

Propriedades Físico-químicas dos Solos em Áreas Ardidadas de Montanha do Nordeste de Portugal em Diferentes Fases de Evolução Pós-fogo

Adriana Xavier Pereira

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientada por

Prof. Doutor Tomás de Figueiredo - IPB

Prof^a. Doutora Felícia Fonseca - IPB

Professor Doutor Maurício dos Santos (UTFPR-LD)

**Bragança
2018**

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SOLOS EM
ÁREAS ARDIDAS DE MONTANHA DO NORDESTE DE
PORTUGAL EM DIFERENTES FASES DE EVOLUÇÃO PÓS-
FOGO**

Trabalho apresentado ao
Instituto Politécnico de Bragança,
como requisito parcial para
conclusão da dissertação do
mestrado em Tecnologia Ambiental

Bragança, 2018

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Tomás Figueiredo, pelo seu profissionalismo, dedicação, compreensão e amizade, muito obrigada!

À Professora Doutora Felícia Fonseca, obrigada pela ajuda prestada e por ser tão gentil.

Ao Instituto Politécnico de Bragança e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por ter tido esta oportunidade de realizar o programa de Dupla Diplomação.

Agradeço ao Engenheiro Arsénio Araújo pela sua disponibilidade e ajuda prestada.

Agradeço aos meus colegas Nicolas Rosin, Maria Clotilde, Amanda Alves e Daniela Freitas, por toda ajuda e apoio proporcionado no decorrer da pesquisa.

À minha mãe Maria Madalena, meu pai e meus irmãos que mesmo distante em todo momento, sei que sempre torceram por mim. Muita obrigada!

Aos meus amigos do Brasil, Rita de Cássia, Bianca Meneghel, Wellington Oliveira, Isabella Cunha e Rafaela Gallindo, são pessoas que vou lembrar sempre com muito carinho. Muito obrigada por tudo!

Ao Higgor Goes, meu grande amigo que me apoiou e me ajudou sempre nos momentos que mais precisei. Muito obrigada!

Aos meus amigos que fiz aqui em Portugal, Lidia Rocha, Bianca Auwarter, Iago Dalmarco, Bárbara Lage, Sabrina Risson, Helder Rafael, Pedro Carneiro, obrigada pela amizade e boas vibrações.

A todos aqueles que directa ou indirectamente me ajudaram e incentivaram na elaboração desta pesquisa. Muita obrigada!!!

RESUMO

Os incêndios são um problema comum a muitos países, como ocorre em Portugal. São países que estão sob condições climáticas favoráveis a eclosão e a rápida progressão dos fogos florestais. Os incêndios são um dos principais fatores de degradação da terra, causando várias modificações no solo, água e vegetação. Portanto, os incêndios florestais geram grandes impactos ambientais na paisagem por onde se desenvolvem e alastram. Enquanto ocorre a queima, a cobertura vegetal e a camada orgânica são esgotadas, e o solo mineral é aquecido, resultando em mudanças nas características físicas, químicas, mineralógicas, e propriedades biológicas do solo. Assim essa pesquisa teve como objetivo avaliar as modificações dos solos sob o impacto do fogo ao longo do tempo, comparando áreas ardidadas e não ardidadas. Para isso, foram estudadas propriedades físicas e químicas do solo. As áreas de estudo localizam-se em três zonas distintas: Freguesias de Soutelo (2015), Parâmio (2016) e de Quintela de Lampaças (2017) respectivamente. Em cada zona de estudo, foram escolhidas áreas de amostragem em locais que arderam e não arderam (com exceção de Quintela de Lampaças, 2017) com características edafoclimáticas e composição da vegetação semelhante. As amostras foram colhidas aleatoriamente em 4 pontos de amostragem na zona queimada e 4 na zona não queimada. Foram feitas análises no laboratório das propriedades físicas e químicas dos solos para avaliar as modificações no solo em consequências do incêndio e da recuperação pós-fogo. Com a realização desta pesquisa, pode-se concluir que as propriedades físico-químicas dos solos sofreram alterações de forma diferente, ao longo do perfil do solo. O fogo interferiu as propriedades do solo, que com o passar do tempo tendem a evoluir para a situação pré-fogo.

Palavras-chave: Áreas ardidadas; Incêndios florestais; Propriedades Físico-químicas do solo; Recuperação pós-fogo; Nordeste de Portugal.

ABSTRACT

Wildfires are a problem common to many countries, as is the case in Portugal. There are countries that are under favorable climatic conditions to hatch and rapidly propagate forest fires. Fires are one of the main factors of land degradation, causing various modifications in soil, water and vegetation. Therefore, forest fires generate large environmental impacts on the landscape through which they develop and spread. While burning occurs, the vegetation cover and organic layer are depleted, and the mineral soil is heated, resulting in changes in the physical, chemical, mineralogical, and biological properties of the soil. Thus, this research had as objective to evaluate the modifications of the soils under the impact of the fire over time, comparing burned and non-burned areas. For this, physical and chemical properties of the soil were studied. The study was carried out in 3 distinct areas: Soutelo (2015), Parâmio (2016) and Quintela de Lampaças (2017) respectively. In each study area, sampling areas were selected in places that burned and did not burn (with the exception of Quintela de Lampaças, 2017) with soil and climatic characteristics and similar vegetation composition. Samples were randomly collected at 4 sampling points in the burned zone and 4 at the non-burned zone. Laboratory analyzes of the physical and chemical properties of soils were carried out to evaluate changes in soil as a consequence of fire and of post-fire recovery. With the accomplishment of this research, it can be concluded that the physical-chemical properties of the soils changed in a different way, along the soil profile. The fire interfered with the properties of the soil, which over time tended to evolve towards the pre-fire situation.

Keywords: Burnt areas; Wildfires; Soil physical-chemical properties; Post-fire recovery; Northeast Portugal.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	VI
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 INCÊNDIOS	3
2.1.1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	3
2.1.2 AS CAUSAS DOS INCÊNDIOS	4
2.1.3 SEVERIDADE DOS INCÊNDIOS	6
2.1.4 FATORES NATURAIS QUE INTERFEREM NOS INCÊNDIOS	8
2.1.4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	8
2.1.4.2 TOPOGRAFIA	8
2.2 IMPACTOS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SOLO	9
2.2.1 PROCESSOS EROSIVOS E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	9
2.2.1.1 PROCESSOS EROSIVOS E COBERTURA VEGETAL DO SOLO	9
2.2.1.2 TEXTURA	10
2.2.1.3 TEOR DE HUMIDADE	11
2.2.1.4 DENSIDADE APARENTE	11
2.2.1.5 POROSIDADE	12
2.2.1.6 PERMEABILIDADE	12
2.2.1.7 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS	13
2.2.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	14
2.2.2.1 MATÉRIA ORGÂNICA	14
2.2.2.2 PH	14
2.2.2.3 FÓSFORO E POTÁSSIO	15

2.2.2.4 CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA	16
2.2.2.5 ACIDEZ DE TROCA	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 ÁREAS DE ESTUDO	18
3.1.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	18
3.1.2 GEOLOGIA E SOLOS	20
3.1.3 VEGETAÇÃO	23
3.1.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	26
3.2 COLHEITA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	28
3.3 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS	29
3.3.1 TEOR DE HUMIDADE	29
3.3.2 TEXTURA	29
3.3.3 DENSIDADE APARENTE	30
3.3.4 PERMEABILIDADE	30
3.3.5 POROSIDADE TOTAL	31
3.3.7 MICROPOROSIDADE E MACROPOROSIDADE	32
3.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS	32
3.3.1 PH	32
3.3.3 FÓSFORO E POTÁSSIO EXTRAÍVEIS	34
3.3.4 COMPLEXO DE TROCA CATIONICA	36
3.3.4.1 BASES DE TROCA	36
3.3.4.2 ACIDEZ DE TROCA E ALUMÍNIO DE TROCA	36
3.3.4.3 CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA	37
3.3.4.4 GRAU DE SATURAÇÃO EM BASE	37
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS	39
4.1.2 TEXTURA	39
4.1.3 DENSIDADE APARENTE	40

4.1.4 POROSIDADE	41
4.1.5 CAPACIDADE MÁXIMA PARA ÁGUA	42
4.1.6 CAPACIDADE DE CAMPO	42
4.1.7 MACROPOROSIDADE	43
4.1.8 MICROPOROSIDADE	43
4.1.9 PERMEABILIDADE	44
4.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS	45
4.3.1 MATÉRIA ORGÂNICA	45
4.3.2 PH	46
4.3.3 FÓSFORO	48
4.3.4 POTÁSSIO	50
4.3.5 ALUMÍNIO	51
4.3.6 ACIDEZ DE TROCA	52
4.3.7 SOMA DE BASES DE TROCA	53
4.3.8 CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA EFETIVA	54
4.3.9 GRAU DE SATURAÇÃO DE BASES	55
4.5 RESULTADOS GLOBAIS OBTIDOS	56
5 CONCLUSÕES	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do número médio de ocorrências com causa apurada: intencional, natural ou negligente, no período 2003-2013 (ICNF, 2014).	6
Figura 2 - Portugal e localização da área de estudo	19
Figura 3 - Freguesias das áreas amostradas no NE de Portugal	19
Figura 4 - Vista parcial da área de amostragem de 2017	19
Figura 5 - Unidades cartográficas de solo de Soutelo (Agroconsultores; Coba, 1991)	21
Figura 6 - Unidades cartográficas de solo de Parâmio (Agroconsultores; Coba, 1991)	22
Figura 7 - Unidades cartográficas de solo de Quintela de Lapaças (Agroconsultores; Coba, 1991).....	23
Figura 8 - Unidades cartográficas da vegetação de Soutelo (COS, 2007)	24
Figura 9 - Unidades cartográficas da vegetação de Parâmio (COS, 2007)	25
Figura 10 - Unidades cartográficas da vegetação de Quintela de Lapaças (COS, 2007)	26
Figura 11 - Temperaturas e precipitações de Bragança, médias dos últimos 30 anos (Meteoblue, 2018)	27
Figura 12 - Temperatura máxima de Bragança, médias nos últimos 30 anos (Meteoblue, 2018)	28
Figura 13 - Vista frontal e superior do Permeâmetro	31
Figura 14 - pHmetro	33
Figura 15 - Espectrofotómetro de absorção molecular	35
Figura 16 - Espectrofotómetro de chama	35
Figura 17 - Dap da camada superficial de 0 - 5 cm	41
Figura 18 - P na camada superficial de 0 - 5 cm	41
Figura 19 - CMA na camada superficial de 0 - 5 cm.....	43
Figura 20 - CC na camada superficial 0 - 5 cm	43
Figura 21 - Macroporosidade na camada superfica de 0 - 5 cm.....	44
Figura 22 - Microporosidade na camada superficial de 0 - 5 cm	44
Figura 23 - Ki na camada superfical de 0 - 5 cm	45
Figura 24 - Kf na camada superfical de 0 - 5 cm	45
Figura 25 - MO da camada superficial 0 - 5 cm.....	46

Figura 26 - MO da profundidade > 5 cm.....	46
Figura 27 - pH H ₂ O do solo da camada superficial de 0 - 5 cm.....	47
Figura 28 - pH H ₂ O do solo da profundidade > 5 cm	47
Figura 29 - pH KCl do solo da camada superficial de 0 - 5 cm.....	48
Figura 30 - pH KCl do solo da profundidade > 5 cm.....	48
Figura 31 - P ₂ O ₅ do solo na camada superficial 0 - 5 cm	50
Figura 32 - P ₂ O ₅ do solo na profundidade > 5 cm	50
Figura 33 - K ₂ O no solo na camada superficial de 0 - 5 cm.....	51
Figura 34 - K ₂ O no solo na profundidade > 5 cm.....	51
Figura 35 - Al ³⁺ de Troca no solo na camada superficial 0 - 5 cm	52
Figura 36 - Al ³⁺ de Troca da profundidade > 5 cm.....	52
Figura 37 - AT no solo na camada superficial 0 -5 cm	53
Figura 38 - AT na profundidade > 5 cm	53
Figura 39 - SBT na camada superficial de 0 - 5 cm	54
Figura 40 - SBT da profundidade > 5 cm.....	54
Figura 41 - CTCe na camada superficial de 0 - 5 cm	55
Figura 42 - CTCe na profundidade > 5 cm	55
Figura 43 - GSBe na camada superficial de 0 - 5 cm.....	56
Figura 44 - GSBe na profundidade > 5 cm	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da permeabilidade dos solos (Figueiredo, 2011)	31
Tabela 2 - Classes de pH do solo (Costa,1991)	33
Tabela 3 - Classificação dos solos quanto à percentagem de matéria orgânica (Costa, 1991).....	34
Tabela 4 - Classificação dos solos quanto aos teores de fósforo e potássio extraíveis (Santos, 1991)	36
Tabela 5 - Classe de textura da camada superficial de 0 - 5 cm	39
Tabela 6 - Classe de textura da profundidade > 5 cm	40
Tabela 7 - Evolução temporal das propriedades físico-químicas do solo após o fogo prescrito em relação à situação pré-incêndio	57

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios são um problema comum a muitos países, como ocorre em Portugal. São países que estão sob condições climáticas favoráveis a eclosão e a rápida progressão dos fogos florestais, especificamente aqueles que se estabelecem em climas com características mediterrâneas, onde os verões geralmente são quentes e secos (Lourenço, 1992). Nestes climas, temperaturas altas, precipitação restringida ou inexistente e intensa evaporação no período de estiagem resultam em vegetação facilmente combustível dada o seu baixo teor de humidade (Lourenço & Bernardino, 2013).

Os incêndios são um dos principais fatores de degradação da Terra, causando várias modificações no solo, água e vegetação (Valente & Coelho, 2015). Através dos incêndios, o risco e a intensidade de danos aumenta no solo, dentre outros fatores, em função da extensão da área, da idade dos povoamentos e da intensidade do fogo (Batista et al., 1997). Portanto, os incêndios florestais geram grandes impactos ambientais na paisagem por onde se desenvolvem e alastram (Vieira et al., 2012).

O número elevado de incêndios florestais acontecidos anualmente em Portugal tem apresentado como implicação grandes valores de área ardida, evento afrontado por um efeito de recorrência cada vez mais repetida, o que implica um adensamento de processos que poderão aumentar os efeitos de erosão, intensificando as áreas de degradação dos solos (Rocha, 2016). Enquanto ocorre a queima, a cobertura vegetal e as camadas de areia são esgotadas, e o solo mineral é aquecido, resultando em mudanças nas características físicas, químicas, mineralógicas, e propriedades biológicas do solo (Hubbert et al., 2006).

A perda de nutrientes afeta a fertilidade do solo e tem implicações importantes para os processos de recuperação de áreas ardidas e para a gestão florestal (Thomas et al., 2000). E além da perda florestal e a deterioração ambiental os incêndios causam grandes impactos sociais e económicos nas áreas atingidas (Pereira et al., 2009). O relatório e pareceres da Assembleia da República (2015) complementa que estes impactos gerados pelos incêndios florestais são difíceis de quantificar, devido às lamentosas

perdas de vidas humanas nos próprios locais das operações de combate aos incêndios florestais.

É portanto necessária aplicação de medidas preventivas nas regiões propícias a incêndios para que se possa minimizar o número elevado de áreas ardidas que vem ocorrendo ano após ano em Portugal.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar as modificações dos solos sob o impacto do fogo ao longo do tempo, comparando áreas ardidas e não ardidas dos anos 2015, 2016 e 2017. Para isso, foram estudadas propriedades físicas e químicas do solo.

Posteriormente a este capítulo introdutório, em que são apresentados os objetivos da pesquisa, a proposta da tese desenvolve-se em quatro capítulos, começando pelo referencial teórico abrangendo o tema geral, impacto dos incêndios em propriedades dos solos. Em seguida apresentam-se a metodologia utilizada, onde é realizada uma breve caracterização das áreas de amostragem, referindo-se também o modo de colheita e preparação das amostras. A seguir, os resultados são apresentados e discutidos com base em estudos consequentes sobre tópicos similares. Segue-se a conclusão e finalizando com a lista de referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Incêndios

2.1.1 Aspectos Introdutórios

Segundo Bacalhau (1999), os incêndios são uns dos grandes causadores da destruição da floresta nacional. Ao longo dos anos amplas áreas estão sendo impactadas negativamente pelo efeito do fogo, onde enormes regiões ficam desprovidas da cobertura florestal e os solos sujeitos à erosão.

Com o passar do tempo, a problemática dos incêndios foram intensificando, e tendo mais atenções, não somente pelo elevado número, mas também pela sua amplitude e severidade (Fernandes et al., 2009). Soares et al. (1998) complementa que os prejuízos causados pelos incêndios têm aumentado, principalmente ao risco e pela sua intensidade, ocasionando o aumento das áreas ardidadas e severidade do fogo.

Segundo Lourenço et al. (2011) os incêndios florestais que ocorrem em Portugal têm-se grandes dificuldades em seu controle, tanto no que diz respeito ao número de ocorrências como no que se refere à dimensão das áreas ardidadas, principalmente durante o período do verão, quando predominam temperaturas mais altas e um déficit de precipitação, gerando um ambiente favorável à propagação dos incêndios. Num ambiente de alterações climáticas, no qual nos encontramos, este tipo de ocorrências tende a ser cada vez mais frequente, não apenas em Portugal, como em outros países que apresentam características climáticas semelhantes (Veigas et al., 2017).

Segundo FAO (2001) os regimes do fogo têm tido um desenvolvimento natural ao longo do tempo, mas atualmente o ser humano adotou um papel principal nessa evolução, sendo as atividades humanas causadoras da maioria dos incêndios e apenas uma pequena parcela é gerada pelos fenômenos naturais.

Esses incêndios influenciam de modo impactante os diferentes componentes dos ecossistemas naturais onde ocorrem principalmente a

vegetação e o solo, provocando na sua passagem efeitos de carácter imediato, como a ausência temporária de vegetação e domínio da cinza, bem como outros, de efeito mais tardio. Contribuem também para a degradação da paisagem rural, e tendo como consequência cada vez maior o empobrecimento do solo, e deixando essas regiões afetadas mais desfavorecidas do país (Lourenço, 1990).

2.1.2 As Causas dos Incêndios

Os incêndios de Portugal em sua maioria são causados por ações antrópicas, onde os incêndios são ocorridos de forma propositada, intencional, por conflitos e vinganças (Paiva, 2013). Vieira et al. (2012) complementa com opiniões semelhantes, “as relacionadas com as fontes de ignição são quase exclusivamente de origem humana, quer seja por ação voluntária, isto é, por ato intencional, quer seja, de forma negligente, por desleixo ou por descuido, onde se incluem os reacendimentos, por deficiente consolidação das ações de rescaldo”.

Muitas das vezes os incêndios ocorridos estão relacionados com a utilização incorrecta do fogo, como a renovação de pastagens, onde os arbustos eram cortados e utilizados para camas de criação de gado. As paisagens foram aproveitadas e conduzidas durante muito tempo assim, que ao mesmo tempo também inibiam a propagação de fogos, pois os proprietários estavam frequentente em suas propriedades. Mas com o passar do tempo aumentou o abandono rural, tendo como principal motivo razões socioeconómicas, portanto levando a má gestão das propriedades rurais, que se foram transformando em áreas de matagal, tornando-se paisagens propícias para o desenvolvimento de incêndios de grande intensidade, por conta da ampla acumulação de biomassa (Bugalho et al., 2009).

De acordo com a pesquisa realizada por Vieira et al. (2012), em relação à problemática dos incêndios florestais em Portugal, são apresentados alguns motivos das origens dos incêndios:

- a distribuição dos povoamentos florestais e dos matos em manchas contínuas, das mesmas espécies, com elevado grau de inflamabilidade;

- a falta de gestão na maior parte das matas e florestas;
- o absentismo da generalidade dos proprietários florestais;
- a desestruturação do mundo rural;
- o uso do fogo de tradição ancestral, como ferramenta de gestão florestal e para renovação de pastagens.

Segundo um relatório realizado por Beighley & Hyde (2018), sobre a estratégia de defesa contra incêndios florestais existente em Portugal, constataram um aumento grande em relação às décadas passadas. Na década de 1980, arderam em média 75 000 ha, na década de 1990 em média 100 000 ha e desde 2000 uma média 150 000 ha. Demonstrando que Portugal se encontra em uma situação delicada em relação a aumento dos incêndios no país. Os mesmos autores relatam os principais motivos para esta situação, que não são nenhuma novidade:

- aumento na percentagem de área florestal não gerida;
- quantidade grande em extensão das cargas combustíveis;
- número de ignições crescentes e indesejadas em condições de incêndio moderadas a graves;
- alterações climáticas e períodos com um tempo quente e seco, propiciando o aumento da gravidade dos incêndios.

Com isso, a invasão de matos, a abdicação de terrenos agrícolas e uma gestão dos terrenos florestais mal conduzidos são uns dos principais causas para intensificar a frequência de incêndios (Pereira et al., 2009).

Segundo o Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2014) em média apenas cerca de 1,5% do total de ocorrências investigadas entre 2003 e 2013 resultaram de causa natural. Excluindo o conjunto das averiguações relacionadas com as ocorrências resultantes de reacendimentos relatou-se apenas o universo das ocorrências investigadas com causa apurada, a mencionar os três amplos grupos: Intencional, Natural e Negligente. Dessa forma, verifica-se que os comportamentos negligentes são os responsáveis pela maioria das ocorrências dos incêndios (Figura 1).

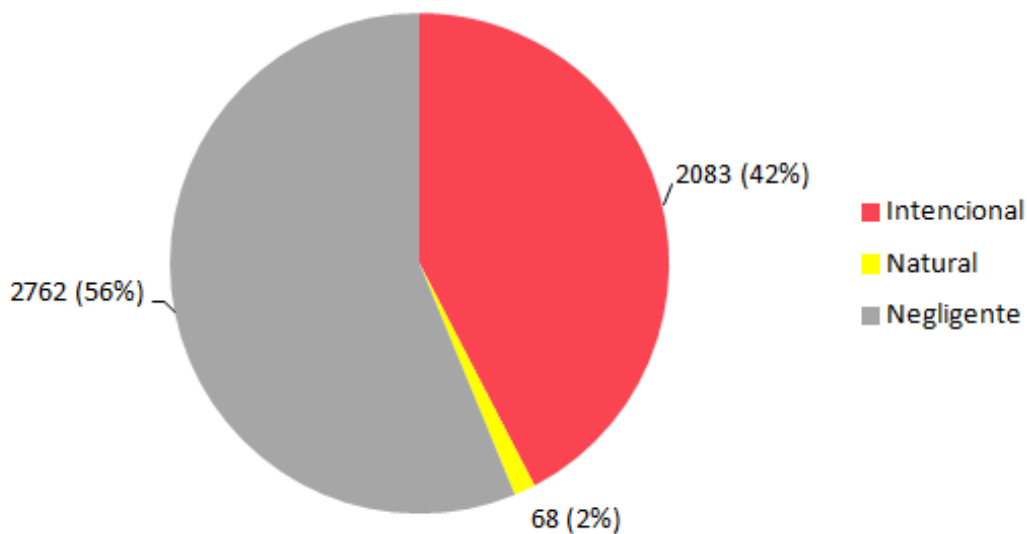


Figura 1 - Distribuição do número médio de ocorrências com causa apurada: intencional, natural ou negligente, no período 2003-2013 (ICNF, 2014).

As ocorrências de incêndio resultantes de causas naturais, como apresentado na figura 1, consequência de descargas elétricas resultantes de trovoadas, são muito pouco frequentes, o que confirma que o fator humano é o grande responsável pelos problemas dos incêndios, dessa forma, há possibilidade de intervir no sentido de os evitar, sobretudo, pela aposta na sensibilização dirigida (ICNF, 2014).

2.1.3 Severidade dos Incêndios

A severidade do incêndio deriva da influência mútua entre a combustibilidade e a composição da formação vegetal, permitindo a classificação concomitantemente do grau de dificuldade de extinção que um incêndio possibilita aos meios de combate e os agravos que causa ao estrato arbóreo (Fernandes, 2004).

Segundo o relatório da Assembleia da República (2018), a severidade do fogo afere o grau de mudança na vegetação em decorrência da passagem do fogo, assim, gerando impacto diretamente para o solo e vegetação. Estes se manifestam nos estratos da vegetação, nas árvores mortas sobre o solo, no aquecimento do solo durante a queima e consequências para a intensificação dos processos erosivos.

Uma maior severidade do incêndio está ligada a uma maior destruição da vegetação, da manta morta e da matéria orgânica do solo. Dessa forma estes efeitos dão origem a grandes perdas de nutrientes por diferentes vias e à possível formação de uma camada de solo repelente à água, dificultando a infiltração e possibilitando a existência de escorrência superficial (Ferreira et al., 2010).

A severidade do fogo é uns dos fatores mais importantes nas características de um incêndio que afetam as propriedades químicas do solo (Beyers et al., 2005). Por exemplo, o azoto que pode se prontamente perdido num período da queima intensa, em contra partida, o fósforo tende a aumentar em quantidade disponível, e as cinzas comumente são muito ricas em nutrientes promovendo a sua disponibilidade após as queimadas.

Segundo Florestar (2007) a severidade do incêndio ocorre por junção do nível de combustibilidade e estrutura do povoamento. São ponderadas três classes de coberto de copas do estrato arbóreo, apresentando três subdivisões de classes de seguimento vertical no qual é função da distância entre a base da copa das árvores e o solo. Esse mesmo autor e Fernandes (2004) em uma pesquisa realizada no Departamento Florestal da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, consideram os níveis de severidade do fogo classificados da seguinte maneira:

- Reduzido: Os prejuízos causados pelo fogo ao estrato arbóreo quase não se nota, exceto em povoamentos apresentando espécies mais sensíveis;
- Moderado: O fogo causará estragos evidentes na copa das árvores que afetarão a sua produtividade. De acordo com certo tipo de espécie, a mortalidade poderá ser de nula a moderada;
- Elevado: As copas das árvores são comprometidas, abrangendo a combustão das folhas, dessa forma corresponde a níveis de mortalidade moderado a elevado;
- Muito elevado: As copas das árvores são muito afetadas, englobando graus elevados em relação à combustão, ocasionando à mortalidade total das resinosas e parcialmente das folhas adaptadas ao fogo;

- Extremo: Ocorre a destruição total do elemento foliar da copa das árvores.

2.1.4 Fatores Naturais que Interferem nos Incêndios

2.1.4.1 Condições Climáticas

As condições climáticas integradas ao estado da atmosfera e do ambiente relacionadas com os fatores de longa duração e de curta duração têm uma acuidade relevante na possibilidade de ocorrência e desenvolvimento de um incêndio e nas suas condições de propagação (Veigas et al., 2017).

As condições climáticas podem beneficiar ou impedir que os incêndios alastrem, sendo, a temperatura, humidade relativa do ar e a precipitação uns dos fatores que mais influenciam nos incêndios (Bernardino & Lourenço, 2013).

Segundo Lourenço (1992) em Portugal, a época que apresenta maior probabilidade de incêndios, variável de ano para ano de acordo com as condições meteorológicas, coincide sempre desde o fim de junho até princípios de outubro. Nessas épocas o período do verão é bem intenso com temperaturas elevadas e clima seco. Sendo característico de um clima mediterrâneo, apresentando uma alternância de uma estação chuvosa e outra com um período seco e quente, favorece uma grande produção de biomassa vegetal e com a chegada do verão, facilita que essa biomassa arda com grande facilidade (Martins, 2010).

Segundo Veigas et al. (2017) a situação climática de Portugal durante a primavera e início do verão de 2017, assinalou-se por uma situação de secura muito grande, proveniente do défice de precipitação registrado no País, em que no dia 17 de junho 80% do País estava em estado de seca extrema.

2.1.4.2 Topografia

Segundo Felix & Lourenço (2017) na topografia compreende as formas de relevo, nas quais frequentemente representada em função da sua forma, altitude, declive e exposição das vertentes. As formas que o relevo influencia o

vento, a temperatura e a humidade relativa do ar, são grandes fatores de interferência nos incêndios florestais (Motta, 2008).

Os incêndios potenciados pela topografia são aqueles que se ampliam segundo a linha de propagação definida pela configuração do terreno. Muitos incêndios em Portugal englobam-se neste tipo, pela diversidade topográfica que caracteriza o território, principalmente as regiões Norte e Centro, que são regiões montanhosas. Quanto maior é a heterogeneidade topográfica de um dado território, maior será a complexidade no controlo do incêndio (Oliveira, 2011).

A velocidade de um incêndio florestal em morros é quase diretamente proporcional à inclinação topográfica. Esta propagação acelerada ocorre pelo evento das partículas de combustível ficarem mais próximas da chama do fogo, secando e aquecendo com mais magnitude os materiais florestais que estão na parte de cima do declive do que os situados na parte inferior (Motta, 2008). Segundo Beighley & Hyde (2018) a continuidade dos combustíveis ao longo de extensos cenários com um relevo muito acentuado aumenta a sensibilidade a incêndios maiores e mais destrutivos. Por outro lado, surgem grandes dificuldades aquando do combate aos incêndios que ocorrem nessas áreas, pela falta de acesso, lugares muito isolados e sem aberturas de estradas de rodagem.

2.2 Impactos dos Incêndios Florestais no Solo

2.2.1 Processos Erosivos e Propriedades Físicas do Solo

2.2.1.1 Processos Erosivos e Cobertura Vegetal do Solo

O clima, a topografia, os materiais de origem, a biota e o tempo são os fatores que estabelecem as características dos solos e das quais é dependente o seu equilíbrio dinâmico. Qualquer alteração em uma dessas variáveis certamente irá afetar o solo. As reações a uma determinada mudança ambiental irão alterar o solo em função da sua sensibilidade a cada tipo de tensão (Bastos & Freitas, 1999).

Segundo Guerra (1994), as propriedades do solo são de grande relevância nos estudos de erosão. Pois, juntamente com outros fatores, determinam a maior ou menor susceptibilidade à erosão. Sendo a erosão do solo entendida como um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos (Guerra, 1994).

A erosão leva a danos ambientais através de sedimentação, poluição e inundações crescentes. Os custos associados ao movimento e deposição de sedimentos na paisagem frequentemente superam os decorrentes da perda de solo em longo prazo nos campos erodidos (Morgan, 2005).

Assim, os solos ardidos são mais suscetíveis à erosão, na decorrência da supressão da cobertura vegetal implicada pelos incêndios e devido às modificações das características físicas e químicas do próprio solo, nomeadamente em grau da repelência, porosidade e estrutura (Caria, 2011). Guerra (1994) complementa que as queimadas além de serem responsáveis pela aceleração da erosão, matam a fauna endopodônica, que causam maior aeração dos solos.

Os fatores relacionados à cobertura vegetal podem influenciar os processos erosivos como, através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos da energia cinética da chuva e do papel da vegetação na formação de húmus, interferindo na estabilidade e o teor de agregados (Guerra, 1994).

A densidade da cobertura vegetal é fator importante na remoção dos sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo (Guerra, 1994). A remoção dessa cobertura reduz a transferência de nutrientes minerais do solo para a biomassa. A água passa a remover nutrientes no solo por lixiviação e escoamento (Bastos & Freitas, 1999). Dessa forma, a remoção da vegetação favorece a degradação do solo, acarretando a erosão, principalmente em solos ardidos onde a superfície fica completamente sem proteção.

2.2.1.2 Textura

A textura é identificada em termos de conteúdo em areia, limo e argila. É um atributo importante para a qualidade do solo que controla a retenção de

água, de nutrientes e as trocas gasosas com a atmosfera, intervindo com outras propriedades e processos que possuem o solo (Fonseca, 2005).

A textura afeta a erosão diretamente, já que algumas frações granulométricas são removidas e transportadas mais facilmente do que as outras (Guerra, 1994). Segundo Pereira & Arrobas (2010) nas condições naturais a textura do solo desenvolvido numa certa área ocorre variância apenas se houver fenômenos intensos de erosão ou de deslizamento de solos. Principalmente quando as áreas são áridas, propiciando a ocorrência desses fenômenos. Sinteticamente pode alterar o solo, quando há entrada de material transportado. Com o fato da introdução destes resíduos, obstrui o fluxo normal da água no solo.

2.2.1.3 Teor de Humidade

É de grande acuidade a existência da humidade no solo para que a vegetação possa equilibrar as perdas por transpiração e para se conservarem hidratadas. Por outro lado, a absorção dos nutrientes necessita da existência de água no solo (Pereira & Arrobas, 2010).

O teor de humidade no solo tem uma função importante na combustibilidade de um determinado complexo combustível. Em combustíveis verdes ou húmidos o fogo propaga-se com dificuldade, quando se propaga, ao passo que combustíveis herbáceos completamente secos proporcionam fogos extremamente rápidos. E a humidade do solo também retarda a penetração de calor no solo (Ferreira et al., 2010). Assim, o teor humidade no solo é importante para sua própria proteção, dificultando a propagação dos incêndios.

2.2.1.4 Densidade Aparente

A densidade aparente é considerada uma propriedade relacionada com a estrutura que se determina pela relação entre massa de solo seco por unidade de volume e representa o nível de compactação ou o grau de proximidade entre partículas (Pereira & Arrobas, 2010).

É um fator controlador que deve ser levado em conta quando se tenta compreender os processos erosivos, pois se refere à maior ou menor compactação do solo relacionado com a quantidade de matéria orgânica no solo (Guerra, 1994).

A densidade do solo pode aumentar ao mesmo tempo em que diminui a sua porosidade e por esse motivo a capacidade de absorver água. A perda da macro e microfauna aquando do fogo pode levar à diminuição da porosidade, alterando o espaço poroso e os caminhos da água ao nível do perfil do solo (Loução, 2017).

O fogo causa efeitos diretamente na densidade aparente do solo, tendendo a aumentar os seus valores (Gonçalves, 2006).

2.2.1.5 Porosidade

Segundo Netto (1994) a razão entre o volume de vazios e o volume total do solo é denominada de porosidade do solo, onde os espaços vazios entre as partículas de solos são chamados de poros e podem estar parcial ou totalmente cheio de água.

A porosidade do solo está relacionada com a textura e estrutura do solo. O tamanho, número e repartição dos poros intervêm na forma como o ar, água e nutrientes dissolvidos se movimentam por meio do volume do solo. O espaço poroso é simples de ser alterável se o solo for movimentado ou compactado (Pereira & Arrobas, 2010).

A capacidade de retenção e de infiltração de água no solo pode ser reduzida por conta dos incêndios. A redução do teor de matéria orgânica faz com que o solo tenha uma menor agregação e menor volume entre as partículas e, portanto, uma menor porosidade (Silva, 2009). Em consequência, o solo apresenta menor disposição para absorver a água.

2.2.1.6 Permeabilidade

Segundo Netto (1994) a permeabilidade do solo está diretamente ligada com a porosidade, solos arenosos são mais permeáveis do que solos argilosos

por apresentar uma porosidade maior. O mesmo autor explica que o coeficiente que representa a permeabilidade é o K, que indica a capacidade do solo transmitir água sob determinada temperatura ou viscosidade.

A redução da permeabilidade após os incêndios é bastante referenciada na literatura, principalmente em relação à hidrofobicidade do solo causada pela libertação, por consequência do fogo, de constituintes de natureza lipídica presentes no material vegetal ardido, podendo variar a condição de persistência pelo grau de severidade dos incêndios e também as condições do ambiente posteriormente ao fogo (Imeson et al., 1992; Are et al., 2009; Woods & Balfour, 2010; Figueiredo et al., 2013).

Portanto a permeabilidade tende a diminuir pós-queimada, pois o solo fica mais exposto, quando chove esse solo fica mais compactado, dessa forma diminuindo sua capacidade de infiltração e intensificando os processos de erosão.

2.2.1.7 Estabilidade dos Agregados

As taxas de erosão dependem do teor de matéria orgânica, da estabilidade dos agregados que influenciam a ruptura desses agregados pelo impacto das gotas de chuva, podendo ser formadas crostas na superfície do solo, dificultando a infiltração e aumentando o escoamento (Guerra, 1994).

Segundo Guerra (1994) a alta estabilidade dos agregados no solo reduz a erodibilidade, pois possibilita a existência de elevada porosidade, dessa forma aumenta a taxa de infiltração, proporcionando maior resistência ao impacto das gotas de chuva, assim diminuindo a erosão. Porém os incêndios vêm para mudar esse panorama, causando efeitos na estabilidade dos agregados.

Segundo uma pesquisa realizada por Thomaz (2011), mostrou-se que com um tempo de 20 minutos de exposição do solo à temperatura de 200°C e 300°C já foi suficiente para ocorrer efeito na estabilidade dos agregados e também no diâmetro dos agregados do solo.

2.2.2 Propriedades Químicas do Solo

2.2.2.1 Matéria Orgânica

A matéria orgânica é de primordial importância na constituição dos solos, principalmente na produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas. Em relação à parte química do solo, abastece um depósito de nutrientes disponíveis para as plantas, gerando uma ampla capacidade de troca catiônica que permite manter nutrientes no solo e funciona como agente quelatante de micronutrientes (Pinto, 2009).

O processo de formação de matéria orgânica no solo depende da flora e da fauna que vive sobre ele. As atividades humanas tendem a provocar mudanças no teor da matéria orgânica do solo (aceleram a decomposição) e em consequência provocam alterações em outras propriedades dos solos (Guerra, 1994).

Segundo Pinto (2009) quando o solo é aquecido durante a passagem dos incêndios em temperaturas de 450°C ou superiores durante um período de duas horas, cerca de 99% da matéria orgânica é removida, sofrendo alterações em sua composição, particularmente as frações lábeis, dependendo da intensidade do fogo. Segundo Certini (2005) a matéria orgânica pode sofrer uma ligeira destilação, carbonização ou oxidação completa dependendo também da intensidade dos incêndios.

2.2.2.2 pH

O pH está relacionado com o teor de acidez no solo, afetando a disponibilidade de nutrientes no solo e a actividade dos microrganismos (Pereira & Arrobas, 2010).

O pH é uma propriedade química que quando afetada pelo fogo, comumente é aumentado, devido à libertação de cátions alcalinos, como, cálcio, magnésio, potássio e sódio presentes na matéria orgânica (Fernandes, 2009). Segundo Beyers et al. (2005) o pH do solo em geral aumenta também

devido à perda de matéria orgânica e seus derivados orgânicos ácidos, que são substituídos por uma abundância de catiões na cinza.

Segundo Solera (1999) o tempo de recuperação do pH original do solo, que sofreu alteração por efeito de um incêndio vai depender de vários fatores, como, a quantidade e natureza das cinzas, o pH original do solo, o tipo de matéria orgânica, a capacidade tampão do solo, assim como as características orográficas e climáticas da região afetada.

2.2.2.3 Fósforo e Potássio

Segundo Espinoza et al. (2013) o fósforo está presente nos solos nas formas orgânica e inorgânica. Pode ser encontrado dissolvido na solução do solo em pequenas quantidades, associados a minerais ou a compostos orgânicos.

Posteriormente ao fogo, o fósforo conservado em formas orgânicas é liberado na forma PO_4^{3-} , e pode depositar-se nas cinzas, elevando a sua disponibilidade para as plantas. Em curto prazo a disponibilidade de fósforo tem um resultado positivo na revegetação, apesar de a longo prazo, a restituição de fósforo ao solo, pelo meio da meteorização dos minerais possa não ser suficiente para o fornecimento às plantas (Fernandes, 2009).

A temperatura de volatilização do fósforo é alta (760°C), confirmando as baixas perdas no solo posteriormente a um fogo florestal, pois temperaturas muito elevadas como esta dificilmente são atingidas (Fernandes, 2009).

Segundo Varennes (2003) o potássio é muito abundante no solo, sendo a maior parte (90-98%) constituinte dos minerais primários (micas e feldspatos). Em solução, o potássio apresenta-se na forma livre (K^+), dado que não tem disposição a desenvolver complexos inorgânicos ou quelatos com compostos orgânicos solúveis.

A destruição da matéria orgânica, que pode acontecer no período em que ocorre o fogo, vai contribuir para a redução da adsorção dos colóides, sendo que os solos desprovidos de matéria orgânica e arenosos são muito pobres em K^+ em solução (Fernandes, 2009).

O potássio possui também uma temperatura de volatilização bem alta (774°C), mas tem comportamento diferente do fósforo, pois pode ocorrer perdas em fogos florestais mais severos (Fernandes, 2009).

De acordo com uma pesquisa realizada por Fonseca et al. (2017) sobre o efeito do fogo prescrito nas propriedades do solo, observaram que o fósforo e o potássio extraíveis apresentaram comportamento diferente. O fósforo extraível aumentou em todas as camadas seis meses após o incêndio quando comparado com a situação de referência. Já o potássio entre dois e seis meses após o incêndio apresentou valores significativamente menores.

2.2.2.4 Capacidade de Troca Catiônica

Segundo Pereira & Arrobas (2010) a capacidade que o solo tem para reter e armazenar nutrientes carregados positivamente é chamada de capacidade de troca catiônica.

A fertilidade do solo está vinculada com a capacidade das partículas do solo reter nutrientes nas suas superfícies. As partículas do solo estão saturadas negativamente e atraem cargas positivas (catiões), assim as partículas do solo que atraem mais catiões são as de menor tamanho, argila e húmus (matéria orgânica). Dessa forma, os solos de textura fina são, geralmente, mais férteis que os solos de textura grosseira. (Pereira & Arrobas, 2010).

A capacidade de troca catiônica diminui em decorrência da perda de matéria orgânica e a saturação em bases aumenta devido à liberação de bases da matéria orgânica ardida (Pinto, 2009), sofrendo impactos diretamente com as ocorrências dos incêndios.

Uma pesquisa realizada por Fonseca et al. (2017) apresenta alguns dados relevantes relativos ao comportamento dos catiões após os incêndios:

- ✓ Trinta e seis meses após o incêndio, a soma de bases ($\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$) diminuiriam significativamente nas camadas mais profundas (5-10 cm, cerca de 50% e 10-20 cm, cerca de 55%)
- ✓ O cálcio é o catião de base mais importante no solo, contribuindo com cerca de 70% para a soma das bases até seis meses após o incêndio, e diminuindo aproximadamente 55% no final dos trinta e seis meses.

Nogueira (2014) também observou uma diminuição em profundidade da capacidade de troca catiónica do solo nas amostragens em sua pesquisa, não registrando alterações expressivas entre diferentes datas de amostragem.

2.2.2.5 Acidez de Troca

A acidez de troca (AT) está associada aos íões Al^{3+} e H^+ , mas principalmente à presença de alumínio (Porta et al., 2003). As decorrências negativas da acidez sobre as plantas são fundamentalmente devido à toxicidade dos íões Al^{3+} e Mn^{2+} presentes nas zonas de troca dos colóides e na solução do solo (Porta et al., 2003).

Fonseca et al. (2017) observaram em sua pesquisa, sobre os efeitos dos incêndios pós-fogo, que trinta e seis meses após o incêndio, a acidez de troca apresenta em todas as camadas de solo estudadas, valores consideravelmente mais altos que a situação de referência.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de Estudo

3.1.1 Localização das Áreas de Estudo

O estudo foi realizado em áreas ardidas nos anos de 2015, 2016 e 2017, selecionadas pela sua semelhança quanto a extensão e severidade do incêndio, solo, zona climática e topografia, sendo as amostras coletadas em locais queimados e, no caso de 2015 e 2016, não queimados adjacentes. Na vizinhança da área ardida em 2017 não foi possível estabelecer um local de coleta com características suficientemente próximas para permitir uma comparação consistente dos efeitos do fogo sobre o solo.

As áreas de estudo localizam-se em três zonas distintas: Freguesias de Soutelo, Parâmio e de Quintela de Lapaças respectivamente para os anos referidos (Figuras 2 e 3), sendo os pontos vermelhos as áreas de estudo. A Figura 4 mostra uma vista parcial da área de amostragem da área de 2017.



Figura 2 - Portugal e localização da área de estudo



Figura 3 - Freguesias das áreas amostradas no NE de Portugal



Figura 4 - Vista parcial da área de amostragem de 2017

3.1.2 Geologia e Solos

Segundo a Carta de Solos no nordeste de Portugal (Agroconsultores & Coba, 1991) no distrito de Bragança aparecem xistos repetidamente metamorfisados e quartzitos do Silúrico e do Ordovícico, os dominantes na formação do maciço são xistos verdes, rochas metabásicas, metaperidotitos, paragneisses e migmatitos e incluindo as rochas intrusivas ultrabásicas; granitos em diversas manchas e depósitos de cobertura do Pliocénico.

Uma grande variedade de rochas aflorantes como xisto, granito, máfico e rochas ultramáficas, materiais sedimentares não consolidados, e ambos se desenvolveram em uma ampla variedade de topografia e condições climáticas (Evelpidou et al., 2010).

Em Soutelo (Figura 5), os solos dominantes são Idox 3.1, que são leptossolos dístricos órticos de xistos e rochas afins. Apresentam as seguintes características: pardacento ou crómico, arenoso-franco; franco-arenoso; franco ou franco-limoso por vezes cascalhento; horizonte C constituído por material saibrento e / ou cascalhento da desagregação da rocha subjacente, em geral com pouca terra pardacenta ou crómica; rocha contínua e coerente (R) que pode seguir-se imediatamente ao horizonte A ou Ap, a partir de 10 a 50 cm de profundidade (Agroconsultores & Coba, 1991).

Não apresenta horizonte B e o horizonte A ou Ap franco, franco-limoso ou franco-arenoso, e com horizonte C constituído por rocha desagregada com ou sem solo, e / ou rocha contínua e coerente a profundidade entre 10 e 50 cm (Agroconsultores & Coba, 1991).

A caracterização genérica apresentada refere-se aos solos identificados como dominantes na unidade cartográfica correspondente a cada área amostrada definida na Carta de Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores & Coba, 1991). A observação de campo efetuada em cada área de amostragem mostrou estar-se em presença de leptossolos úmbricos em todas elas, de xistos em Soutelo (ardida em 2015) e Quintela de Lapaças (ardida em 2017), e de migmatitos em Parâmio (ardida em 2016). Têm em comum a presença de rocha dura a pequena profundidade, a pedregosidade elevada e a presença de um horizonte A úmbrico, escuro e com elevado teor de matéria orgânica (Agroconsultores & Coba, 1991; Figueiredo, 2013).



Figura 5 - Unidades cartográficas de solo de Soutelo (Agroconsultores & Coba, 1991)

Em Parâmio (Figura 6), os solos dominantes são os Idom 1.1, que são leptossolos dístricos órticos de magmáticos e gnaisses blastomylíticos, onde o horizonte A é franco-arenoso e cascalhento, no horizonte C é formado por rocha desagregada em material grosseiro com uma profundidade a partir de 25 a 50 cm (Agroconsultores & Coba, 1991).



Figura 6 - Unidades cartográficas de solo de Parâmio (Agroconsultores & Coba, 1991)

Em Quintela de Lapaças (Figura 7), os solos dominantes são os lux 2.1 que são leptossolos úmbricos de xistos e rochas afins, com o horizonte A úmbrico. São típicos de zonas mais frias e húmidas, mas também podem ser encontrados em áreas que não tenham sido aproveitadas em agriculturas e que tenham conservado sob coberto vegetal, principalmente de matos. Ah ou Ap são franco - arenoso, franco ou franco - limoso, por vezes húmico e / ou cascalhento; geralmente com horizonte C constituído por rocha desagregada com ou sem terra, e rocha contínua e coerente (R) a partir de 10 a 50 cm de profundidade (Agroconsultores & Coba, 1991).



Figura 7 - Unidades cartográficas de solo de Quintela de Lampaças (Agroconsultores & Coba, 1991)

3.1.3 Vegetação

De forma geral a vegetação no distrito de Bragança apresenta as seguintes características de acordo com Agroconsultores & Coba, (1991). Na parte leste, mais acentuadamente continental, além do elenco florístico referido, há a juntar a azinheira (*Quercus rotundifolia*), proliferando ainda o rosmaninho e a esteva. De salientar a vegetação específica das manchas de rochas ultrabásicas, destacando-se a salgadeira (*Allyssum serpillifolium*), o tojo gadanho (*Genista polyanthos ssp. hystrix*), a santolina (*Santolina semidentada*) e a armeria (*Armeria lange*). Em áreas de relevo ondulado e muito ondulado a representação é pequena, nas matas de carvalhos (*Quercus pyrenaica*), são incultos com matos, lameiros ou culturas arvenses de sequeiro extensivo (Agroconsultores & Coba, 1991).

A vegetação predominante em Soutelo (Figura 8) na área em que foram realizadas as coletas foram também Matos Densos 3.2.2.01.1, embora a cartografia das COS (2007) identifique na vizinhança uma área de Culturas temporárias de sequeiro 2.1.1.01.1.

A agricultura de sequeiro é um cultivo sem a utilização da irrigação, dependendo de técnicas de cultivo características, onde é possível um uso eficaz e eficiente da restringida humidade do solo, podendo contribuir positivamente para a manutenção da biodiversidade vegetal (Quaranta, 1999).



Figura 8 - Unidades cartográficas da vegetação de Soutelo (COS, 2007)

A vegetação predominante do Parâmio (Figura 9) e de Quintela de Lampaças (Figura 10) nas áreas que foram realizadas as coletas, é constituída por matos densos (3.2.2.01.1) de acordo com o COS (2007).

e noites frias, exibindo uma média do dia mais quente e a noite mais fria para cada mês nos últimos 30 anos.

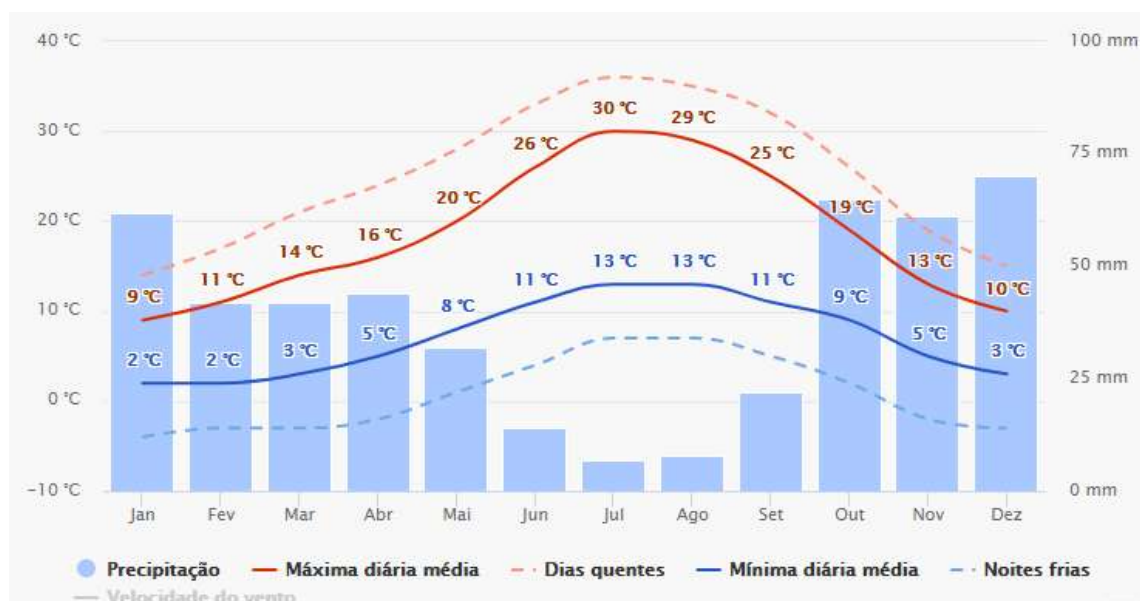


Figura 11 - Temperaturas e precipitações de Bragança, médias dos últimos 30 anos (Meteoblue, 2018)

Com base nos dados do Meteoblue (2018), (Figura 12), o diagrama da temperatura máxima para Bragança mostra em quantos dias por mês se registram determinadas temperaturas. Julho e Agosto é o mês mais quente do ano, com temperaturas máximas acima de 35°C, Dezembro e Janeiro são os meses com as temperaturas mais baixa ao longo do ano.

À semelhança de Bragança das áreas amostradas situam-se na Terra Fria, domínio climático onde as temperaturas médias anuais são menores que 12°C. O clima nessas zonas, dada a sua altitude, caracteriza-se por temperaturas médias inferiores e precipitação superior aos valores indicados para Bragança (Agroconsultores & Coba, 1991).

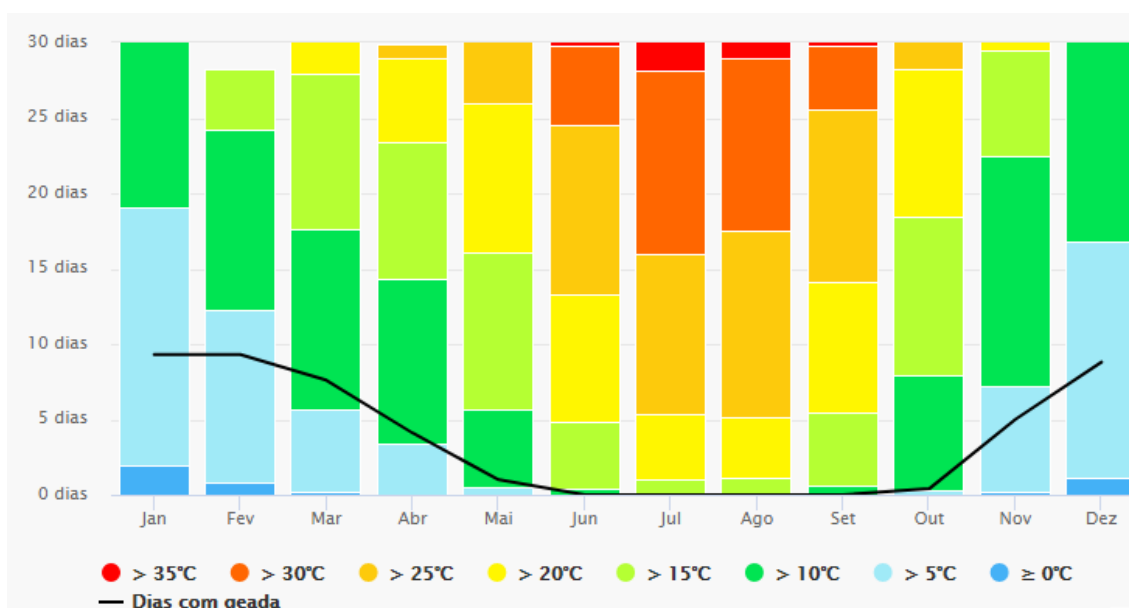


Figura 12 - Temperatura máxima de Bragança, médias nos últimos 30 anos (Meteoblue, 2018)

3.2 Colheita e Preparação de Amostras

Em cada zona de estudo, foram escolhidas áreas de amostragem em locais que arderam e não arderam (com exceção de Quintela de Lapaças, 2017) com características edafoclimáticas e composição da vegetação semelhante. As amostras foram colhidas aleatoriamente em 4 pontos de amostragem na zona queimada e 4 na zona não queimada.

Os incêndios foram todos de verão, no sentido em que ocorreram em tempo quente e seco. Embora o de Quintela de Lapaças tenha ocorrido em outubro, a situação era equivalente à de Verão, uma vez que a situação em 2017 era de seca extrema nessa altura. Foram todos de severidade elevada face ao que foi possível avaliar pela vegetação queimada.

Foram colhidas amostras do solo mineral na camada superficial de 0 - 5 cm e na profundidade maior que 5 cm: uma amostra não perturbada, para a determinação da densidade aparente do solo, e outra perturbada para a realização de análises físicas e químicas do solo. Na mesma superfície, foi ainda colhida uma amostra não perturbada à profundidade 0 - 5 cm, para a determinação da permeabilidade do solo, em cilindro metálico de 100 cm³. As amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e levadas para o laboratório.

As amostras para a determinação da densidade aparente foram colocadas na estufa a 105°C durante 48 horas e pesadas no final desse tempo. As amostras para avaliação de características físicas e químicas do solo foram secas a 45°C durante cerca de 48 horas e posteriormente crivadas num crivo de malha de 2 mm. Dessa forma as amostras foram separadas em dois lotes, elementos grosseiros e terra fina, esta destinada às análises químicas.

3.3 Análises das Propriedades Físicas

As análises físicas foram realizadas no laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança (ESA).

3.3.1 Teor de humidade

O teor de humidade foi realizado pensando 10g da amostra de solo e colocado na estufa a 105°C, durante 48 h. O teor de humidade expresso em % é obtido por (WRBSR, 2006):

$$\% \text{ humidade} = \frac{A-B}{B} * 100$$

A - peso antes da amostra ir à estufa

B- peso da amostra depois de ir à estufa a 105°C

O fator de correção de humidade (fch) para aplicar aos resultados analíticos ou para aplicar à quantidade de amostras a pesar é:

$$\mathbf{fch} = \frac{100 + \% \text{ humidade}}{100}$$

3.3.2 Textura

Foi realizada a textura manual, no qual é colocada uma quantidade de solo na palma da mão, amassando esse solo com pequena quantidade de água, moldando em filamento e sempre na tentativa de fazer uma argola, observando sua maleabilidade, pegajosidade e resistência. Dessa forma

através do tato é possível a classificação da textura do solo. Nas análises desse trabalho foi utilizada com base a classificação feita por Santos (1980).

De acordo com Santos (1980) o comportamento observado identifica várias classes de textura, como, Arenosa, Franco-arenosa, Franca, entre outras.

3.3.3 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada a partir de amostras não perturbadas colhidas num cilindro com um volume de 100 cm³, com a seguinte fórmula (Figueiredo, 2011):

$$D_{ap} = \frac{p}{V_c}$$

D_{ap} – densidade aparente (g/cm³)

p – peso da amostra de solo seco a 105°C (g)

V_c – volume do cilindro (cm³)

3.3.4 Permeabilidade

A permeabilidade (K) foi encontrada pelo método da medição com nível de água constante descrito por Eijkelkamp (s/d) (Figura 13). A lei de Darcy foi utilizada para calcular K aquando da aplicação do método do nível de água constante, para a determinação da permeabilidade. A tabela 1 foi usada para a classificação da permeabilidade do solo.

$$V = k * i * A * t$$

V- volume de água que flui através da amostra (cm³)

k – coeficiente de permeabilidade, (cm/d)

i – gradiente de carga hidráulica, ou seja, a razão entre a altura desde superfície da lâmina de água sobre a amostra até a sua base e o comprimento da amostra atravessada pelo fluxo de água

A – superfície da secção transversal da amostra (cm²)

t – tempo utilizado para o fluxo de água através da amostra

Tabela 1 - Classificação da permeabilidade dos solos (Figueiredo, 2011)

Classificação de permeabilidade (designação)	Valor
Muita rápida	> 25,4
Rápida	12,7 – 25,4
Moderadamente rápida	6,35 – 12,7
Moderada	2,00 – 6,35
Moderadamente lenta	0,50 – 2,00
Lenta	0,13 – 0,50
Muito lenta	< 0,13



Figura 13 - Vista frontal e superior do Permeâmetro

3.3.5 Porosidade Total

A porosidade total do solo (P) foi determinada a partir da Densidade Aparente (D_{ap}) e Real ($D_r = 2,65$) (Figueiredo, 2011):

$$P (\%) = 100 (D_r - D_{ap}) / D_r$$

3.3.6 Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para a Água

Quando é finalizado o ensaio da permeabilidade, as amostras são deixadas a drenar durante dois dias, determinando-se que o teor de humidade nessas condições corresponde à capacidade de campo do solo (CC), ou seja,

a uma estimativa da água retida nos seus microporos (Figueiredo, 2011). Determina-se este teor de humidade pesando a amostra nessas condições (Msolo húmido), antes de colocar na estufa a 105°C para a determinação de Msolo seco (capacidade de campo do solo):

$$\text{CC (\%)} = (\text{Msolo húmido} - \text{Msolo seco}) / (\text{Msolo seco}) * 100$$

Já a capacidade máxima para água (CMA) foi determinada da seguinte forma:

$$\text{CMA (\%)} = (\text{porosidade} / \text{massa de solo seco a } 105^\circ\text{C}) * 100$$

3.3.7 Microporosidade e Macroporosidade

A microporosidade (MicroP) é a expressão volumétrica deste teor de humidade, foi determinada pela seguinte expressão:

$$\text{MicroP (\%)} = \%H_{cc} * D_{ap}$$

A macroporosidade (MacroP) foi estimada pela seguinte expressão:

$$\text{MacroP} = \text{Porosidade total} - \text{MicroP}$$

3.3 Propriedades Químicas

Todas as análises químicas foram realizadas no laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB).

3.3.1 pH

Os valores de pH em H₂O e KCl, foram determinados pelo método potenciométrico, em suspensões de solo: água e solo: KCl (1:2,5), segundo o método dito por van Reeuwijk (2002).

Pesou-se 10g de solo das amostras duas vezes, pelo fato dos valores do pH serem determinados em H₂O e KCl. Utilizou-se 10 mL de água e 10 mL de KCl e em seguida realizou-se a leitura no potenciómetro (Figura 14).



Figura 14 - Potenciômetro

Na tabela 2, apresentam-se os intervalos de pH e respectivas designações do solo (Costa, 1991).

Tabela 2 - Classes de pH do solo (Costa, 1991)

pH	Designação do solo
4,5 ou menor	Hiperácido
4,6 – 5,5	Ácido
5,6 – 6,5	Subácido
6,6 – 7,5	Neutro
7,6 – 8,5	Subalcalino
8,6 – 9,5	Alcalino
9,6 ou maior	Hiperalcalino

3.3.2 Matéria Orgânica

A pesagem dos solos para a determinação da matéria orgânica foi realizada da forma descrita a seguir. Para o solo que apresentou uma coloração mais escura, pesou-se 0,25 g por apresentar mais matéria orgânica e para um solo mais claro 0,50 g. Pesou-se os solos em erlenmeyer de 250 mL, adicionou-se 10 mL de dicromato de sódio e mais 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. Ficou-se meia hora em repouso, depois juntou-se 200 mL de água destilada, em seguida juntou-se 10 mL de ácido orto-fosfórico puro, e 5

gotas de fenantrolina. Numa bureta colou-se a solução de 0,5Fe e deixou-se cair gota a gota até aparecer a cor castanha.

A quantidade de matéria orgânica (MO) foi determinada pelo método de Walkley-Black (Combs & Nathan, 1998) e classificado de acordo com a tabela 3. O cálculo é realizado com base na seguinte expressão:

$$\% \text{ C facilmente oxidável} = \frac{(B - S) * M \text{ de } Fe^{2+} * 12}{\text{Gramas de solos} * 4000} * 100$$

$$\% \text{ de Matéria Orgânica} = \frac{x\%C}{10.58!} \text{ ou } C * 1.72$$

B - mL de solução de ferro necessários para a titulação do branco

S - mL de solução de ferro necessários para a titulação da amostra

$\frac{12}{4000}$ - peso de um miliequivalente de C (g)

Tabela 3 - Classificação dos solos quanto à percentagem de matéria orgânica (Costa, 1991)

Percentagem de matéria orgânica		Designação indicativa do nível de matéria orgânica
Em horizontes de textura grosseira	Em horizontes de textura fina	
20 - 30	30 -15	Muito alto
10 - 5	15 - 7	Alto
5 - 3	7 - 5	Medianamente alto
3 - 2	5 - 2	Médio
2 - 0,5	2 - 1	Baixo
< 0,5	< 1	Muito baixo

3.3.3 Fósforo e Potássio Extraíveis

As formas disponíveis de fósforo e potássio no solo são extraídas por uma solução que combina lactato de amónio e ácido acético a pH 3,7. Os iões fosfato no extrato são determinados colorimetricamente pelo método azul de molibdato de amónio com ácido ascórbico como agente redutor. O potássio é avaliado por fotometria de chama (Almeida, 1960).

Nas análises foi pesado 2 g de solo para um frasco de 100 mL, juntou-se 40 mL de solução extrativa. Num agitador a uma velocidade constante agitou-se durante 2 horas. Filtrou-se para ser realizada a leitura do fósforo no Espectrofotómetro de absorção molecular (Figura 15). E os valores do potássio foram determinados por espectrofotometria de emissão de chama (Figura 16).

Cálculos:

200 = valor lido na solução padrão de 10 ppm

X = valor lido do extrato de solos



Figura 15 - Espectrofotómetro de absorção molecular



Figura 16 - Espectrofotómetro de chama

De acordo com Santos (1991), os solos podem ser classificados em relação aos teores de fósforo e de potássio extraíveis, com os valores demonstrados na tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos solos quanto aos teores de fósforo e potássio extraíveis (Santos, 1991)

Apreciação	Teores de P₂O₅ ou K₂O (mg Kg⁻¹)
Muito baixo	Inferior ou igual a 25
Baixo	26 – 50
Médio	51 – 100
Alto	101 – 200
Muito Alto	Superior a 200

3.3.4 Complexo de troca catiónica

3.3.4.1 Bases de Troca

Os catiões na amostra de solo foram extraídos com uma solução de acetato de amónio ajustada a pH 7.0 Ca e Mg são determinados por espectrofotometria de absorção atómica (AAS); K e Na são determinados por fotometria de emissão de chama(FES) (van Reeuwijk, 2002). A soma das bases de troca (SBT) for determinada de seguinte forma:

$$\text{SBT} = (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}) \text{ cmol kg}^{-1}$$

3.3.4.2 Acidez de Troca e Alumínio de Troca

Os catiões alumínio e hidrogénio foram extraídos com uma solução de KCl 1 M. Depois de filtrada a acidez de troca é avaliada após titulação com NaOH 0,1 M (Sims, 1996).

Os cálculos foram realizados com as fórmulas abaixo (Sims, 1996):

$$\text{Acidez de Troca} = \frac{(\text{mL de NaOH amostra} - \text{mL de HCl branco}) * 0,1}{\text{Peso da amostra (g)}} \text{ (cmol Kg}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Alumínio de Troca} = \frac{(\text{mL de HCl amostra} - \text{mL de HCl branco}) * 0,1}{\text{Peso da amostra (g)}} \text{ (cmol Kg}^{-1}\text{)}$$

3.3.4.3 Capacidade de Troca Catiónica

A capacidade de troca catiónica efetiva (CTCe) e o grau de saturação em bases foram calculados incluindo as bases de troca e a acidez de troca.

$$CTCe = SBT + AT$$

SBT – soma das bases de troca (Ca + Mg + K + Na) (cmol kg⁻¹)

AT – acidez de troca (cmol kg⁻¹)

Os catiões na amostra de solo são extraídos com uma solução de acetato de amónio ajustada a pH 7,0, Ca e Mg são determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AAS); K e Na são determinados por fotometria de emissão de chama (FES) (van Reeuwijk, 2002).

3.3.4.4 Grau de Saturação em base

O grau de saturação em base efetivo (GSBe) foi determinado da seguinte forma:

$$GSBe = (\text{soma de base de Troca} / CTCE) * 100$$

3.5 Análise Estatística

Para a separação das médias dos parâmetros determinados, comparando as áreas amostradas, utilizou-se o critério da Mínima Diferença Significativa (LSD – “Least Significant Difference”), a 5% de probabilidade, calculada a partir dos resultados da ANOVA a um fator (5 áreas; 4 amostras por área).

O tratamento estatístico foi realizado com recurso às ferramentas do software Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades Físicas

4.1.2 Textura

Na camada superficial de 0-5 cm, o solo de Soutelo apresenta uma classe de textura franca a franco-arenosa na área ardida e franco-argilosa na não ardida. Em Parâmio o solo apresenta também uma textura franca a franco-arenosa na área ardida e na não ardida franca e em Quintela uma textura franca (Tabela 5). Na profundidade > 5 cm apenas Soutelo na área ardida que apresentou uma textura diferente, passando a ser franco - argilosa (Tabela 6).

Segundo González-Pérez et al. (2004) os solos pós-fogo têm a tendência de apresentar texturas mais grosseiras. Os solos mais grosseiros têm maior taxa de infiltração e menor escoamento e, portanto menor perda de solo.

Precisamente por haver mais erosão após o fogo, perdem-se as partículas mais finas e por isso os solos podem tornar-se de textura mais grosseira. Este fenômeno deverá ser mais evidente na camada superficial do que em profundidade. De acordo com as tabelas 5 e 6 percebe-se que a textura mais grosseira predomina na camada superficial de 0-5 cm.

Tabela 5 - Classe de textura da camada superficial de 0-5 cm

Local / ano	Classe de textura	
	Área ardida	Área não ardida
Soutelo '15	Franca a Franco-arenosa	Franco-argilosa
Parâmio '16	Franca a Franco- arenosa	Franca
Quintela '17	Franca	

Tabela 6 - Classe de textura da profundidade > 5 cm

Local / ano	Classe de textura	
	Área ardida	Área não ardida
Soutelo '15	Franco-argilosa	Franco-argilosa
Parâmio '16	Franca a Franco-arenosa	Franca
Quintela '17	Franca	

4.1.3 Densidade Aparente

A densidade aparente (Dap) nos casos de Soutelo e de Parâmio, é inferior nas áreas não ardidas relativamente às áreas ardidas, embora as diferenças entre médias não sejam significativas (valores globalmente em torno de 0,8). Em Quintela de Lampaças (área ardida em 2017) o valor médio de Dap é significativamente superior aos restantes (1,1) (Figura 17).

Segundo Leite (2011) a densidade aparente do solo cresce posteriormente ao fogo, como notou-se em sua pesquisa sobre as propriedades físicas e químicas dos solos ardidos. O aumento da densidade aparente nas zonas queimadas está directamente relacionado com a diminuição da porosidade. Dessa forma com o aumento da densidade aparente poderá haver diminuição na infiltração, aumentando por consequência o escoamento superficial e a erosão.

Na pesquisa de Dias (2017) a respeito do impacto dos incêndios florestais no solo, notou-se que os resultados de densidade aparente foram similares e baixos para todos os locais estudados, áreas ardidas e áreas de controlo, com médias de 0,31 [g/cm³] e estatisticamente também não se notaram diferenças entre a área de controlo e a área ardida.

Segundo Hunt et al. (1992) é vantajoso o solo ter uma densidade aparente baixa 1,5 g/cm³ mas preferencialmente abaixo de 1,2 g/cm³ em solos de textura mediana a fina, não pedregosos para um melhor movimento de ar e água através do solo. E os valores de densidade aparente encontrados nesse trabalho são baixos, típicos de solos com teor elevado de matéria orgânica (Porta et al., 2003).

4.1.4 Porosidade

A porosidade (P) nas localidades de Soutelo e Parâmio apresentou diferenças não significativas em seus valores médios, tanto na área ardida como não ardida, variando entre 61% (Parâmio Não Ardida) e 53% (Soutelo Ardida). Em Quintela de Lapaças (2017 Ardida), a média da Porosidade (47%) é significativamente menor do que em Parâmio mas, apesar de ser claramente inferior, não apresenta diferenças significativas relativamente a Soutelo (Figura 18).

Leite (2011) notou em sua pesquisa que a porosidade diminuiu pós-fogo nas áreas de amostragem. Segundo Batista (1995) a ação dos microorganismos e outros organismos da fauna do solo contribuem para a porosidade do solo, sendo esta significativamente reduzida em áreas ardidas.

Quando o incêndio remove a vegetação e a manta morta subjacente, o solo pode ficar totalmente exposto e a porosidade do solo pode diminuir devido ao impacto das gotas de chuva sobre o solo, resultando em quantidades de escorrência muito maiores (Moreira et al., 2010).

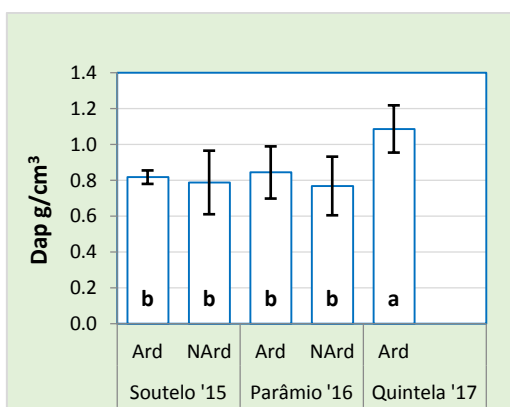


Figura 17 – Densidade aparente (Dap) da camada superficial de 0-5 cm

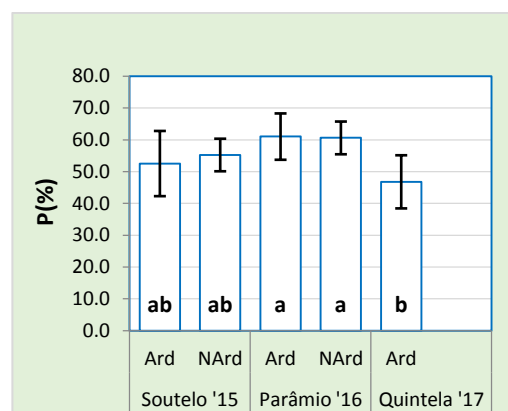


Figura 18 – Porosidade (P) na camada superficial de 0-5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.1.5 Capacidade Máxima para Água

A capacidade máxima para a água (CMA) exceto em Quintela de Lapaças, que mostrou um valor significativamente inferior (43,8%), não apresentou diferenças significativas nos resultados das restantes áreas, que variaram de 82,2% (Parâmio 2016 Não Ardida) a 64,6% (Soutelo 2015 Ardida). Este último valor não difere significativamente do de Quintela de Lapaças, apesar de claramente superior. As áreas ardidadas mostram valores médios de CMA inferiores aos das áreas não ardidadas (Figura 19).

Segundo Agvise (2018) à medida que o nível de matéria orgânica aumenta no solo, a capacidade máxima para a água também aumenta, entre outras razões devido à afinidade da matéria orgânica pela água. Os valores obtidos neste trabalho confirmam esta tendência.

4.1.6 Capacidade de Campo

A capacidade de campo (CC) nas áreas de Soutelo e Parâmio mostrou diferenças não significativas entre os seus valores médios, tanto nas áreas ardidadas como não ardidadas, o maior valor foi de 77,78% em Parâmio na área não ardida e o menor valor foi de 40,45% em Quintela na área ardida (Figura 20).

Já Quintela, área ardida em 2017, apresentou uma média significativamente menor do que os restantes (40%), exceto Soutelo Não Ardida (60%), apesar da grande diferença entre as médias destes dois locais. Podendo notar que os maiores valores de capacidade de campo se obtiveram nas áreas não ardidadas (Figura 20).

Comparando os resultados da capacidade de campo com os da capacidade máxima para a água, verifica-se um padrão semelhante de variação entre as áreas amostradas. Em ambas as propriedades, os valores obtidos neste trabalho são elevados e diretamente associáveis aos elevados teores de matéria orgânica das áreas amostradas (Porta et al., 2003).

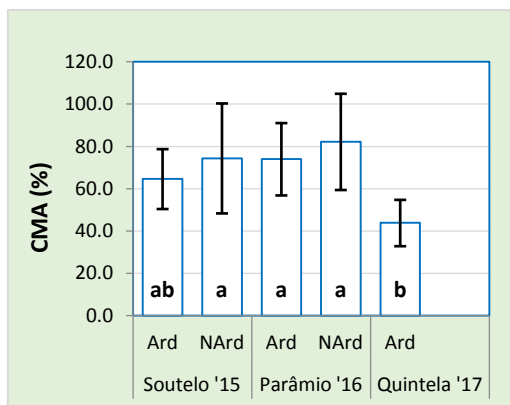


Figura 19 – Capacidade máxima para a água (CMA) na camada superficial de 0-5 cm

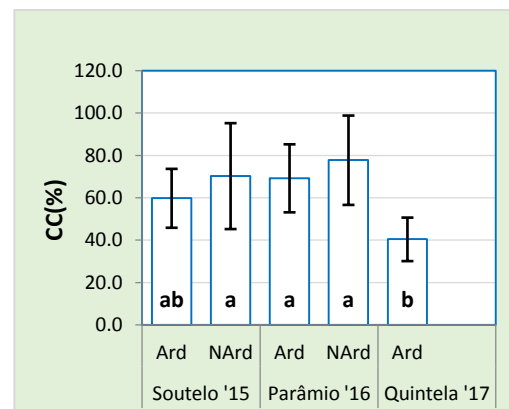


Figura 20 – Capacidade de campo (CC) na camada superficial 0-5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.1.7 Macroporosidade

As médias de macroporosidade nas áreas amostradas apresentaram grandes similaridades (3,1% – 3,9%), não diferindo significativamente entre si (Figura 21). Como seria de esperar pela textura do solo e o teor de matéria orgânica nas áreas amostradas, os valores de macroporosidade são substancialmente menores do que os de microporosidade.

Segundo Batista (1995) a tendência é que a porosidade diminua nos solos ardidos. O mesmo autor explica que os agregados do solo são dispersos pelo impacto das gotas das chuvas e os poros podem permanecer obstruídos pelas partículas de cinzas e outros materiais finos causados pelo fogo, diminuindo com isso a macroporosidade do solo. Pinto (2009) complementa com a ideia que a macroporosidade tem a tendência de diminuir pós-fogo. Esta tendência não se verificou nas áreas amostradas neste trabalho.

4.1.8 Microporosidade

A microporosidade de todas as localidades apresenta valores médios variando entre 43,2% em Quintela de Lapaças (2017 Ardida) e 57,4% em Parâmio 2016 na área não ardida. Os valores de Parâmio são significativamente superiores ao de Quintela de Lapaças, situando-se os de

Soutelo em posição intermédia, não diferindo significativamente tanto de um como de outro desses locais. As áreas ardidadas mostram valores mais baixos de microporosidade do que as áreas não ardidadas (Figura 22).

Os valores obtidos são genericamente elevados e concordantes com os teores de matéria orgânica e com a classe de textura dos solos amostrados (Porta et al., 2003).

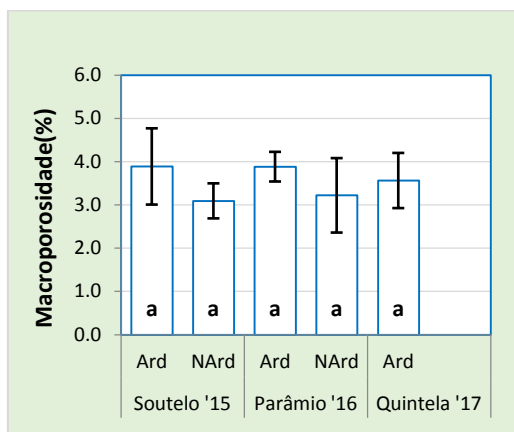


Figura 21 - Macroporosidade na camada superficial de 0-5 cm

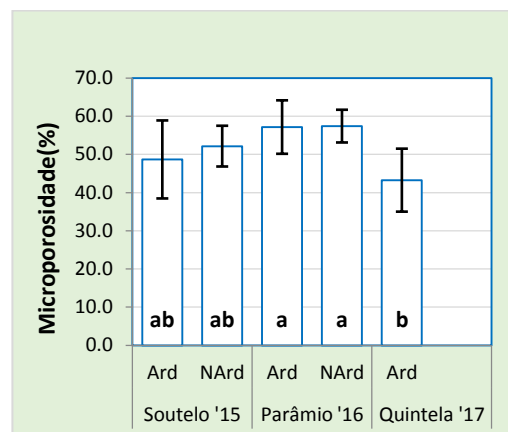


Figura 22 - Microporosidade na camada superficial de 0-5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.1.9 Permeabilidade

Globalmente, verifica-se um aumento da permeabilidade quando comparadas áreas ardidadas com áreas não ardidadas. Em Soutelo (Figura 23), a permeabilidade inicial (K_i) ocorre um pequeno aumento após o fogo, sendo, todavia classificada de muito rápida em ambas as situações. Em Parâmio na permeabilidade inicial (K_i) o aumento foi quase para o dobro na área ardidada relativamente à não ardidada, todavia classificada em ambos os casos como muito rápida.

A permeabilidade final (K_f) (Figura 24) apresentou um padrão de variação entre locais semelhante ao da permeabilidade inicial. No entanto, em Soutelo na área ardidada os resultados foram bem superiores em relação à não ardidada. Com exceção de uma amostra em Quintela de Lapaças, todos os valores de permeabilidade determinados foram classificados de muito rápidos.

Apesar das diferenças muito acentuadas nos valores médios de permeabilidade nos locais amostrados, estes não apresentam diferenças significativas entre si. A elevada variabilidade entre amostras de um mesmo local quanto à permeabilidade justifica esse resultado.

A permeabilidade foi analisada somente na camada superficial de 0 - 5 cm. Pinto (2009) explica que um efeito directo dos incêndios é a formação de uma camada hidrófoba, que diminui a permeabilidade em apenas alguns centímetros de profundidade, podendo apresentar espessura variável. Não foi encontrada esta tendência neste estudo.

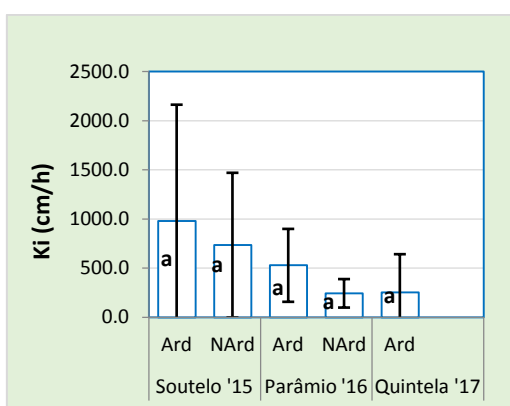


Figura 23 - Ki na camada superficial de 0-5 cm

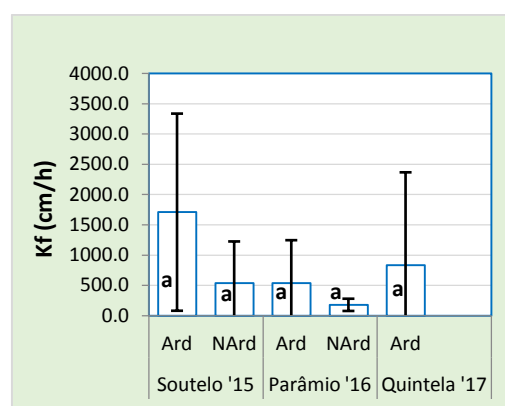


Figura 24 - Kf na camada superficial de 0-5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3 Propriedades Químicas

4.3.1 Matéria Orgânica

Os padrões de variação temporal da matéria orgânica (MO) do solo são semelhantes nas áreas ardidadas e não ardidadas (Figura 25 e 26), porém existem diferenças estatisticamente significativas. Na profundidade > 5 cm os teores de MO são inferiores aos da camada mais superficial (0 - 5 cm) e, no decorrer dos anos a percentagem de MO foi diminuindo.

Na camada superficial de 0 - 5 cm em Soutelo na área ardidada, o teor de MO foi-se 15,52%, e na área não ardidada 15,25%. Enquanto no Parâmio

apresentou 8,43% na área ardida e 10,59% na área não ardida, registrando Quintela o menor valor que foi de 4,23%. Na profundidade > 5 cm, o maior valor de MO foi registrado em Soutelo na área não ardida com 13,94% e o menor foi novamente em Quintela com 2,5%, sendo a área que ardeu mais recentemente.

Segundo um estudo realizado por Torres & Rocha (2014) em um solo onde ocorreu um incêndio florestal, o teor de MO após o incêndio é superior ao do solo não ardido. Dessa forma percebem-se similaridades e também diferenciações nos resultados encontradas neste trabalho comparado com outros estudos.

Segundo González-Pérez et al. (2004) o efeito do fogo sobre a MO está muito dependente, entre outros fatores, do tipo e da intensidade do fogo, da humidade do solo, do tipo de solo e da natureza dos materiais que foram queimados. Dessa forma, o efeito nos processos do solo e sua intensidade devido ao fogo são muito variáveis, característico de cada incêndio.

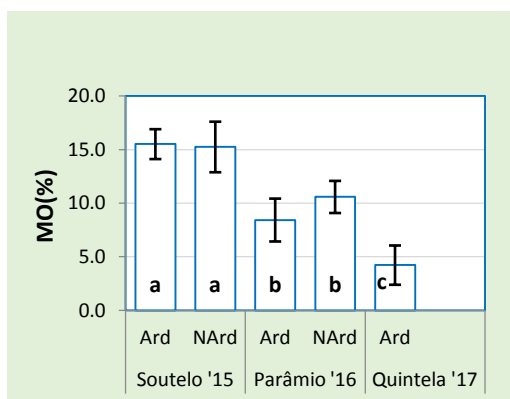


Figura 25 – Matéria orgânica (MO) da camada superficial 0-5 cm

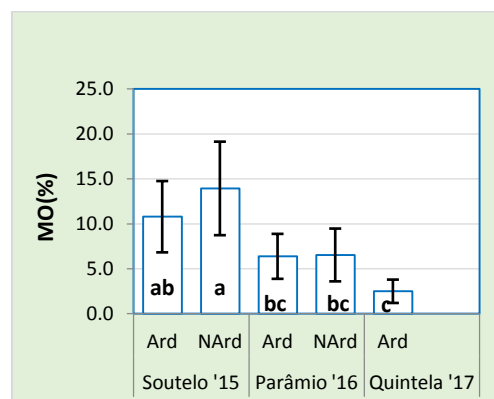


Figura 26 – Matéria orgânica (MO) da profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3.2 pH

Nas três áreas de estudo, incluindo áreas ardidas e não ardidas, os valores de pH (H_2O) apresentam diferenças estatisticamente significativas (Figuras 27 e 28).

Os valores médios de pH do solo representa o grau de acidez ou basicidade. Segundo a classificação de Costa (1991) (Tabela 2), em Soutelo na camada superficial de 0 - 5 cm na área ardida é ácido (4,6 - 5,5), e na área não ardida é hiperácido (4,5 ou menor), aumentando levemente o seu grau de acidez na profundidade > 5 cm, mas com a mesma classificação anterior. Em Parâmio, o pH (H₂O) é classificado como subácido (5,6 - 6,5), para a área ardida e não ardida na profundidade de 0 - 5 cm e também na profundidade > 5 cm, apresentado valores bastante homogêneos. E em Quintela na área ardida, tanto na camada superficial de 0 - 5 cm e a profundidade > 5 cm o pH (H₂O) é classificado como ácido.

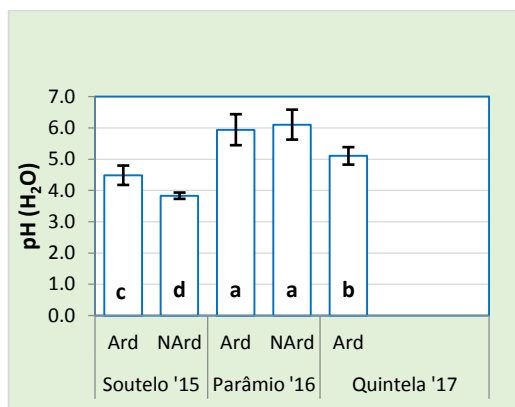


Figura 27 - pH (H₂O) do solo da camada superficial de 0 - 5 cm

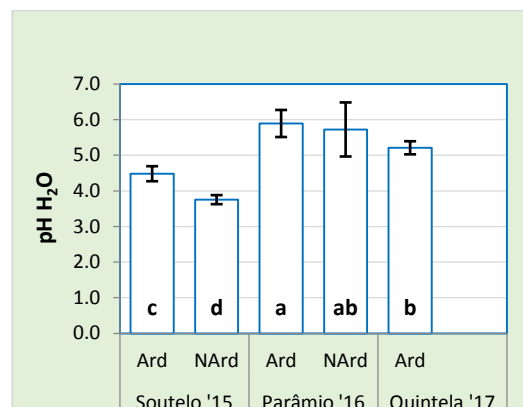


Figura 28 - pH (H₂O) do solo da profundidade > 5 cm

As médias do pH (KCl) apresentam valores ligeiramente menores que o pH (H₂O), apresentando semelhança nos resultados tanto da área ardida como não ardida (Figuras 29 e 30). Assim, de acordo com a Tabela 2, em Soutelo na profundidade de 0 - 5 cm na área ardida e não ardida os solos são hiperácido (4,5 ou menor), apresentando a mesma classificação na profundidade > 5 cm.

Em Parâmio, o pH (KCl) é classificado como ácido (4,6 - 5,5), na área ardida e não ardida na camada superficial de 0 - 5 cm e também na profundidade > 5 cm, tendo muita semelhança em seus valores. Em Quintela, nas duas profundidades amostradas, o pH (KCl) é classificado como ácido.

Portanto, os resultados obtidos foram todos tendendo a ácidos. Também Nogueira (2014), em sua pesquisa apresentou valores médios de pH

do solo antes e pós-fogo, nas três camadas estudadas, classificados como ácidos. Resultados semelhantes são apresentados por Simon et al. (2016).

Na pesquisa de Leite (2011) em seus resultados o pH no solo diminuiu em todas as camadas após o fogo, sendo mais nítida esta diminuição na camada superficial de 0 - 5 cm. Comparando com este trabalho houve pequenas diferenças nos resultados, pois onde ocorreu uma leve diferença do pH foi mais na profundidade > 5 cm, ocorrendo diminuição do pH na área não ardida. Mas em relação à classificação do pH essa mesma autora classificou tanto a área ardida como a não ardida como ácida.

Franco-Vizcaíno & Sous-Ramirez (1997) defendem que as diferenças entre os valores de pH nas áreas ardidas e não ardidas não são significativas, pois chegaram a resultados de pH muito semelhantes.

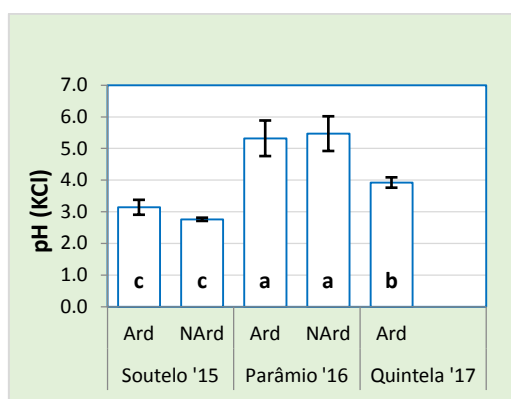


Figura 29 - pH (KCl) do solo da camada superficial de 0 - 5 cm

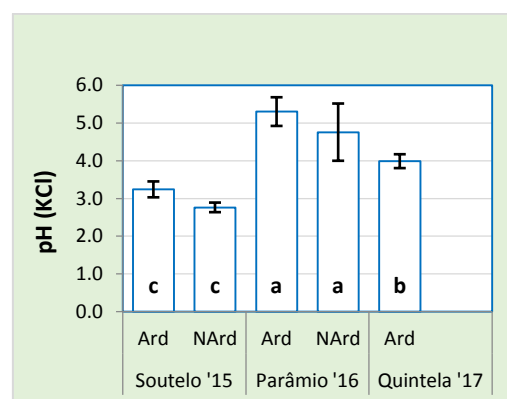


Figura 30 - pH (KCl) do solo da profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3.3 Fósforo

Os teores de fósforo extraível (P_2O_5) tiveram algumas variações em seus valores de acordo com a profundidade. Conforme a Tabela 4, na camada superficial de 0 - 5 cm em Soutelo na área ardida, o teor de fósforo é classificado como baixo e em Quintela como muito baixo e os restantes valores são considerados médios. Já na profundidade > 5 cm em todas as áreas

ardidas os teores de fósforo foram muito baixos e nas áreas não ardidas médios (Figuras 31 e 32).

Segundo Mataix-Solera et al. (2009) posteriormente ao fogo o teor de fósforo pode ser mais elevado que na situação original, devido à ocorrência da mineralização do fósforo a partir das formas orgânicas, colaborando também para o aumento das cinzas. Marcos et al. (2007) em sua pesquisa obtiveram resultados em que o teor de fósforo aumentava com o aumento da temperatura do solo.

Segundo Fernandes et al. (2009) depois da ocorrência de um incêndio o fósforo tende a ficar depositado nas cinzas sobre o solo e dessa forma os teores de fósforo no solo tendem a aumentar. Porém, as cinzas podem ser arrastadas pelo vento, pelo escoamento superficial, erosão, dentre outros fatores, contribuindo, ao contrário, para a redução da quantidade de fósforo no solo. A erosão contribui para a perda de matéria orgânica rica em nutrientes importantes como é o caso do fósforo, o qual não é facilmente recuperado pelos processos de intemperismo (Shakesby et al., 1996).

Fazendo uma comparação com as Figuras 31 e 32, percebe-se que nas áreas ardidas os teores de fósforo foram menores que nas áreas não ardidas. Leite (2011) também observou teores de fósforo mais elevados nas áreas não ardidas. Fonseca (2005) em seu estudo sobre as implicações no solo e no comportamento das plantas das mobilizações, encontrou valores de concentração de fósforo no solo variando de muito baixa a baixa.

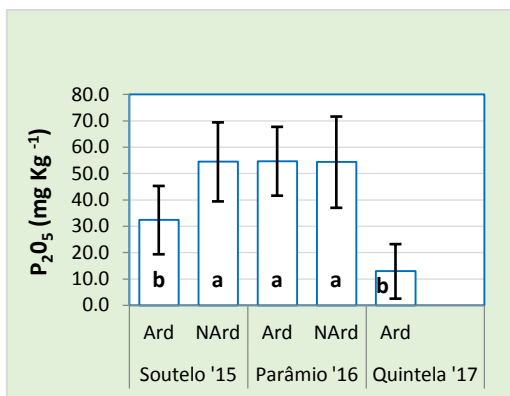


Figura 31 – Fósforo extraível (P₂O₅) do solo na camada superficial 0 - 5 cm

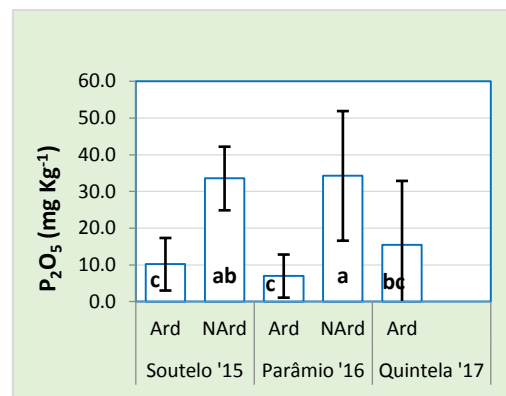


Figura 32 - Fósforo extraível (P₂O₅) do solo na profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, P < 0,05)

4.3.4 Potássio

O comportamento do potássio extraível (K₂O) sofreu algumas oscilações em seus valores (Figuras 33 e 34). De acordo como a Tabela 4 na camada superficial de 0 - 5 cm o teor de potássio em Soutelo foi classificado como alto (101 - 200 mg kg⁻¹) na área ardida e não ardida. Em Parâmio para a área ardida foi classificado como alto e para a não ardida como muito alto (superior a 200 mg kg⁻¹), e em Quintela foi classificado como muito alto.

Na profundidade > 5 cm, o potássio nos solos de Soutelo foi classificado como alto na área ardida e médio na área não ardida, Quintela apresentou um valor muito alto. Parâmio já apresentou na área ardida valor médio e na área não ardida um valor considerado muito alto, portanto neste último caso ocorreu uma divergência em relação aos restantes resultados, pois a tendência registrada foi de enriquecimento do solo em potássio após o fogo. Uma possível explicação, para este comportamento na área de Parâmio, pode estar relacionada com os processos erosivos que tendem a arrastar o potássio depositado nas cinzas e com os processos de lixiviação do solo, uma vez que o potássio é muito móvel no solo (Fonseca, 2005; Leite, 2011).

Em relação à profundidade, nota-se (Figura 33 e 34) que na profundidade > 5 cm os teores de potássio foram menores em todas as áreas. Nogueira (2014) também apresenta resultados similares a este trabalho, pois o

teor em potássio extraível do solo diminuiu em profundidade. Segundo Alauzis et al. (2004) a diminuição de potássio no solo, após as queimadas, são explicadas pelas temperaturas atingidas no solo.

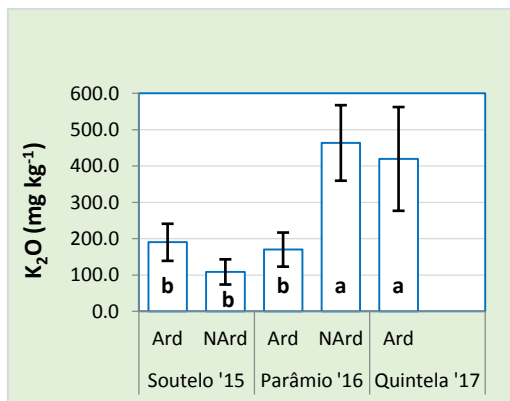


Figura 33 – Potássio extraível (K₂O) no solo na camada superficial de 0 - 5 cm

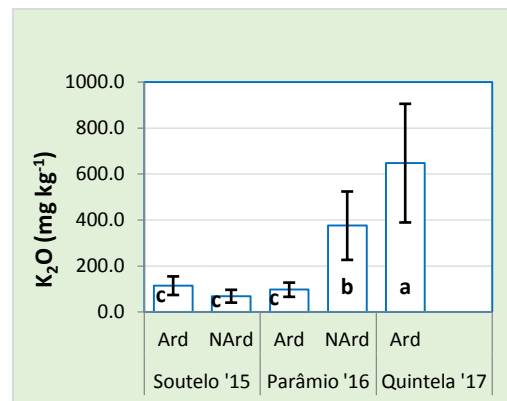


Figura 34 - Potássio extraível (K₂O) no solo na profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, P < 0,05)

4.3.5 Alumínio

O alumínio de troca (Al³⁺) evidencia comportamento parecido dentro de cada área de amostragem, mas estatisticamente com diferenças significativas entre áreas (Figuras 35 e 36). Apenas em Soutelo na profundidade > 5 cm ocorreu uma maior variação de valores, na área ardida foi de 6,03 cmol kg⁻¹ e na não ardida de 4,08 cmol kg⁻¹, e também foi a área que tanto na camada superficial de 0 - 5 cm como na profundidade > 5 cm apresentou um acréscimo nos valores em relação às outras áreas.

Nogueira (2014) observou que a evolução dos teores de alumínio de troca é muito parecida em todas as profundidades estudadas. Batista et al. (1998) notaram que os teores de alumínio de troca não sofreram alterações significativas após as queimadas. Já Rheinheimer et al. (2003) referem em sua pesquisa sobre as modificações dos atributos químicos do solo resultantes da queima de pastagens nativas, uma diminuição dos teores de alumínio de troca após o fogo.

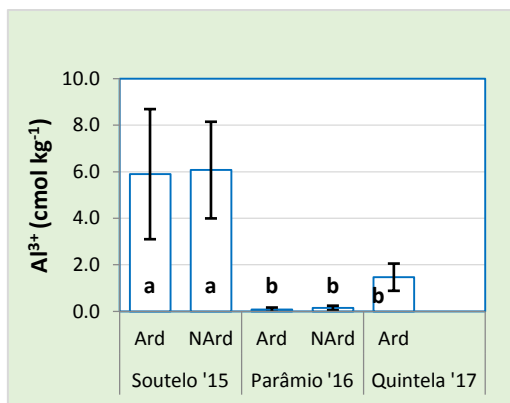


Figura 35 – Alumínio de troca (Al^{3+}) de Troca no solo na camada superficial 0 - 5 cm

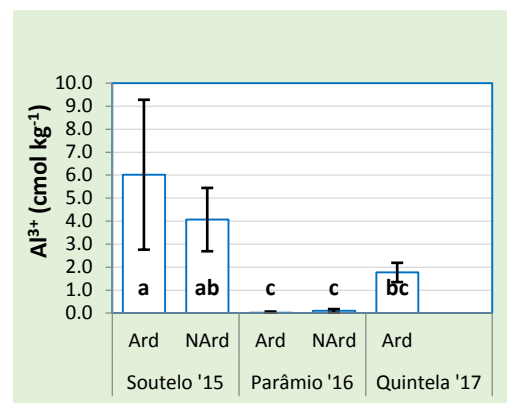


Figura 36 - Alumínio de troca (Al^{3+}) de Troca da profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3.6 Acidez de Troca

Observa-se um comportamento variável na acidez de troca (AT) do solo nas três locais de estudo (Figuras 37 e 38). A variação dos valores da acidez de troca apresentou comportamento semelhante à dos teores do alumínio de troca, exceto em Parâmio onde na área ardida tanto na camada superficial de 0 - 5 cm como na profundidade > 5 cm registaram-se valores mais baixos. Nos outros locais os valores de acidez de troca apresentam valores bem próximos, não sofrendo grandes variações entre a área ardida e a não ardida.

Locatelli et al. (2012) em sua pesquisa sobre a aplicação de métodos convencionais de queima sobre os atributos químicos do solo, observaram que a acidez de troca na área ardida foi menor em relação à área não ardida, não havendo diferenças significativas entre as profundidades do solo. Já Batista (1995) notou em seu estudo de análise do comportamento do fogo em queimas controladas, que as características relacionadas com a acidez de troca no solo mostraram não haver diferenças significativas entre os locais ardidos e não ardidos.

Conforme Soares (1990) a acidez do solo tende a diminuir após as queimadas, uma vez que a matéria orgânica é ardida e várias das substâncias nela contida são liberadas em formato de óxidos, restando os carbonatos, que normalmente apresentam uma reacção alcalina. Wells et al. (1979) observaram

que a acidez nas camadas superficiais do solo também diminuiu após a ocorrência do fogo, mas explicam que essa redução é passageira dependendo da abundância e composição da cinza liberada, do pH e da humidade do solo. Dessa forma os resultados encontrados neste trabalho possuem similaridades com outras pesquisas.

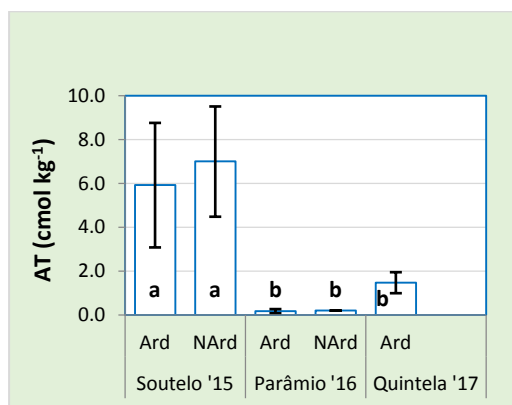


Figura 37 – Acidez de troca (AT) no solo na camada superficial 0 -5 cm

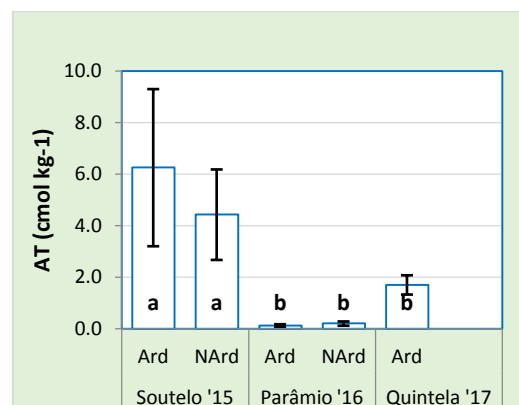


Figura 38 - Acidez de troca (AT) na profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3.7 Soma de Bases de Troca

A soma de bases de troca (SBT) apresentou valores mais elevados nas áreas não ardidadas em relação às áreas ardidadas (Figuras 39 e 40), com exceção de Parâmio na profundidade > 5 cm que obteve valores muito parecidos do local ardido com $19,42 \text{ cmol kg}^{-1}$ e do não ardido $18,80 \text{ cmol kg}^{-1}$, sendo estatisticamente similares.

Segundo Nogueira (2014) a soma de bases de troca, normalmente diminui posteriormente ao fogo em todas as profundidades. Esse mesmo autor notou em seu trabalho que ao fim de três anos, na camada de 0 - 5 cm, não se observaram alterações estatisticamente significativas nos teores das bases de troca. Já Leite (2011) notou que as bases de troca diminuíram com a profundidade nas áreas ardidadas e não ardidadas nas zonas de amostragem. Neste trabalho também ocorreu, geralmente, um decréscimo dos teores da soma de bases de troca na profundidade > 5 cm.

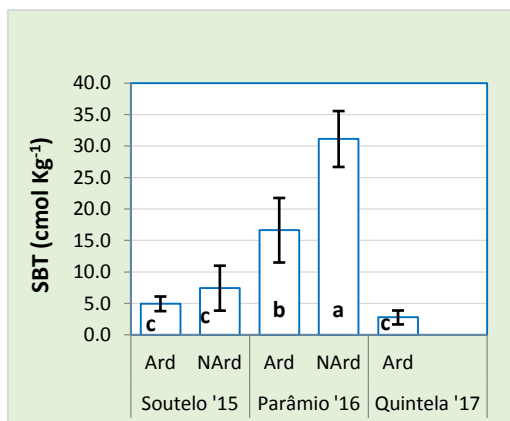


Figura 39 – Soma de bases de troca (SBT) na camada superficial de 0 - 5 cm

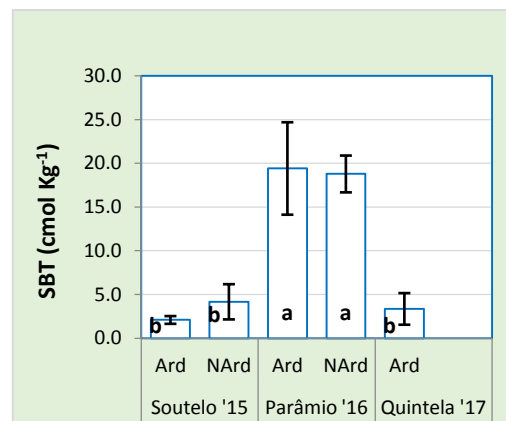


Figura 40 - Soma de bases de troca (SBT) da profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3.8 Capacidade de Troca Catiônica efetiva

O padrão de variação da capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) não é similar no decorrer do tempo (Figuras 41 e 42). Em Soutelo a CTCe diminuiu da camada superficial de 0 - 5 cm para a camada de profundidade > 5 cm. No Parâmio na área ardida os valores são semelhantes em ambas as camadas, ocorrendo na área não ardida uma ligeira redução na profundidade > 5 cm. Já Quintela teve um ligeiro acréscimo na profundidade > 5 cm.

Leite (2011) e Batista et al. (1998) chegaram a resultados similares, pois registraram um aumento da CTCe após o fogo. Já Nogueira (2014) notou que a CTCe não é similar ao longo do tempo, três anos após o fogo na camada superficial de 0 - 5 cm, notou uma diminuição do valor da CTCe de cerca de 8%, mas em camadas mais profundas observou um pequeno acréscimo (1%), relativamente ao valor alcançado antes do incêndio.

Mataix-Solera (1999) explica de uma forma geral o que ocorre com a CTCe em relação ao fogo. Existe uma ligação entre a CTCe e a matéria orgânica, verificando-se que a destruição da matéria orgânica por interferência dos incêndios reduz a capacidade dos catiões permanecerem retidos no complexo adsorvente. Dessa forma, estes catiões continuam mais aptos a

serem lixiviados em profundidade no perfil do solo, ou pela água das chuvas, conduzindo a um empobrecimento do solo em nutrientes.

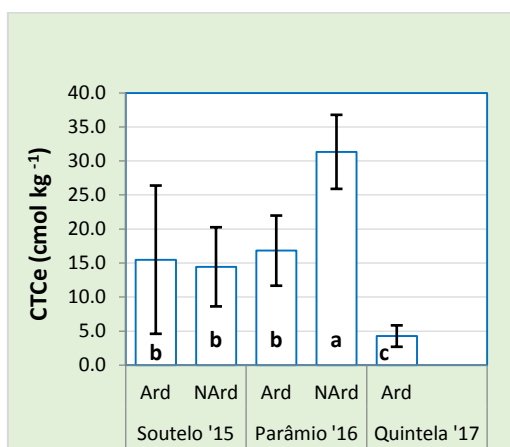


Figura 41 – Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) na camada superficial de 0 - 5 cm

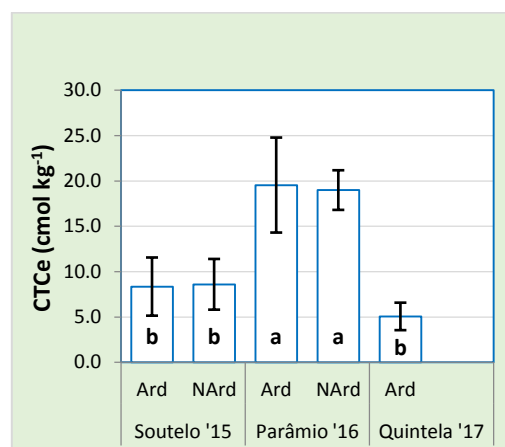


Figura 42 – Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) na profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.3.9 Grau de Saturação de Bases

O grau de saturação em bases (GSB) diminuiu na profundidade > 5 cm, Parâmio manteve os mesmos valores tanto na camada superficial de 0 - 5 cm como na profundidade > 5 cm (Figuras 43 e 44).

Segundo Fonseca (2005), o grau de saturação em bases está relacionado com a soma de bases de troca e com a capacidade de troca catiónica efetiva. Dessa forma, o que se pode notar é que a diminuição do GSB decorre do decréscimo da soma das bases de troca e da elevada acidez de troca no solo, que ocorreu ao longo do tempo após os incêndios.

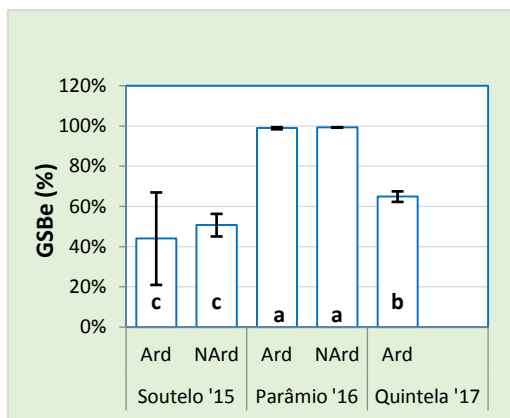


Figura 43 – Grau de saturação em bases (GSBe) na camada superficial de 0 - 5 cm

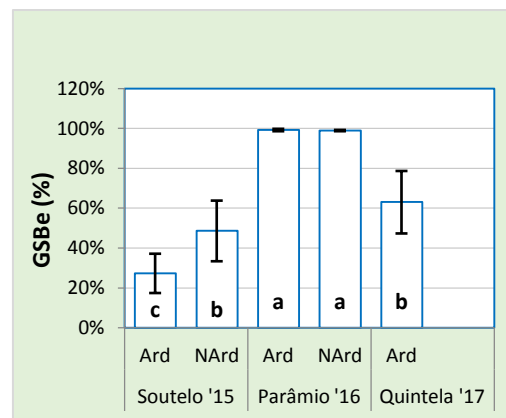


Figura 44 – Grau de saturação em bases (GSBe) na profundidade > 5 cm

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste LSD, $P < 0,05$)

4.5 Resultados Globais Obtidos

A Tabela 7 apresenta um breve resumo das mudanças das propriedades físico-químicas do solo nos anos de 2015 e 2016 de amostragem após o fogo. Nota-se que as propriedades físico-químicas dos solos sofreram flutuações no decorrer desse tempo.


Para realizar as análises de modificações do solo pós-fogo foi tomada como referência as áreas que não arderam para avaliar a recuperação global da condição original de pré-incêndio, no que diz respeito às propriedades físico-químicas do solo.


De facto, após dois e três anos, os efeitos do fogo ainda são visíveis na matéria orgânica, no fósforo, no potássio, na soma de bases de troca, na capacidade de troca catiónica, no grau de saturação em base, na capacidade máxima para a água e na capacidade de campo, geralmente com valores significativamente inferiores à situação anterior ao incêndio. Em contraste, apenas o pH (H_2O) e o alumínio mostraram valores significativamente maiores pós-fogo.


No entanto, a camada superficial de 0 - 5 cm teve uma recuperação um pouco mais rápida quando comparada com a profundidade maior que 5 cm.

Tabela 7 - Evolução temporal das propriedades físico-químicas do solo após o fogo prescrito em relação à situação pré-incêndio

Propriedades do solo	Profundidade			
	0 - 5 cm		> 5 cm	
	Soutelo (2015)	Parâmio (2016)	Soutelo (2015)	Parâmio (2016)
Propriedades Químicas				
Matéria Orgânica (MO)	+	-	-	-
pH H ₂ O	+	-	+	+
pH KCl	+	-	+	+
Fósforo (P ₂ O ₅)	-	+	-	-
Potássio (K ₂ O)	+	-	+	-
Soma de Base de Troca (SBT)	-	-	-	+
Acidez de Troca (AT)	-	=	+	-
Alumínio (Al ³⁺)	-	-	+	-
Capacidade de Troca catiônica (CTC)	+	-	-	+
Grau de Saturação de Base (GSB)	-	=	-	=
Propriedades Físicas				
Densidade Aparente (Dap)	+	+		
Capacidade Máxima para Água (CMA)	-	-		
Capacidade de Campo (CC)	-	-		
Porosidade (P)	-	+		
Macroporosidade (MacroP)	+	+		
Microporosidade (MicroP)	-	-		

 significativamente maior (+) ou significativamente menor (-) que a situação anterior ao fogo

 ligeiramente maior (+) ou menor (-) do que a situação anterior ao fogo, mas não estatisticamente significativa

 igual ao do valor da situação de referência

5 CONCLUSÕES

Com esta pesquisa pretendeu-se cooperar com mais informação sobre os efeitos pós-fogo em propriedades físico-químicas do solo ao longo do tempo e em profundidades diferentes, dessa forma foram realizadas colheitas e amostras de solo, em três anos distintos depois das ocorrências dos incêndios nessas áreas.

Os resultados alcançados admitem concluir que ocorreram alterações físico-químicas no solo. Notaram-se diferenças significativas em algumas das propriedades analisadas. Na camada superficial de 0 - 5 cm as propriedades que foram estatisticamente significativas pós - fogo em Soutelo foram, o pH (H₂O) apresentando valores maiores, o fósforo, a capacidade máxima para água e a capacidade de campo com valores menores pós-fogo. Em Parâmio foram, potássio, soma de base de troca e a capacidade de troca catiónica, apresentando valores menores depois dos incêndios. Na profundidade maior que 5 cm, em Parâmio, a matéria orgânica, o fósforo e o grau de saturação em base diminuíram pós-fogo, já o pH (H₂O) e o alumínio aumentaram com ação do fogo. Em Parâmio o pH (H₂O) também aumentou e o fósforo e o potássio diminuíram.

Em relação à Quintela, área ardida em 2017, comparando com os demais anos, apresentou alguns valores bem abaixo das demais áreas e outros mais elevados, por ser o local mais recente das ocorrências dos incêndios. Na camada superficial de 0 - 5 cm, matéria orgânica, fósforo, soma de base de troca, capacidade de troca catiónica, potássio, capacidade máxima para água, capacidade de campo, porosidade, macroporosidade, microporosidade e permeabilidade inicial, sendo todas essas propriedades com valores abaixo dos demais locais estudados. Já na profundidade maior que 5 cm, são, potássio e fósforo apresentando valores menores; na camada superficial de 0 - 5 cm são as propriedade de potássio e a densidade aparente com valores maiores.

Verificou-se que as propriedades físico-químicas sofreram alterações de forma diferente, ao longo do perfil do solo. O fogo interferiu as propriedades do solo, que com o passar do tempo tendem a evoluir para a situação pré-fogo.

Este trabalho tem como importância o conhecimento do comportamento do solo em três áreas que arderam no Distrito de Bragança no Nordeste de Portugal. Através de análises estatísticas, percebendo-se o comportamento, as perdas ou aumento das propriedades físico-químicas dos solos ardidos no decorrer desses anos, 2015, 2016 e 2017

Assim, a recuperação da maioria das propriedades físico-químicas do solo, em comparação com as áreas não ardidas, foi um pouco mais rápida na camada superficial 0 - 5 cm isto é, interpretado como consequência da atividade biológica e os processos de intemperismo que são mais fortes na superfície do que nas outras camadas do solo.

O período de recuperação pós-fogo das características do solo pode em algumas áreas ser relativamente longo, superior aos 2 anos. Isso significa que as funções do solo, designadamente as o suporte de vegetação, a regulação do ciclo da água e de nutrientes, e a proteção do solo contra a erosão ficam limitadas. Deste modo, nesse período, extensas áreas podem gerar perdas de solo, água e nutrientes por erosão que irão afetar as linhas de água e os ecossistemas aquáticos adjacentes às encostas ardidas.

As áreas estudadas são todas de clima mediterrâneo, prevalecendo meses secos de verão gerando condições favoráveis para a ignição e, assim, a ocorrência e propagação do fogo. O que mostra uma extensão cada vez maior de áreas não gerenciadas, aumentando o número de incêndio. Dessa forma é necessário tomar medidas mitigadoras e uma melhor gestão dessas áreas que possuem um maior risco de ignição para que o número de incêndios possa diminuir no país.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agroconsultores & Coba, 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.

Agvise, 2018. Water Holding Capacity. Laboratories. Disponível em: <https://www.agvise.com/educational-articles/water-holding-capacity/>. Acesso em 09 de set. 2018.

Alauzis, M.V., Mazzarino, M.J., Raffaele, E., Roselli, L., 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecology and Management* 192, 131-142.

Almeida, L.A.V., Balbino, L.R., 1960. Determinação do fósforo e potássio assimiláveis em alguns solos do país. *Anais do Instituto Superior de Agronomia* 23. Lisboa.

Assembleia da República, 2015. Análise da Problemática dos Incêndios Florestais. Relatório do Grupo de Trabalho, volume 1, Lisboa.

Bacalhau, M., 1999. Sem Floresta não há vida: Prevenção, Segurança e Combate aos Incêndios nas Florestas, nas Instalações e nos Equipamento Rurais. Lisboa: MR 2000: Associação para a Promoção da Qualidade de Vida no Meio Rural, 124 p.

Bastos, A.C.S., Freitas, A.C., 1999. Agentes e Processos de Interferência, Degradação e Dano Ambiental. Org. Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. Avaliação e Perícia Ambiental. Editora: BCN União de Editoras S.A. Rio de Janeiro.

Batista, A.C., Reissmann, C.B., Soares, R.V., 1997. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés-PR. *Floresta*, 27(1/2).

Batista, A.C., 1995. Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda*. Curitiba/Brasil (Tese de doutorado).

Beighley, M., Hyde, A.C., 2018. Gestão dos Incêndios Florestais em Portugal numa Nova Era. Avaliação dos Riscos de Incêndio, Recursos e Reformas.

beyers, J.L., Robichaud, P. & Neary, D., et al., (2005). Wildfire in Ecosystems – Effects of Fire on Soil and Water - Cap 3, Soil Chemistry, USDA Forest Service Service General Technical Report RMRS-GTR-42- volume 4.

Bugalho, M., Silva, L., Do Ó., 2009. Incêndios Florestais e Alterações Climáticas. WWF Mediterranean Programme, Lisboa.

Caria, M.M.P.F.D., 2011. Erosão e exportação de matéria orgânica do solo em áreas ardidas. Master's thesis, Universidade de Aveiro.

Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143 (1), 1-10.

Combs, S.M., Nathan, M.V., 1998. Soil organic matter. Recommended chemical soil test procedures for the north central region. North Central Regional Res. Publ. 221, 53-58.

Costa, J.B., 1991. Caracterização e Constituição do Solo. Lisboa. Fundação Caloute Gulbenkian.

Dias, P.R.F., 2017. Impacto dos incêndios florestais na respiração basal do solo em floresta de pinheiro bravo. Master's thesis, Universidade de Aveiro.

Eijkelkamp, S.D., s/d. Operating instruction 09.02 Laboratory permeameters. Giesbeek N.L.

Evelpidou, N., Figueiredo, T. D., Mauro, F., Tecim, V., Vassilopoulos, A., 2010. Natural Heritage from East to West. Springer.

Espinoza, I., Norman, R., Slaton, N., Daniels, M., 2013. The Nitrogen and Phosphorous Cycle in Soils. University of Arkansas, United States Department of Agriculture and County Governments Cooperating. FSA2148-2M-10-05N. Printed by University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services.

FAO - Food and Agriculture Organization, 2001. Global forest fire assessment 1990-2000. FAO/Forestry Department, Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/006/AD653E/AD653E00.HTM>. Acesso em: 12 jan. 2018.

FAPAS, 2018. Fundo para a Proteção dos Animais Selvagens Cidadania. Sustentabilidade e Conservação. Matos e Matagais. Disponível em: <http://cidadania.fapas.pt/matos-e-matagais/>. Acesso em: 25 jun. 2018.

Félix, F., Lourenço, L., 2017. O tempo de resposta do ataque inicial a incêndios florestais nos espaços mais sensíveis de Portugal: o exemplo prático da serra da Lousã. *Territorium* 24, 187-211.

Ferreira, A.D., Coelho, C., Silva, J.S., Esteves, T., 2010. Efeitos do Fogo no Solo e no Regime Hidrológico. Editores: Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F. *Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas*. Editora: ISA Press, Lisboa.

Fernandes, R.C., Cordovil, C.M., De Varennes, A., 2009. Use of Organic Residues to recover Nutrients and Organic Matter Pools in burned soils. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.

Fernandes, P., 2004. Tabelas de avaliação da combustibilidade e severidade do fogo em povoamentos florestais. Sistemas de Gestão florestal sustentável. Aplicação dos critérios pan-europeus para a gestão florestal sustentável.

Fernandes, R.C.L., 2009. Recuperação de solos florestais ardidos com recurso a resíduos orgânicos e a sua influência na matéria orgânica do solo. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Figueiredo, T., 2011. Determinação laboratorial da condutividade hidráulica do solo e Realização de exercícios sobre exploração de aquíferos. Escola Superior Agrária de Bragança.

Figueiredo, T. de, 2013. Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Série Estudos Nº 94. Escola Superior de Agrária, Instituto Politécnico de Bragança.

Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Queirós, A., 2013. Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: resultados de um ano de ensaio no Parque Natural de Montesinho. In António Bento Gonçalves e António Vieira (Eds.) Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos. Braga: Universidade do Minho. pp. 267-277.

Florestar, 2007. Sustentabilidade da Floresta - Guia Prático de Intervenção em Áreas Florestais Sensíveis aos Riscos, Risco de Erosão, Incêndio e Fitossanitários. "Florestar – Sustentabilidade da Floresta" no âmbito da Iniciativa Comunitária EQUAL.

Fonseca, F., 2005. Técnicas de preparação do terreno em sistemas florestais: Implicações no solo e no comportamento das plantas. Tese de Doutorado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real.

Fonseca, F., Figueiredo, T., Nogueira, C., Queirós, A., 2017. Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain area. *Geoderma* 307, 172-180.

Franco-Vizcaíno, E., Sosa-Ramirez, J., 1997. Soil properties and nutrient relations in burned and unburned Mediterranean-climate shrublands of Baja California, Mexico. *Acta Oecologica* 18(4), 503-517.

Gonçalves, R., 2006. Efeitos do fogo no solo. *Gazeta Digital*. Disponível em: <http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/60/materia/106837/t/efeitos-do-fogo-no-solo>. Acesso em: 20 jul. 2018.

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.

Guerra, A.J.T. Organização: Guerra, A.J.T, Cunha, S.B., 1994. *Processos Erosivos nas Encostas*. Capítulo 4. *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Editora: Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro.

Hubbert, K.R., Preisler, H.K., Wohlgemuth, P.M., Graham, R.C., Narog, M.G., 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water

repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. *Geoderma* 130, 284-298.

Hunt, N., Gilkes, R., 1992. *Farm Monitoring Handbook – A practical down-to-earth manual for farmers and other land users*. University of Western Australia: Nedlands, WA, and Land Management Society: Como, WA.

ICNF, 2014. *Análise das Causas dos Incêndios Florestais 2003 - 2013*. Disponível em: <file:///C:/Users/Adriana/Downloads/Relatorio-Causas-incendios-2003-2013.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2018.

IFN (6° - Inventário Florestal Nacional), (2013). Disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/ficheiros/ifn/ifn6-res-prelimv1-1>. Acesso em: 25 jun. 2018.

Leite, M.M., 2011. *Impacto dos incêndios nas propriedades dos solos em áreas de montanha sob coberto de matos*. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Tese de mestrado.

Locatelli, M., Gonçalves, E.L., Marcolan, A.L., Fernandes, S., Pequeno, P.D.L., Vieira, A., Marcante, P., 2012. *Características Químicas do Solo Como Resultado do Corte e Trituração de Capoeira em Porto Velho, Rondônia. Maceió/Alagoas. Responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2012. 1 CD-ROM. FERTBIO 2012*.

Loução, M.A.M., 2017. *Fogo: O que Mudou no Solo e o que Devemos Fazer para o Recuperar*. Wilder. Disponível em: <http://www.wilder.pt/historias/fogo-o-que-mudou-no-solo-e-o-que-devemos-fazer-para-o-recuperar/>. Acesso em: 06 fev. 2018.

Lourenço, L. (1990). *Impacte Ambiental dos Incêndios*. Instituto de Estudos Geográficos Faculdade de Letras - Universidade de Coimbra. *Cadernos de Geografia*.

Lourenço, L., 1992. *Avaliação do risco de incêndio nas matas e florestas de Portugal Continental*. *Finisterra*, 27(53/54).

Lourenço, L., Fernandes, S., Gonçalves, A.B., Castro, A.M., Nunes, A., Vieira, A., 2011. *Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010)*. *Caderno de geografia* 30-31, 61-80.

Lourenço, L., Bernardino, S., 2013. *Condições meteorológicas e ocorrências de incêndios florestais em Portugal Continental (1971-2010)*. *Cadernos de Geografia* 32, 105-132.

Marcos, E., Tárrega, R., Luis-Calabuig, E., 2007. *Changes in a Humic Cambisol (100-500°C) under laboratory conditions: The significance of heating time*. *Geoderma* 138, 237-243.

Martins, S.D.R., 2010. Incêndios florestais: comportamento, segurança e extinção. Master's thesis, FEUC.

Mataix-Solera, J., Cerdà, A., 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (Eds), Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles, Càtedra de Divulgación de la Ciencia-Fuegored, Valencia, 27-53.

Mataix-Solera, J., 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral (ph-D). Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.

Meteoblue, (2018). Clima Bragança. Disponível em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/modelclimate/bragan%C3%A7a_portugal_2742027. Acesso em: 27 jun. 2018.

Moreira, F., Catry, F.X.; Silva, J.S.; Rego, F., 2010. Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas. Isapress, Lisboa. 323 pp.

Morgan, R.P.C., 2005. Soil Erosion and Conservation Third Eddition. Austrália Editora: Blackwell Publishing.

Motta, D.S., 2008. Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

Netto, A.L.C., 1994. Organização. Guerra, A.J.T, Cunha, S.B. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Editora Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro.

Nogueira, C., 2014. Efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo em áreas de montanha sob coberto de matos: o caso de Aveleda, Parque Natural de Montesinho. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança.

Oliveira, E., 2011. Introdução ao Comportamento do Fogo, Incêndios Conduzidos pela Topografia. Disponível em: http://gtfsdoaltominho.blogspot.pt/2011/10/introducao-ao-comportamento-do-fogo_27.html. Acesso em: 15 jan. 2018.

Paiva. J., 2013. Incêndios florestais, causas e consequências. Disponível em: <https://www.publico.pt/2013/09/07/jornal/incendios-florestais-causas-e-consequencias-27044990>. Acesso em: 24 jan. 2018.

Pereira, E., Arrobas, M., 2010. Preparação do Solo. Manual de Boas Práticas em Espaços Verde, Bragança.

Pereira, H.M., Domingos, T., Vicente, L., Proença, V., 2009. Ecosistemas e Bem-Estar Humano. Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment. Escolar Editora, 734.

Pinto, R.M.D.S., 2009. Recuperação de um solo florestal queimado por aplicação de resíduos orgânicos. Respiração induzida por substrato dos microrganismos do solo. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa.

Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C., 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente (3ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

Quaranta, G., 1999. Agricultura de Sequeiro. Land Care in Desertification Affected Areas. ICNF. Disponível em: http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/unccdPT/ond/lucinda/c4_booklet_final_pt_rev2. Acesso em: 20/06/2018.

Rocha, J.M.F., 2016. Incêndios florestais como fator de erodibilidade do solo: aplicação experimental de técnicas de fogo controlado e de parcelas de erosão no município de Santo Tirso. Tese de Mestrado, Universidade do Minho Instituto de Ciências Sociais .

Rheinheimer, S.D., Santos, C.P., Fernandes, V.B.B., Mafra, L.A., Almeida, J. A., 2003. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. Ciência Rural, Santa Maria, v.33, n.1, jan-fev, p.49-55.

Santos J. Q (1980). Avaliação da Textura Manual de Campo. ISA – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.

Santos, J.Q., 1991. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. Publicações Europa América, Mem Martins.

Shakesby, R.A., Boakes, D.J., Coelho, C.O.A., Gonçalves, A.J.B., Walsh, R.P.D., 1996. Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests in Portugal. Applied Geography 16 (4), 337-355.

Simon, C.A., Ronqui, M.B., Roque, C.G., Desenso, P.A.Z., Souza, M.A.V., Kühn, I.E., Penha S.C., 2016. Efeitos da queima de resíduos do solo sob atributos químicos de um latossolo vermelho distrófico do cerrado. Nativa, Sinop, v.4, n.4, p.217-221, jul./ago.

Sims, J.T., 1996. Lime requirement. In. Methods of Soil Analysis. Part 3 – Chemical Methods. SSSA Book Series:5. Pp 491-515.

Silva, S.S., 2009. E depois do fogo? Os efeitos dos incêndios Escola Superior Agrária de Coimbra. Naturlink Disponível em: <http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=3&cid=7993&bl=1&viewall=true>. Acesso em: 02 fev. 2018.

Soares, R.V., Batista, A.C., Reissmann, C.B., 1998. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés. PR. Floresta, 27 (1/2): 59 - 70.

Soares, R.V., 1990. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil. In International Conference on Forest Fire research. Universidade de Coimbra: 06-09.

Solera. J.J., 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral (ph-D), Universitat de Alicante.

Thomaz, E.L., 2011. Influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade de agregados em chernossolo, Saskatchewan, Canadá. Ciencia del suelo 2(2), 277-284.

Thomas, A.D., Walsh, R.P., Shakesby, R.A., 2000. Post-fire forestry management and nutrient losses in eucalyptus and pine plantations, Northern Portugal. Land Degradation & Developmen, 11(3), 257-271.

Torres, R., Rocha, J., 2014. Teor de matéria orgânica em solos ardidos e não ardidos, na Serra da Penha (Guimarães). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316.2/34789>. Acesso em: 06 de set. 2018.

Valente & Coelho, 2015. Envolvimento dos agentes locais na identificação e na implementação de soluções para o combate à desertificação e degradação ambiental. Figueiredo, T., Fonseca, F. & Nunes, L. Proteção do Solo e Combate à Desertificação: Oportunidade para as regiões transfronteiriças. Editora: IPB, Bragança.

Varenes, A.D., 2003. Produtividade dos Solos e Ambiente. Editora Escolar, Lisboa.

Viegas, D.X., Almeida, M.F., Ribeiro, L.M., Raposo, J., Viegas, M.T., Oliveira, R., Lucas, D., 2017. O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, Universidade de Coimbra.

Vieira, A., Nunes, A., Castro, A., Bento Gonçalves, A., Fernandes, S., Lourenço, L., 2012. Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquénio (1996 a 2010). Caderno de geografia 30-31, 61-80.

van Reeuwijk, 2002. Procedures for soil analysis. Sixth edition. ISRIC. FAO.

Wells, C.G., Campbell, R.E., DeBano, L.F., Lewis, C.E., Fredriksen, R.L., Franklin, E.C., Dunn, P.H., 1979. Effects of fire on soil: A state of knowledge review., National Fire Effects Workshop, Denver, Colorado, April 10±14, 1978 (p. 34). General Tech. Rep. No. WO-7, USDA Forest Service.

WRBSR - World reference base for soil resources, 2006. A framework of international clarification, correlation and communication. JUSS. ISRIC. FAO.