

Vitor Hugo da Silva Santos

Efeito do fogo de elevada intensidade no *stock* de carbono das pastagens das montanhas do norte de Portugal.

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Dois Vizinhos

Orientado por:

Professor Doutor Carlos Francisco Gonçalves Aguiar- IPB

Professor Doutor Wagner Paris - UTFPR

Bragança

2023

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”

Autor desconhecido

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que através do seu vínculo com o Instituto Politécnico de Bragança (IPB), promove um meio científico sem barreiras, tornando projetos como a dupla diplomação realidade.

Agradeço também aos meus pais, irmã e amigos que sempre me ajudaram, mesmo que na distância, me mantendo firme e presente nas minhas responsabilidades.

Agradeço ao meu orientador professor doutor Carlos Francisco Gonçalves Aguiar do IPB e ao meu coorientador professor doutor Wagner Paris que me auxiliaram durante o trabalho.

Agradeço em especial minha noiva e futura esposa Giovana Elidia que sempre esteve presente, ajudando e aconselhando.

RESUMO

A dissertação explora o impacto causado pelo fogo no carbono do solo, como objeto de estudo foi utilizado o solo das pastagens da montanha da Serra do Alvão, no norte de Portugal. A região, de clima temperado sub-mediterrâneo, apresenta solos ricos em matéria orgânica em razão de seu histórico de pastorícia mista, inserindo matéria orgânica no solo através de dejetos, porém, os solos da região ainda são vulneráveis a incêndios de alta intensidade. Visando a necessidade de revitalizar e diminuir os riscos causados pelos incêndios rurais, o estudo investiga métodos de quantificar o carbono do solo e por consequência sua fertilidade, além de analisar métodos viáveis da recuperação de pastagens, para tanto, coletou-se amostras de solo em três profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, que foram submetidas a análise de Walkley-Black. Através da análise foi possível constatar que incêndios severos podem causar danos à matéria orgânica presente nas camadas superficiais, gerando um maior acúmulo nas camadas subsuperficiais (10-20 cm), portanto, foi possível notar que os incêndios de elevada intensidade afetam drasticamente o *stock* de carbono do solo e, por consequência diminuição da produtividade e danos ao ecossistema. Como medida de prevenção e recuperação das pastagens o trabalho cita diversos métodos, entre eles os principais são, queima controlada, a fim de diminuir o material de ignição e promover incêndios de baixa magnitude gerando poucos danos a microbiota do solo e ao sequestro de carbono, também é possível citar o desenvolvimento de programas de silvopastorícia, que podem promover retorno econômico aos habitantes dessas áreas, além de aumentar o intervalo entre os incêndios. O presente estudo pode confirmar que os incêndios de alta intensidade, juntamente com o relevo e as precipitações podem alterar a distribuição não só, mas também da matéria orgânica do solo, influenciando a qualidade e a fertilidade do solo.

Palavras-chave: Incêndios florestais; Matéria orgânica, Danos ao ecossistema; silvopastorícia.

ABSTRACT

The dissertation explores the impact caused by fire on soil carbon. The object of study was soil from pastures in the Serra do Alvão mountain, in northern Portugal. The region, with a temperate sub-Mediterranean climate, has soils rich in organic matter due to its history of mixed pastoralism, inserting organic matter into the soil through waste, however, the region's soils are still vulnerable to high-intensity fires. Aiming at the need to revitalize and reduce the risks caused by rural fires, the study investigates methods of quantifying soil carbon and consequently its fertility, in addition to analyzing viable methods of recovering pastures. To this end, soil samples were collected in three depths 0-5cm, 5-10cm and 10-20cm, which were subjected to Walkley-Black analysis. Through the analysis it was possible to verify that severe fires can cause damage to the organic matter present in the surface layers, generating a greater accumulation in the subsurface layers (10-20 cm), therefore, it was possible to note that high intensity fires drastically affect the stock of soil carbon and, consequently, reduced productivity and damage to the ecosystem. As a measure to prevent and recover pastures, the work cites several methods, among which the main ones are controlled burning, in order to reduce ignition material and promote low-magnitude fires, causing little damage to the soil microbiota and carbon sequestration, It is also possible to mention the development of silvopastoral programs, which can promote economic returns for the inhabitants of these areas, in addition to increasing the interval between fires. The present study can confirm that high-intensity fires, together with relief and precipitation, can change not only the distribution, but also the soil organic matter, influencing the quality and fertility of the soil.

Keywords: Forest fires; Organic matter; Ecosystem damage; Pastoral culp

Sumário

1. Lista de Abreviatura	1
2. Introdução.....	2
3. Objetivos	3
4. Revisão de literatura.....	3
4.1. Pastagens de montanha em Portugal	3
4.2. Carbono do solo.....	5
4.3. Fogo em pastagens	6
4.4. Efeito do fogo no <i>stock</i> de carbono no solo.....	8
4.5. Prevenção do fogo de elevada intensidade/severidade.....	9
5. Material e métodos	10
6. Resultados e discussão	12
7. Conclusões	16
8. Referências.....	17
9. Anexos.....	20

1. Lista de Abreviatura

AGIFR	Agência de Gestão Integrada de Fogos Rurais
AGRCAP	<i>Agrostis capillaris</i>
AGRTRU	<i>Agrostis trunctatula</i>
AGRCUR	<i>Agrostis Curtisii</i>
ANOVA	Análise de Variância
B	Boro
C	Carbono
Ca ²⁺	Calcio
CO	Carbono Orgânico
COS	Carbono Orgânico do Solo
CO ₂	Dióxido de carbono
CTC	Capacidade de troca catiônica
C/N	Carbono / Nitrogênio
ERIAUST	<i>Erica australis</i>
ERIULE	<i>Ulex minor</i>
H ₂ O	Água
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
K ⁺	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
K ⁺	Potássio
Mg ²⁺	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
MOS	Matéria Orgânica do Solo
Na ⁺	Sódio
nm	Nanômetros
pH	Potencial Hidrogeniônico
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
t/ha	Toneladas por Hectare

2. Introdução

A utilização do fogo de baixa intensidade na preparação do solo é uma técnica agrícola tradicional e difundida em várias partes do mundo, cujo propósito é eliminar resíduos de culturas passadas e outras plantas indesejadas que possam prejudicar o plantio. Além disso, essa técnica também pode ser empregada para a limpeza das pastagens (Rodrigues, 2014).

O uso do fogo como uma estratégia de manejo em áreas de pastagens é uma prática antiga e comum, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, esta prática pode ter impactos negativos significativos para o meio ambiente e a economia local. De acordo com Abadias (2020), a queima frequente e de alta intensidade das pastagens pode levar à perda de biodiversidade, erosão do solo e emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a prática pode afetar negativamente a qualidade do solo, reduzindo a produtividade das pastagens e, conseqüentemente, diminuindo o retorno econômico para os produtores.

O trabalho tem como foco o estudo da evolução *stock* de carbono (C) e da fertilidade química do solo das pastagens montanhosas nas regiões do norte de Portugal, mais concretamente da Serra do Alvão (altitude máxima de 1.339 m e mínima de 260 m). Este território é caracterizado por um clima temperado sub-mediterrânico, com verões relativamente quentes e secos, contrastando com invernos relativamente frios e chuvosos (Rivas-Martínez *et al.*, 2017). A rocha mãe é granítica; por vezes afloram corneanas resultantes de um metamorfismo de contacto (Dias e Ribeiro, 2013). Os solos são derivados de granitos, geralmente delgados, ainda que pontualmente com alteritos profundos, ricos em matéria orgânica, muito ácidos, bem abastecidos de potássio, mas pobres em fósforo biodisponível (Quadro 2) (Agroconsultores e COBA, 1991). Apesar das características desfavoráveis dos solos, o regime de precipitação e temperatura permite uma elevada produtividade primária no outono e, sobretudo, na primavera (Montero de Burgos e Gonzalez Rebollar, 1987). Um a dois meses por ano, no verão, verifica-se um acentuado déficit de água no solo. Simultaneamente, a temperatura do ar pode ser elevada e a umidade relativa do ar muito baixa. Estas condições ambientais são muito favoráveis à ocorrência de incêndios de elevada intensidade que, eventualmente, podem penetrar no solo e mineralizar a sua matéria orgânica.

As pastagens permanentes de montanha são elementos vitais da agricultura tradicional na região, desempenhando um papel de destaque tanto no fornecimento de alimento para o gado bovino e ovino quanto na economia local (Ribeiro, 2014).

A concentração de carbono orgânico do solo (COS) nestas pastagens é um aspecto de particular interesse para esta pesquisa. Estudos realizados na região vizinha espanhola da Galiza

em condições similares de litologia, precipitação e temperatura à Serra do Alvão mostraram que o COS sequestrado situa-se no intervalo das 67 a 83 kg/m³ (Rodríguez-Lado e Martínez-Cortizas, 2015). Um *stock* de carbono no solo tão significativo é explicado pela elevada produtividade primária e pelas condições desfavoráveis à mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) ou seja, elevada precipitação e baixas temperaturas durante a maior parte do ano.

A utilização do fogo como estratégia de manejo em áreas de pastagens é uma prática contudo, essa prática pode ter impactos significativos, incluindo a redução da MOS quando se torna um incêndio rural de alta intensidade, em particular, podem resultar em perdas substanciais de C no solo, representando uma preocupação de longo prazo (Zanini, 2011). Uma metanálise recente, à escala global, do impacto dos modelos gestão das pastagens nos *stocks* COS, mostram que o incêndio tem geralmente um efeito direto no *stock* de C, independente da textura do solo e do pastoreio decorrer de forma livre ou não, porém, nas áreas de clima húmido, de que é exemplo a área de estudo, o fogo, genericamente, incrementa o carbono armazenado no solo (Phukubye *et al.*, 2022). O mesmo estudo aponta para um efeito positivo do pastoreio no COS.

Neste contexto, a dissertação explora a relação entre o uso do fogo e a variação na concentração de COS em pastagens montanhosas da Serra do Alvão, ao norte de Vila Real.

Para tanto, 72 amostras de solo (em três profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm), totalizando 18 para cada vegetação das 4 existentes na área, essas amostras foram divididas em 2 categorias, com herbivoria e sem herbivoria.

3. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo:

Avaliar o efeito dos incêndios severos ocorridos nas montanhas do norte português, como na Serra do Alvão. Através métodos e métricas que quantifiquem o carbono orgânico do solo ao longo do perfil.

4. Revisão de literatura

4.1. Pastagens de montanha em Portugal

No norte de Portugal, as regiões montanhosas apresentam um clima temperado submediterrânico, com verões quentes e secos, e invernos frios e chuvosos. Além de seu valor ecológico, social e econômico, essas áreas oferecem serviços ecossistêmicos cruciais, como a

disponibilização de água, a conservação da biodiversidade e o sequestro de C (Carvalho *et al.* 2017).

O Centro e o Norte de Portugal continental são conhecidos por suas pastagens permanentes em montanhas, sendo reconhecido como um importante recurso para os sistemas tradicionais de agricultura (Ribeiro e Aguiar, 2020). Entretanto, a integração mercantil, as alterações dos sistemas de preços, o êxodo rural e o envelhecimento da população contribuem para um lento abandono destas áreas (Alves, 2003).

A ações humanas são responsáveis por significantes impactos negativos às paisagens naturais. Um claro exemplo é alteração de bosques para extensas áreas de plantações florestais ou, em consequência do abandono agrícola, a substituição de sistemas de elevado valor ambiental, como os lameiros (pastagens semi-naturais sujeitas a corte para feno), por vegetação arbustiva ciclicamente sujeita a fogos de elevada intensidade (Meireles e Capelo *et al.*, 2021).

As paisagens situadas em montanhas no norte português também sofrem alterações devido a diminuição da pastorícia. Como exemplo, a vegetação perene de Poaceae, antes predominante na região, foi substituída por cobertos rasteiros (dominados por plantas anuais) ou vegetação *pirófila* arbustiva de elevada biomassa como são, por exemplo, certos arbustos altos da família *Fabaceae* (ex. géneros *Cytisus* e *Genista*) (Coelho, 2016).

As pastagens de montanha são caracterizadas por uma grande diversidade de espécies vegetais e uma estrutura em mosaico com vegetação herbácea, arbustiva e arbórea (Ribeiro e Aguiar, 2020).

As pastagens de montanha apresentam também uma grande importância socioeconômica para a região, uma vez que são utilizadas para alimentação do gado bovino e ovino, bem como para a produção da alimentação local (FAO, 2013).

Ainda, a gestão e a manutenção das pastagens de montanha são fundamentais para a manutenção da biodiversidade e dos ecossistemas da região. A prática da deslocação do gado para pastagens de montanha durante os meses mais quentes, é uma prática tradicional que contribui para a manutenção e conservação das pastagens (Castro *et al.*, 2016).

No entanto, a degradação das pastagens montanhosas tem sido um desafio para a região, uma vez que o abandono das terras tem levado à diminuição da biodiversidade e a uma menor qualidade dos solos (Alves *et al.*, 2003). A região do Norte montanhoso português tem visto um aumento constante na preocupação com a qualidade das pastagens, iniciativas de gestão sustentável estão sendo adotadas, incluindo a implementação de estratégias de pastoreio

controlado e programas de revitalização de áreas de pastagem que foram prejudicadas (Carvalho *et al.*, 2017).

4.2. Carbono do solo

Segundo as avaliações de Madeira *et al.* (2004), o COS, provenientes das pastagens na região mediterrânea de Portugal, pode chegar de 5 a 15 kg/m² nos primeiros 30 cm do solo. Estudos realizados na região vizinha espanhola de Galiza em condições similares de litologia, precipitação e temperatura à Serra do Alvão mostraram níveis de sequestros de COS na ordem de 67 a 83 kg/m³ (Rodríguez-Lado e Martínez-Cortizas, 2015).

A velocidade de degradação do material é dependente da concentração de seus componentes. Substâncias não-húmicas, como, aminoácidos, proteínas, carboidratos, entre outras, sofrem uma degradação mais acelerada, podendo ser decomposta em até um ano; enquanto os materiais húmicos possuem uma degradação lenta (dezenas a centenas de anos) em função da estrutura de alta complexidade, estabilidade química, proteção física e interações com outros componentes do solo (Favoretto, 2007).

A mineralização, também conhecida como decomposição, é um processo que leva à desestruturação dos resíduos e gradual transformação de seus componentes em compostos mais simples, geralmente solúveis ou gasosos, por meio da atividade de organismos presentes no solo. A velocidade de decomposição é influenciada principalmente pela relação ao carbono/nitrogênio (C/N) e pelas condições ambientais, como temperatura, umidade e acidez do solo (pH). Em climas mais frios, como acontece nas montanhas, a taxa de decomposição tende a ser mais lenta, devido às condições desfavoráveis para a atividade microbiana e enzimática (Pereira, 2013).

Em condições de equilíbrio o COS está estreitamente relacionado com o clima (Rodríguez-Lado e Martínez-Cortizas, 2015). Este equilíbrio pode ser perturbado por um lado incrementando a taxa de adição de resíduos ao solo ou, num sentido contrário, pelo aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo. A quantidade de resíduos aumenta se a produtividade primária aumentar, por exemplo, através de um incremento da cobertura (podendo ser progressão sucessional) e da fertilidade do solo (ex. adição de nutrientes). No caso das montanhas de norte de Portugal, admite-se, regularmente, que o incêndio de elevada intensidade é um dos fatores que poderá alterar a taxa de mineralização da MOS (Agbeshie *et al.*, 2022).

4.3. Fogo em pastagens

A utilização do fogo de baixa intensidade na preparação do solo é uma técnica agrícola tradicional e difundida em várias partes do mundo, cujo propósito é eliminar resíduos de culturas passadas e outras plantas indesejadas que possam prejudicar o plantio. Além disso, essa técnica também pode ser empregada para a limpeza das pastagens (Rodrigues, 2014).

O uso do fogo como uma estratégia de manejo em áreas de pastagens é uma prática antiga e comum, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, esta prática pode ter impactos negativos significantes para o meio ambiente e a economia local. De acordo com Abadias (2020), a queima frequente e de alta intensidade das pastagens pode levar à perda de biodiversidade, erosão do solo e emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a prática pode afetar negativamente a qualidade do solo, reduzindo a produtividade das pastagens e, conseqüentemente, diminuindo o retorno econômico para os produtores.

Arbex *et al.* (2004) ressaltaram que a queima de pastagens também pode ter impactos negativos na qualidade do ar e na saúde humana, devido à emissão de poluentes atmosféricos, como o material particulado fino. Além disso, apontou que a prática pode afetar a qualidade da água, devido à lixiviação de nutrientes e outros poluentes para os corpos d'água.

Nos últimos anos, foi observado um aumento drástico de incêndios ao redor do mundo, tanto nas áreas afetadas quanto nas severidades destes. Estas ocorrências de incêndios mais frequentes e severas estão relacionadas a mudanças na distribuição de chuvas, temperatura, intensidade da radiação solar e ventos (Mélo *et al.*, 2011).

Existem várias causas associadas aos incêndios em paisagens, incluindo aqueles que não ocorrem naturalmente e são consequência de ações humanas, quer sejam intencionais ou não. Incêndios considerados de origem natural são aqueles que resultam de combustão espontânea devido a altas temperaturas e baixa umidade, ou a raios durante tempestades (Santiago, 2020).

Relatórios de incêndios rurais (2022) recentes apontam para temperaturas e níveis de seca no solo superiores a médias registradas em anos anteriores, caracterizando condições propícias a queimadas nas regiões do norte de Portugal continental.

A fim de exemplificar, Fernandes (2003), demonstra as definições de intensidade e severidade do fogo, os mesmos representam conceitos diferentes. Em um determinado local, várias combinações de intensidade e severidade do fogo podem ocorrer, influenciadas pelo tipo de combustível e pelas condições de umidade durante a queima. A forma como o fogo se comporta, bem como, a velocidade de propagação e o calor gerado, traduz-se como intensidade, dessa forma, as consequências como danos ao ecossistema define-se severidade.

O efeito do fogo nas pastagens (e na MOS) depende, da sua intensidade. Ao contrário do que se pensa, não são todos os incêndios causadores de danos à MOS, o fogo de baixa intensidade consome apenas os combustíveis finos e não penetra/aquece o solo em profundidade. Consequentemente, são preservadas a matéria orgânica do solo (não é mineralizada) e as gemas dormentes ou adventícias localizadas no colo ou nos caules de maior diâmetro das plantas lenhosas. Escapam igualmente ilesas as estruturas vegetais enterradas ou localizadas próximo superfície do solo como as sementes e os rizomas (Fernandes, 2003).

O fogo de baixa intensidade, prescrito (conduzido pelos serviços oficiais) ou pastoril (realizado por pastores), sobretudo se cruzado com a herbivoria consumo de plantas por animais), é uma ferramenta essencial para evitar a acumulação de combustíveis e, por essa via, evitar fogos de elevada intensidade em paisagens com elevados riscos de incêndio, como são as montanhas de Portugal Continental (Fernandes, 2003).

É comum o fogo de baixa intensidade, incrementar os valores do reservatório de C no ecossistema das pastagens. A provável explicação para este fato se deve à incorporação de fragmentos lenhosos não queimados ou parcialmente não queimados e à combustão incompleta de matéria orgânica no solo (Scharenbroch *et al.*, 2012).

De fato, a substituição de fogos de elevada intensidade por fogos de baixa é fundamental para preservar a matéria orgânica do solo e promover o sequestro de carbono nas áreas previamente degradadas por fogos de elevada intensidade e, simultaneamente, recuperar espécies de plantas de maior interesse forrageiro (Fonseca *et al.*, 2017).

A intensidade do fogo pode ser afetada por diversos fatores, incluindo tipo de vegetação, clima, solo e condições meteorológicas. Segundo Torres *et al.* (2019), a umidade do combustível é um dos principais fatores que influenciam a intensidade do fogo. Esta pode ser influenciada por diversos fatores, como precipitação, umidade relativa do ar e temperatura. Outro fator importante que influencia na intensidade do fogo é a disponibilidade de combustível, que pode afetar a intensidade, a taxa de propagação e a duração do mesmo.

Um fator determinante na intensidade do fogo é a topografia do local. A inclinação e a orientação da paisagem podem afetar a velocidade do vento e a disponibilidade de oxigênio para o fogo (Jordaim *et al.*, 2021). As condições meteorológicas, tais como a velocidade do vento, umidade do ar e temperatura, têm o potencial de impactar a intensidade do fogo, pois influenciam tanto a disponibilidade de oxigênio quanto a taxa de evaporação do combustível (Pausas *et al.*, 2019).

Os Relatórios de Incêndios Rurais (2022) sugerem que o fogo prescrito poderia potencialmente levar a estoques de MOS mais estáveis através de dois mecanismos: limitar a quantidade de combustível para reduzir a gravidade do incêndio florestal e das perdas de MOS baseada na combustão durante os incêndios florestais de alta intensidade.

4.4. Efeito do fogo no *stock* de carbono no solo

A queima do material vegetal pode tanto trazer benefícios como malefícios quanto à qualidade do solo. Em relação aos impactos, destacam-se o aumento de alguns nutrientes e redução da matéria orgânica, variando de acordo com as condições climáticas encontradas na região (Capeche, 2012).

A queima da vegetação impacta significativamente as propriedades físicas e químicas do solo. Observa-se a redução do volume dos macroporos, diminuição do tamanho dos agregados e da taxa de infiltração, resultando em aumento da densidade e resistência à penetração das raízes. Quanto às propriedades químicas, a queima promove elevação das concentrações de nutrientes, presentes nas cinzas, especialmente na superfície do solo. Esse processo acelera a mineralização, proporcionando maior disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas em camadas superficiais. No entanto, a longo prazo, há tendência de redução dessas concentrações devido à lixiviação ocasionada pelas chuvas, resultando em níveis inferiores aos observados antes do evento de queimada (Braga, 2023).

O impacto dos incêndios florestais de elevada intensidade no estoque de COS pode ser significativo no longo prazo. Além disso, Silva *et al.* (2021) relataram que os incêndios florestais podem causar mudanças na composição das comunidades microbianas do solo, afetando a ciclagem de nutrientes e reduzindo a MOS.

É possível afirmar que as consequências imediatas do fogo de elevada intensidade ocorrem na cobertura vegetal, na camada de detritos orgânicos, no teor de substâncias orgânicas e na estabilidade dos agregados do solo. Além disso, o fogo também impacta de forma indireta as taxas de penetração da água, a formação de uma camada hidrofóbica na superfície do solo e o nível de umidade presente no mesmo. Os efeitos imediatos dos incêndios no solo, especialmente em relação à MOS, variam dependendo da intensidade térmica alcançada por esses eventos, como pode ser visto na Tabela 1 (Pereira, 2013).

Como se referiu no capítulo anterior, o efeito do fogo na MOS, e implicitamente, do stock de carbono nele armazenado, depende da intensidade do fogo. Estudos de sequestros de C obtidos na Serra de Montesinho, situada a norte de Bragança, demonstram o mesmo (Fonseca

et al., 2022). Neste estudo, 12 anos depois de um fogo florestal (pinhal de pinheiro-bravo) de elevada intensidade, uma parcela experimental constituída por um mosaico de matos altos de *Erica australis* e ervaçal perene de *Agrostis capillaris*, foi submetida a uma ação de fogo controlado de baixa intensidade. 3 anos após o fogo controlado, 50 % do COS perdido em consequência da mineralização da folhada havia sido repostado (cerca de 0,15 kg/m² de COS, de aproximadamente 0.3 kg/m² de COS da condição inicial). No que diz respeito à biomassa aérea, 3 anos após fogo, o sistema tinha recuperado 84% da biomassa da aérea inicial. O dado mais importante, porém, refere-se ao compartimento do solo (até 20 cm de profundidade): o solo transitou das 6,4 kg/m² para as 7,05 kg/m² de COS, a uma taxa de sequestro de 2 kg/m² de COS por ano.

Quadro 1. Efeitos dos incêndios na matéria orgânica do solo.

Danos	Intervalo de temperatura em °C
Dissecação ou destruição das raízes	48 – 54
Mortalidade das sementes	70 – 90
Destilação dos compostos presentes na manta morta	180 – 200
Destruição de 85% da camada de manta morta	180 – 300
Volatilização de matéria orgânica	200 – 315
Destruição da estrutura do horizonte orgânico	> 300
Destruição de quase toda a matéria orgânica	> 460

Fonte: Pereira (2013).

4.5. Prevenção do fogo de elevada intensidade/severidade

O risco sistêmico de incêndios é um desafio complexo que requer abordagens integradas e que não pode ser resolvido por uma única solução isolada. Para proteger efetivamente o território, as pessoas e seus bens contra incêndios rurais, é necessário adotar um conjunto de soluções estratégicas (Agência De Gestão Integrada Fogos Rurais, 2020).

Segundo Beighley (2018), existem alguns conjuntos de ações articuladas ao nível dos espaços florestais/pastoris que, partindo do conhecimento dos fenômenos de ignição e propagação do fogo, visam evitar a sua ocorrência e diminuir as suas consequências. A gestão dos combustíveis compreende três estratégias básicas: redução, isolamento e conversão. A redução baseia-se no controle da quantidade e arranjo estrutural da vegetação no âmbito de

diminuir a intensidade do fogo. Neste, estão inclusas as operações que alteram fisicamente o combustível sem o remover.

O isolamento do material combustível procura quebrar a continuidade das formações vegetais, compartimentando-as com faixas de largura variável nas quais a vegetação é eliminada ou modificada com o objetivo de confinar o incêndio (Simiano, 2013).

A Estratégia de conversão de combustível consiste na substituição da vegetação presente por um outro tipo que reduz a magnitude do comportamento do fogo (podendo chegar a inibir a sua propagação). Evitar que os incêndios intensos ocorram é melhor saída, podemos prevenir, diminuindo o combustível (Braga, 2023).

O uso de cobertura do solo, tanto em culturas anuais como permanentes, apresenta uma variedade de benefícios que contribuem para a conservação e recuperação do solo em todos os seus aspectos, incluindo a sua saúde física, química e biológica (Departamento De Impactos Ambientais E Patrimoniais, 2020).

Segundo a AGIFR (2020), uma abordagem para diminuir o risco de incêndios em Portugal inclui o desenvolvimento de programas de silvopastorícia e fogo controlado em larga escala, visando o manejo sustentável das áreas florestais. Além disso, é importante promover o reaproveitamento dos resíduos provenientes da exploração florestal por meio de práticas como a compostagem ou a geração de energia local a partir de biomassa. Outra medida necessária é intervir na recuperação de áreas que foram afetadas por incêndios, juntamente com a criação de um fundo de emergência e recuperação pós-evento para auxiliar nesses processos de recuperação.

5. Material e métodos

O experimento foi conduzido nas pastagens montanhosas de Serra do Alvão situada nas coordenadas 41.3625,-7.76417 (ao norte de Vila Real). Todas as amostras de solo foram recolhidas no baldio (comum) das aldeias de Souto e Outeiro (Vila Pouca de Aguiar) (Figura 1)

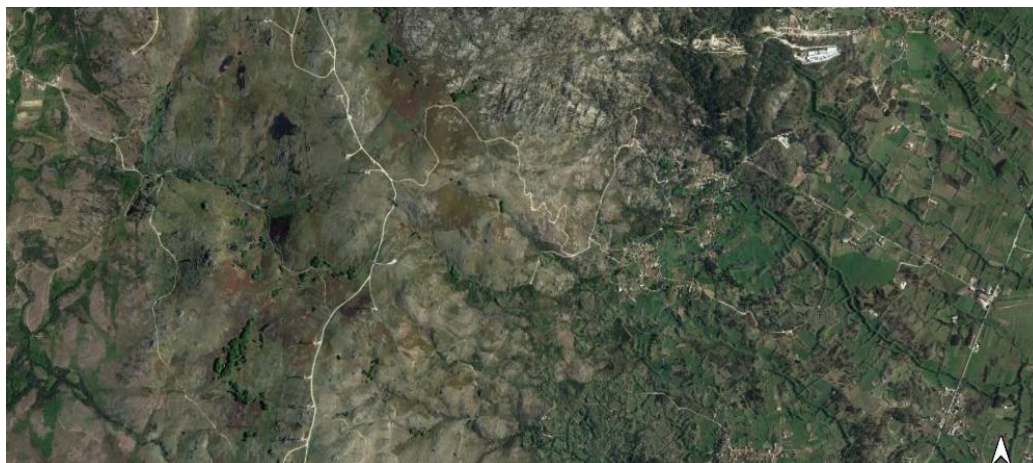


Figura 1. Vista aérea da área da serra do Galvão. Fonte: Google Earth

Quatro comunidades vegetais dominam o coberto vegetal atual da Serra de Alvão, a área de estudo deste trabalho: urzais de *Erica australis* (EriAust), urzais-tojais com *Ulex minor* (EriUle), pastagens dominadas por *Agrostis capillaris* (AgrCap) e pastagens dominadas por *Agrostis trunctatula* (AgrTru). Os AgrCap têm um ótimo valor ecológico, sendo substituídos por comunidades de *A. curtisii* (AgrCur) em corneanas. Os AgrTru substituem AgrCap após fogo severo, sendo a *Agrostis trunctatula*, por isso, um bioindicador válido do estado de degradação dos espaços de montanha. Esta espécie é localmente designada por erva-fome porque, admite-se, está associada a uma descida acentuada da oferta forrageira.

Em 2021 construíram-se 12 parcelas de exclusão da herbívora com 30 x 20m, 3 para cada um dos 4 tipos de vegetação antes discriminados.

Para avaliar o efeito dos fogos de elevada severidade no stock de carbono residente, foram recolhidas 72 amostras de solo (em três profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm), totalizando 18 para cada vegetação das 4 existentes na área, essas amostras foram divididas em 2 categorias, com herbívora e sem herbívora (Anexo I). Os resultados foram submetidos a ANOVA e ao Teste de Tukey. O COS foi determinado pelo método de Walkley-Black. Este método envolve a oxidação do material orgânico presente no solo com de dicromato de potássio de concentração conhecida acidificada com ácido sulfúrico a altas temperaturas, liberando CO₂. O dicromato remanescente é depois titulado ou quantificado por espectrofotometria a 600 nm (Nelson E Sommers, 1996).

Nos sistemas de agricultura de montanha do norte de centro de Portugal, a produção forrageira está concentrada em dois tipos de uso do solo: o “monte” (de posse coletiva, baldio) e os lameiros (propriedade privada). O monte ocupa áreas de relevo convexo, a maior altitude. Tradicionalmente são explorados num sistema de pastoreio extensivo misto com bovinos e

caprinos, com a recolha dos animais durante a noite nas terras baixas (povoados). Os lameiros são explorados num sistema misto para pasto e feno. Os animais em pastoreio extensivo no monte vinham “dormir à corte” por isso uma parte significativa dos nutrientes excretados pelos dejetos acumulavam-se nas terras baixas. O monte foi, por conseguinte, sujeito a um sistema secular de “*nutrient mining*”. O lameiro, pelo contrário, era tradicionalmente fertilizado com estrumes e com as águas carregadas de resíduos desviadas dos caminhos. Por outro lado, os lameiros ao situarem-se em relevos côncavos beneficiavam dos nutrientes aportados por escorrimento superficial ou subsuperficial. Portanto, é espectável que ciclagens tão distintas de nutrientes tenham uma tradução analítica ao nível do solo. Para testar esta hipótese foram recolhidas amostras aleatórias em solos de monte (n= 72) e lameiro (n=27) no termo das aldeias (vizinhas) de Souto e Outeiro, no concelho de Vila Pouca de Aguiar. A amostragem foi realizada 20 cm de profundidade com uma sonda holandesa. À semelhança do estudo da COS antes referida, as análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Foram avaliados os seguintes parâmetros: matéria orgânica (MO), acidez do solo (pH) determinado em água (H₂O) e cloreto de potássio (KCl), pentóxido de fósforo (P₂O₅), óxido de potássio (K₂O), capacidade de troca catiônica (CTC), boro (B), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), sódio (Na⁺) e magnésio (Mg²⁺), os resultados obtidos estão evidenciados em quadros na secção, resultados e discussão.

6. Resultados e discussão

Através da coleta de dados foram obtidos os valores de matéria orgânica do solo, que podem ser verificadas no anexo 1. Esses dados foram analisados através de ANOVA e Teste de Tukey, conforme apresentado nos quadros 2 e 3, respectivamente.

Quadro 2. ANOVA

ANOVA - C(0-10)-C(10-20)

Cases	Soma dos quadrados	df	Quadrado médio	F	p
Tipo	2268.278	3	756.093	3.738	0.028
Resíduos	4045.868	20	202.293		

Quadro 3. Teste de Tukey.

Vegetação		Diferença média	Erro padrão	t	P tukey
<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Agrostis truncatula</i>	6.923	8.212	0.843	0.833
<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Erica australis</i>	-14.217	8.212	-1.731	0.334
<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Ulex minor</i>	11.508	8.212	1.401	0.513
<i>Agrostis truncatula</i>	<i>Erica australis</i>	-21.140	8.212	-2.574	0.078
<i>Agrostis truncatula</i>	<i>Ulex minor</i>	4.585	8.212	0.558	0.943
<i>Erica australis</i>	<i>Ulex minor</i>	25.725	8.212	3.133	0.025

Em 50% das amostras recolhidas em EriUle, AgrCap e AgrTru, o (COS (0-10 cm) – COS (10-20 cm)) foi inferior 0, ou seja, os valores de acúmulo de MOS são maiores na profundidade de 10-20cm (Figura 2). Um dos motivos para esta inversão de COS no perfil é a mineralização da MOS por efeito incêndios de elevada intensidade.

Em montanhas com uma retoma recente da atividade pastoril, como é o caso da Serra do Alvão, a dominância e persistência da vegetação herbácea deve-se à lenta regeneração dos arbustos por semente após a morte das toiças pela queimada.

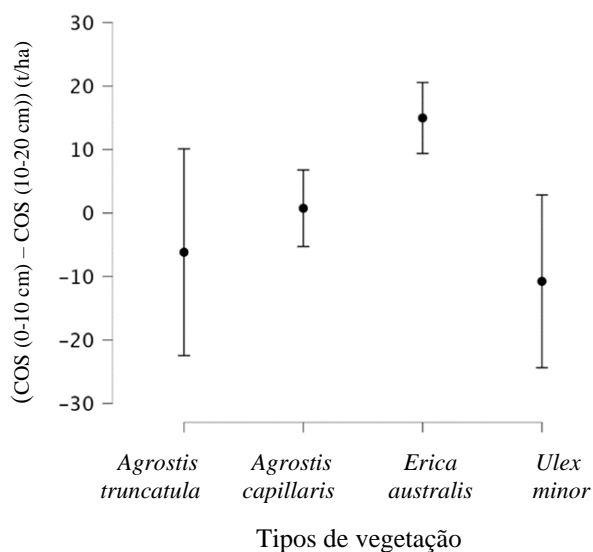


Figura 2. Variação média entre o carbono orgânico nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm. Os círculos representam a média e as barras de erro os limites inferior e superior do intervalo de 95% de confiança.

A ANOVA complementada com um teste de Tukey explicitada no figura 1 mostra que somente a métrica COS (0-10 cm) – COS (10-20 cm) foi significativamente diferente ($p < 0,05$) entre os urzais (EriAust) e os urzais-tojais (EriUle).

O presente trabalho obteve resultados similares aos de Fidalgo (2023) o mesmo fez uma análise dos primeiros cinco centímetros da camada de solo em áreas impactadas por incêndios de alta intensidade, revelou que as chuvas desencadeiam o movimento e o transporte de nutrientes, matéria orgânica queimada e sedimentos acumulados após incêndios, resultando em maiores perdas na camada superficial e causando alterações significativas na atividade do solo, no teor de carbono orgânico e na respiração microbiana basal. Essas mudanças indicam o impacto substancial do fogo nos processos bioquímicos e na dinâmica microbiana do solo, evidenciando uma resposta complexa às condições pós-incêndio.

Certini (2005) também apresenta dados que colaboram com os resultados deste trabalho, de acordo com Certini, as alterações que ocorrem no carbono orgânico nos primeiros centímetros do solo após um incêndio, podem incluir a perda de matéria orgânica do solo, que pode ser causada pela volatilização de constituintes menores, carbonização ou oxidação completa. A perda de matéria orgânica começa a partir de 200-250°C e é concluída em torno de 460°C. A queima também pode causar a redução ou remoção completa da camada superficial do solo.

Os resultados analíticos das amostras recolhidas no monte e nos lameiros do termo de Souto e Outeiro (Vila Pouca de Aguiar) estão apresentados nos quadros a seguir.

Quadro 4. Análise comparativa dos parâmetros cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+) no solo do monte e lameiro.

Amostra	Parâmetro	Cmol.kg ⁻¹			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Lameiros	Média	1,37	0,48	0,18	0,24
	Desvio padrão	0,31	0,08	0,04	0,09
	Qualificação	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo
Monte	Média	0,64	0,39	0,22	0,43
	Desvio padrão	0,22	0,11	0,11	0,22
	Qualificação	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo

A topografia concava dos lameiros pode ser um dos parâmetros para sua maior disposição de Ca e Mg.

Quadro 5. Comparação da acidez do solo (pH), entre os solos do monte e dos lameiros.

Amostra	Parâmetro	pH	
		H ₂ O	KCl
Lameiros	Média	5,47	4,39
	Desvio padrão	0,12	0,05
	Qualificação	Ácido	
Monte	Média	4,66	3,96
	Desvio padrão	0,16	0,13
	Qualificação	Ácido	

Um dos parâmetros que pode explicar a maior acidez nos solos do monte é a sua constituição de origem.

Quadro 6. Comparação da capacidade de troca de cátions (CTC) entre os solos do monte e lameiros.

Amostra	Parâmetro	Cmol ₊ kg ⁻¹
		CTC
Lameiros	Média	4,11
	Desvio padrão	0,74
	Qualificação	Muito baixo
Monte	Média	5,45
	Desvio padrão	1,65
	Qualificação	Médio

Um dos parâmetros a ser observado para maior CTC do solo presente no monte, pode ser sua maior acidez.

Quadro 7. Comparativo da matéria orgânica (MO), pentóxido de fósforo (P₂O₅), potássio (K₂O) e Boro (B) nos montes e nos lameiros.

Amostra	Parâmetro	mg kg ⁻¹			
		% MO	P ₂ O ₅	K ₂ O	B
Lameiros	Média	5,22	11,03	84,26	0,44
	Desvio padrão	1,21	1,77	17,28	0,27
	Qualificação	Muito alta	Muito baixa	Médio	Médio
Monte	Média	7,96	15,92	83,68	0,81
	Desvio Padrão	4,76	5,88	33,75	0,25
	Qualificação	Muito alta	Muito baixa	Médio	Médio

Os solos de monte são, certamente pelo efeito da altitude, mais ricos em matéria orgânica e, sistematicamente, mais ácidos e pobres em cálcio e magnésio. Porém, são mais ricos em fósforo assimilável e em boro. A distribuição de estrumes e a devolução dos nutrientes aos lameiros foi interrompida nas últimas décadas; o feno produzido é geralmente exportado para fora do sistema (vendido para o litoral). A interrupção da ciclagem dos nutrientes é uma explicação razoável para o baixo nível de fósforo e boro detectado nos lameiros.

7. Conclusões

Em três dos quatro tipos dominantes de vegetação da serra do Alvão, concretamente nos urzais-tojais com *Ulex minor* (EriUle), ervaçais dominados por *A. capillaris* (AgrCap) e ervaçais dominados por *Agrostis truncatula* (AgrTru), o stock de carbono orgânico é maior de 10-20cm de profundidade do que de 0-10cm de profundidade. Este resultado, algo surpreendente, corrobora a hipótese que os fogos de verão de elevada intensidade mineralizaram massas significativas de matéria orgânica e que a montanha se encontra, provavelmente, num “*steady state*” de baixo sequestro de carbono.

Para as demais condições do solo, o quadro 2 apresenta níveis baixos para fósforo e boro nos lameiros, isso pode ser explicado através da interrupção das práticas de pastorícia que, anteriormente através das excretas dos bovinos e caprinos incrementavam a nutrição do solo. A condição do ambiente também é responsável pela maior capacidade de troca de cátions encontrada nos lameiros, essa realidade está atrelada aos minerais que sofrem arrasto pela erosão causada em níveis mais altos de topografia.

É também possível notar que a prática da pecuária extensiva tem aumentado o intervalo entre os incêndios, permitindo a implementação de técnicas de queima controlada, que ajudam a preservar a MOS. A combinação de pecuária extensiva com queima controlada surge como uma solução tecnicamente viável e economicamente eficaz para reduzir os mega-incêndios que periodicamente afetam as serras de Portugal e para restaurar o carbono perdido ao longo do último século.

8. Referências

- Abadias, I., Fonseca, P., Barbosa, C., & Sales, M.,(2020) Identificação Dos Principais Impactos Ambientais Ocasionados Pelo Manejo Da Pecuária No Município De Humaitá – AM. *Gestão E Sustentabilidade Ambiental* . 9:2 Disponível em :
<https://doi.org/10.19177/Rgsa.V9e22020664-682> 664-682.
- Arbex, M.,Cançado, J., Pereira, L., Braga, A., Saldiva P., (2004) Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/VNXXmdyPSjxJDCStkYrZSZz/?format=pdf&lang=pt>
30:2 158-175.
- Alves, A.,Carvalho, N., Silveira, S., Marques, J., Costa, Z., Horta, A. (2003)O Abandono Da Actividade Agrícola. Lisboa : Madrp.,. 26 p.
- Agbeshie, A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., Awuah, R., (2022) A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*. Disponível em:
[URL:https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4](https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4) .33 1419-1441. .
- AGI– - Agência de Gestão Integrada Fogos Rurais. Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais 2020-2030. Portugal: Nd, (2020). Disponível em:
[URL:https://www.agif.pt/app/uploads/2022/02/Programa-Nacional-de-A%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://www.agif.pt/app/uploads/2022/02/Programa-Nacional-de-A%C3%A7%C3%A3o.pdf) 69 (45) p.
- Agroconsultores & caba, (1991). Carta dos Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal.: Utad, Pdrim, Vila Real
- Awad, C., Fayad, J., Frangieh, N., Morandini, F., Chatelon, J., Marcelli, T., Morvan, D., Accary , G., (2022), Impact of the bulk density on fire spread through a homogenous vegetation layer. *Advances in Forest Fire Research*. 2022 Disponível em:
[URL:https://doi.org/10.14195/978-989-26-2298-9_254](https://doi.org/10.14195/978-989-26-2298-9_254) 1657-1663. .
- Beighley, M. & Hyde, A., (2018), Gestão dos Incêndios Florestais em Portugal numa Nova Era Avaliação dos Riscos de Incêndio, Recursos e Reformas. Lisboa, Portugal,. Disponível em: https://www.isa.ulisboa.pt/files/events/pub/2018_Portugal-Wildfire-Management-in-a-New-Era_Portuguese.pdf. Acesso em:10/09/2023.
- Braga, Rodrigo Favaro (2023), Impactos No Solo Da Aplicação De Fogo Prescrito: Avaliações Em Condições Reais E Simuladas Em Propriedades Físico-Químicas E Biológicas Do Solo. Bragança : Instituto Politécnico De Bragança, Disponível em:
[Url:https://Bibliotecadigital.Ipb.Pt/Bitstream/10198/28265/1/Rodrigo%20favaro%20braga.Pdf](https://Bibliotecadigital.Ipb.Pt/Bitstream/10198/28265/1/Rodrigo%20favaro%20braga.Pdf)
f. 63 P. Mestrado. .
- Santos, C., Monteiro, A., Azevedo, J., Honrado, J., Nunes, J.,(2017). Climate Change Impacts on Water Resources and Reservoir Management: Uncertainty and Adaptation for a Mountain Catchment in Northeast Portugal. *Water Resources Management*. DOI: 10.1007/s11269-017-1672-z ,v31. Pg 1-16..
- CAPECHE, C. L. (2012) - Encontro Científico do Parque Estadual dos Três Picos. Impactos das Queimadas na Qualidade do Solo – Degradação Ambiental e Manejo e Conservação do Solo e Água . Disponível em :

URL:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82108/1/II-Encontro-Cientifico.pdf2>, 17-18.

Coelho, P.M. F. V., (2016). Pastagens de Altitude. Lisboa : Universidade de Lisboa, Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/13377>.101 p.

Certini, G., (2005) Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>.v. 143, p. 1-10,.

Castro, M., (2016), Sistemas de produção animal em regiões de montanha em Portugal. Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: Realidades e Desafios. Bragança : Instituto Politécnico de Bragança,. ISBN 978-972-745-220-0, 127-144.

Departamento de Impactos Ambientais e Patrimoniais. (2020), guia de boas práticas agroambientais: blocos de rega do empreendimento de fins múltiplos de alqueva. Portugal: Fsc,. Disponível em: https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2020/12/GuiaBP_online.pdf.140 p.

Dias, R.; R., A. (2013), O varisco do sector norte de Portugal.. (Eds.) - Geologia de Portugal. Lisboa : Escolar Editora, Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/7888> v. 1.

Divisão de Gestão do Programa de Fogos. (2022) 8.º Relatório Provisório De Incêndios Rurais.. Disponível em: <https://www.icnf.pt/api/file/doc/4e8a66514175d0f7>.

FAO. Sistema Agro-silvo-pastoril do Barroso, (2013), Portugal .. Disponível em: <https://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/europe-and-central-asia/barroso-agro-silvo-pastoral-system/detailed-information/pt/>.

Favoretto, C., (2007), Caracterização Da Matéria Orgânica Humificada De Um Latossolo Vermelho Distrófico Através Da Espectroscopia De Fluorescência Induzida Por Laser. Ponta Grossa : Universidade Estadual De Ponta Grossa,. 83P. Mestre.

Fernandes, P., M.; Botelho, H., S., (2003), A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction. *International Journal of Wildland Fire*. . ISSN 10498001. 12:2 117–128. doi: 10.1071/WF02042.

Fidalgo, A., ; Fernandes, A., S., (2023), Efeito Dos Incêndios Florestais No Ecossistema. *Territorium*. Disponível em: https://doi.org/10.14195/1647-7723_30-2_1_30:2_5-13. .

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*. v.307.172–180. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.018>.

Fonseca, F., Figueiredo, T., Nogueira, C. & Queirós, A., (2017), Temporal dynamics of carbon storage in a Mediterranean mountain scrubland managed by prescribed fire. *Catena*. ISSN 0341-8162. 212:2022) 106107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106107>, v 307, 172-180p.

Jordaim, Renan Baptista (2015) Comportamento Do Fogo Sob Diferentes Declividades, Em Combustíveis Provenientes De Um Povoamento De *Eucalyptus Grandis*. Espírito Santo :

Universidade Federal Do Espírito Santo, disponível em:
https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Renan_Baptista_Jordaim.pdf. 21 P. Graduação..

Madeira, M., Ricardo, R., Correia, R. & Garcez, A., (2004) Quantidade De Carbono Orgânico Nos Solos De Portugal Continental E Particularidades Nos Solos Do Noroeste E Dos Montados Do Sul. *Edafologia*. vol. 11 (3) 279-293.

Montero B., J. L. & Gonzalez R., J. L. (1987), Diagramas Bioclimáticos. Em Rivas Martínez, S. .. (Ed.) - *Memoria Del Mapa De Series De Vegetación De España*. Madrid : Icona. Serie Técnica., p. 227–268.

Mélo, A., Justino, F., Lemos, C., Sedyama, G., Ribeiro, G., (2011) - Suscetibilidade Do Ambiente A Ocorrências De Queimadas Sob Condições Climáticas Atuais e de Futuro Aquecimento Global. *Revista Brasileira Meteorologia* .Ed 26:3 401-418. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000300007>.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc. Disponível em DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>, pp. 961-1010.

Pausas, Juli G. ; Keeley, Jon E. ; Schwilk, Dylan W. (2017) - Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology*. ISSN 0022-0477. 105:2 Disponível em :https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691open_in_new, p.289-297. .

Pereira, Ana Isabel Heitor (2013). *Impacto do fogo no carbono orgânico em solos do Centro de Portugal*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 38 p. Mestre.

Ribeiro, Sílvia ; Monteiro, Ana.(2014), *Pastagens permanentes em zonas de montanha: caracterização, gestão e conservação*. *Revista de Ciências Agrárias*. Disponível em: URL:<https://doi.org/10.19084/rca.16807.v.37> p.131-140.

Ribeiro, S.; Aguiar, C. (2021)- *Vegetação Pratense De Portugal Continental*. Em Capelo, J.; Aguiar, C. (Eds.) - *A Vegetação de Portugal*. Botânica em Português 4. Lisboa : Lisboa Capital Verde Europeia 2020, Imprensa Nacional Casa da Moeda., p. 177–192. ISBN: 978-972-27-2879-9

Rivas-Martínez, S., Penas, A., Rio, S., Gonzalez, T., Rivas-Saenz, S., (2017)- *Bioclimatology of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands*. Em LOIDI, J. (Ed.) - *The Vegetation of the Iberian Peninsula: Volume 1*. Cham : Springer International Publishing., p. 29–80.

Rodríguez-Lado, Luis; Martínez-Cortizas, Antonio (2015) *Modelling and mapping organic carbon content of topsoils in an Atlantic area of southwestern Europe (Galicia, NW-Spain)*. *Geoderma*. . ISSN 00167061. 245–246:2015) 65–73. doi:10.1016/j.geoderma.2015.01.015.

Rodrigues, Marcelayne Farias (2014)- *Adoção Do Uso Do Fogo Na Agricultura*. Brasília : Universidade de Brasília, Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/9242/1/2014_MarcelayneFariasRodrigues.pdf.. 54 p. Graduação.

Santiago, Giselly da Silva. (2020), Comunicação Interagencial em Resposta de Emergência: Os Incêndios Florestais Ocorridos em Portugal no Período entre 2015-2019. Universidade Fernando Pessoa.Porto,. 1-87 (5).

Sato, J.H., Figueiredo, C., Marchão, R., & Benedito, L., (2013) Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, 90 páginas (8-12). Dissertação.

Scharenbroch, B. C., Nix, B., Jacobs, K. A. & Bowles, M. L., (2012) - Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*. ISSN 00167061. 183–184:2012). doi: 10.1016/j.geoderma.2012.03.010. v. 183–184, p. 80-90.

Silva, C., Viana, I., Souza, D., Silva, D., Portella, A., Giongo, M., (2021), Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. *Ciência Florestal*. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509854717>, v.31(4) p.1910-1929. .

Simiano, Lucas Frates & Baumel, L, F, Silva. (2013), Manual De Prevenção E Combate A Princípios De Incêndio. Paraná. Brasil,. Disponível: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/marco2015/cursobrigada/modulo6_combateincendios.pdf, 20p (12).

Torres, F. T. P. ; Júnior, M. R. S. & Lima, G. S., (2019) - Influência dos Elementos Meteorológicos Sobre o Comportamento do Fogo. *Revista Brasileira de Meteorologia* . 34:1 33-41. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778633401>.

Zanini, Guilherme Doneda & Sbrissia, André Fischer (2011)- Fogo em pastagens: estratégia de manejo? *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5203/3382>,ISSN 1676-9732. 12:1 94-103. .

9. Anexos

Anexo 1. Resultados da amostragem da matéria orgânica do solo na Serra do Alvão em quatro tipos de vegetação.

Urzais de *Erica australis* (EriAust), urzais-tojais com *Ulex minor* (EriUle), pastagens dominadas por *A. capillaris* (AgrCap) e pastagens dominadas por *Agrostis truncatula* (AgrTru).

Cálculos efetuados:

- Conversão da % matéria orgânica do solo (MOS) em % C orgânico do solo (COS):
 $MOS = 1,724 \times COS$
- $COS (t/ha) = COS (\%) * prof\ solo (cm) * Dap (g/cm^3)$

A Densidade Aparente (Dap) não está discriminada nos quadros.

Profundidade (cm)	Tipo de Vegetação	MOS (%)
0—5	AgrTru	9,66
0—5	AgrTru	8,73
10—20	AgrTru	9,79
10—20	AgrTru	5,76
5—10	AgrTru	9,24
5—10	AgrTru	6,25
0—5	AgrTru	10,17
0—5	AgrTru	5,37
10—20	AgrTru	7,65
10—20	AgrTru	6,50
5—10	AgrTru	8,37
5—10	AgrTru	5,71
0—5	AgrTru	5,68
0—5	AgrTru	8,30
10—20	AgrTru	9,67
10—20	AgrTru	10,78
5—10	AgrTru	5,38
5—10	AgrTru	4,68
0—5	AgrCap	2,63
0—5	AgrCap	7,91
10—20	AgrCap	2,62
10—20	AgrCap	4,18
5—10	AgrCap	2,60
5—10	AgrCap	4,34
0—5	AgrCap	2,60
0—5	AgrCap	2,63
10—20	AgrCap	2,59
10—20	AgrCap	5,04
5—10	AgrCap	3,11
5—10	AgrCap	4,67
0—5	AgrCap	7,21
0—5	AgrCap	3,54
10—20	AgrCap	7,20
10—20	AgrCap	3,48
5—10	AgrCap	7,19
5—10	AgrCap	2,58
0—5	EriAust	10,85
0—5	EriAust	10,21
10—20	EriAust	7,43
10—20	EriAust	2,68

5—10	EriAust	8,92
5—10	EriAust	5,02
0—5	EriAust	6,68
0—5	EriAust	2,63
10—20	EriAust	4,21
10—20	EriAust	2,62
5—10	EriAust	4,16
5—10	EriAust	4,60
0—5	EriAust	8,25
0—5	EriAust	5,01
10—20	EriAust	3,27
10—20	EriAust	2,65
5—10	EriAust	4,21
5—10	EriAust	4,18
0—5	EriUle	16,95
0—5	EriUle	11,06
10—20	EriUle	10,02
10—20	EriUle	11,59
5—10	EriUle	14,41
5—10	EriUle	7,99
0—5	EriUle	18,31
0—5	EriUle	19,31
10—20	EriUle	14,96
10—20	EriUle	21,30
5—10	EriUle	14,98
5—10	EriUle	21,71
0—5	EriUle	19,77
0—5	EriUle	10,71
10—20	EriUle	13,23
10—20	EriUle	17,87
5—10	EriUle	7,11
5—10	EriUle	14,69

Anexo 2: Diferença de carbono orgânico do Solo disponível em diferentes profundidades no perfil do solo

Tipo	COS 0-10 (t/ha)	COS 10-20 (t/ha)	COS (0-10)-COS (10-20)
AgrTru	28,13	61,55	-5,29
AgrTru	23,61	38,36	8,86
AgrTru	27,43	37,19	17,67
AgrTru	20,20	39,63	0,77
AgrTru	18,97	75,69	-37,75

AgrTru	23,81	68,91	-21,30
EriUle	29,36	53,34	5,38
EriUle	22,02	57,03	-12,99
EriUle	22,71	45,11	0,31
EriUle	26,39	48,48	4,29
EriUle	20,05	66,85	-26,74
EriUle	18,79	72,39	-34,80
EriAust	26,65	34,70	18,60
EriAust	18,87	15,55	22,20
EriAust	14,86	18,36	11,36
EriAust	9,93	14,55	5,30
EriAust	19,38	16,72	22,05
EriAust	13,40	16,51	10,29
AgrCap	7,99	13,34	2,63
AgrCap	20,08	26,01	14,15
AgrCap	9,56	17,40	1,71
AgrCap	12,16	26,07	-1,76
AgrCap	22,40	50,73	-5,92
AgrCap	8,55	23,40	-6,31