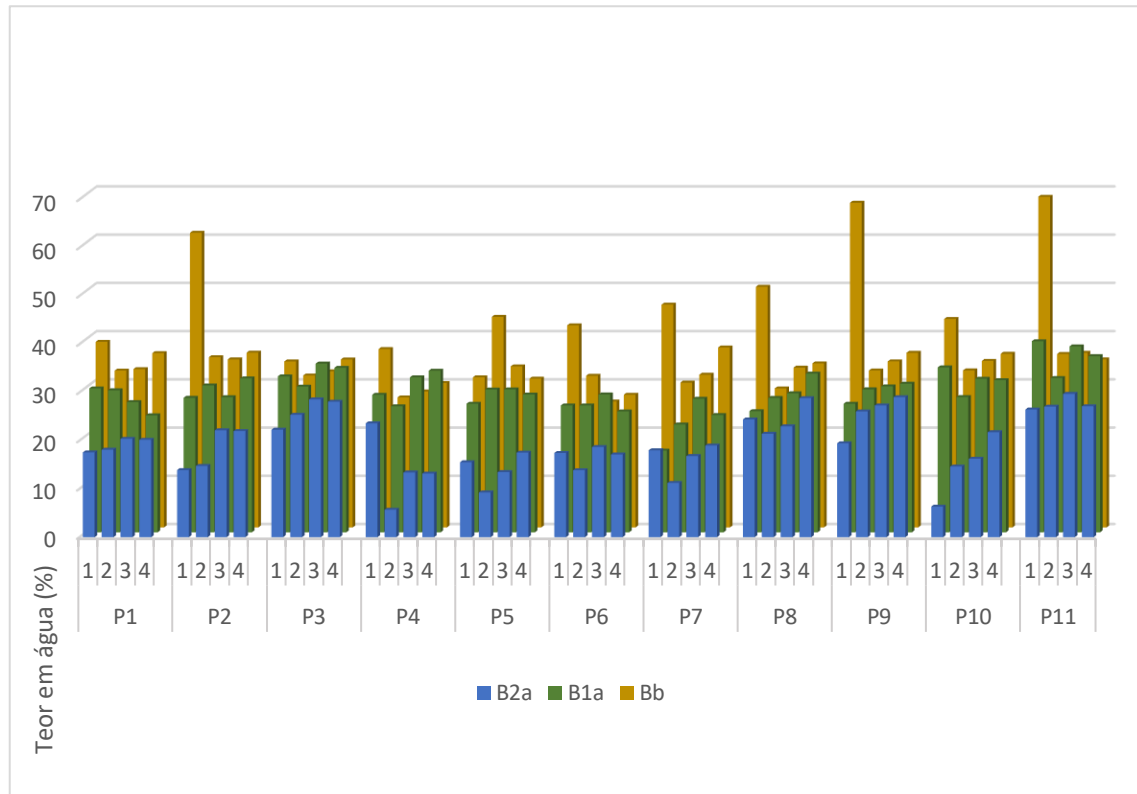


Figura 39 - Teor em água para as amostras antes do fogo.

Os dados obtidos, antes do fogo (Bb), tendem, predominantemente, para teores em água muito mais elevados à profundidade de 0 a 3 cm, o que poderá estar relacionado com o facto de a amostragem ter sido realizada em janeiro, numa época de chuvas e frio, encontrando-se frequentemente películas de gelo à superfície; no caso das parcelas 9 e 11, os valores de teor em água chegam a ser o dobro dos valores obtidos para as camadas seguintes. Com exceção das parcelas 1, 2, 5, 6 e 11, todas as outras apresentam valores mais elevados na camada superficial, seguidos de uma diminuição, na camada seguinte e de um ligeiro aumento às profundidades de 6 a 10 cm e 10 a 20cm, o que pode estar relacionado com a proximidade do substrato rochoso a constituir uma fronteira menos permeável.

Nas amostras recolhidas imediatamente após o fogo (B1a) os valores de teor em água, em todas as parcelas, apresentam valores consideravelmente mais baixos à profundidade mais superficial (0-3 cm), este facto estará relacionado com dois fatores: i) o aumento da temperatura superficial devido ao efeito do fogo e ii) a data desta amostragem (março), na qual já não se verificava a existência de

películas de gelo. Nas restantes profundidades, as alterações já não são tão significativas, registando-se apenas pequenas variações.

As amostras recolhidas dois meses após o fogo (B2a) apresentam valores bastante mais baixos de teor em água, esta redução é maior, nas duas primeiras camadas (0-3cm e 3-6cm), o que deve refletir a alteração das condições meteorológicas. Houve um decréscimo de aproximadamente 10% em todas as profundidades entre a 2ª e a 3ª fases de amostragem, enquanto em relação aos valores iniciais os decréscimos são 60 % dos 0 aos 3 cm, 48 % dos 3 aos 6 cm, 35 % dos 6 aos 10 cm e 34 % dos 10 aos 20 cm (figura 40). Estes valores mais baixos podem, também, estar associados ao período em que as amostras foram recolhidas. As amostras dois meses após o fogo foram recolhidas no final do mês de maio, ou seja, num período mais seco. Conclui-se, deste modo, que uma vez que o teor em água natural é altamente variável consoante as condições meteorológicas da amostragem, ele não deve ser considerado uma característica indicadora dos efeitos do fogo no solo.

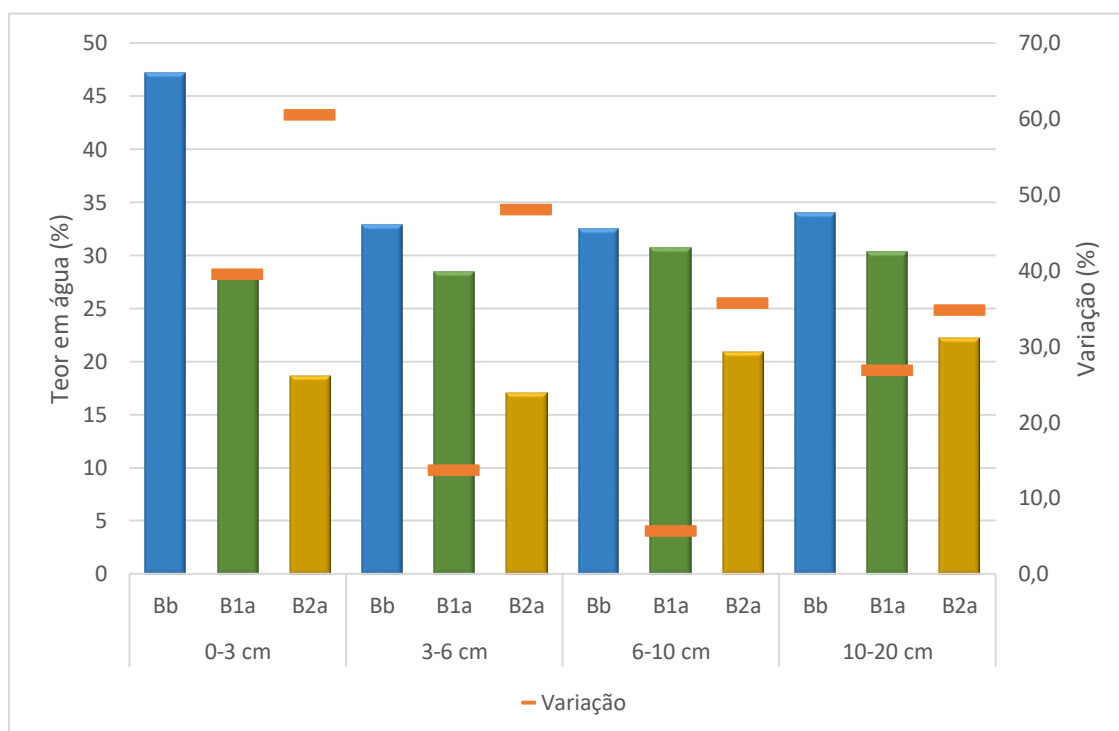


Figura 40 - Comparação dos valores médios, das onze parcelas, por profundidade, obtidos nas amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a), dois meses após o fogo e a respetiva variação relativa ao valor inicial, em percentagem.

### 6.3. Condutividade elétrica

Os valores de condutividade elétrica obtidos para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) encontram-se sintetizados nas figuras 41, 42 e 43, respetivamente.

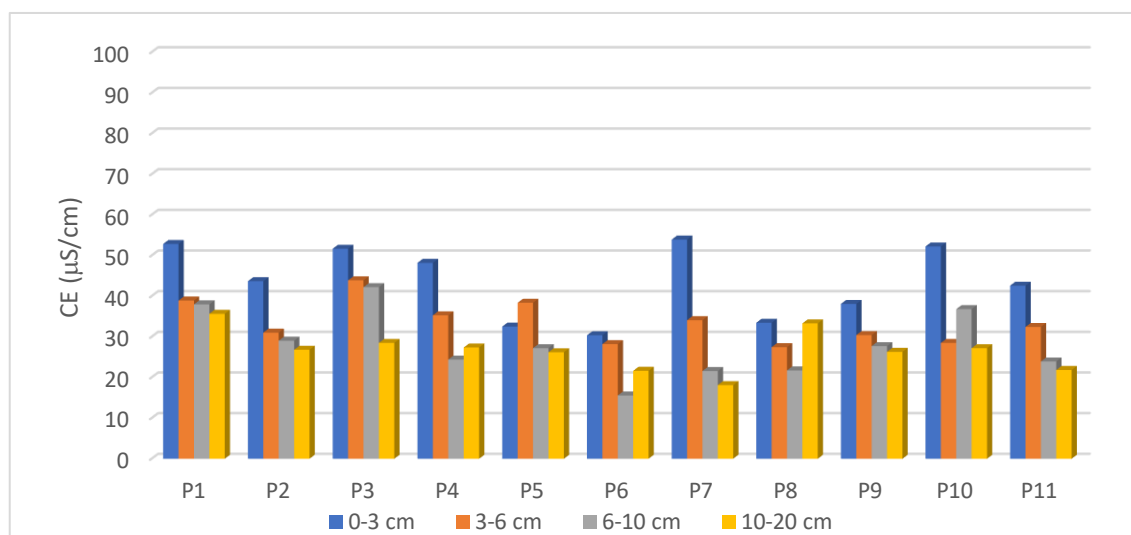


Figura 41 - Valores médios de condutividade elétrica, por parcela e profundidade, antes do fogo (Bb).

Nas amostras iniciais, recolhidas antes do fogo, como é possível verificar, na maioria das parcelas, a condutividade elétrica diminui com o aumento da profundidade. O solo, antes do fogo, apresenta valores médios de condutividade elétrica de 44  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 0 aos 3 cm, de 34  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 3 aos 6 cm, de 28  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 6 aos 10 cm e de 27  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 10 aos 20 cm.

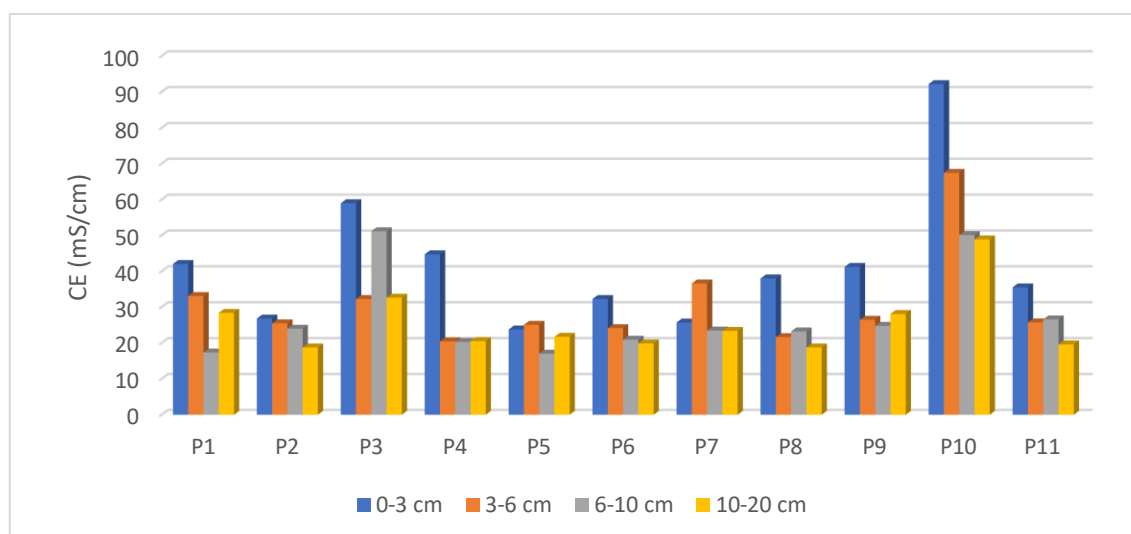


Figura 42 – Valores médios de condutividade elétrica, por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a).

As amostras imediatamente após o fogo, registam um pequeno decréscimo nos valores médios de condutividade elétrica, passando, o solo, a apresentar uma condutividade elétrica média de 42  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dos 0 aos 3cm, de 31  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dos 3 aos 6 cm, de 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dos 6 aos 10 cm e de 26  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dos 10 aos 20 cm. A maior variação registada encontra-se à profundidade de 3 a 6 cm onde houve uma variação média de 8 % relativamente ao obtido antes do fogo. Nesta amostragem, a parcela 10 apresenta, claramente, resultados contrastantes com as restantes parcelas. Neste caso, da parcela 10, registou-se um aumento bastante elevado dos valores de condutividade elétrica relativamente aos obtidos antes do fogo, registando variações que chegam a atingir os 137 %. Este aumento poderá estar relacionado com a topografia do terreno, a vegetação envolvente ou a presença de cinzas acumuladas.

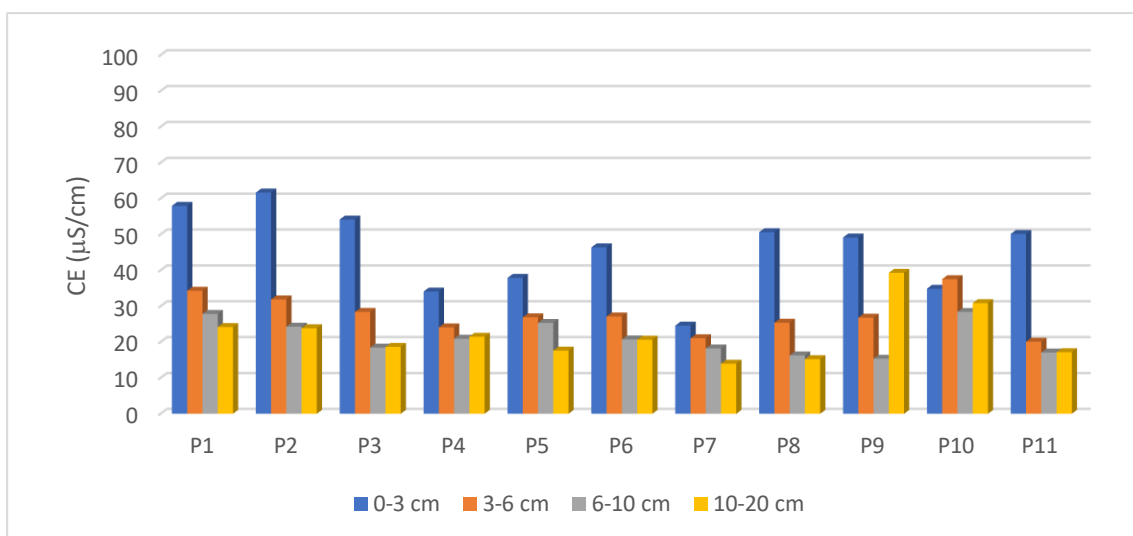


Figura 43 - Valores médios de condutividade elétrica, por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a).

Dois meses após o fogo, os valores de condutividade elétrica continuam a descer em todas as camadas, com exceção da camada mais superficial onde se verifica aumento. O solo, passa a apresentar valores de condutividade média de 46  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 0 aos 3 cm, 28  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 3 aos 6 cm, 21  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 6 aos 10 cm e 24  $\text{mS}/\text{cm}$  dos 10 aos 20cm. Tal como é possível observar na figura 44, a camada mais superficial (0-3 cm) sofre, então, um aumento de 9 % em relação ao imediatamente após o fogo; no caso das amostras à profundidade 6 a 10 cm, verifica-se o maior decréscimo entre o valor inicial (Bb) e dois meses após o fogo (B2a), com cerca de 24 %. O aumento de condutividade elétrica é sentido, de maneira constante, em todas as parcelas, salvo na parcela 10, em que dois meses após o fogo há uma diminuição em relação ao grande aumento sentido nas amostras imediatamente após o fogo (figura 45).

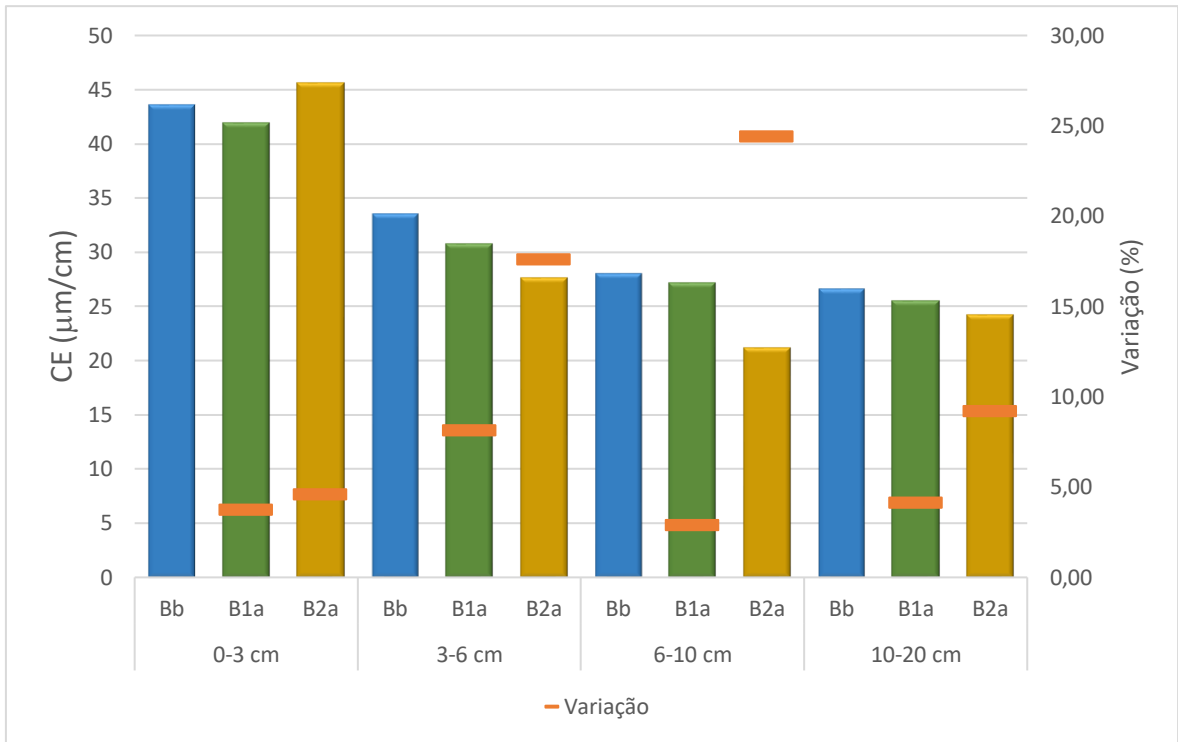


Figura 44 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de condutividade elétrica para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais.

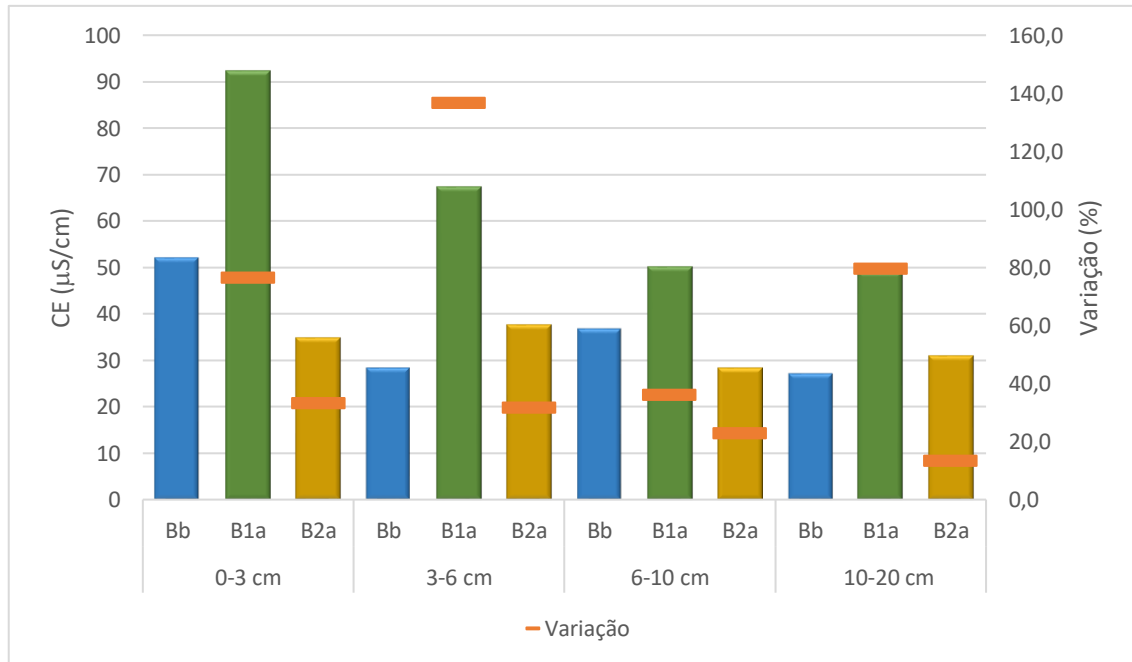


Figura 45 - Análise comparativa entre os valores médios da parcela 10, por profundidade, de condutividade elétrica para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais.

## 6.4. pH

### 6.4.1. pH (H<sub>2</sub>O)

Os valores de pH (H<sub>2</sub>O) obtidos para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) encontram-se sintetizados nas figuras 46, 47 e 48, respectivamente.

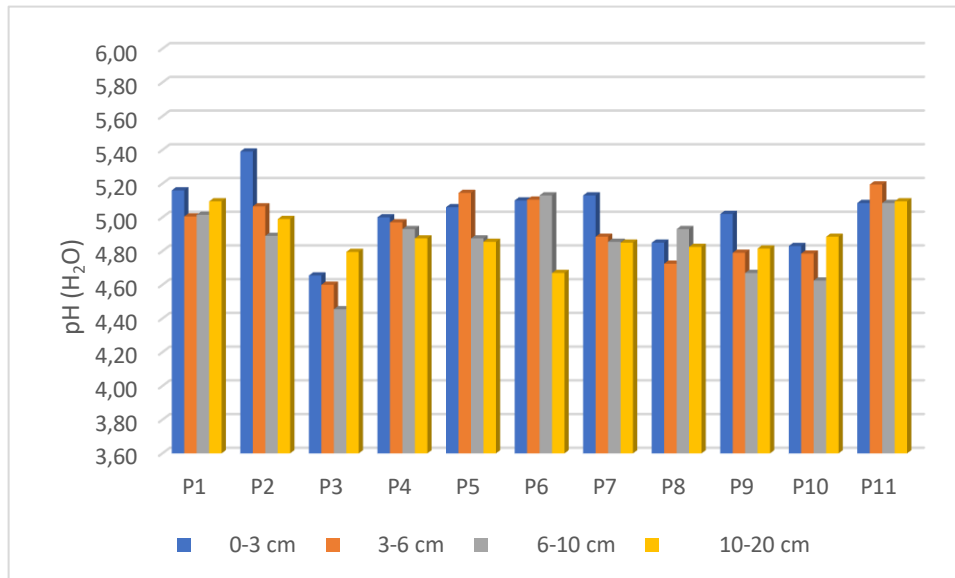


Figura 46 – Valores médios de pH (H<sub>2</sub>O), por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb).

Os solos, antes do fogo, apresentam um pH médio de 4,93, o que segundo a classificação do USDA, o classifica como muito fortemente ácido. De um modo geral, todas as parcelas apresentam valores próximos à exceção da parcela 3, com um pH mais ácido (em média 4,63). Nesta parcela, à profundidade de 6 a 10 cm, foi detetado um valor de pH de 4,46 o que, segundo a classificação do USDA, é considerado extremamente ácido (pH inferior a 4,50). Neste momento de amostragem, os valores médios de pH, por profundidade, evidenciam pequenas variações, sendo que, o valor mais elevado se encontra, frequentemente, na camada mais superficial (0-3 cm).

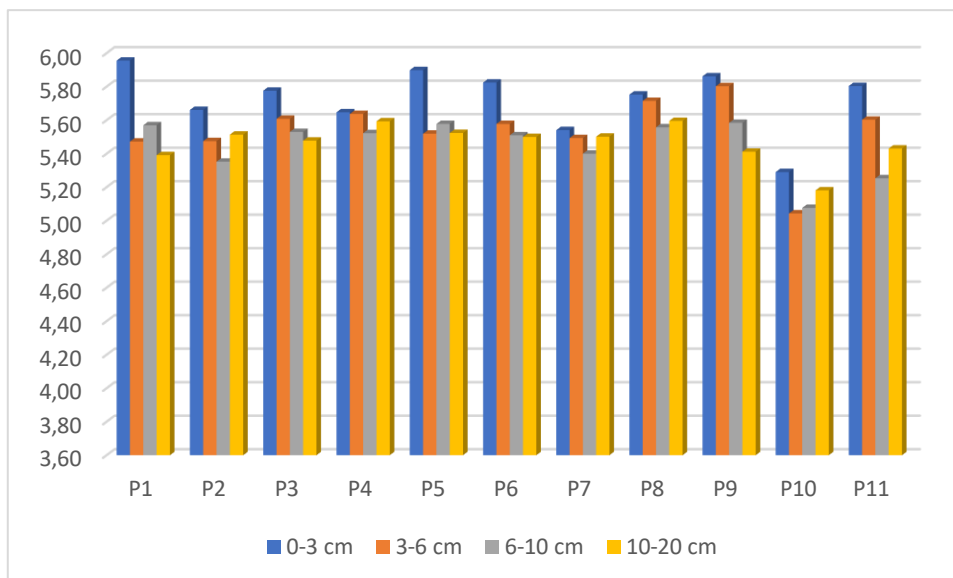


Figura 47 – Valores médios de pH (H<sub>2</sub>O), por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a).

Imediatamente após o fogo, os valores de pH sofreram um aumento considerável, possivelmente, devido à destruição de ácidos orgânicos e à contribuição de carbonatos, bases e óxidos provenientes das cinzas. Registou-se uma variação, em relação aos valores de pH das amostras antes do fogo, de 14 % para a camada mais superficial e 12 % para as restantes profundidades. Este aumento de pH coloca os solos na categoria de “fortemente ácidos” (pH superior a 5,1) na classificação do USDA. Volta a verificar-se que os valores mais elevados ocorrem, frequentemente, na camada mais superficial. Desta feita, são os solos da parcela P10 que apresentam valores um pouco inferiores aos obtidos nas restantes amostras, sendo, mesmo assim, sempre superiores a 5.

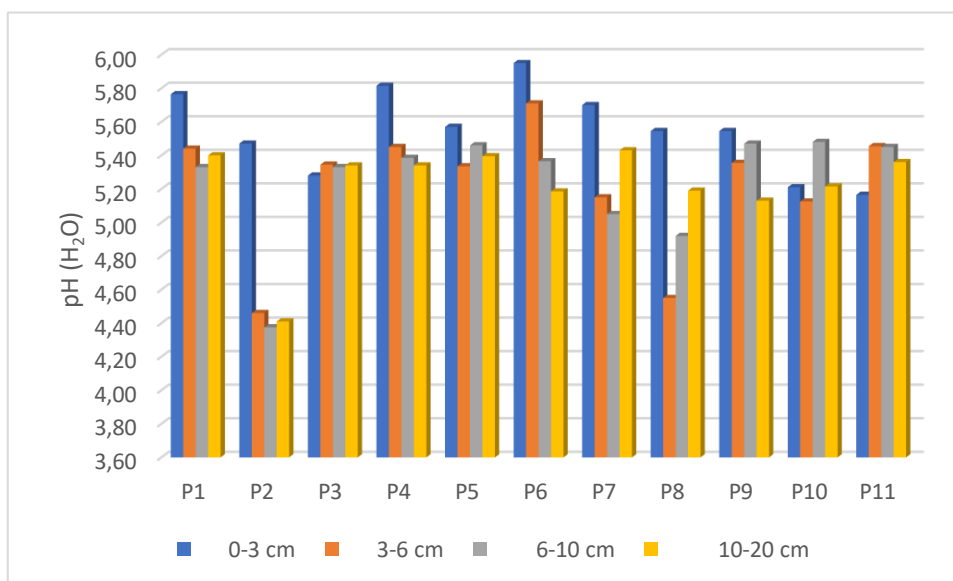


Figura 48 – Valores médios de pH (H<sub>2</sub>O), por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a).

Dois meses após o fogo, os valores de pH, de acordo com a bibliografia e como esperado, já começaram a diminuir, sendo ainda superiores aos obtidos antes do fogo. Esta diminuição, possivelmente, está relacionada com a lixiviação de bases e/ou a remoção das cinzas por processos de erosão. Nestas amostras (B2a), as variações de pH, relativamente aos valores antes do fogo, são menores do que as registadas nas amostras imediatamente após o fogo (B1a). Relativamente às amostras iniciais (Bb), as amostras B2a apresentam, no valor do pH em água, acréscimo de 10 % dos 0 aos 3 cm, 6 % dos 3 aos 6 cm, 8 % dos 6 aos 10 cm e 7% dos 10 aos 20cm (figura 49).

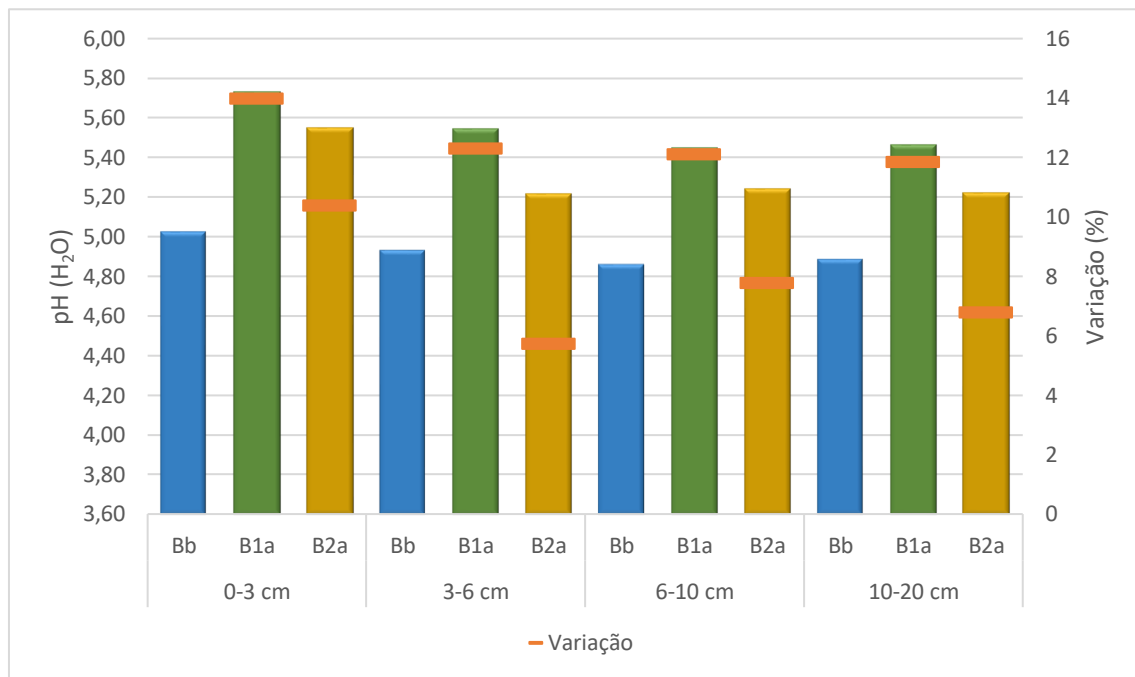


Figura 49 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de pH (H<sub>2</sub>O) para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respetiva variação percentual relativamente aos valores iniciais.

#### 6.4.2. pH (KCl)

Os valores de pH (KCl) obtidos para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) encontram-se sintetizados nas figuras 50, 51 e 52, respetivamente.

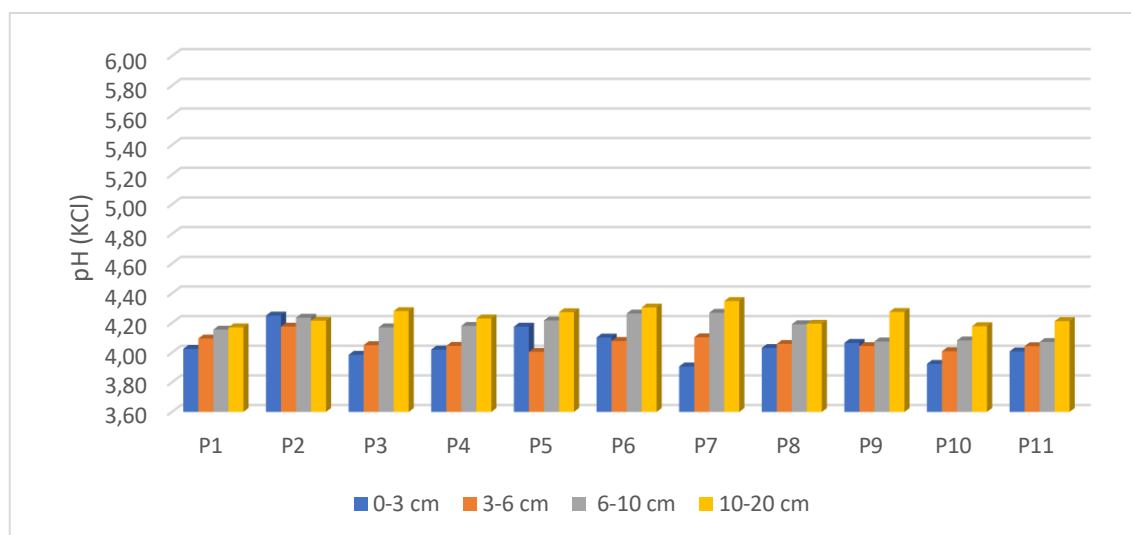


Figura 50 – Valores médios de pH (KCl), por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb).

Como acontecia anteriormente, em solução aquosa, os valores de pH (KCl) apresentam valores não muito distintos entre si, mas, desta vez, o pH é, em média, 0,8 abaixo do obtido em solução aquosa. Esta redução, de acordo com Kome et al. (2018), deve-se ao valor absoluto de 1 M de pH (KCl) ter uma forte correlação com a saturação de alumínio. Esta solução desloca os iões  $H^+$  e  $Al^{3+}$  do complexo de troca. O alumínio, deslocado por  $K^+$  no complexo de permuta, consome iões  $OH^-$  e aumenta a concentração de  $H^+$ , como resultado, o pH da solução é reduzido. Os valores obtidos indicam uma tendência de ligeiro aumento dos valores de pH com o aumento da profundidade, sendo a parcela 2 exceção, apresentando valores de pH ligeiramente mais elevados na camada superficial (0-3 cm).

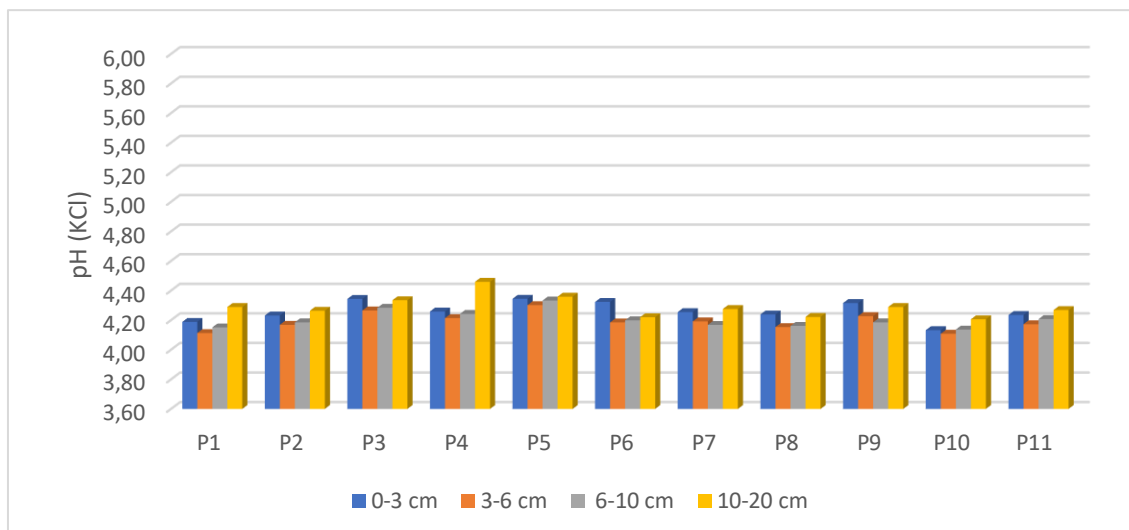


Figura 51 – Valores médios de pH (KCl), por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a).

Nas amostras recolhidas imediatamente após o incêndio, os valores de pH (KCl), à semelhança dos resultados obtidos em solução aquosa, também registam um aumento em relação aos valores iniciais (Bb), com a camada superficial (0-3 cm) a registar a maior variação, cerca de 5 %, seguida da camada dos 3 a 6 cm com 3 % e variação aproximada de 1 % nas restantes camadas (Figura 53). Também, nestas amostras, se verificou uma tendência de ligeiro aumento dos valores de pH com o aumento da profundidade, sendo as parcelas 6 e 9 exceções, apresentando valores de pH ligeiramente mais elevados na camada superficial (0-3 cm).

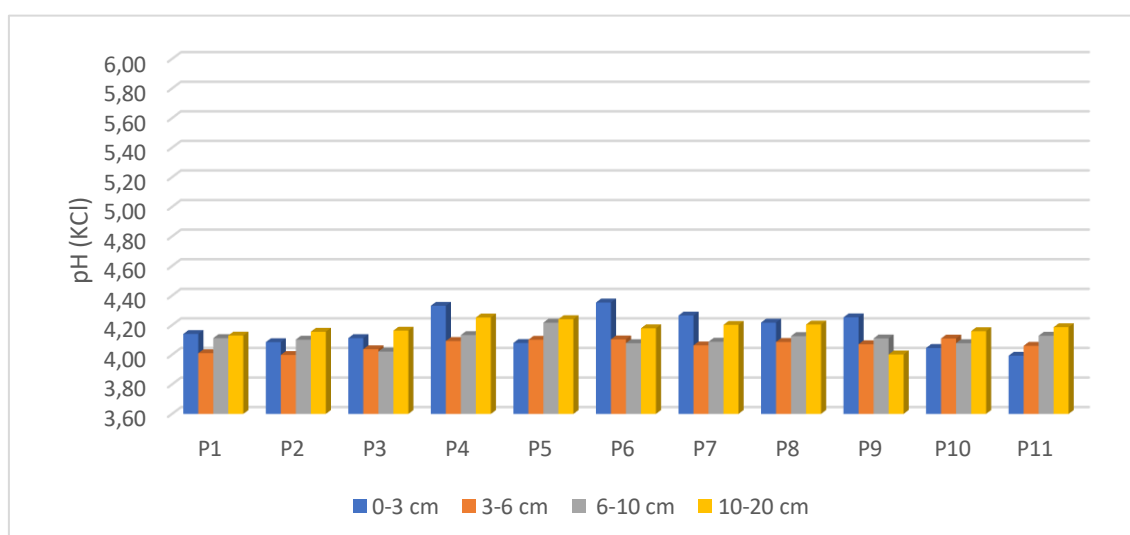


Figura 52 – Valores médios de pH (KCl), por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a).

Dois meses após o fogo, os valores de pH continuam a não variar muito com a profundidade, baixam em relação ao imediatamente após o fogo, tendem a aproximar-se dos valores obtidos antes do fogo (figura 53). No caso da profundidade 3-6 cm, os valores de pH apenas diferem em 0,01,

relativamente aos valores registados antes do fogo. O pH, a esta profundidade, era 4,06 e, dois meses após o fogo, passa a 4,07. Às profundidades de 6 a 10 cm e 10 a 20 cm, os valores de pH desceram, comparativamente ao antes do fogo, cerca de 0,06 valores, sendo assim, o aumento registado imediatamente após o fogo, um aumento temporário.

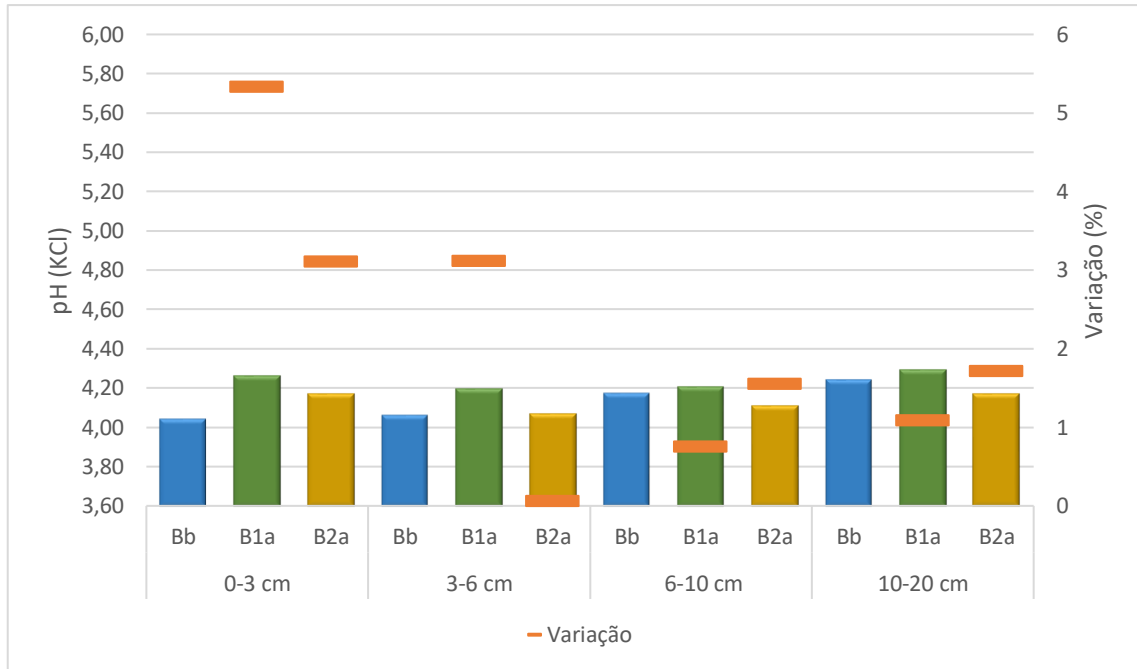


Figura 53 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de pH (KCl) para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respetiva variação percentual relativamente aos valores iniciais.

### 6.5. Teor de Matéria Orgânica

Os valores de teor de matéria orgânica obtidos para as amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) encontram-se nas figuras 54, 55 e 56, respetivamente.

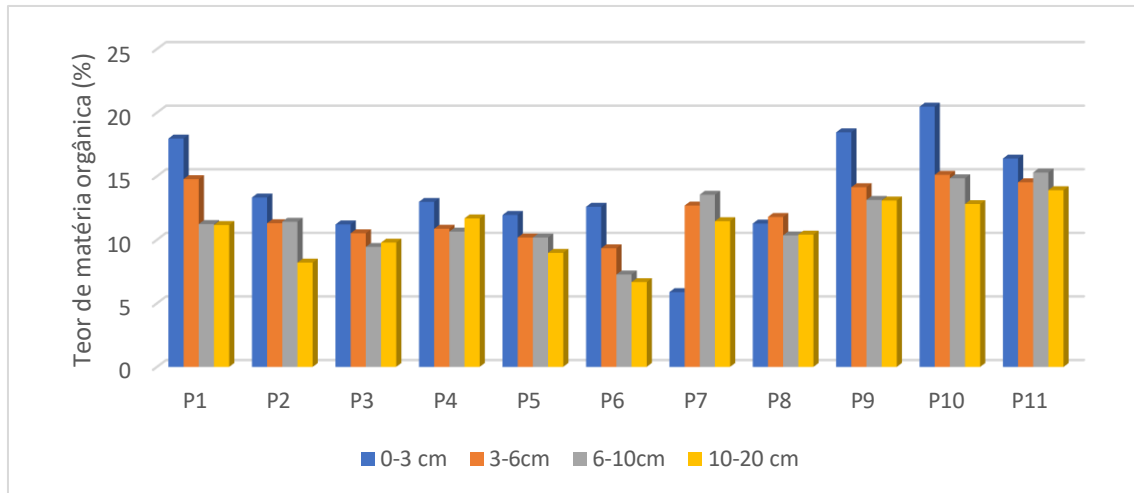


Figura 54 – Valores médios de teor de matéria orgânica, por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb).

Os teores de matéria orgânica obtidos nas amostras antes do fogo (figura 55) apresentam valores médios de 12 %, destacando-se a parcela 10 com um valor médio máximo de 15,8 % e a parcela 6 com um valor médio mínimo de 8,9 %. O teor em matéria orgânica, como expectável, tem tendência a diminuir à medida que a profundidade aumenta, sendo os valores mais elevados de teor de matéria orgânica encontrados na camada mais superficial (0-3 cm), nas parcelas 1, 6, 9 e 10 esta diferença é mais significativa. As parcelas 7 e 8 não seguem esta tendência geral, sendo que a parcela 7 apresenta o menor teor em matéria orgânica na camada superficial (0-3 cm) e a parcela 8 apresenta, entre os 3 e os 6 cm, teor em matéria orgânica ligeiramente superior ao da camada superficial.

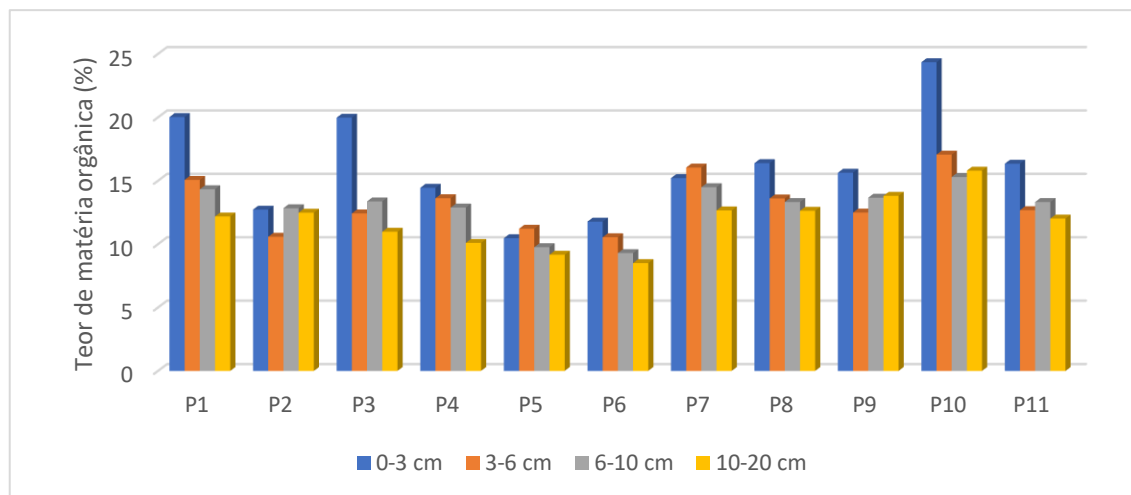


Figura 55 - Valores médios de teor de matéria orgânica, por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a).

Imediatamente após o fogo (figura 56), o teor de matéria orgânica aumenta. A camada mais superficial é a que sofre a maior alteração, registrando uma variação de 16 % relativamente ao valor antes do fogo, passando de um valor médio de 14 % para 16 %, o que poderá estar relacionado com a deposição das cinzas. Também, nestas amostras, o teor em matéria orgânica tem tendência a diminuir à medida que a profundidade aumenta, sendo os valores mais elevados de teor de matéria orgânica encontrados na camada mais superficial (0-3 cm), nas parcelas 1, 3 e 10 esta diferença é mais significativa. As parcelas 2, 5 e 7 não seguem esta tendência geral, sendo que a parcela 2 os valores obtidos a 0 – 3, 6 -10 e 10 – 20 cm são praticamente iguais, nas parcelas 5 e 7 o maior valor ocorre dos 3 – 6 cm.

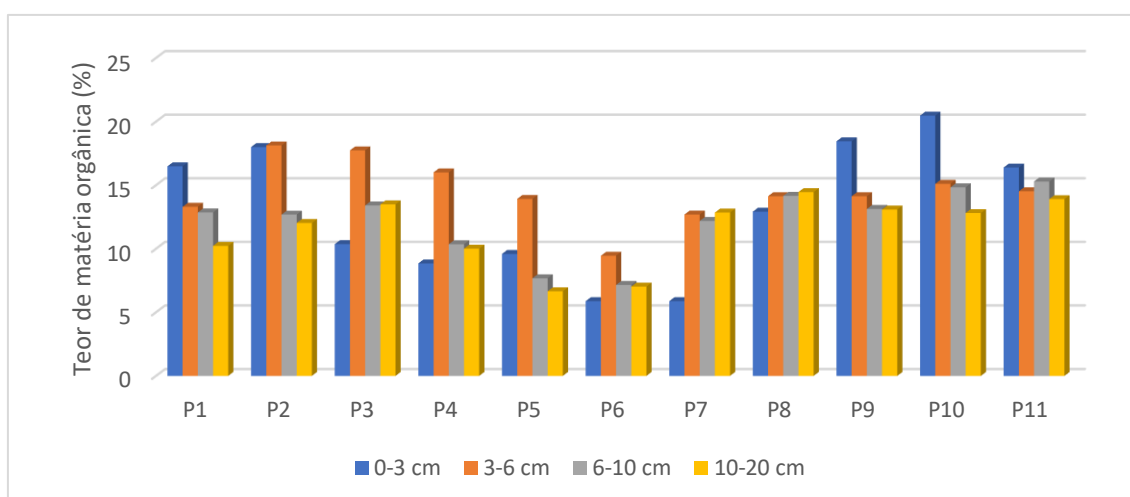


Figura 56 - Valores médios de teor de matéria orgânica, por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a).

Dois meses após o fogo, os valores médios de matéria orgânica baixam ligeiramente, em relação aos valores obtidos imediatamente após o fogo, a todas as profundidades, aproximando-se do valor inicial, antes do fogo. Neste momento de amostragem, verifica-se que os maiores teores em matéria orgânica já não ocorrem predominantemente na camada mais superficial, só nas parcelas 1, 9, 10 e 11 se mantém esta tendência, nas restantes parcelas isto não acontece. Verifica-se ainda, que na camada de 3 a 6 cm, surgem valores elevados de teor em matéria orgânica, os quais, em média aumentam 10 % relativamente aos valores determinados imediatamente após o fogo (figura 57).

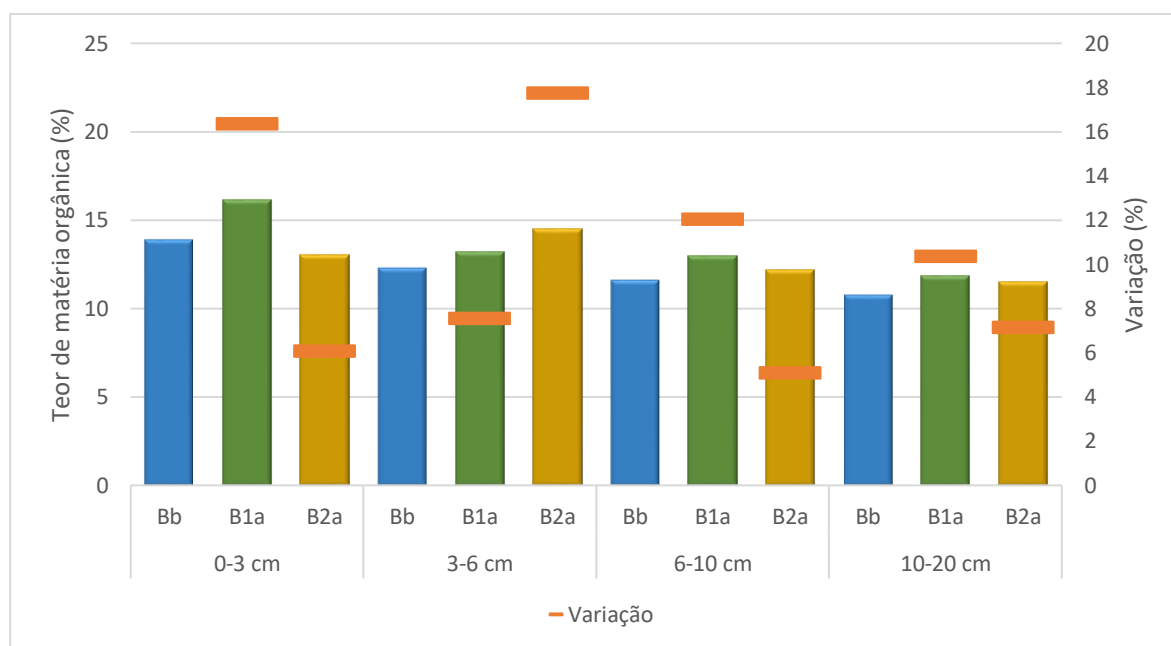


Figura 57 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de teor de matéria orgânica para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respetiva variação percentual relativamente aos valores iniciais.

### 6.6. Carbono orgânico total (TOC)

Os valores de carbono orgânico total obtidos nas amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) encontram-se sintetizados nas figuras 58, 59 e 60, respetivamente. O carbono orgânico foi obtido através da diferença entre o carbono total e o carbono inorgânico, mas, em todos os períodos de amostragem, não foi detetado carbono inorgânico nas amostras e, portanto, o valor de carbono orgânico total foi considerado como sendo igual ao carbono total.

Nas amostras imediatamente antes do fogo, observa-se tendência para a diminuição do carbono orgânico total (TOC) à medida que a profundidade aumenta, sendo os maiores teores de carbono orgânico total registados na camada mais superficial (0-3 cm). Destacam-se as parcelas 7, 9, 10 e

11, todas elas na zona sudoeste na parcela TERRAMATER, pelo seu elevado teor de carbono orgânico total, principalmente na camada superficial. A parcela 1, apresenta na camada superficial (0-3 cm) e na camada mais profunda (10 – 20 cm), os valores de carbono orgânico total mais elevados, o que não é o normal comparativamente com o cenário geral.

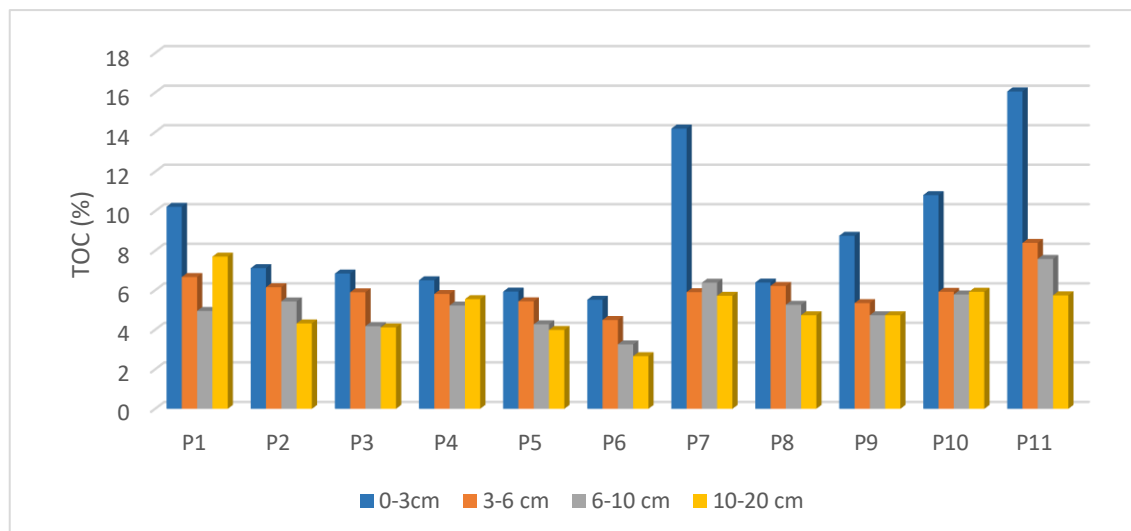


Figura 58 - Valores médios de teor de carbono orgânico total, por parcela e por profundidade, antes do fogo (Bb).

Imediatamente após o fogo existe um decréscimo acentuado de TOC nas parcelas 2, 7 e 11 (parcelas que possuíam elevado teor de carbono orgânico total antes do fogo), à profundidade de 0 a 3 cm, sendo que as restantes parcelas registaram pequenas diminuições ou mesmo aumentos nos seus teores de carbono orgânico total. Dos 3 aos 6 cm existiram pequenas variações tendo os valores permanecido idênticos aos observados antes do fogo (variação de 0,2 %). Dos 6 aos 10 cm, todas as parcelas, com exceção das 2 e 11, registaram um aumento de carbono orgânico total; ocorrendo o maior aumento, 12 %, a esta profundidade. À profundidade de 10 a 20 cm, os teores de carbono orgânico total sofreram um aumento em quase todas as parcelas na zona sudoeste da área em estudo (parcelas 7, 8, 9, 10), tendo as restantes parcelas sofrido ligeiras alterações, ligeiro aumento (cerca de 0,7 %) nas parcelas 2, 3 e 6 e diminuição média de 0,6 %, nas restantes (figura 61).

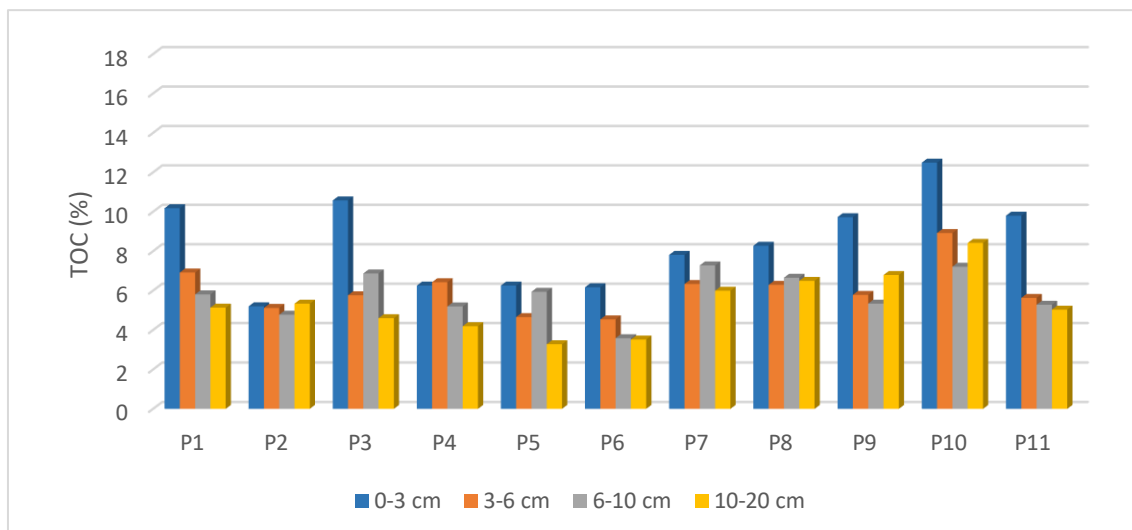


Figura 59 - Valores médios de teor de carbono orgânico total, por parcela e por profundidade, imediatamente após o fogo (B1a).

Dois meses após o fogo, em todas as profundidades, foi registrada uma diminuição dos valores de teor de carbono orgânico total, com exceção da profundidade dos 10 aos 20 cm em que o valor médio, das 11 parcelas, de carbono orgânico se manteve igual ao registrado no período imediatamente após o incêndio (figura 62).

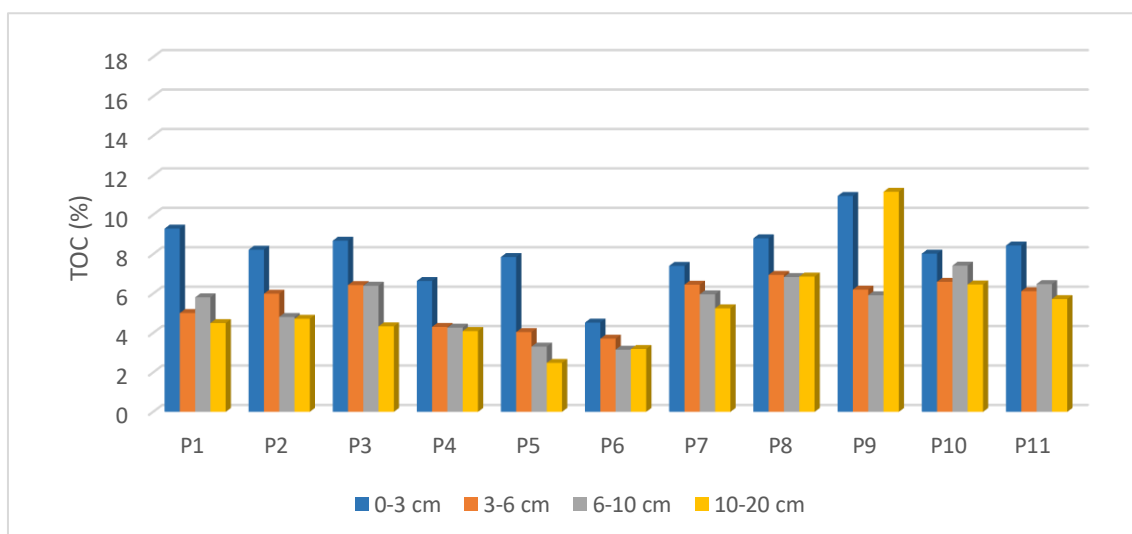


Figura 60 - Valores médios de teor de carbono orgânico total, por parcela e por profundidade, dois meses após o fogo (B2a).

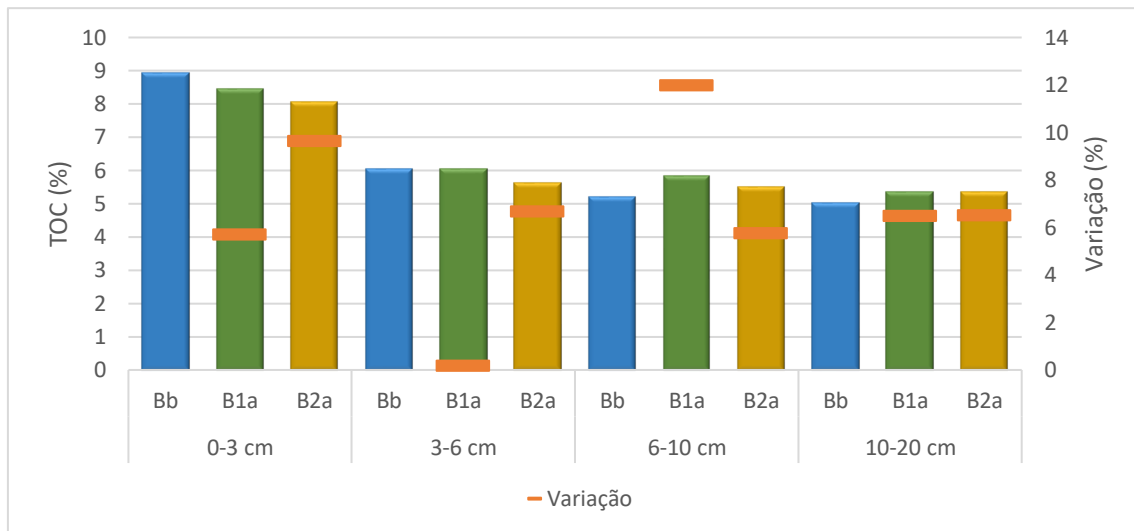


Figura 61 - Análise comparativa entre os valores médios das 11 parcelas, por profundidade, de teor carbono orgânico total para os três tempos de amostragem (Bb, B1a e B2a) e respectiva variação percentual relativamente aos valores iniciais.

### 6.7. Análise Química Elementar Simplificada

Os valores da análise química elementar simplificada das amostras antes do fogo (Bb), imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a), obtidos por fluorescência de raios-X (FRX) em modo minério, encontram-se seguidamente sintetizados. Na análise por FRX em modo minério, devido a especificidade do método, não foram detetados, em nenhum momento, os elementos: Mo, Pb, Se, Hg, Au, Co, Cs, Te, Sb, Sn, Cd, Ag e Pd e, como tal, estes elementos não foram considerados nos gráficos de resultados. Os elementos constituintes das várias amostras foram divididos em dois gráficos por momento de amostragem; no primeiro (figuras 62, 64 e 66), foram incluídas as ocorrências dos principais elementos constituintes do solo amostrado (com representatividade acima dos 2%) e, no segundo (figuras 63,65 e 67), os restantes elementos.

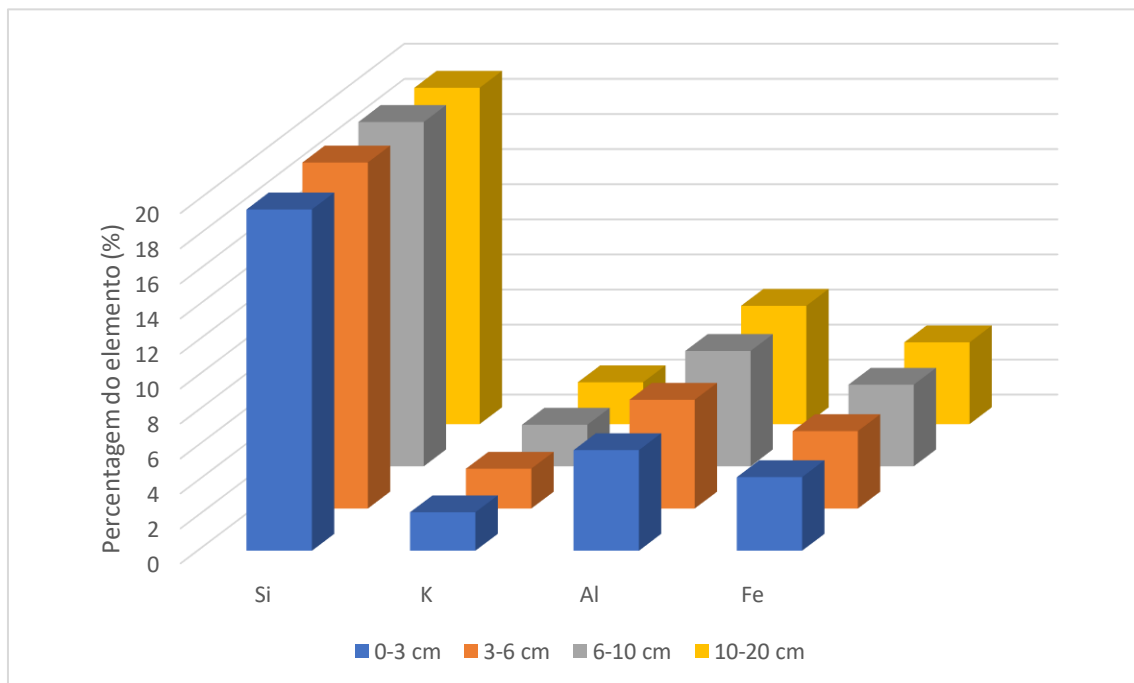


Figura 62 – Principais elementos constituintes dos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas antes do fogo (Bb).

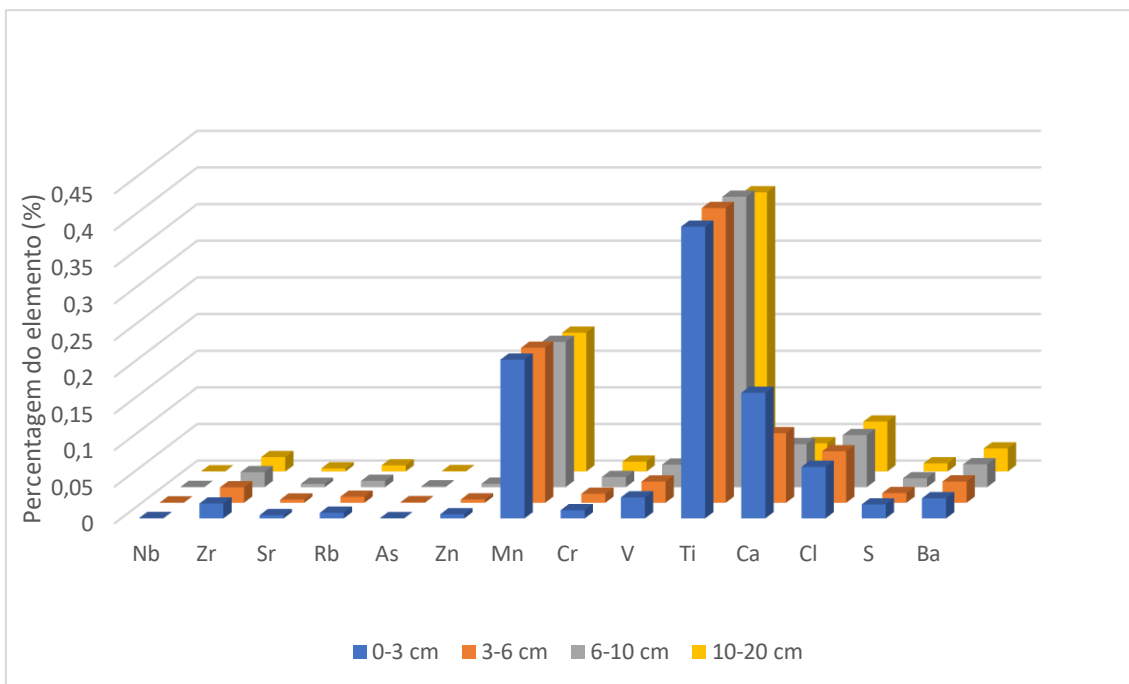


Figura 63 - Elementos traço, detetados nos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas antes do fogo (Bb).

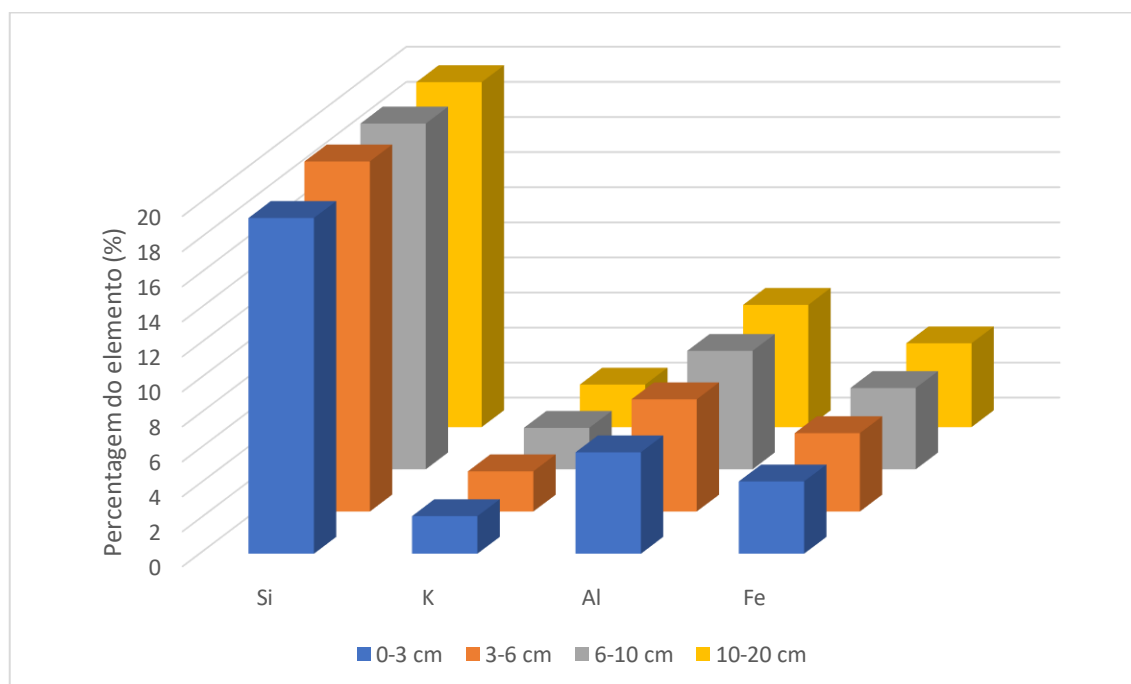


Figura 64 - Principais elementos constituintes dos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas imediatamente após o fogo (B1a).

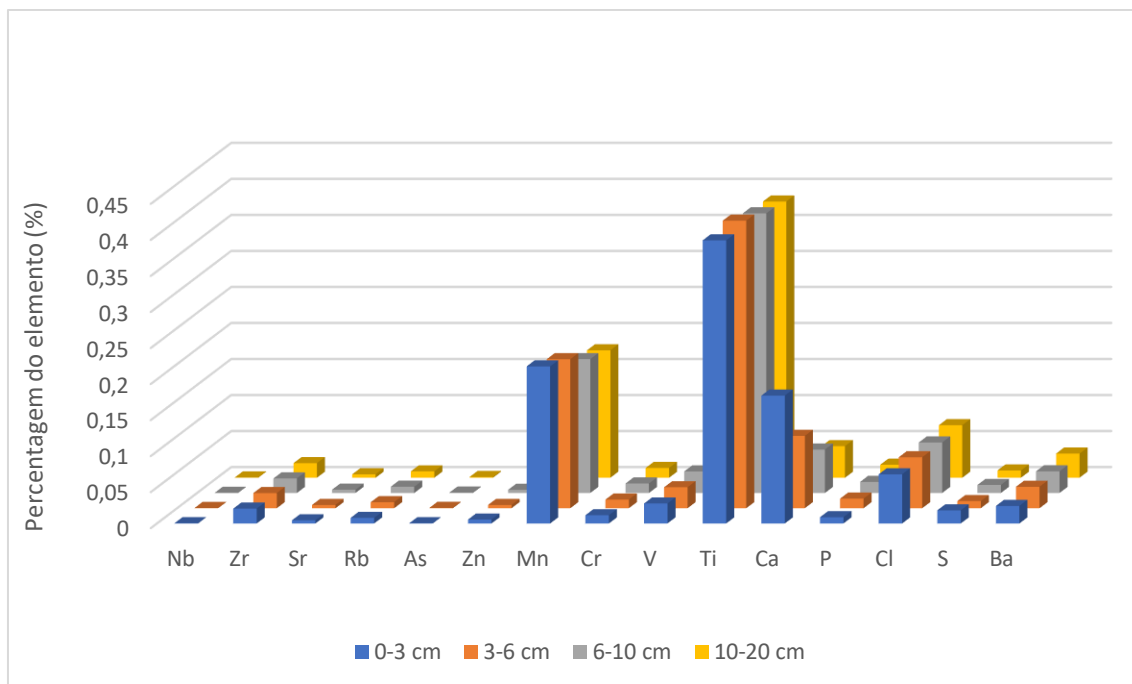


Figura 65 - Elementos traço, detetados nos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas imediatamente após o fogo (B1a).

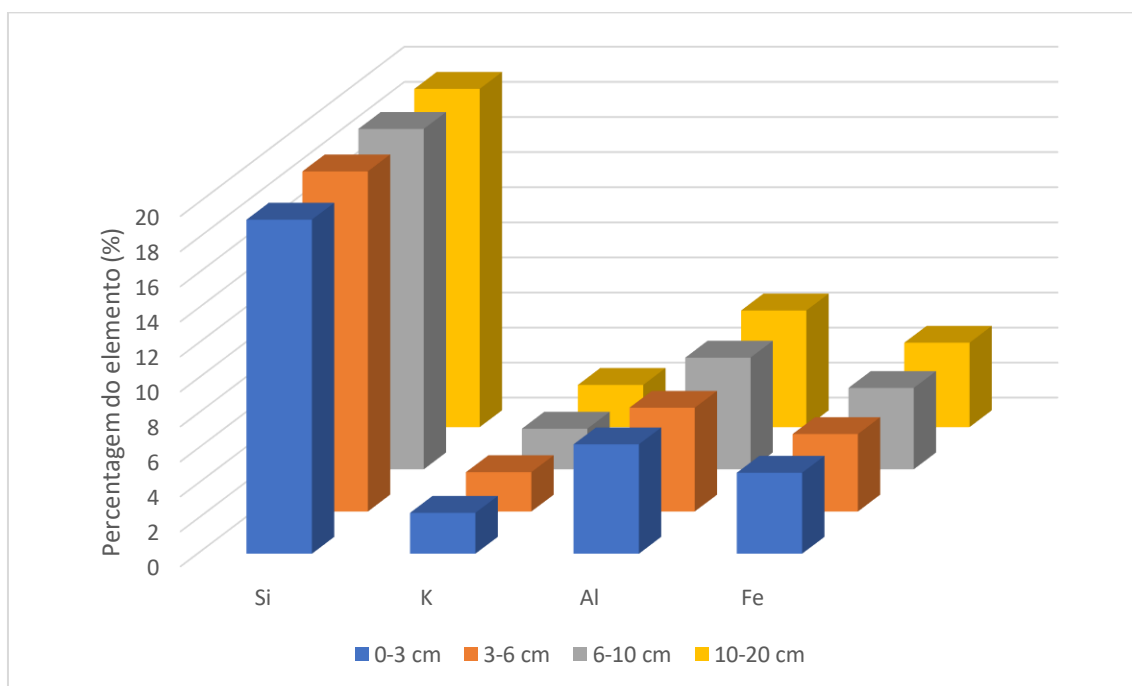


Figura 66 - Principais elementos constituintes dos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas dois meses após o fogo (B2a).

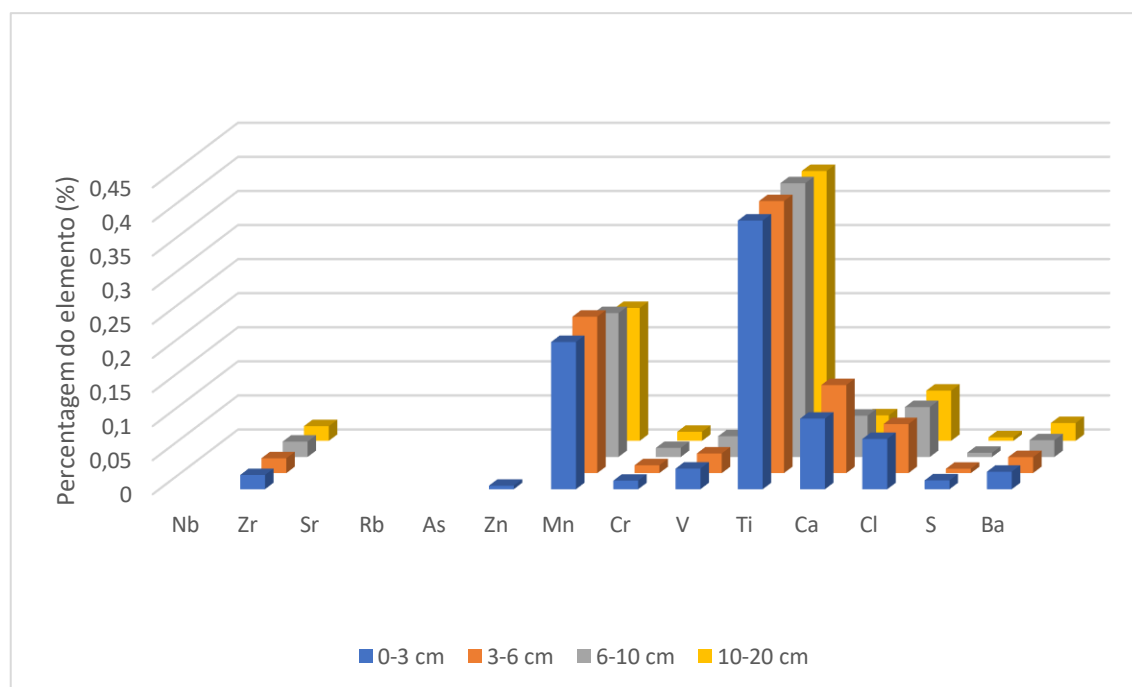


Figura 67 - Elementos traço, detetados nos solos, por FRX em modo minério. Valor médio, por profundidade, nas amostras recolhidas nas onze parcelas dois meses após o fogo (B2a).

A análise química elementar simplificada, por FRX em modo minério, indica, independentemente da profundidade, quatro constituintes principais nos solos amostrados: silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe) e potássio (K). Existem ainda outros elementos presentes, em percentagens mais reduzidas, sendo eles: nióbio (Nb), zircónio (Zr), estrôncio (Sr), rubídio (Rb), arsénio (As), zinco (Zn), manganês (Mn), crómio (Cr), vanádio (V), titânio (Ti), cálcio (Ca), cloro (Cl), enxofre (S) e bário (Ba). Em todos os momentos de amostragem não existiu variação significativa nos valores percentuais obtidos (figura 68).

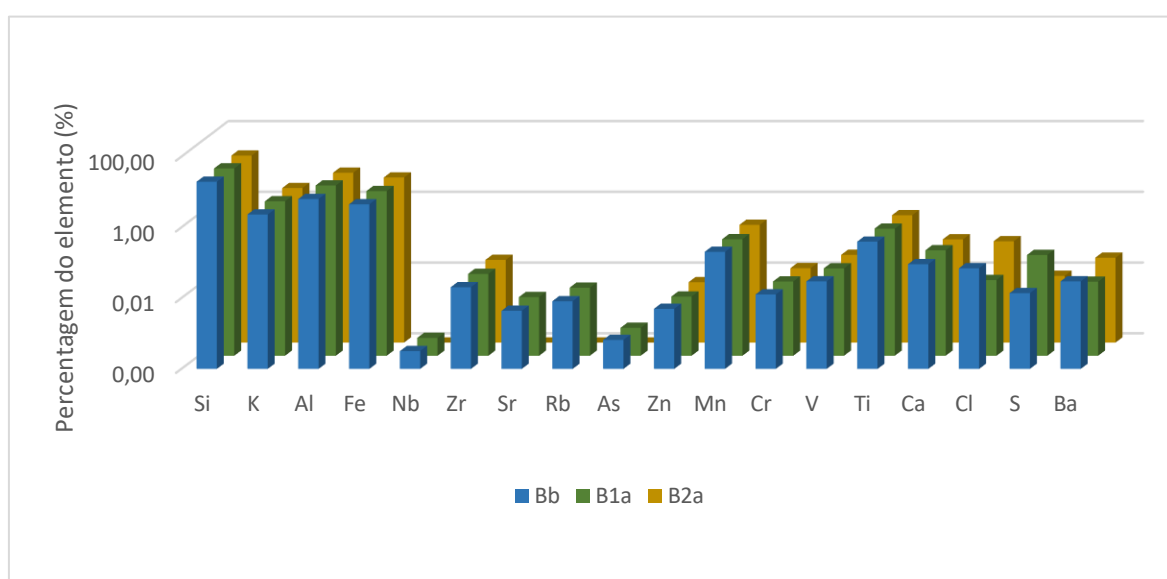


Figura 68 - Análise comparativa das médias totais, por momento de amostragem, da análise química elementar simplificada.

## 6.8. Síntese dos resultados obtidos

Na tabela 13 é apresentado um breve resumo das alterações detetadas nas propriedades físico-químicas do solo no intervalo de tempo estudado, ou seja, comparando os resultados obtidos imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a) com os valores iniciais, antes do fogo. Como critérios de significativamente maior ou significativamente menor foram definidos os seguintes parâmetros para cada uma das propriedades:

- Textura – alteração da classificação textural em, pelo menos, 6 das 11 parcelas;
- Teor em água – variação superior a 30 %;
- Condutividade elétrica – variação superior a 20 %;
- pH – variação superior a 10 %;
- Matéria orgânica – variação superior a 15 %;
- Carbono orgânico total – variação superior a 10 %;
- FRX – variação superior a 10 %.

Tabela 10 - Tabela resumo das alterações detetadas nas propriedades físico-químicas do solo, a diferentes profundidades, nos períodos imediatamente após o fogo (B1a) e dois meses após o fogo (B2a), relativamente aos valores iniciais, antes do fogo.

Propriedades do solo	Profundidade							
	0-3 cm		3-6 cm		6-10 cm		10-20 cm	
	B1a	B2a	B1a	B2a	B1a	B2a	B1a	B2a
Textura*	-	++	-	++	+	++	+	++
Teor em água	--	--	-	--	-	--	-	--
Condutividade elétrica	-	+	-	-	-	--	-	-
pH (H2O)	++	++	++	+	++	+	++	+
pH (KCl)	+	+	+	+	+	+	+	+
Matéria Orgânica	++	-	+	++	+	+	+	+
TOC	-	-	=	-	+	+	+	+
FRX	=	=	=	=	=	=	=	=

(++) / (--) – aumento ou diminuição significativa;

(+) / (-) – aumento ou diminuição ligeira;

(=) – sem alterações significativas registadas;

\* (+) corresponde a uma textura mais grosseira e (-) corresponde a uma textura menos grosseira.

---

## **Capítulo VII**

### **Considerações Finais**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 7. Considerações finais

Com a presente dissertação pretendeu-se avaliar os efeitos do fogo prescrito nas propriedades físico-químicas do solo, em diferentes momentos antes e após o fogo e a diferentes profundidades. Para tal, foram realizadas campanhas de amostragem, em três períodos distintos: antes do fogo, imediatamente após o fogo e dois meses após o fogo e colhidas amostras a quatro profundidades: 0-3 cm, 3-6 cm, 6-10 cm e 10-20 cm. As amostras obtidas foram submetidas a um conjunto de ensaios de laboratório, nomeadamente: análise granulométrica, teor em água natural, pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), condutividade elétrica, matéria orgânica, carbono orgânico total (TOC) e análise elementar por fluorescência de Raio-X.

Os resultados obtidos permitem concluir que existem alterações físico-químicas nas amostras de solo analisadas, após o fogo prescrito.

No que respeita à granulometria e conseqüentemente à textura do solo verificou-se que: i) no período imediatamente após o fogo, a textura apresenta-se ligeiramente mais fina nas camadas mais superficiais, 0 a 3 cm e 3 a 6 cm, em contraste com as profundidades seguintes (6 a 10 cm e 10 a 20 cm) em que a textura passou a ser ligeiramente mais grosseira; ii) dois meses após o fogo, a textura apresenta variação mais significativa, verificando-se, a todas as profundidades estudadas, variações significativas, passando de uma textura maioritariamente limosa (52%), antes do fogo, a uma textura, predominantemente, franco-limosa (85%) dois meses após o fogo. Verifica-se assim, que tal como descrito na bibliografia, os solos passam a ser mais grosseiros por aumento da fração arenosa.

Quanto à condutividade elétrica, verificou-se, a todas as profundidades, tendência para decréscimo. À exceção da camada mais superficial (0-3 cm), dois meses após o incêndio, todas as restantes desceram em relação aos valores iniciais e em relação ao momento de amostragem anterior, sendo esta descida não muito significativa. Na camada dos 0-3 cm, dois meses após o incêndio, verificou-se ligeira subida tanto em relação à amostragem inicial como em relação à amostragem anterior. Estes resultados não estão de acordo com o descrito na bibliografia, onde se prevê que a condutividade elétrica do solo aumente temporariamente após o fogo.

Nos valores de pH, tanto em solução aquosa como em solução de cloreto de potássio, verificou-se, sempre, aumento após o fogo, o que está de acordo com o descrito na bibliografia. Este aumento foi mais significativo no caso do pH determinado em solução aquosa, nas amostras colhidas imediatamente após o fogo, tendo-se verificado aumento significativo em todas as profundidades. Dois meses depois, possivelmente devido à remoção das cinzas por processos erosivos, as diferenças passam a ser menores, aproximando-se aos valores de pH antes do fogo. Assim, o efeito

---

do fogo sobre este parâmetro pode ser considerado efêmero, o que também é concordante com o referido na bibliografia.

Quanto à matéria orgânica, os valores subiram praticamente em todas as profundidades, constitui a única exceção a amostra superficial colhida dois meses após o fogo, sendo que a camada seguinte (3-6 cm) sofreu um aumento elevado no mesmo período de amostragem. Isto, poderá dever-se à textura bastante mais grosseira registada na camada superficial (0-3 cm), dois meses após o incêndio. A bibliografia aponta para efeitos muito variáveis do fogo sobre a matéria orgânica.

Os teores de carbono orgânico total apresentam variações diferentes função da profundidade. Nos níveis mais superficiais (0-3 e 3-6 cm) tende para ligeira diminuição, sendo que, no caso dos valores imediatamente após o fogo, dos 3 aos 6 cm, permaneceram iguais. Nos níveis mais profundos (6-10 e 10-20 cm) ocorreu ligeiro aumento, tanto no momento imediatamente após o fogo como dois meses depois.

A análise química elementar por FRX revelou a não ocorrência de alterações ao nível de composição elementar dos solos, tanto imediatamente após o fogo como dois meses depois, em nenhuma das profundidades estudadas. Os resultados obtidos são muito semelhantes, sendo as pequenas variações compatíveis com o erro do método. Estes resultados eram espectáveis uma vez que o fogo prescrito não foi de grande intensidade.

A área onde foram recolhidas estas amostras, localizado no Parque Natural de Montesinho, possui cobertura natural de matos, predominantemente esteva, carqueja, urze. O fogo prescrito foi realizado no mês de março e poderá não ter tido intensidade suficiente para provocar um aumento muito considerável das temperaturas ao nível do solo, fator dependente, entre outros, do tipo e quantidade de biomassa e da duração do evento. Deste modo, poderá prever-se que, num verdadeiro fogo florestal, as alterações nas características dos solos serão muito mais significativas.

No futuro, é preciso continuar a avaliar a área de estudo e acompanhar a evolução das características deste solo ao longo do tempo. Para isto, deverão realizar-se novas campanhas de amostragem aos 6 meses, 1 ano, 2 anos após o fogo e, até, posteriormente. Deve ser repetida a caracterização do solo em todas essas fases de amostragem e estudo. Para além disso, há outras características que poderão ser relevantes no estudo do solo, por exemplo: massa volúmica, porosidade e permeabilidade, teor em PAH's, fósforo e o potássio extratáveis, azoto, acidez de troca e alumínio de troca, bases de troca ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), entre outros. Avaliar a sua variação devido ao efeito do fogo e a capacidade de recuperação do ecossistema é imprescindível.

Ainda como perspetivas para o futuro, considera-se relevante a extensão deste tipo de estudos a outras zonas do território, onde ocorram diferentes condições edafoclimáticas.

---

## **Referências bibliográficas**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 8. Referências bibliográficas

- Abdulaha-Al Baquy, M., Li, J. Y., Xu, C. Y., Mehmood, K., & Xu, R. K. (2017). Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops. *Solid Earth*, 8(1), 149–159.
- Abrams, M. D., Johnson, E. A., & Miyanishi, K. (2001). Synthesis and Quantification of the Physical Aspects of Fire. *Ecology*, 82(11), 3267.
- Aldridge, K. T., & Ganf, G. G. (2003). Modification of sediment redox potential by three contrasting macrophytes: Implications for phosphorus adsorption/desorption. *Marine and Freshwater Research*, 54(1), 87–94.
- Alexander, H. D., Natali, S. M., Loranty, M. M., Ludwig, S. M., Spektor, V. V., Davydov, S., Zimov, N., Trujillo, I., & Mack, M. C. (2018). Impacts of increased soil burn severity on larch forest regeneration on permafrost soils of far northeastern Siberia. *Forest Ecology and Management*, 417(January), 144–153.
- Andreu, V., Rubio, J., Forteza, J., & Cerni, R. (1996). Postfire Effects on Soil Properties and Nutrient Losses. *International Journal of Wildland Fire*, 6(2), 53.
- Bartlett, R. J., & James, B. R. (1995). System for categorizing soil redox status by chemical field testing. *Geoderma*, 68(3), 211–218.
- Beck, P. S. A., Goetz, S. J., Mack, M. C., Alexander, H. D., Jin, Y., Randerson, J. T., & Loranty, M. M. (2011). The impacts and implications of an intensifying fire regime on Alaskan boreal forest composition and albedo. *Global Change Biology*, 17(9), 2853–2866.
- Bezdicsek, D. F., Papendick, R. I., & Lal, R. (1996). Introduction : Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. *Soil Science Society of America*, (Special Publication 49).
- Bot, A., & Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Soils Bulletin* 80.
- Carmona, J. P. S. F., Venda Oliveira, P. J., Lemos, L. J. L., & Pedro, A. M. G. (2018). Improvement of a sandy soil by enzymatic calcium carbonate precipitation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 171(1), 3–15.
- Cerdà, A., & Doerr, S. H. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *CATENA*, 74(3), 256–263.

---

Channarayappa, C., & Biradar, D. P. (2018). Soil Basics, Management, and Rhizosphere Engineering for Sustainable Agriculture. Soil Basics, Management, and Rhizosphere Engineering for Sustainable Agriculture. 829 p.

Ciampa, A., Benedettp, A., Sequi, P., & Valentini, M. (2009). Effects of a fire event on the soil organic matter of a pine forest and a pasture. *Agrochimica*, 53(1), 41–55.

Costa, J. B. (1999). Caracterização e Constituição do Solo. Fundação Calouste Gulbenkian.

DeBano, L., Neary, D. G., & Flolliott, P. F. (2005). Soil Physical Properties. In *Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Soil and Water* (Vol. 4, pp. 29–51).

Doerr, S., & Santin, C. (2016). Global trends in wildfire-perceptions and realities in a changing world. *Geophysical Research Abstracts*, 19, 2017–17979.

Etiégni, L., & Campbell, A. G. (1991). Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresource Technology*, 37(2), 173–178. Z

Eugenio, N. R., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). Soil Pollution a Hidden Reality. *Educ.Chem.* (Vol. 12). Rome: FAO.

FAO & ITPS. (2015). Intergovernmental Technical Panel on Soils. Status of the World's Soil Resources. Intergovernmental Technical Panel on Soils.

Fernandes, P., & Guiomar, N. (2018). A expansão do eucalipto alterou o regime de incêndios em Portugal: *Cadernos de Análise e Prospetiva CULTIVAR*, 14(December 2018), 43–52.

Flint, L. E., & Flint, A. L. (2002). Porosity. In *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods* (pp. 241–254).

Foster, S., Schultz, B., McCuin, G., Neibling, H., & Shwemaker, G. (2013). Soil Properties, Part 1 of 3: Physical Characteristics. University of Nevada Cooperative Extension.

Gao, S., Tanji, K. K., Scardaci, S. C., & Chow, A. T. (2002). Comparison of Redox Indicators in a Paddy Soil during Rice-Growing Season. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 805–817.

Gimeno-García, E., Andreu, V., & Rubio, J. L. (2000). Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science*, 51(2), 201–210.

Goleman, D., Boyatzis, R., & Mckee, A. (2004). Manual for Soil Analysis – Monitoring and Assessing Soil Bioremediation. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Springer International Publishing.

- 
- Gonçalves, A. C., & Sousa, A. M. O. (2017). Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture. (B. Fuerst-Bjelis, Ed.), Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture. InTech.
- González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J., Almendros, G., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International*, 30(6), 855–870.
- Granged, A. J. P., Zavala, L. M., Jordán, A., & Bárcenas-Moreno, G. (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, 164(1–2), 85–94.
- Guerreiro, J., Fonseca, C., Salgueiro, A., Fernandes, P., Lopez Iglésias, E., de Neufville, R., Mateus, F., Castellnou Ribau, M., Sande Silva, J., Moura, J. M., Castro Rego, F., & Caldeira, D. N. (2018). Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 a 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental.
- ICNF. (2013a). 6º Inventário Florestal Nacional - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal Continental em 1995, 2005 e 2010. Resultados preliminares. Instituto de Conservação Da Natureza e Das Florestas, 0–34.
- ICNF. (2013b). Áreas Ardidadas Por Tipo De Ocupação Do Solo (1996-2012). Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, 1–2.
- Iglesias, T., Cala, V., & Gonzalez, J. (1997). Mineralogical and chemical modifications in soils affected by a forest fire in the Mediterranean area. *Science of The Total Environment*, 204(1), 89–96.
- Jackson, R. (2006). *Manual of Soil Laboratory Testing. Environmental & Engineering Geoscience (3rd Revise, Vol. 21)*. Whittles Publishing; Boca Raton.
- Jaynes, D. B. (1996). Improved Soil Mapping using Electromagnetic Induction Surveys. In P. C. Robert, R. H. Rust, & W. E. Larson (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture*.
- Jaynes, D. B., Novak, J. M., Moorman, T. B., & Cambardella, C. A. (1995). Estimating Herbicide Partition Coefficients from Electromagnetic Induction Measurements. *Journal of Environmental Quality*, 24(1), 36–41.
- Jones, J. (2001). *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press.
- Juma, N. G. (2001). *The Pedosphere and Its Dynamics: A Systems Approach to Soil Science*. Salman Productions.
- Ketterings, Q. M., & Bigham, J. M. (2000). Soil Color as an Indicator of Slash-and-Burn Fire Severity and Soil Fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1826–1833.

- 
- Kome, G. K., Enang, R. K., Yerima, B. P. K., & Lontsi, M. G. R. (2018). Models relating soil pH measurements in H<sub>2</sub>O, KCl and CaCl<sub>2</sub> for volcanic ash soils of Cameroon. *Geoderma Regional*, 14, e00185.
- Lal, R., & Shukla, M. K. (2004). *Principles of Soil Physics*. Principles of Soil Physics. CRC Press.
- Lepsch, I. F. (2010). *Fomação e Conservação dos Solos*. 2ª Edição. Oficina de Textos. 216 p.
- Lloret, F., Piñol, J., & Castellnou, M. (2009). Wildfires. *The Physical Geography of the Mediterranean*.
- Lourenço, L. (2007). *Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha : o caso da Serra da Cabreira*. Universidade do Minho. (Tese de doutoramento)
- Lourenço, L., Fernandes, S., Bento-Gonçalves, A., Castro, A., Nunes, A., & Vieira, A. (2012). Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010). *Cadernos de Geografia*, (30–31), 61–80.
- Lourenço, L., Fernandes, S., Nunes, A., Gonçalves, A. B., & Vieira, A. (2013). Determination of forest fire causes in Portugal (1966-2010). *Flamma*, 4(3), 171–175.
- Lund, E. D., Christy, C. D., & Drummond, P. E. (1972). Practical Applications of Soil Electrical Conductivity Mapping. *Physical Review B*, 6(7), 2783–2790.
- Martin, D. A., & Moody, J. A. (2001). Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds. *Hydrological Processes*, 15(15), 2893–2903.
- Martín, J. P., Ribau, M. C., & Silva, A. J. S. R. (2018). *Cooperação Transfronteiriça na Prevenção e Extinção de Incêndios Florestais no Eixo Atlântico*. Artes Gráficas Jadfel, S.L. 112p.
- Mataix-solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., & Zavala, L. M. (2011). Fire effects on soil aggregation : A review. *Earth Science Reviews*, 109(1–2), 44–60.
- Mattigod, S. V., & Zachara, J. M. (1996). *METHODS OF SOIL ANALYSIS PART 3 Chemical Methods* Soil Science Society of America Book Series. *Methods of Soil Analysis*, 1312–1352.
- McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2009). Soil pH and Organic Matter. *Nutrient Management Module No. 8*, (8), 1–12.
- Meireles, C. (2000). *Carta Geológica de Portugal à escala 1: 50 000. Notícia explicativa da Folha 3-D (Espinhosela)*. Instituto Geológico e Mineiro, 64.
- Mitic, V. D., Stankov Jovanovic, V. P., Ilic, M. D., & Nikolic Mandic, S. D. (2015). Impact of wildfire on soil characteristics and some metal content in selected plants species of Geraniaceae family. *Environmental Earth Sciences*, 73(8), 4581–4594.

---

Moreira, B. (2012). Fire persistence mechanisms in Mediterranean plants: ecological and evolutionary consequences. Universitat d'Alacant. (Tese de doutoramento)

Murthy, V. N. S. (2002). Geotechnical Engineering. Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. CRC Press. 1056 p.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Stich, S., & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 988–993.

Peltier, E., Vanderlelie, D., & Sparks, D. L. (2010). Formation and stability of Ni-Al hydroxide phases in soils. *Environmental Science and Technology*, 44(1), 302–308.

Pereira, P.; Pereira, D. I.; Alves, M. I. Caetano & Meireles, C. (2003). Geomorfologia do Parque Natural de Montesinho: controlo estrutural e superfícies de aplanamento\*. *Ciencias Da Terra N° Esp. V, N° Esp. V*, C61–C64.

Pereira, J. S., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., & Silva, T. P. (2006). Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção. Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa. (Dissertação de mestrado).

Pereira, P., Cerdà, A., Úbeda, X., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., & Zavala, L. M. (2015). Modelling the Impacts of Wildfire on Ash Thickness in a Short-Term Period. *Land Degradation & Development*, 26(2), 180–192.

Pereira, Paulo, Cerda, A., Martin, D., Úbeda, X., Depellegrin, D., Novara, A., Martínez-Murillo, J. F., Brevik, E. C., Menshov, O., Comino, J. R., & Miesel, J. (2017). Short-term low-severity spring grassland fire impacts on soil extractable elements and soil ratios in Lithuania. *Science of The Total Environment*, 578, 469–475.

Pereira, Paulo, Úbeda, X., & Martin, D. A. (2012). Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma*, 191, 105–114.

Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología : para la agricultura y el medio ambiente*, 830.

Reinert, D. J., & Reichert, J. M. (2006). Reinert & Reichert - Propriedades físicas do solo. Departamento de Solos, UFSM, 1-18.

---

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta, G., Artes Vivancos, T., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Pfieffer, H., & Nuijten, D. (2019). Advance EFFIS Report on Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018. Publications Office of the European Union, 36 p.

SBCS. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos. In: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos> (consultado em 2 de Setembro de 2021).

Smith, J. L., & Doran, J. W. (2015). Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. *Methods for Assessing Soil Quality*, 169–185.

Sparling, G. P. (2008). Soil Quality: Indicators. *Managing Soils and Terrestrial Systems*, 357–360.

SSDS. (2017). Soil Survey Manual Agriculture. Handbook No. 18. USDA, Natural Resources Conservation Service, 18(18), 483.

Staff Soil Survey. (2010). Keys to Soil Taxonomy. Soil Conservation Service. Department of Agriculture (USDA) & Natural Resources Conservation Service (NRCS). 353 p.

Ulery, A. L., & Graham, R. C. (1993). Forest Fire Effects on Soil Color and Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 57(1), 135–140.

USDA. (2019). Soil Bulk Density, Moisture and Aeration. Natural Resources Conservation Service, 1-11.

Vepraskas, M. J., & Craft, C. B. (2016). *Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification: Second Edition*. Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification: Second Edition. CRC Press. 523 p.

Verma, S., & Jayakumar, S. (2012). Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(3), 168–176.

Waldrop, T. A., Goodrick, S. L., Harper, C. A., Towne, G., Dixon, M. J., Mobley, H. E., Wade, D. D., & Lunsford, J. D. (2012). *Introduction to Prescribed Fire in Southern Ecosystems* Southern Research Station. USDA Forest Service, (2018), 1–88.

Wells, C. G., Campbell, R. E., DeBano, L. F., Lewis, C. E., Fredriksen, R. L., Franklin, E. C., Froelich, R. C., & Dunn, P. H. (1979). Effects of fire on soil. General Technical Report WO7, 1978, 1–34.

Williams, B. G., & Hoey, D. (1987). The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay contents of soils. *Australian Journal of Soil Research*, 25(1), 21–27.

---

Wondafrash, T. T., Sancho, I. M., Miguel, V. G., & Serrano, R. E. (2005). RELATIONSHIP BETWEEN SOIL COLOR AND TEMPERATURE IN THE SURFACE HORIZON OF MEDITERRANEAN SOILS. *Soil Science*, 170(7), 495–503.

WRB-IUSS. (2014). *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports 106. World Soil Resources Reports No. 106.

WRB. (2006). *World Reference Base for Soil Resources*. In *Encyclopedia of Soil Science*, Third Edition. CRC Press, 145 p.

WWF. (2019). *Arde el Mediterráneo*. Propuesta mediterránea de WWF para la prevención de incendios forestales. WWF Informe.

Xantopoulos, G., Calfapietra, C., & Fernandes, P. (2012). *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*. In *Fire Hazard and Flammability of European Forest Types*, Springer, Dordrecht, 79-92.

Zedan, H. (2020). The Economic Value of Microbial Diversity.. *Industrial Microbiology News (US)* . 43. 178-185.