

**IMPACTO DO FOGO CONTROLADO NA ESTABILIDADE DA AGREGAÇÃO DO SOLO  
EM ÁREAS DE MATOS DO PARQUE NATURAL DE MONTESINHO, NE PORTUGAL**

**Israel do Nascimento Santos**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do  
Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a  
Universidade Tecnológica do Paraná - campus Francisco Beltrão*

Orientado por

**Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca**  
**Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo**  
**Professora Doutora Denise Andréia Szymczak**

**Bragança**

**2022**

**ISRAEL DO NASCIMENTO SANTOS**

**IMPACTO DO FOGO CONTROLADO NA ESTABILIDADE DA AGREGAÇÃO  
DO SOLO EM ÁREAS DE MATOS DO PARQUE NATURAL DE  
MONTESINHO, NE PORTUGAL**

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de  
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em  
Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação  
com a Universidade Tecnológica do Paraná - campus  
Francisco Beltrão

Bragança

Instituto Politécnico de Bragança – IPB

2022

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar até o presente momento, me proporcionando a oportunidade do crescimento profissional e pessoal, novas experiências e amizades que levarei sempre comigo.

Agradeço a minha orientadora Professora Felícia Maria da Silva Fonseca por dedicar seu tempo, me orientando e auxiliando em quaisquer dúvidas e dificuldades que surgiram ao longo do trabalho, contribuindo em todas as etapas do projeto. Pela paciência, confiança e todo conhecimento transmitido através do período em que trabalhamos juntos.

Estendo os agradecimentos aos meus co-orientadores Professor Tomás D'Aquino Rosade Figueiredo e Professora Denise Andréia Szymczak por toda a disponibilidade oferecida ao longo do trabalho.

Às instituições que auxiliaram na elaboração da presente dissertação, sendo estas o Instituto Politécnico de Bragança, PT e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão, BR.

Ao projeto Terramater e todos os colaboradores que de alguma forma contribuíram nas coletas e tratamentos das amostras de solo para a realização do trabalho.

Agradeço minha mãe, Ireny Francisca do Nascimento por todo o apoio dado ao longo dos anos em que estive milhares de quilômetros distante e por acreditar que este era o melhor caminho que eu deveria trilhar. Sem suas orientações nada disso seria possível.

A minha namorada, Bruna Bigghi Thompson por estar comigo desde o início dessa jornada em todos os momentos. Sendo minha família mais próxima em todos esses anos. Obrigado pela parceria, companheirismo e por sempre acreditar no meu potencial, mesmo quando nem eu acreditei.

Aos amigos que fiz no decorrer deste percurso, em especial ao Sávio Silva Duarte e Vinícius Ferreira de Assis Reis que contribuíram diretamente não apenas nas atividades acadêmicas, mas também fora da universidade, me auxiliando em dias difíceis e compartilhando dias felizes.

Enfim, agradeço a todos os que contribuíram direta ou indiretamente para que eu pudesse estar concluindo mais esta etapa na minha vida.

Obrigado!

## RESUMO

O solo é um recurso indispensável para a manutenção da vida. No entanto, com o tempo, vem sofrendo alterações que resultam na perda de sua qualidade, comprometendo a manutenção dos ciclos naturais dependentes deste meio. Neste sentido, o fogo é considerado uma atividade que pode interferir com o estado de conservação do solo. Devido à utilização do fogo controlado em Portugal como ferramenta de gestão da vegetação, torna-se importante a realização de estudos que contribuam para o conhecimento dos seus efeitos no solo. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto de um fogo controlado aplicado no Parque Natural de Montesinho, NE Portugal, na estabilidade da agregação do solo dois e sete meses pós-fogo, comparando com o solo original, ou seja, antes da aplicação do fogo, o qual decorreu no dia 22/03/2021. As amostras estudadas foram coletadas em oito pontos nas profundidades 0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm ao longo de dois transetos, com aproximadamente 15 m de distância entre pontos e transetos. Após a coleta, as amostras foram tratadas em laboratório e realizada análise da estabilidade dos agregados do solo em duas classes de tamanhos (0,25 e 0,4 mm). A partir destes resultados, foi possível realizar comparações da estabilidade da agregação antes e pós o fogo controlado, os impactos conforme as profundidades, classes de tamanho dos agregados, identificar seu comportamento ao longo do tempo pós tal perturbação, e ainda foi realizada a aplicação de Tecnosolo em pontos da área de estudo a fim de identificar seus possíveis benefícios para a agregação do solo. Desta forma, identificou-se que o fogo contribuiu de forma significativa para a desestabilização dos agregados do solo. Além disto, foi constatado que a classe de tamanho dos agregados é um fator que influencia a sua estabilidade, sendo mais estáveis as classes de menores dimensões. O fogo também contribuiu para a redução da estabilidade da agregação ao longo do tempo e da profundidade do solo.

**Palavras-chave:** fogo controlado, agregação do solo, tecnossolo.

## ABSTRACT

Soil is an indispensable resource for the maintenance of life. However, over time, it has undergone changes that result in the loss of its quality, compromising the maintenance of natural cycles dependent on this medium. In this sense, fire is considered an activity that can interfere with the state of conservation of the soil. Due to the use of controlled fire in Portugal as a vegetation management tool, it is important to carry out studies that contribute to the knowledge of its effects on the soil. Thus, the present study aimed to evaluate the impact of a controlled fire applied in the Parque Natural de Montesinho, NE Portugal, on the stability of soil aggregation two- and seven-months post-fire, comparing with the original soil, that is, before the fire application. The application of controlled fire took place on 06/24/2021. The samples to be studied were collected at eight points at depths 0-3, 3-6, 6-10 and 10-20 cm along two transects, with approximately 15 m of distance between points and transects. After collection, the samples were treated in the laboratory and the stability analysis of soil aggregates with two size classes (0.25 and 0.4 mm) was performed. From these results, it was possible to carry out comparisons of soil stability before and after the controlled fire, the impacts according to depths, particle size classes, identify how the soil behaves over time after such disturbance, and it was also performed the application of technosoil in points of the study area in order to identify its possible benefits for the aggregation of the soil. Thus, it was identified that the fire contributed significantly to the destabilization of soil aggregates. In addition, it was found that the soil size class is a factor that influences the stability of aggregates, with higher percentages in smaller soil classes. Fire also contributed to the reduction of aggregation stability over time and soil depth.

**Keywords:** prescribed fire, soil aggregation, technosoil.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.1	Solos .....	11
2.1.1	Formação e Importância dos Solos.....	11
2.1.2	Estrutura e Agregados do Solo .....	12
2.1.3	Importância da Estabilidade dos Agregados na Conservação do Solo.....	14
2.1.4	Tecnosolos.....	14
2.2	Fogos .....	15
2.2.1	Enquadramento do Fogo.....	15
2.2.2	Ocorrência de Incêndios em Portugal.....	17
2.2.3	Efeitos dos Incêndios na Agregação do Solo e em Propriedades Relacionadas .....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1	Caracterização da Área Experimental.....	21
3.1.1	Condições Climáticas .....	22
3.1.2	Caracterização dos Solos .....	23
3.1.3	Vegetação .....	23
3.2	Amostras de solo para avaliação da estabilidade da agregação do solo.....	26
3.2.1	Colheita de amostras de solo no campo.....	26
3.2.2	Aplicação e colheita de amostras dos Tecnosolos.....	27
3.2.3	Processamento das amostras de solo no laboratório.....	28
3.3	Determinação da Estabilidade dos Agregados.....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1.	Efeito do fogo controlado na estabilidade da agregação antes e pós-fogo controlado.....	32
4.2.	Efeito do fogo na estabilidade da agregação ao longo do tempo .....	37
4.3.	Efeito do fogo na estabilidade dos agregados em profundidade .....	39
4.3.	Classe dos agregados ao longo do tempo .....	43
4.4.	Estabilidade dos agregados na área com aplicação do Tecnosolo.....	45
5.	CONCLUSÕES .....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas ardidas nos anos de 1990 a 2015 no Distrito de Bragança .....	19
Figura 2 - Localização geográfica da área experimental.....	22
Figura 3 – Média de distribuição mensal da temperatura em Bragança .....	23
Figura 4 - Classificação dos solos no Parque Natural de Montesinho .....	25
Figura 5 - Distribuição dos matos (estevais, giestais e urzais) no Parque Natural de Montesinho. O quadrado a vermelho representa a área de estudo. Fonte: Ligeo, ESA/IPB, adaptado de Bompastor et al. (2009).....	25
Figura 6 – Imagem ilustrativa de Urzais, Carquejas e Estevais .....	26
Figura 7 - Aplicação do fogo controlado na área de estudo no Parque Natural de Montesinho.	27
Figura 8 - Localização dos pontos de amostragem na área de estudo.....	28
Figura 9 – Preparo e crivagem das amostras do solo .....	29
Figura 10 – Estabilizador de Agregados .....	30
Figura 11 – Amostras húmidas, pré estufa e seca, pós estufa .....	32
Figura 12 – Estabilidade dos agregados antes e após a aplicação do fogo controlado para cada classe de agregados (0,25 e 0,4 mm).....	34
Figura 13 – Boxplot da estabilidade dos agregados nos períodos não ardido (AF) e ardido (DF) para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).....	34
Figura 14 – Boxplot da estabilidade dos agregados nos períodos não ardido (AF) e ardido (DF) para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	35
Figura 15 – Correlação entre a estabilidade dos agregados e a matéria orgânica no estado ardido (DMPF e SMPF) .....	36
Figura 16 – Estabilidade dos agregados ao longo dos períodos estudados (SO, DMPF e SMPF) para cada classe de agregados (0,25 e 0,4mm). Com suas linhas de tendência das médias para cada classe do solo .....	37
Figura 17 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF) para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).....	37
Figura 18 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF) para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	37

Figura 19 - Estabilidade dos agregados em profundidade (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm), nos diferentes períodos de amostragem (SO, DMPF e SMPF) para cada classe de agregados (0,25 mm e 0,4 mm) .....	39
Figura 20 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 0-3 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).....	40
Figura 21 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 3-6 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).....	40
Figura 22 - Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 6-10 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).....	40
Figura 23 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 10-20 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	40
Figura 24 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 0-3 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	41
Figura 25 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 3-6 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	41
Figura 26 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 6-10 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).....	41
Figura 27 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 10-20 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	41
Figura 28 – Estabilidade dos agregados conforme a classe de agregados (0,25mm e 0,4mm) ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF).....	43
Figura 29 – Boxplot da estabilidade dos agregados conforme a classe de agregados 0,25 mm ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF). Colunas seguidos de letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	43
Figura 30 – Boxplot da estabilidade dos agregados conforme a classe de agregados 0,4 mm ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF). Colunas seguidos de letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	43
Figura 31 – Estabilidade dos agregados em profundidade (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm) no período SMPF, onde se considerou os pontos com e sem a aplicação do Tecnosolo, para as classes de agregados 0,25 e 0,4 mm.....	45

Figura 32 - Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 0-3 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	45
Figura 33 - Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 3-6 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	45
Figura 34 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 0-3 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	46
Figura 35 - Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 3-6 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	46
Figura 36 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 0-3 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	46
Figura 37 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 3-6 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	46
Figura 38 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 6-10 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	46
Figura 39 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 10-20 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade do solo é um fator essencial para a manutenção da vida tal como é conhecida, pois está associada a diversos avanços na sociedade, tendo a produção agrícola um grande destaque quando se pensa na sua importância. O solo tem grande relevância em processos naturais, tais como os ciclos biogeoquímicos, manutenção de boa qualidade da água e além disto, o solo é o maior responsável pelo armazenamento de carbono em biomas terrestres.

Neste sentido, tem-se cada vez mais evidenciado a importância de manter a qualidade do solo. Segundo Bradford et al. (2016) e Luo et al. (2015) os parâmetros físicos e químicos do solo são aspectos essenciais para determinar o seu estado de conservação. As alterações dos parâmetros físicos do solo podem ocorrer de forma natural através da compactação pelo pisoteio de animais, quedas de árvores, dentre outros (Silva et al., 2008; Debiasi e Franchini, 2012). Porém, também acontecem em decorrência de atividades antrópicas, sendo estas as principais causas de alterações da qualidade física do solo. Tais atividades se dão muitas vezes por meio da movimentação de maquinários agrícolas e utilização do solo para pecuária. Ademais, o fogo é um agente capaz de alterar as características físicas e químicas do solo, sendo a estabilidade da agregação e a capacidade de armazenamento de água os principais fatores afetados em uma área ardida (Giovannini et al., 1987; Diaz-Fierros et al., 1990; José et al., 1994).

Segundo Carvalho (2006), existem pelo menos duas formas de uma área ser queimada. Através do fogo prescrito ou controlado, onde de forma controlada no espaço e no tempo, os materiais vegetais vivos ou mortos de uma área entram em combustão. E por meio do incêndio florestal, que ao contrário do fogo controlado, a combustão a céu aberto ocorre de forma descontrolada e normalmente de forma mais intensa. Este se aplica sobre qualquer forma de vegetação, podendo ter como fonte da sua ignição causas antrópicas ou naturais. A incidência do fogo sobre o solo pode causar de forma direta ou indireta, uma série de impactos nas características biológicas, químicas e físicas do solo. Podendo essas modificações serem pontuais ou permanentes, onde o nível de degradação está associado a fatores como: tipo de solo, cobertura vegetal, duração, intensidade e frequência do fogo (Redin et al., 2011).

Devido ao clima e à presença de espécies com grande potencial de inflamabilidade, Portugal vem sofrendo ao longo dos anos com severos incêndios florestais (Catry et al., 2007). Para diminuir o combustível disponível, o fogo controlado é comumente utilizado como uma ferramenta de gestão da vegetação com vista à redução do risco de incêndios florestais. O presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos de um fogo controlado aplicado no Parque Natural de Montesinho, NE Portugal, na estabilidade da agregação do solo e sua relação com propriedades do solo. A estabilidade da agregação do solo foi determinada antes da aplicação do fogo, dois e sete meses pós-fogo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Solos**

#### **2.1.1 Formação e Importância dos Solos**

O solo é um importante recurso para a manutenção da vida na Terra, pois é utilizado principalmente como meio de desenvolvimento da produção vegetal. Sabe-se, no entanto, que o solo apesar de ser um recurso renovável, possui um processo de formação longo e complexo, dependendo diretamente de condições integradas de clima e organismos. Estes fatores atuam diretamente sobre o material de origem, normalmente uma rocha denominada de “rocha mãe” e esta passa por diversos processos físico-químicos até se tornar efetivamente solo (Lima, 2008). Como resultado destes processos, o solo pode ser descrito como um sistema trifásico, composto por partículas minerais e orgânicas, água e ar (sólido, líquido e gasoso). Tendo em sua parte sólida, variabilidade quanto a tamanho, forma e composição química, a organização das partículas do solo gera o que se conhece por porosidade (Reinert & Reichert, 2006). Segundo Cajazeira & Júnior (2011), esta característica está ligada diretamente a outras propriedades físicas como a densidade do solo e a resistência à penetração, e qualquer alteração em alguma destas propriedades pode comprometer todo o sistema, alterando a capacidade do solo exercer funções na natureza. Segundo Larson & Pierce (1994) e Karlen et al. (1997), tais funções podem ser traduzidas como meio de crescimento da vegetação, controlar e subdividir o fluxo de água no ambiente, armazenar e estabelecer a ciclagem de elementos na biosfera, além de servir como agente ambiental na formação, redução e degradação de compostos prejudiciais ao meio ambiente.

Deste modo, Sampaio (2011) conclui que o solo exerce uma função de grande relevância para os ciclos biogeoquímicos. Em condições de falta de cobertura do solo, são perdidos nutrientes e sais minerais por ação das águas da chuva e do vento, tornando necessária a aplicação de fertilizantes, gerando aumento do tráfego de veículos agrícolas nesses locais (Rosa et al. 2003). Ainda neste sentido, de acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), estima-se um crescimento populacional de aproximadamente 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, fazendo com que a população da Terra alcance a marca de 9,7 bilhões de habitantes até o ano de 2050. Este fato é significativo para a qualidade do solo pois haverá cada vez mais a necessidade de produção de alimentos, a fim de suprir as futuras demandas.

No entanto, segundo Gliessman (2000) a agricultura, quando manejada de forma correta, pode gerar menores níveis de impactos negativos na qualidade do solo, sendo a agricultura sustentável um exemplo de como produzir alimentos e fibras através de cinco pilares visando a manutenção do solo, sendo estes: produtividade, segurança, proteção, viabilidade e aceitabilidade (Smyth & Dumanski, 1995). Além do uso e ocupação para a produção de alimentos, outras atividades geram também alterações significativas no solo, como a produção de animais para consumo, grandopisoteio e conseqüentemente compactação (Silva et al., 2008). Ademais, o desflorestamento é outro fator que impacta a qualidade do solo desde o tráfego de maquinaria que gera um efeito de compactação no solo (Silva et al., 2003; Lima et al., 2005; Roque et al., 2010; Debiasi & Franchini, 2012), até ao momento em que o solo permanece exposto, causando erosão e por conseqüência, perda de solo e diminuição da fertilidade.

Os incêndios florestais são outros agentes causadores de impactos não apenas para o solo, mas também para a fauna e flora presentes nos locais afetados. Segundo Mataix-Solera et al. (2011), os incêndios florestais geram uma redução da quantidade de matéria orgânica presente no solo, no qual, modifica sua estrutura e causa alterações na estabilidade da agregação, podendo resultar em impactos nas comunidades microbiológicas do solo.

### **2.1.2 Estrutura e Agregados do Solo**

A estrutura do solo é definida a partir do arranjo entre partículas de areia, argila e silte por meio da ação da matéria orgânica e minerais como o Fe, Al e Mg, que agem como agentes cimentantes. Estes, unem as partículas primárias que através de uma força mecânica, gera a agregação das partículas do solo (Kiehl, 1979). Ou seja, a estrutura de um solo depende diretamente da forma com que tais partículas se encontram agregadas (Rech & Thomaz, 2008).

Após a formação dos agregados, estes podem ser divididos em duas categorias de tamanho. Os macroagregados, que segundo Balbino et al. (2002), apresentam tamanho superior a 300µm. Já para Azevedo & Bonumá (2004), os macroagregados possuem tamanho acima de 250 µm. E os microagregados, que segundo Six et al (2002), possuem tamanhos inferiores a 250µm. O tamanho dos agregados, segundo Pádua et al. (2015), influencia a porosidade do solo, onde solos com maiores níveis de macroagregados possuem poros maiores, e conseqüentemente, maior estabilidade do solo, além de maior capacidade de infiltração e arejamento. Já os microporos, estão relacionados a solos com maiores níveis de compactação, o que causa dificuldades no crescimento radicular das plantas.

Segundo Andrade (2020), os agregados do solo se formam a partir de duas grandes etapas: aproximação e arranjo de partículas ocorrendo inicialmente e, finaliza na estabilização das mesmas. No entanto Capeche (2008), apresenta também outros processos capazes de formar agregados, sendo estes:

- Estrutura prismática: onde as partículas de solo se organizam em volta de uma linha vertical, com unidades de faces planas e orientações verticais maiores que as horizontais.
- Colunar: se assemelha a prismática, pois suas partículas se dispõem igualmente em torno de uma linha vertical com unidades de face plana e orientação vertical maior que a horizontal. Porém, estas apresentam sua parte superior em formato curvo ou arredondado.
- Angular/Subangular: as partículas se organizam em torno de um ponto, formando unidades estruturais limitadas por faces curvadas ou planas, que conseguem se reajustar de acordo com as unidades vizinhas. Neste modelo de arranjo, os blocos angulares se caracterizam por faces planas e ângulos cortantes. Por outro lado, os subangulares apresentam faces planas, curvadas ou mistas, com vértices arredondados.
- Laminar: nesta disposição, as partículas se organizam em torno de um plano horizontal. Ao contrário das outras estruturas, esta característica normalmente se refere ao material de origem.
- Granular: as partículas se organizam em volta de um ponto, gerando esferas arredondadas. Esta organização pode ter uma subdivisão quando suas unidades apresentam características de grande porosidade, sendo chamada de grumoso.

Existem também solos que não estão enquadrados em nenhuma das classificações anteriormente citadas. Estes recebem a classificação de estrutura ausente e são designados como maciços, pois suas partículas sólidas se encontram reunidas sem cimentação. Ou possuem grãos simples, ou seja, quando suas partículas se encontram soltas ou individualizadas (Lepsch, 2010).

Neste sentido, a estrutura interfere positiva ou negativamente no solo, atuando de forma direta em aspectos como a resistência à penetração das raízes, aeração, conservação da umidade, e de forma indireta na fertilidade do solo, pois existem várias reações químicas ou bioquímicas na área superficial dos agregados (Grohmann, 1960).

### **2.1.3 Importância da Estabilidade dos Agregados na Conservação do Solo**

A estrutura é um importante parâmetro para uma boa qualidade do solo. Ela está relacionada a fatores como tamanho, forma e arranjo das partículas sólidas juntamente com os espaços vazios presentes, conhecidos como poros (Lal, 1991). Os poros são responsáveis por manter uma boa aeração do solo, propiciando um ambiente ideal para o crescimento das raízes das plantas (Rampazzo et al., 1998; Pardo et al., 2000). Além disto, os espaços vazios servem como local de armazenamento de água, oxigênio, partículas orgânicas e inorgânicas, as quais auxiliam na manutenção do solo (Franzluebbers, 2002; Reichert et al., 2005).

Ainda segundo Lal (1991) e Franzluebbers (2002) uma boa agregação das partículas é favorável, pois promove maior fertilidade do solo, melhorando a produção agrônômica, e diminuindo os índices de erodibilidade. Um solo nessas condições apresenta maior proteção em sua camada da matéria orgânica, diminuindo a exposição e vulnerabilidade a ações de chuvas e ventos, além de diminuir sua perda por esses meios.

Vale ressaltar que, segundo Bayer et al. (2004), o solo é o grande responsável pelo sequestro e armazenamento de carbono da atmosfera. Por este motivo, a manutenção da matéria orgânica é fundamental, pois esta, quando em condições ideais age como um meio protetor do carbono retido. Neste sentido, Primieri et al. (2017) afirmam que a forma de uso e manejo do solo interfere na quantidade de carbono armazenado. Nóbrega & Cordovil (2011) concluem que solos com maior presença de materiais orgânicos estão associados a maior presença de carbono.

A fim de manter uma boa qualidade do solo, foram desenvolvidas técnicas capazes de diminuir os impactos do setor agrícola na produção de alimentos. Romeiro, (1998) e Resck (1999) apresentam o sistema de plantio direto (PD) como uma boa alternativa, diminuindo os danos e controlando de forma mais efetiva a erosão decorrente desta atividade. No entanto, fatores como o não revolvimento do solo associados a maiores intensidades no tráfego de veículos agrícolas geram alterações consideráveis na sua estrutura, causando reduções da porosidade e exposição da matéria orgânica ao ar (Camara e Klein, 2005).

### **2.1.4. Tecnosolos**

O tecnosolo é abordado por IUSS Working Group WRB (2015) como uma forma de remediar a degradação que os solos vêm sofrendo ao longo do tempo. Estes são baseados na aplicação de conhecimento científico e tecnologia para compor um solo com características ideais a fim de solucionar um determinado problema. Estes, segundo a FAO - Organização das Nações Unidas para

a Alimentação e a Agricultura são definidos como tipo de solos que apresentam mais de 20% de sua composição a partir de materiais sintéticos, onde boa parte desses materiais provêm dos resíduos sólidos urbano. Deste modo, os tecnossolos são apresentados como uma forma de reduzir diversos impactos ambientais. Sendo um destes, a destinação de resíduos sólidos orgânicos gerados em grandes centros urbanos, onde ao invés de serem despejados em aterros sanitários ou serem incinerados, causando poluição atmosférica através da liberação de gases de efeito estufa, são convertidos em solo (Macías-García et al., 2015).

Segundo Ibarrola (2015), os tecnossolos são recursos fundamentais para o combate ao efeito estufa, pois possuem normalmente a capacidade de sequestrar e armazenar carbono (Macías Vázquez 2004; Lorenz 2009). Neste contexto, Deeb et al. (2016) em seu estudo, onde avaliou a formação dos micro e macroagregados, bem como os mecanismos de armazenamento de carbono e estabilidade da agregação no tecnossolo, concluíram também que esta categoria de solo apresenta considerável potencial para o armazenamento de carbono, auxiliando na diminuição do efeito estufa. Além disto, os autores ainda afirmam que o tecnossolo reduz a perda de solo por erosão hídrica e melhora a qualidade da água superficial (Bronick, 2005). Neste sentido, Vidal-Beaudet, et al. (2018) afirmam que a partir de resíduos sólidos urbanos é possível que ocorra a criação de solos artificiais com propriedades capazes de atribuir fertilidade e boa qualidade para solo.

## **2.2 Fogos**

### **2.2.1 Enquadramento do Fogo**

O fogo é um elemento presente na natureza desde antes da presença dos primeiros seres humanos, pois é fonte de energia principalmente para a cocção de alimentos e para o aquecimento em dias frios, portanto, pode-se afirmar que o fogo é um recurso essencial para a manutenção da vida. Segundo Musitano (2019), a relação do homem com o fogo passou por três estágios, sendo a produção, manutenção e utilização de substâncias para que o fogo permanecesse aceso por longos períodos de tempo. E de acordo com Leite et al. (2013), ao dominar o fogo, o homem passa a produzir novas alterações no ambiente em que está inserido.

A interação do ser humano com a natureza é um aspeto de grande relevância quando se pensa em grandes impactos ambientais. Ferreira et al. (2015) afirmam que a remoção da vegetação nativa para a implementação de locais com plantações uniformes, juntamente com o aumento da degradação do solo devido a maiores áreas de pastagem são fatores que elevam a suscetibilidade à ocorrência de incêndios.

Os incêndios florestais causam relevantes alterações nos ecossistemas afetados (Bento-Gonçalves et al., 2012), sendo principalmente em aspetos de degradação da vegetação, matéria orgânica, biodiversidade, alteração da capacidade de infiltração de água no solo e mudanças nas características de agregação e estabilidade do solo. Em escala global, os incêndios promovem aumento na emissão de carbono para a atmosfera (Certini, 2005; Varela et al., 2010; Herawati & Santoso 2011). Neste contexto, existem diferentes níveis de degradação do meio ambiente em decorrência dos incêndios. Segundo Badía et al. (2011), a degradação de um ecossistema está relacionada a intensidade e tempo de duração do fogo sobre um determinado local, ou seja, quanto maior a intensidade e o tempo, maior serão os impactos.

No entanto, o fogo em muitos locais é tido como um processo natural, e muitas vezes essencial para o desenvolvimento e manutenção da vegetação, pois de acordo com Gignoux et al. (1997), diversas espécies de plantas possuem características que, quando em contato com o fogo, as fazem liberar sementes e em muitos casos quebrar a dormência das sementes presentes no solo após a passagem do fogo (Whelan, 1995; Bond & Van Wilgen, 1996; Keeley et al., 2011). Neste sentido, sabe-se que o fogo exerce também funções positivas para o desenvolvimento de determinadas espécies vegetais. Sendo assim, o fogo pode ser dividido em duas categorias: os incêndios de propagação livre e desordenada e a utilização do fogo de forma prescrita ou controlada (Soares & Santos, 2002). O fogo prescrito ou controlado é planejado para que seu tempo de duração juntamente com baixa intensidade atinja objetivos específicos. No planejamento, são considerados aspetos como condições meteorológicas, quantidade de combustível presente, e também as condições topográficas do local onde será aplicado (Fernandes et al., 2013). Esta prática, segundo McRae (2005), é aplicada em pequenas áreas, com menos de 4 ha. Em Portugal, o fogo controlado é entendido como uma ferramenta de gestão de espaços florestais que consiste na utilização do fogo segundo determinadas normas e procedimentos a fim de alcançar objetivos quantificáveis, e deve ocorrer sob responsabilidade de um técnico credenciado (DI. N. °156/2004).

Segundo Santín & Doerr (2016), atualmente o fogo controlado tem sido utilizado maioritariamente com a finalidade de preservar os ecossistemas através da eliminação de combustíveis em áreas que podem causar incêndios florestais descontrolados, com grande intensidade do fogo, desta forma, reduzindo os riscos para o local. Ademais, Wright e Heinselman (1973), Sheet (2009) e Montiel & Kraus (2010), enfatizam que a utilização deste método tem diversas finalidades, tais como o controle da vegetação, preparar o terreno, controle de doenças nas plantas, melhoria da quantidade e qualidade da produção vegetal, além de reduzir os riscos de incêndios através do controle da quantidade de matéria seca acumulada. Desta forma, é de fundamental importância ter conhecimento do perfil dos incêndios, compreendendo a sua origem e o tempo de recorrência, para que possam ser adotadas medidas a fim de anular ou remediar os impactos que os incêndios podem causar nos ecossistemas (Santos et al., 2006).

### **2.2.2 Ocorrência de Incêndios em Portugal**

A incidência de incêndios florestais em Portugal pode ser explicada pelas características climáticas e meteorológicas que possui devido a sua posição geográfica. Estes fatores que juntamente com a ação humana, são responsáveis primordialmente pelos incêndios que ocorrem no território (Nunes et al., 2013).

A mudança do perfil populacional ocorrida a partir da década de 50 do séc xx, fez com que ao abandonar as áreas rurais em busca de se estabelecer em centros urbanos, as pessoas alteraram a sua principal forma de sobrevivência, abandonando as práticas da agricultura e pecuária e consequentemente reduzindo sua dependência de materiais lenhosos, o que culminou na acumulação de materiais combustíveis nas florestas (Moreno et al., 1998; Rego, 2001; Lourenço et al., 2011). Isto fez com que houvesse maior probabilidade de ignição de incêndios florestais. No entanto, é a partir da década de 70 que os incêndios passam a ganhar destaque e a serem vistos como um problema de planejamento e gestão florestal. Até à década de 1980 nunca se havia tido no país um incêndio com uma área afetada superior a 10 000 ha em uma única ocorrência. Porém, no ano de 1986 ocorreu o primeiro com tais dimensões no distrito de Vila de Rei e Ferreira de Zêzere. No ano seguinte, em 1987, foi registrado o segundo incêndio com dimensões superiores a 10 000 ha. A partir de então, deu-se início a um novo período no que se refere a grandes incêndios florestais (Lourenço, 1986; Lourenço, 1988). Nas décadas seguintes foi possível observar um grande aumento na quantidade de incêndios, sendo principalmente nos anos de 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2005. O ano de 2005 apresentou o maior número de focos de incêndios e em 2003 foi o ano com a maior área ardida (Lourenço et al., 2011).

De acordo com Ferreira-Leite (2010), existem algumas divergências relativas à qualidade e ocorrência dos dados disponibilizados pela Agência Florestal Nacional – AFN, que promove a divulgação dos mesmos de forma online a partir do ano de 1980. Deste modo, a presença dos incêndios florestais em Portugal nas últimas três décadas se intensificaram (Nunes et al., 2013), e deste forma, Mira & Lourenço (2019) concluem que é necessário que haja maior atenção na investigação das causas dos incêndios por parte das entidades responsáveis a fim de reduzir e controlar tais ocorrências.

O Nordeste de Portugal, nomeadamente o Distrito de Bragança é considerada uma zona com grandes focos de incêndios a nível nacional. Segundo o Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), esta região foi impactada por incêndios, entre os anos de 1990 a 2015, com um total de área ardida de 1555 km<sup>2</sup>, correspondendo a 23,56% de toda área do Distrito. Conforme a Figura 1, é possível visualizar todos os focos de incêndio no distrito nos últimos 25 anos.

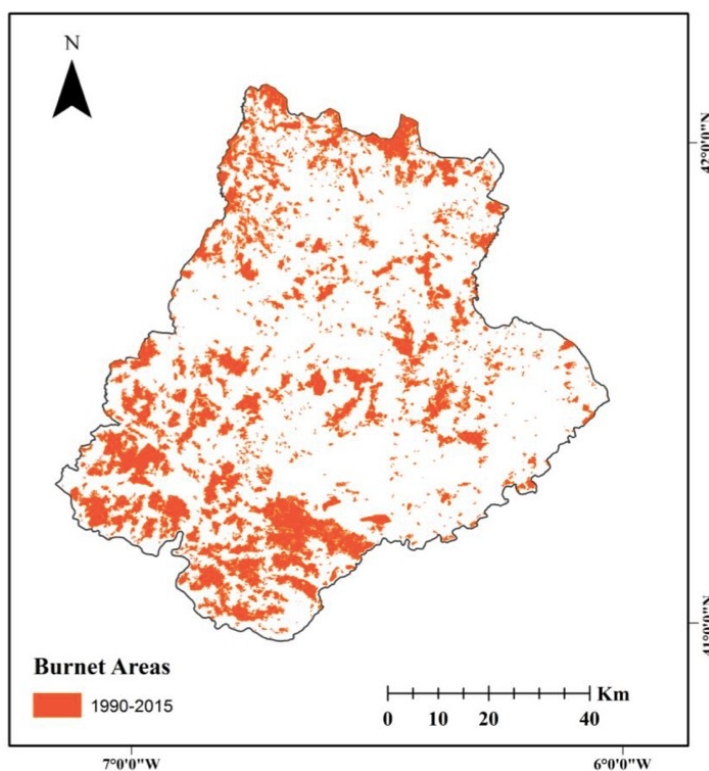


Figura 1 - Áreas ardidas nos anos de 1990 a 2015 no Distrito de Bragança  
Fonte: Adaptado de Portal online ICNF (2017).

### **2.2.3. Efeitos dos Incêndios na Agregação do Solo e em Propriedades Relacionadas**

A estabilidade da agregação é um atributo de fundamental importância para uma boa qualidade do solo. Um dos fatores capazes de causar alterações nesta propriedade é a exposição a altas temperaturas. Segundo Badía-Villas et al. (2014), uma área ardida apresenta menor agregação das partículas do solo, bem como menores concentrações de carbono orgânico total, matéria orgânica e retenção de água. Sendo que tais efeitos ocorrem principalmente nos horizontes O e A do solo. Neste sentido, Thomaz (2011), conclui que quando exposto a temperaturas superiores a 200°C, já é possível perceber alterações nos agregados maiores que 2 mm. Isto é devido à degradação de agentes cimentantes, como a matéria orgânica presente na camada superior do solo. Em contrapartida, Mataix-Solera et al. (2011) e Chen et al. (2016) concluíram que, em temperaturas superiores a 100°C já se torna possível identificar alterações na agregação, além da redução da quantidade de MO e diminuição da capacidade de saturação do solo. Fato também observado por Nunes et al. (2019), onde concluíram que a exposição do solo a altas temperaturas reduz a agregação do solo. Contudo, contrapondo a isto, existem estudos que concluem que quando submetido a altas temperaturas, o solo tem uma melhora significativa na sua agregação. Thomaz (2017) identificou um aumento considerável na estabilidade dos agregados do solo nos agregados maiores que 2 mm. Neste contexto, apesar de haver estudos que contestam os efeitos negativos causados pelo fogo no solo, no geral, este é responsável por causar mudanças significativas nas propriedades físicas do solo.

A textura, segundo Afif & Oliveira (2006), é um atributo pouco afetado quando exposto a temperaturas até 500°C, podendo ser identificadas alterações, principalmente na percentagem de areia, a qual se percebe um aumento devido a desagregação das partículas maiores e instáveis. No entanto, os autores ainda concluem que sete dias após observar este efeito, a areia volta a apresentar um estado de agregação a níveis próximo ao que possuía antes do incêndio, o que torna esta alteração pouco relevante. Ainda é possível identificar efeitos do fogo na densidade do solo, porém, não existe um consenso quanto ao nível de degradação causado neste atributo, pois segundo Brye (2006) e Chief et al. (2012), existe uma redução na densidade aparente, porém Binkley et al. (1992), Kennard & Gholz (2001) e Hubbert et al. (2006) afirmam que ocorre aumento. E ainda segundo Pierson et al. (2008) e Meira-Castro et al. (2014), não há alterações na densidade aparente após a exposição ao fogo.

Além dos efeitos causados nas propriedades físicas, existem diversos estudos focados nas alterações das propriedades químicas do solo após sua exposição a altas temperaturas. O pH é uma característica que segundo Switzer et al. (2012), Muqaddas et al. (2015) e Fonseca et al. (2017) sofre um significativo aumento em seu valor após um incêndio. Assim como o pH, a condutividade elétrica tende a aumentar imediatamente após a presença do fogo, devido a liberação de íons solúveis durante a queima da matéria orgânica, a qual produz cinzas que se incorporarão ao solo (Alcañiz et al., 2016; Fonseca et al., 2017). Tal aumento ocorre em decorrência da maior disponibilidade de salinidade presente no solo (Mataix-Solera e Cerdà, 2009). Ainda segundo o Mataix-Solera & Cerdà (2009), é possível identificar uma boa relação entre a quantidade de matéria orgânica e a capacidade de troca catiónica, portanto, quando há diminuição da matéria orgânica, os cátions liberados durante a combustão são menos retidos no complexo adsorvente, fazendo com que a fertilidade do solo diminua.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área Experimental

O presente estudo decorreu no Parque Natural de Montesinho (PNM), NE Portugal, o qual faz fronteira com a Espanha e engloba as serras de Montesinho e da Coroa. A área de estudo está situada próxima da aldeia de Aveleda, Bragança (41°53'57.06"N, 6°40'55.39"O), conforme Figura 2.

O PNM foi criado através do decreto de lei n° 355/79 de 30 de agosto, visando a conservação, proteção e valorização dos recursos disponíveis no local (IPB/ICN, 2007). E este conta com uma área de aproximadamente 750 km<sup>2</sup> e possui um relevo ondulado com cumes planos a arredondados, e existem encostas suaves em altitudes superiores a 800 metros acima do nível do mar, que são cortadas por vales profundos e descarregam uma rede hidrológica temporária.

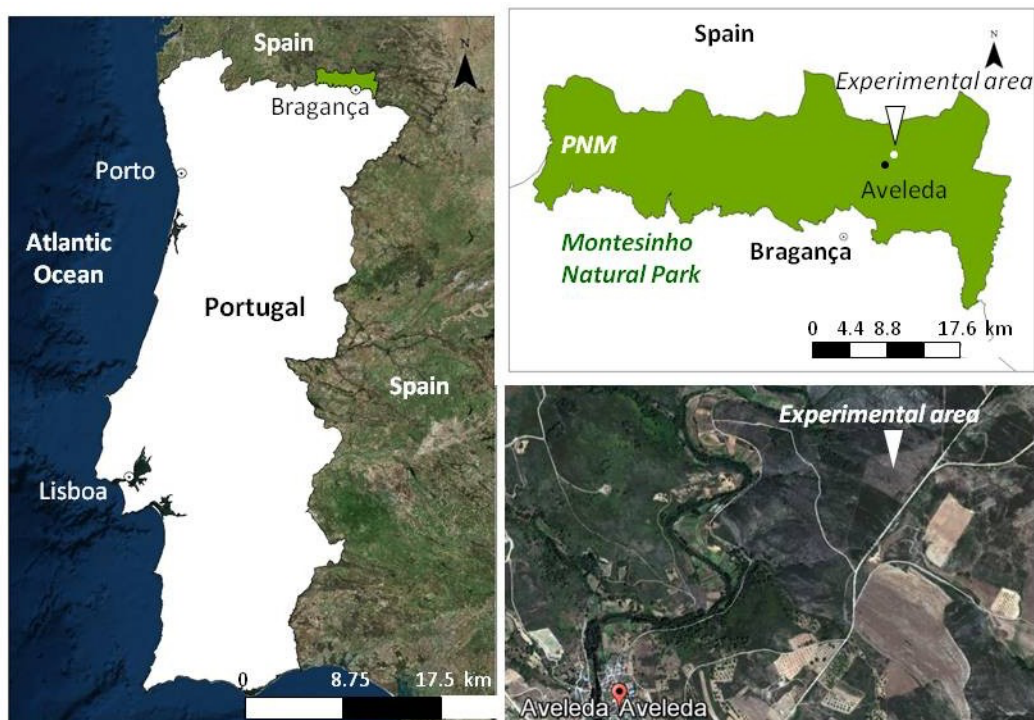


Figura 2 - Localização geográfica da área experimental.  
Fonte: Fonseca et al. (2017)

### 3.1.1 Condições Climáticas

Devido à sua localização no interior de Trás-os-Montes, Bragança possui pouca influência marítima do Oeste e Norte. Já o Oriente Sul, apresenta sua influência associada a planaltos e ao Maciço Central. Em decorrência destas características, segundo Köppen, Bragança apresenta um tipo de clima Csb, o que significa que é predominantemente temperado com invernos suaves e verões longos e quentes. Sua temperatura média anual, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica - INMG (2011) é de 12°C, com médias mensais que variam entre 21,3°C em julho, mês mais quente do ano, a 4,4°C em janeiro, considerado o mês mais frio, conforme Figura 3. A precipitação média anual da região é de 750 mm. Neste contexto, o distrito pode ser dividido em dois períodos: quente e seco, referente aos meses de junho a agosto e o período húmido e frio, referente aos meses de novembro a abril. No período seco e quente, a temperatura média é de 21,2°C e possui baixo nível de precipitação, média de 50 mm. Em contrapartida, o período húmido e frio apresenta maior nível de precipitação, atingindo picos de 120 mm em um único mês (INMG, 2011).

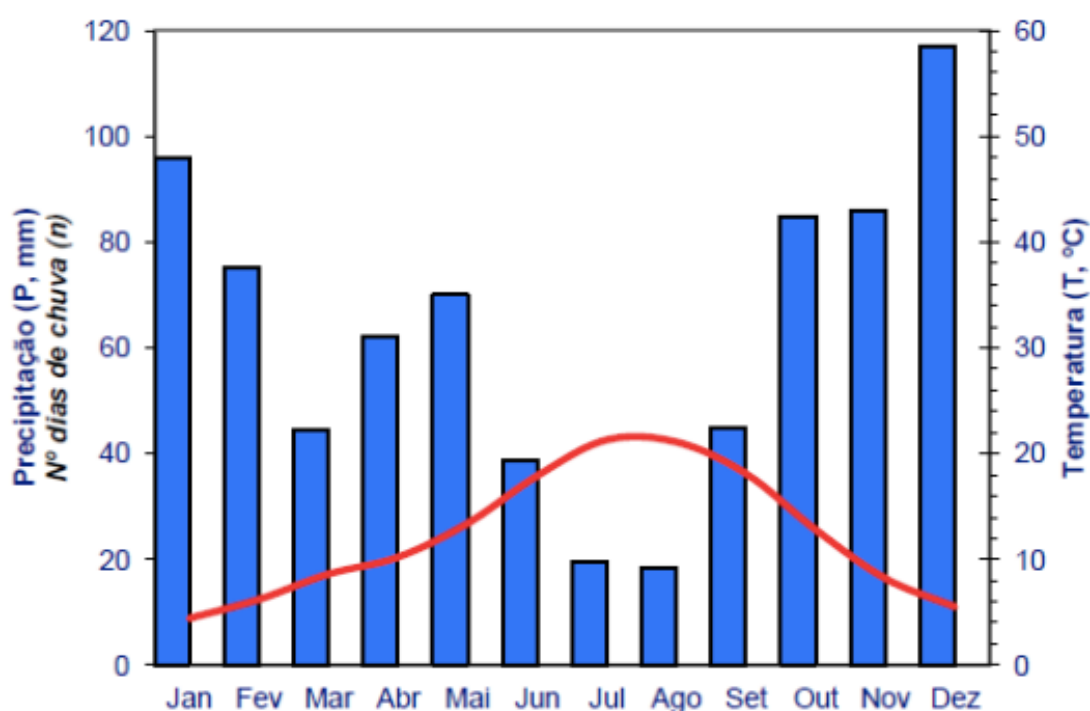


Figura 3 – Média de distribuição mensal da temperatura e precipitação pluviométrica no período de 1971 a 2000 em Bragança.  
Fonte: Adaptado de Leite (2011)

### 3.1.2 Caracterização dos Solos

A região onde está localizado o Parque Nacional de Montesinho possui em seu histórico de formação geológica uma colisão entre placas tectonoestratigráficas. Esta colisão é conhecida como varisca, e em sua decorrência houve um empilhamento das placas, as quais foram levadas desde a margem continental Ibérica, a qual possui mais de 200 km, até o leste da Galiza e Noroeste de Trás-os-Montes (Câmara Municipal de Mirandela, 2018).

O solo predominante na região pertence à classe dos Leptossolos úmbricos de xisto. Esta unidade solo é caracterizada por solos rasos, pouco desenvolvidos e não possuir seus horizontes devidamente definidos. Sua profundidade é de aproximadamente 30 cm, formado por material desagregado sobre rocha consistente, provenientes de materiais compactos. Seu teor de matéria orgânica é médio a elevado, e são chamados também de solos incipientes, devido a suas propriedades se reduzirem maioritariamente ao material de origem (Pissarra, 1981; IPB/ICN, 2007). De acordo com a Figura 4 é possível visualizar a classificação dos solos no do Parque Natural de Montesinho.

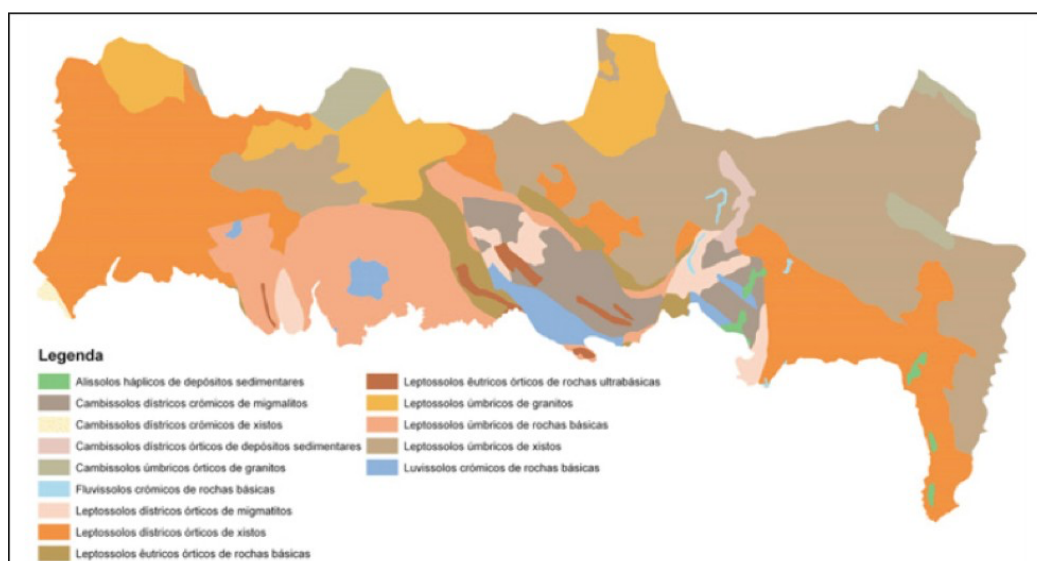


Figura 4 - Classificação dos solos no Parque Natural de Montesinho  
Fonte: Castro et al. (2010)

### 3.1.3 Vegetação

Devido à reduzida espessura e grande potencial de erosão do solo, a vegetação da área de estudo é principalmente constituída por comunidades arbustivas. Onde as principais espécies encontradas no local podem ser identificadas a partir da Figura 5 (IPB/ICN, 2007).

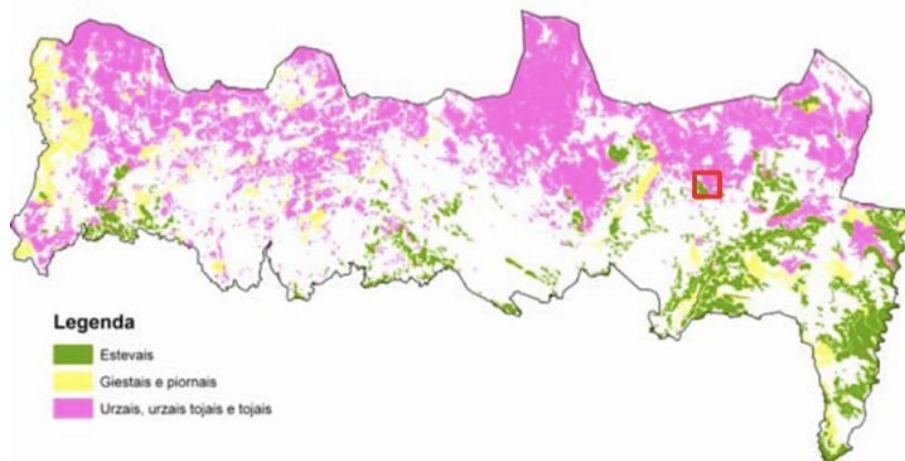


Figura 5 - Distribuição dos matos (estevais, giestais e urzais) no Parque Natural de Montesinho. O quadrado a vermelho representa a área de estudo. Fonte: Ligeo, ESA/IPB, adaptado de Bompastor et al. (2009).

- a. Urzais – encontrados com maior frequência e ocupam faixas mais altas, frias e húmidas;
- b. Carquejas – Espécie típica de matos e matagais situadas em terrenos ácidos;
- c. Sargaço – Espécie de planta com flor, é encontrada em regiões mediterrânicas;
- d. Rosmaminho – Também conhecida como alfazema, é uma espécie facilmente encontrada em regiões mediterrânicas;
- e. Estevais – estas são normalmente mais encontradas em zonas quentes e secas e ocupam menor área quando comparada com os outros tipos.



Figura 6 – Imagem ilustrativa de Urzais, Carquejas e Estevais  
 Fonte: Daraž (2006); Clamote (2012); Ganhão (2021)

Na área de estudo, das espécies encontradas, a que apresenta maior representatividade é a Carqueja (*Chaemespartium tridentatum*), seguida pela Urze (*Erica australis*) e Esteva (*Cistus ladanifer*). Sendo o Rosmaninho (*Lavandula stoechas*) e o Sargaço (*Cistus monspeliensis*) espécies com menor representatividade. Segundo Fernandes et al. (2009), o alto potencial combustível associado à ausência de programas de gestão, normalmente por se encontrarem muitas vezes afastadas de centros urbanos, tornam estas áreas ocupadas por matos locais com grande risco de incêndios.

### 3.2. Uso do fogo controlado como técnica da gestão da vegetação no PNM

A 22 de março de 2021 foi realizado um fogo controlado numa área de matos decerca de 5 ha, com vista à gestão da vegetação e consequente proteção de um povoamento de *Pinus pinaster* contra a possível ocorrência de incêndios florestais (Figura 7). O dia da aplicação do fogo contou com uma meteorologia que favoreceu o controle do fogo. Apresentou zero precipitação, ventos partindo do Leste a 7,2 km/h e chegandoa Oeste a 27 km/h, humidade relativa média de 64%, com mínima de 21% e máxima de 93%, e temperatura mínima de -1,7 °C e máxima de 16,9 °C.

O índice meteorológico de perigo de incêndio (FWI) estava classificado como perigo moderado/baixo, possuindo como resultados: humidade de combustíveis finos (FFMC) entre os valores de 50 a 75%, que resultou numa difícil taxa de ignição, com o perímetro do fogo a apresentar quebras e a propagação do fogo a necessitar de vento para progredir; referente ao índice de seca (DC), foi identificado em termos de valor absoluto 17,2, o que indicou uma adequada janela de valores para que a ação ocorresse (valores superiores a 30 indicam *secura* e *extrema secura*); o índice de húmus (DMC) foi localizado na classe entre 25 a 50, o que indicouum baixo a médio potencial das chamas reascenderem ou que houvesse a ocorrência de fogo subterrâneo, assim como efeitos na qualidade do ar e visibilidade; a propagação inicial do fogo(ISI) obteve um valor de 4,79, o indica lenta evolução inicial, tendo em vista que para uma rápida evolução inicial, são necessários valores superiores a 10; a disponibilidade de combustível foi considerada baixa, apresentando valor de 17,1. Pode-se considerar alta quando apresentado valores superiores a 40. Ainda foi realizada a medição da temperatura das chamas ao longo do processo de queima, onde a temperatura mais alta registrada foi de 670 °C e a menor de 39,1 °C.

Devido as condições favoráveis presenciadas no dia da ocorrência do fogo controlado, e a partir das análises dos índices descrito anteriormente, é possível considerar quea queima da área de matos não foi intensa, sendo esta de baixa severidade.

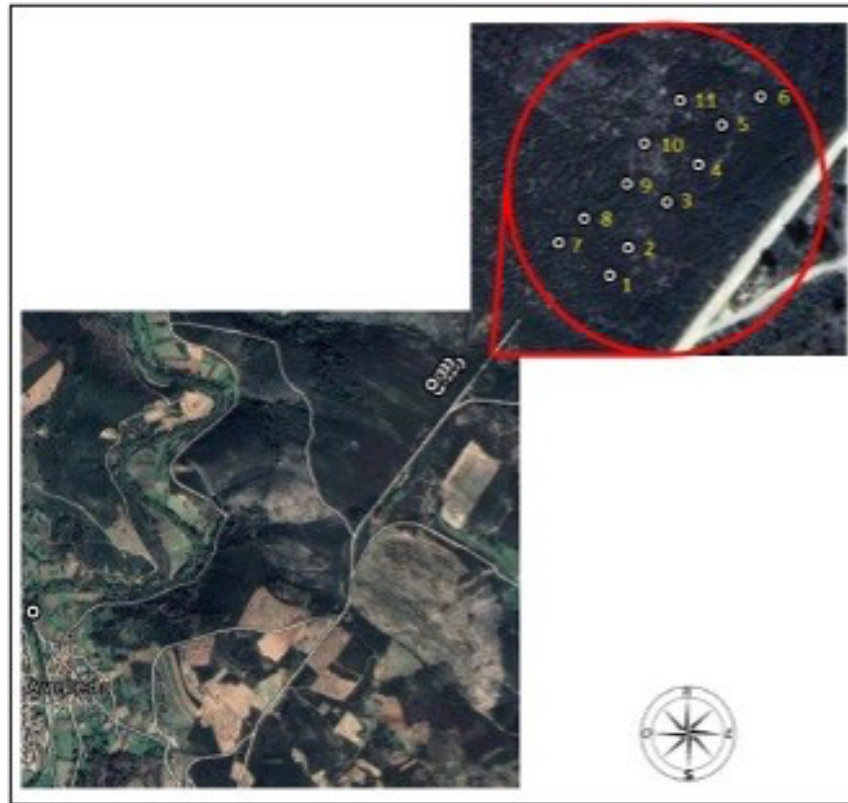


*Figura 7 - Aplicação do fogo controlado na área de estudo no Parque Natural de Montesinho  
Fonte: Equipa Projeto TERRAMATER*

### **3.2 Amostras de solo para avaliação da estabilidade da agregação do solo**

#### **3.2.1 Colheita de amostras de solo no campo**

Na área de estudo colheram-se amostras de solo em 8 pontos (2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10) antes da aplicação do fogo controlado (SO), dois meses (DMPF) e sete meses (SMPF) após o fogo controlado. As amostras foram coletadas ao longo de dois transetos, nas profundidades 0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm, com distância de aproximadamente 15 m entre pontos e transetos, conforme Figura 8.



*Figura 8 - Localização dos pontos de amostragem na área de estudo  
Fonte: Piovesan (2021)*

### **3.2.2 Aplicação e colheita de amostras dos Tecnosolos**

No dia 23/06/2021 foi aplicado um volume de cerca de 40 m<sup>3</sup> de tecnossolo, formando uma camada de aproximadamente 5 cm de espessura numa área de 500 m<sup>2</sup>. Tal material foi introduzido de forma a abranger os pontos 2, 3, 4 e 5, conforme a Figura 9.

Devido as dificuldades impostas no período da pandemia (fronteiras encerradas, o tecnossolo foi transportado a partir de Espanha), o tecnossolo foi aplicado 3 meses após a aplicação do fogo. Para determinar seus efeitos na estabilidade da agregação do solo já existente no local, foram realizadas comparações entre os pontos onde foi acrescentado o Tecnosolo (2,3, 4 e 5) e os pontos onde não foi introduzido (7, 8, 9 e 10), levando em consideração as profundidades (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm). Após a determinação das percentagens da estabilidade dos agregados nesses pontos, realizou-se as médias para cada profundidade.

### 3.2.3 Processamento das amostras de solo no laboratório

Após coletadas, as amostras de solo foram secas a 45°C durante um período de 48 horas e, posteriormente, crivadas manualmente em crivos de malha de 2 mm e 1 mm. Para a avaliação da estabilidade dos agregados utilizou-se apenas as partículas que ficaram retidas no crivo de 1 mm, ou seja, partículas com dimensões entre 1 e 2 mm, conforme Figura 9.



Figura 9 – Preparo e crivagem das amostras do solo

### 3.3 Determinação da Estabilidade dos Agregados

Para determinar a estabilidade dos agregados, utilizou-se um equipamento denominado “estabilizador de agregados”, Figura 10. Este, através de movimentos de subida e descida faz com que os agregados do solo entrem em contacto com água destilada, e posteriormente, com uma solução de hexametáfosfato de sódio, simulando as forças mecânicas e físico-químicas e possibilitando a dispersão dos agregados instáveis e estáveis do solo

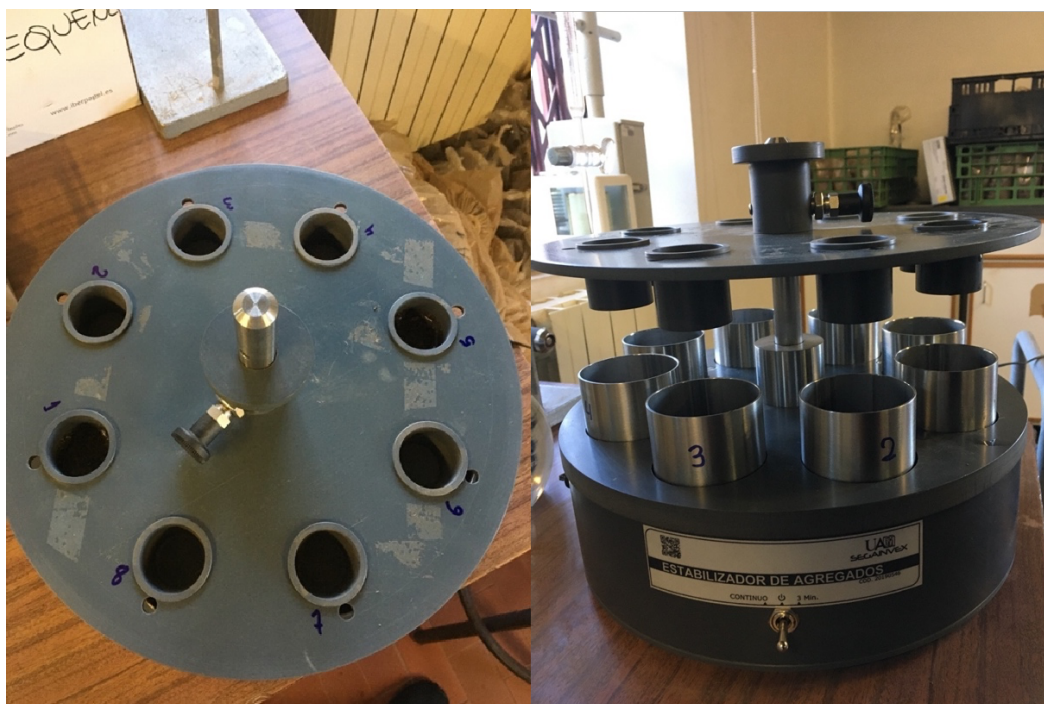


Figura 10 – Estabilizador de Agregados

Foram estabelecidas duas classes de tamanho de agregados: Classe 0,4 mm e Classe 0,25 mm. Esta última classe representa a situação limite entre macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$ ) e microagregados ( $< 250 \mu\text{m}$ ). Assim, para a avaliação da estabilidade dos agregados das amostras de solo, utilizaram-se crivos de malha 0,4 mm e crivos de malha 0,25 mm. Os ensaios para cada classe de agregados foram realizados separadamente, isto é, primeiro determinou-se a estabilidade dos agregados maiores (crivo 0,4 mm) e depois a dos menores (crivo malha 0,25 mm). Cada ensaio foi realizado com as amostras originais do solo. Para cada amostra seguiu-se o seguinte procedimento:

- Pesar 4g de solo de cada amostra para um recipiente. Repetir o processo 4 vezes (4 repetições).
- Agregados em contacto com a água (partículas instáveis):
- Adicionar 100 mL de água destilada em 4 recipientes adaptados ao equipamento, correspondentes às 4 repetições;
- Colocar os recipientes com água destilada no equipamento;
- Verter as amostras de solo (4 g cada) no crivo correspondente a cada ensaio (crivos de malha 0,4 mm ou 0,25 mm);
- Baixar a plataforma do equipamento, contendo os crivos com as amostras de solos, até as amostras ficarem submersas na água destilada dos recipientes;
- Ligar o aparelho durante 3 minutos;
- Elevar a plataforma do aparelho até ao máximo e deixar escoar a água contida nos crivos;
- Retirar os recipientes do aparelho contendo partículas instáveis e transferir todo o conteúdo para

- potes de plásticos, lavando com água destilada com a ajuda de um esguicho de laboratório;
- Colocar os potes de plásticos contendo as partículas instáveis na estufa a 105°C durante 24 horas.
  - Agregados em contacto com a solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (partículas estáveis):
  - Adicionar 100 mL da solução dispersante (hexametáfosfato de sódio) em 4 recipientes adaptados ao equipamento, correspondentes às 4 repetições;
  - Colocar os recipientes com a solução dispersante no equipamento;
  - Baixar a plataforma do equipamento, contendo os crivos com as amostras de solos, até as amostras ficarem submersas na solução dispersante dos recipientes;
  - Ligar o aparelho durante 8 minutos;
  - Elevar a plataforma do aparelho até ao máximo e deixar escoar a solução contida nos crivos;
  - Baixar novamente a plataforma, contendo os crivos com as amostras de solos, até as amostras ficarem submersas na solução dispersante dos recipientes;
  - Ligar o equipamento por mais 8 minutos
  - Elevar a plataforma e retirar os recipientes do aparelho contendo partículas estáveis e transferir todo o conteúdo para potes de plásticos, lavando com água destilada com a ajuda de um esguicho de laboratório;
  - Colocar os potes de plásticos contendo as partículas em uma estufa a 105°C durante 24 horas;
  - Após 24 horas, retirar os potes da estufa e determinar o peso final seco de cada amostra.



*Figura 11 – Amostras húmidas, pré estufa e seca, pós estufa*

Por meio da seguinte fórmula, calculou-se a estabilidade dos agregados (EA):

$$EA(\%) = \frac{P_{fs}}{P_{f_{H_2O}} + P_{fs}} * 100$$

Em que:

Pfs\*: peso final seco da amostra (g) após a etapa de dissolução química com a solução de hexametáfosfato de sódio ou hidróxido de sódio, conhecida como fase estável dos agregados;

Pf<sub>H2O</sub>\*: peso final seco da amostra (g) após a etapa utilizando água destilada para dissolução, conhecida como fase instável dos agregados.

### **3.4 Análises Estatísticas**

O tratamento estatístico foi efetuado com recurso às ferramentas do software Excel e RStudio. Incluiu estatística descritiva, análise de variância e teste de comparação de médias para 5% de probabilidade. Além do mais, foram estabelecidas correlações significativas ( $p < 0,05$ ) entre a estabilidade dos agregados e o teor de matéria orgânica do solo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Efeito do fogo controlado na estabilidade da agregação antes e pós-fogo controlado

Conforme a Figura 13, é possível verificar que a estabilidade da agregação é superior no solo original, ou seja, o fogo contribuiu para a redução da estabilidade de ambas as classes de agregados analisadas (0,4 e 0,25 mm).

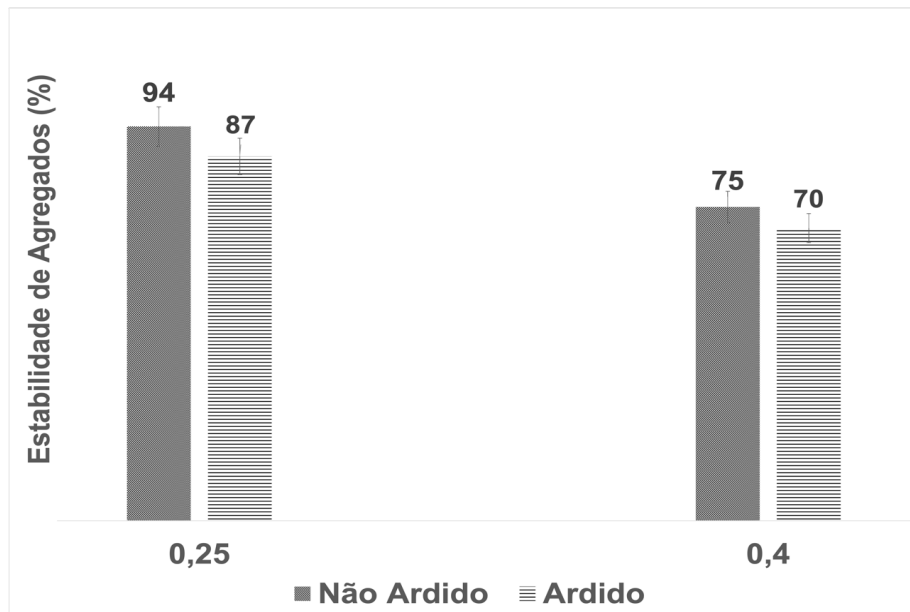


Figura 12 – Estabilidade dos agregados antes e após a aplicação do fogo controlado para cada classe de agregados (0,25 e 0,4 mm)

A partir do gráfico boxplot, disposto nas Figuras 13 e 14, foi possível determinar que existe diferenças significativas entre os momentos antes e após a aplicação do fogo. Também foi possível estabelecer as diferenças entre as classes dos agregados (0,25 mm e 0,4 mm) de acordo com os períodos ardido e não ardido.

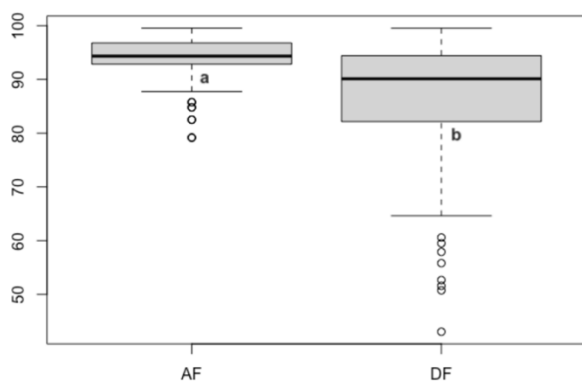


Figura 13 – Boxplot da estabilidade dos agregados nos períodos não ardido (AF) e ardido (DF) para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

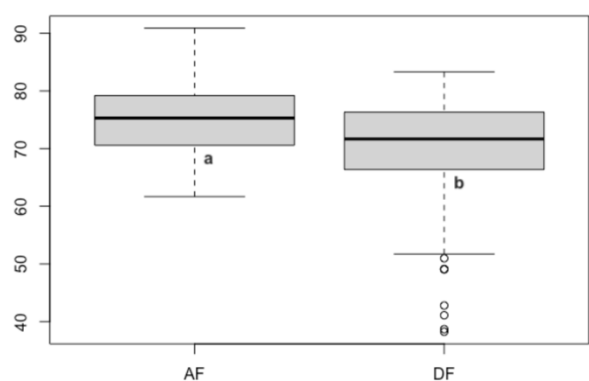


Figura 14 – Boxplot da estabilidade dos agregados nos períodos não ardido (AF) e ardido (DF) para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

Os menores valores de estabilidade dos agregados do solo obtidos após a aplicação do fogo controlado podem estar relacionados com os impactos causados pelo aumento da temperatura do solo. Esta, por sua vez, é capaz de alterar significativamente propriedades físicas e químicas do solo. Facto este observado por Nunes et al. (2019), onde concluíram que, após o solo ser atingido pelo fogo, ocorreu uma diminuição na agregação das partículas.

Neste seguimento, diversos autores abordam os efeitos das altas temperaturas sob as propriedades físicas e químicas do solo. Thomaz (2011) afirma que, temperaturas superiores a 200°C são responsáveis por alterações significativas na estabilidade da agregação do solo. No entanto, autores como Chen et al. (2016) concluíram que mesmo temperaturas relativamente baixas, já podem causar danos na estrutura do solo. Neste contexto, Guerrero et al. (2001) através de um estudo onde avaliaram diferentes tipos de padrões da estabilidade dos agregados em solos ardidos e em solos recuperados, afirmam também que solos afetados por altas temperaturas e intensidades de fogo causam danos na agregação do solo, além de alterar características como a quantidade de matéria orgânica e a atividade biológica do solo.

A redução da estabilidade da agregação do solo pode ser percebida em decorrência da decomposição de agentes cimentantes presentes no solo que contribuem para a união das partículas. Entre eles, o teor de matéria orgânica é considerado como sendo o principal componente responsável por unir partículas minerais do solo, formando ligações argilo- metais-húmicas. Este processo contribui para manter o solo com boa estabilidade (Edwards & Bremner, 1967; Baver, 1968). Desta forma, Calixto (2021), também relaciona a matéria orgânica a uma boa estabilidade dos agregados. E ainda conclui que, quando submetida a temperaturas elevadas, ocorre redução no percentual de matéria orgânica tanto em micro quanto em macroagregados. Bem como a matéria orgânica, o carbono orgânico é também um importante indicador que está relacionado com a estabilidade da agregação. Menezes et al. (2020) concluíram que a presença do carbono orgânico auxilia no processo de agregação das partículas do solo, fazendo com que o mesmo se torne mais estruturado e, conseqüentemente, possua maior resistência a possíveis perturbações externas.

Para a área de estudo foi possível estabelecer a relação entre o teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados do solo (Figura 15). Através do coeficiente de determinação  $r^2$ , observa-se que a força da relação entre as duas variáveis é relativamente elevada. Sendo possível identificar que 58,2% da variação apresentada na estabilidade dos agregados no período pós fogo é explicada pela matéria orgânica.

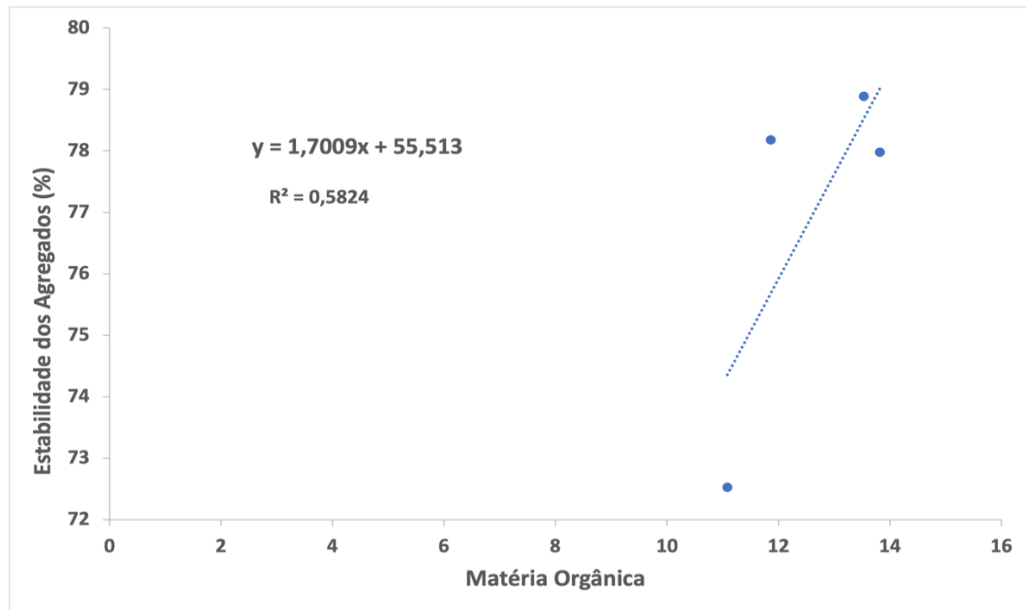


Figura 15 – Correlação entre a estabilidade dos agregados e a matéria orgânica no estado ardido (DMPF e SMPF)

#### 4.2. Efeito do fogo na estabilidade da agregação ao longo do tempo

A Figura 16 apresenta os resultados da estabilidade dos agregados do solo ao longo do tempo, sendo considerados os períodos antes da aplicação do fogo (SO), dois meses (DMPF) e sete meses (SMPF) após o fogo controlado. Verifica-se que ocorreu ao longo do tempo uma redução na estabilidade dos agregados, sendo o período antes do fogo o que apresenta maior estabilidade e sete meses após o fogo a menor estabilidade. As linhas de tendência traçadas, as quais abrangem todos os períodos estudados, bem como as classes de tamanhos dos agregados, ilustram de forma clara que, ao longo do tempo a estabilidade tende a diminuir.

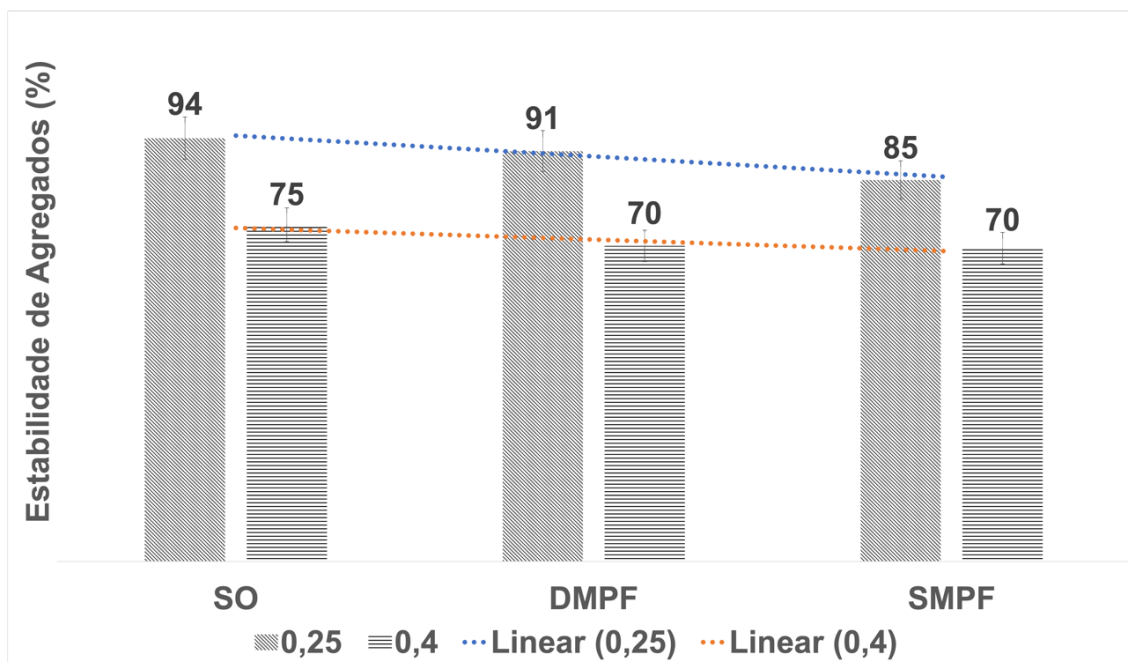


Figura 16 – Estabilidade dos agregados ao longo dos períodos estudados (SO, DMPF e SMPF) para cada classe de agregados (0,25 e 0,4mm). Com suas linhas de tendência das médias para cada classe do solo

Em seguida, foi elaborado o gráfico boxplot (Figuras 17 e 18) dos dados analisados a fim de identificar se houve diferenças significativas entre as médias estudadas.

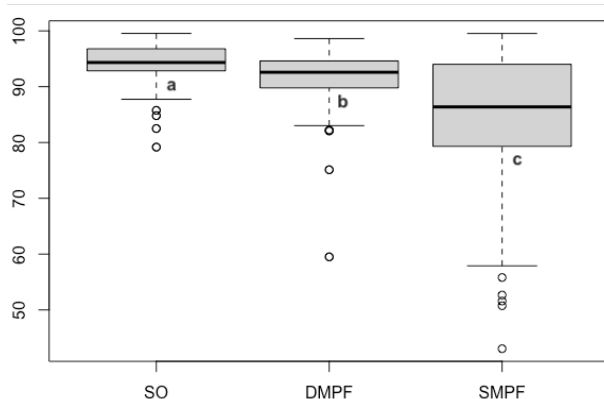


Figura 17 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF) para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

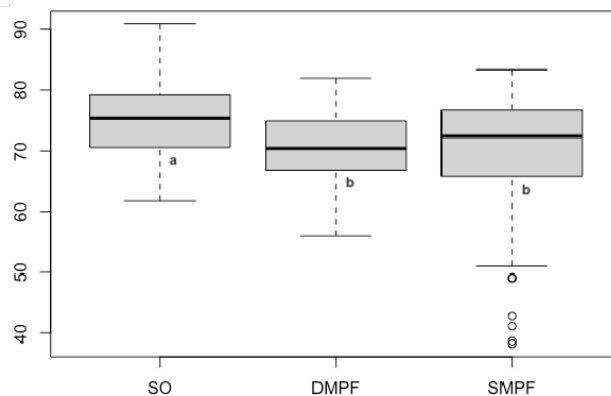


Figura 18 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF) para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

Para a classe de agregados de 0,25 mm, o solo original, ou seja, antes da aplicação do fogo (SO), quando comparado com os períodos dois (DMPF) e sete (SMPF) meses após a aplicação do fogo controlado apresenta diferença significativa entre as médias obtidas. O mesmo ocorre quando se compara os períodos dois e sete meses após aplicação do fogo controlado.

Quando as comparações são realizadas para a classe de agregados de 0,4mm, nota-se que o período referente a antes da aplicação do fogo controlado apresenta diferença significativa com os períodos dois e sete meses após a aplicação do fogo. No entanto, quando se compara os períodos de dois e sete meses após a aplicação do fogo é possível notar que existe diferenças significativas entre suas médias. Autores como Alauzis et al. (2004) afirmam que os impactos causados no solo por decorrência do fogo não são apenas os que se presencia a curto prazo, pois estes causam danos na estrutura e em diversas características do solo ao longo de anos. Além disto, ao analisar o comportamento da transferência de macronutrientes do solo para a atmosfera durante um experimento com fogo controlado no cerrado do Brasil, Pivello & Coutinho (1992) concluíram que para que ocorra todo o ciclo de degradação e regeneração do solo após o fogo, o ideal é que tenha passado um período de pelo menos três anos.

#### **4.3. Efeito do fogo na estabilidade dos agregados em profundidade**

Na Figura 19 é possível observar a estabilidade da agregação nas profundidades estudadas nos diferentes períodos de amostragem. Nota-se um padrão onde a maior estabilidade da agregação é percebida no solo original (SO), em todas as profundidades. Geralmente, com diferenças significativas relativamente aos períodos pós-fogo (DMPF e SMPF). No entanto, quando se compara os períodos DMPF e SMPF entre si, normalmente não apresentam diferenças significativas. Tendo variação apenas na profundidade 10-20 cm, na classe 0,25 mm, onde a maior estabilidade está relacionada ao período de DMPF.

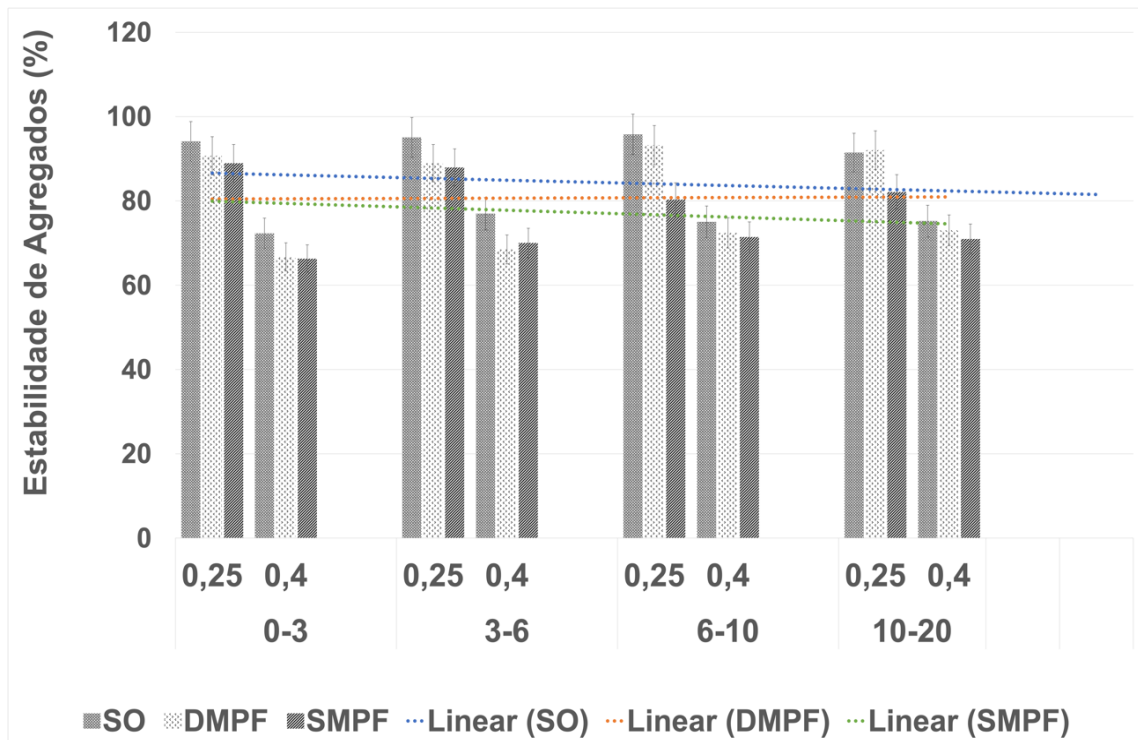


Figura 19 - Estabilidade dos agregados em profundidade (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm), nos diferentes períodos de amostragem (SO, DMPF e SMPF) para cada classe de agregados (0,25 mm e 0,4 mm)

A partir da análise das Figuras 20, 21, 22 e 23 é possível identificar se houveram diferenças significativas entre as profundidades nos diversos períodos estudados (SO, DMPF e SMPF) para a classe de agregados de 0,25 mm. Nas profundidades 0-3 cm e 3-6 cm o solo original (SO) apresenta valores significativamente superiores quando comparado com os períodos DMPF e SMPF. Já os períodos DMPF e SMPF não apresentam diferenças significativas entre si. Nas profundidades 6-10 cm e 10-20 cm, o solo original (SO) não apresenta diferenças significativas quando comparado com o período DMPF, e apresenta diferenças significativas quando comparado a SMPF. Também se observam diferenças significativas quando se compara DMPF e SMPF.

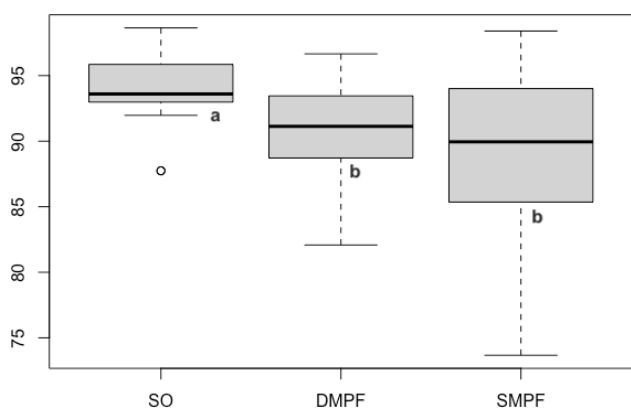


Figura 20 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 0-3 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

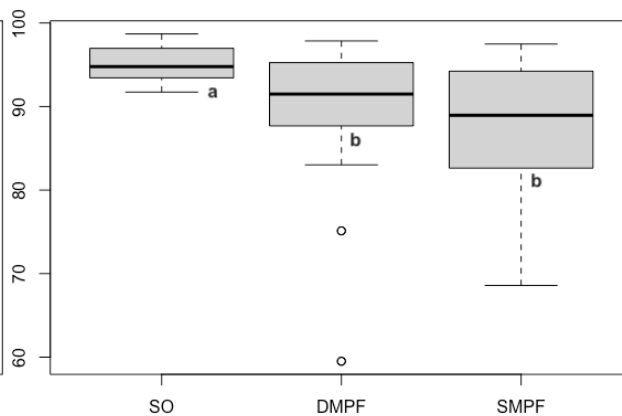


Figura 21 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 3-6 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

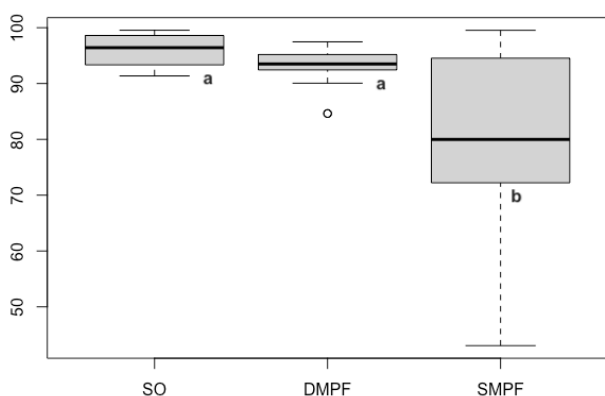


Figura 22 - Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 6-10 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

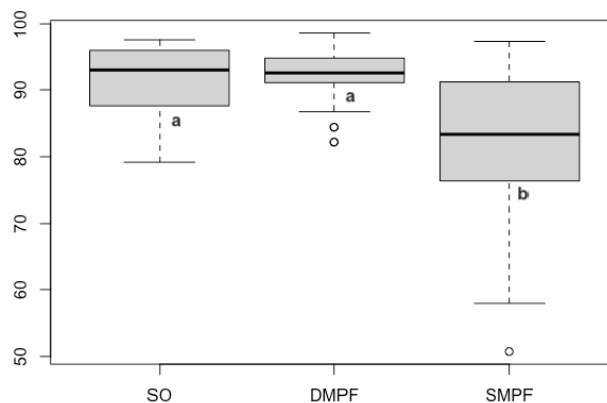


Figura 23 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 10-20 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

A partir da análise das Figuras 24, 25, 26 e 27 é possível identificar se houveram diferenças significativas entre as profundidades nos diversos períodos estudados (SO, DMPF e SMPF) para a classe de agregados de 0,4 mm. Para as profundidades 0-3 cm, 6-10 cm e 10-20 cm o solo original (SO) não apresenta diferenças significativas relativamente ao período DMPF. Também os períodos DMPF e SMPF não apresentam diferenças significativas entre si. Já os períodos SO e SMPF, mostram diferença significativa entre as suas médias. Para a profundidade 3-6 cm, o solo original apresenta diferenças significativas quando comparado com os períodos DMPF e SMPF. Já os períodos DMPF e SMPF não apresentam diferenças significativas entre si.

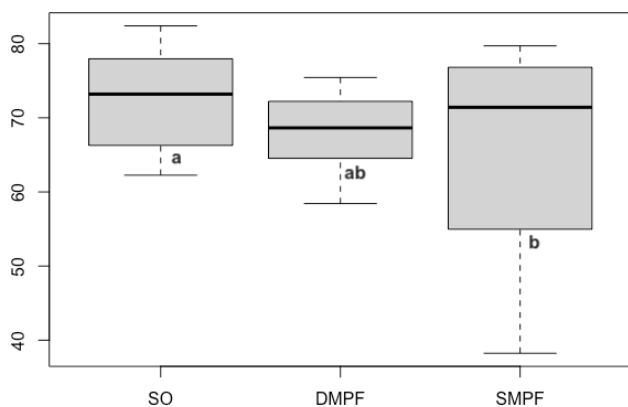


Figura 24 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 0-3 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

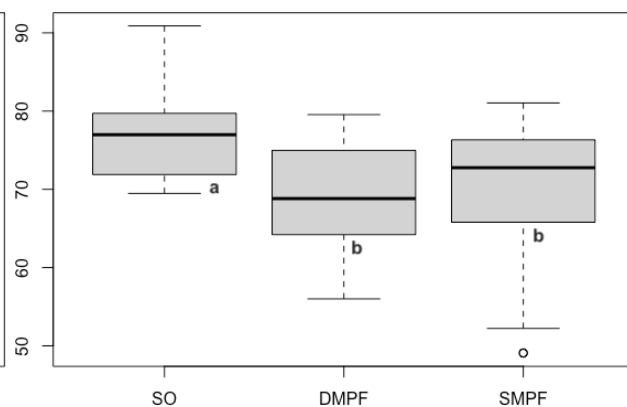


Figura 25 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 3-6 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

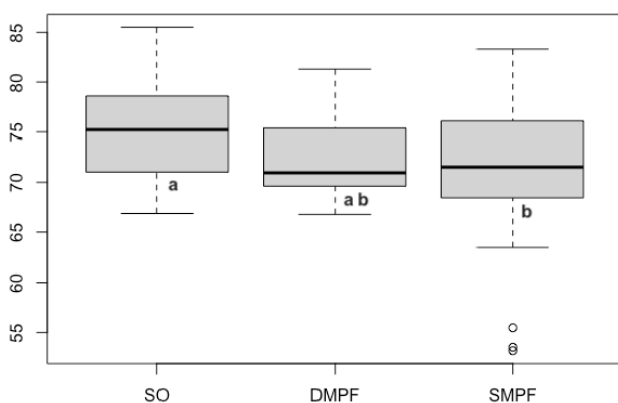


Figura 26 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 6-10 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

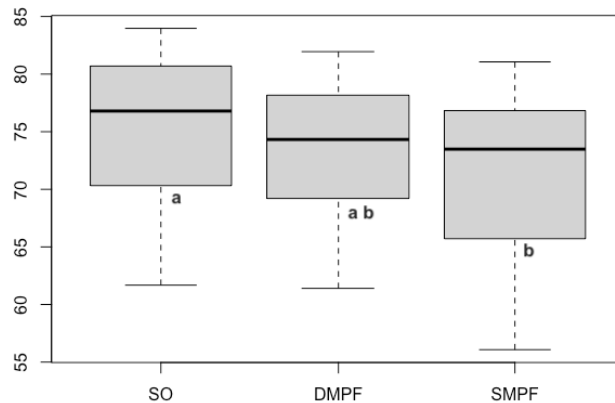


Figura 27 – Boxplot da estabilidade dos agregados ao longo do tempo na profundidade 10-20 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

Sabe-se que a presença da vegetação é um fator que contribui diretamente para a proteção do solo, propiciando a manutenção e melhores condições de propriedades como a estabilidade dos agregados (Junior et al. 2012; Rodrigues et al. 2021). Neste sentido, D'Andréa et al. (2002) concluem que, em decorrência da maior disposição de biomassa em camadas superficiais, haverá maior presença de agentes cimentantes, o que tornará o solo mais estável.

A capacidade de troca catiônica é um atributo que apresenta redução em sua quantidade em camadas mais profundas do solo, e normalmente aumento nas camadas superiores. Isto devido a menor presença de matéria orgânica nas zonas mais profundas, o que interfere diretamente neste processo (Có Júnior, 2011).

Outro estudo que aborda e reafirma esta ideia foi realizado por Castro Filho et al. (1998), onde concluíram que a presença de resíduos vegetais sobre o solo tende a aumentar a estabilidade dos agregados, sobretudo até 10 cm de profundidade. Neste contexto, é importante que seja levado em conta o tipo de vegetação presente no local. Para Gomes et al. (2018), as gramíneas possuem mais eficácia na proteção do solo a longo prazo, devido a suas raízes exercerem uma função de agregação das partículas, o que também contribui de forma significativa com a estabilidade nas camadas superiores do solo. Silva & Mielniczuk (1998) reafirmam esta ideia em seu trabalho, onde concluem que a presença de gramíneas perenes possuem efeitos positivos na agregação e na estabilidade dos agregados do solo através do seu sistema radicular. Ainda segundo os mesmos autores, as espécies leguminosas apresentam contribuições para a estabilidade do solo através do processo de fixação de azoto atmosférico e sua capacidade de se associar com bactérias, favorecendo a microfauna local. Além disto, segundo Imbana et al. (2021), as leguminosas possuem capacidade de aumentar o estoque de carbono no solo. Outro fator que explica a menor percentagem de estabilidade de agregados do solo nas camadas inferiores é o tipo de solo presente na região. Segundo Morais et al. (2019), a unidade solo predominante no Nordeste de Portugal, na qual está inserida a área de estudo, são os Leptosolos úmbricos, os quais possuem como característica dominante a reduzida espessura devido ao seu processo de formação.

Diante disto, foi percebido que independentemente da profundidade, a tendência apresentada foi de maior estabilidade antes do solo sofrer o impacto causado pelo fogo, tendo diminuição no período de dois meses após o fogo e, nova diminuição no período de sete meses após fogo. Além disto, a linha de tendência das médias do gráfico apresentado anteriormente aponta uma diminuição da estabilidade dos agregados conforme a profundidade aumenta, corroborando com diversos estudos já realizados neste sentido.

### **4.3. Classe dos agregados ao longo do tempo**

Os resultados obtidos para a estabilidade dos agregados do solo nas classes utilizadas no presente estudo (0,25 mm e 0,4 mm) mostram, conforme a Figura 29, que para os diferentes períodos (SO, DMPF e SMPF), a estabilidade é significativamente maior para a classe de agregados menor (0,25 mm).

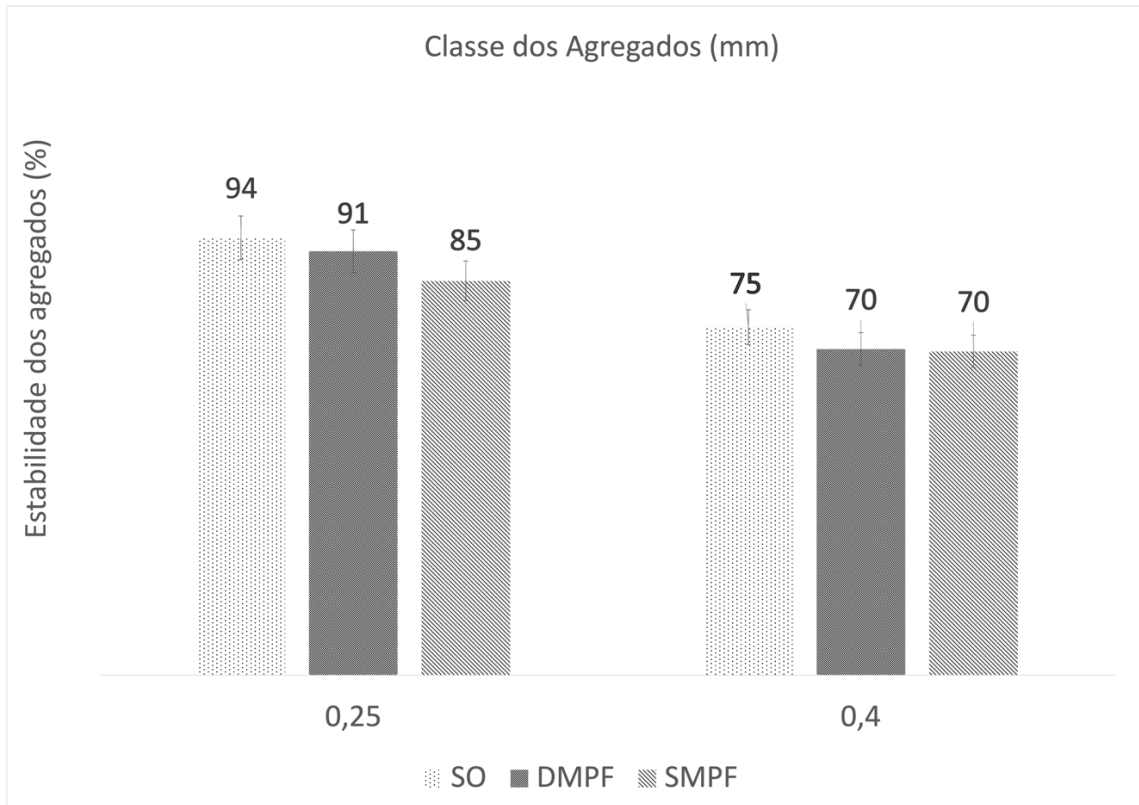


Figura 28 – Estabilidade dos agregados conforme a classe de agregados (0,25mm e 0,4mm) ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF)

Conforme as Figuras 29 e 30, é possível identificar que quando se analisa a classe de agregados de 0,25 mm, todos os períodos apresentam diferenças significativas entre si. Já para a classe de agregados de 0,4 mm, observa-se diferenças significativas entre o SO e os períodos DMPF e SMPF. No entanto, quando comparados entre si, os períodos DMPF e SMPF não apresentam diferenças significativas.

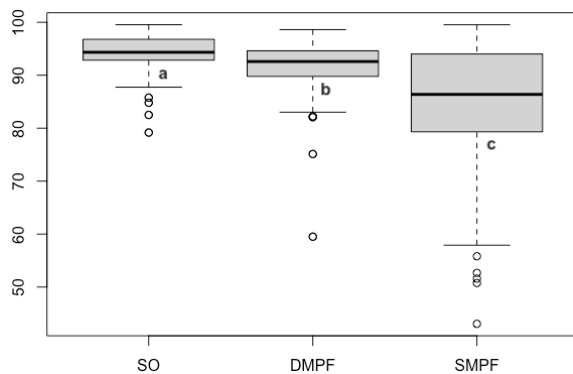


Figura 29 – Boxplot da estabilidade dos agregados conforme a classe de agregados 0,25 mm ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF). Colunas seguidas de letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

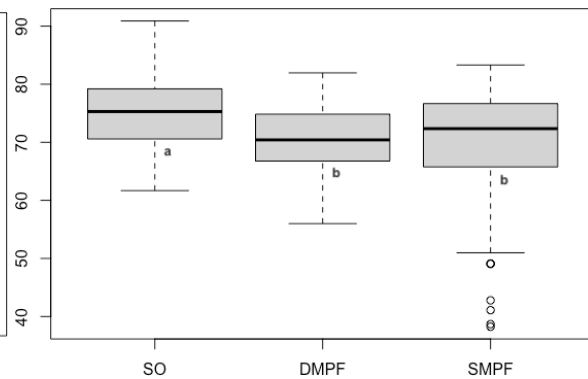


Figura 30 – Boxplot da estabilidade dos agregados conforme a classe de agregados 0,4 mm ao longo do tempo (SO, DMPF e SMPF). Colunas seguidas de letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

Segundo Jacto (2019), os microagregados do solo são formados a partir de um complexo sistema de processos físicos, químicos e biológicos, que por meio da interação de atividades microbianas, exsudatos de raízes e matéria orgânica, ocorre o ligamento destas com partículas minerais, formando pequenas estruturas de solo. A partir da união dos microagregados, tem-se o surgimento dos macroagregados. Desta forma, existem estudos como o apresentado por Bastos et al. (2005), onde afirmam que os microagregados apresentam maior estabilidade quando comparados aos macroagregados. Pádua et al. (2015) também conclui que normalmente, o tamanho dos agregados do solo influencia a estabilidade da agregação, pois agregados menores tendem a ser mais estáveis, enquanto agregados maiores tendem a possuir maior instabilidade. E neste contexto, Thomaz (2011), avaliando a influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade dos agregados, observou que altas temperaturas tendem a causar maiores efeitos na classe dos macroagregados, afetando primeiramente sua agregação e os tornando menos estáveis.

#### **4.4. Estabilidade dos agregados na área com aplicação do Tecnosolo**

A Figura 31 apresenta os resultados obtidos a partir da comparação entre os pontos com e sem a aplicação do tecnossolo no período sete meses após o fogo (SMPF). É possível determinar que, quando analisada a classe de 0,25 mm, a estabilidade dos agregados se mostrou superior, independentemente da profundidade, nos pontos onde foi adicionado o tecnossolo. No entanto, quando analisada a classe de 0,4 mm, o que se observou foi o inverso, apresentando os pontos sem a presença do tecnossolo uma maior percentagem de estabilidade dos agregados, independentemente da profundidade.

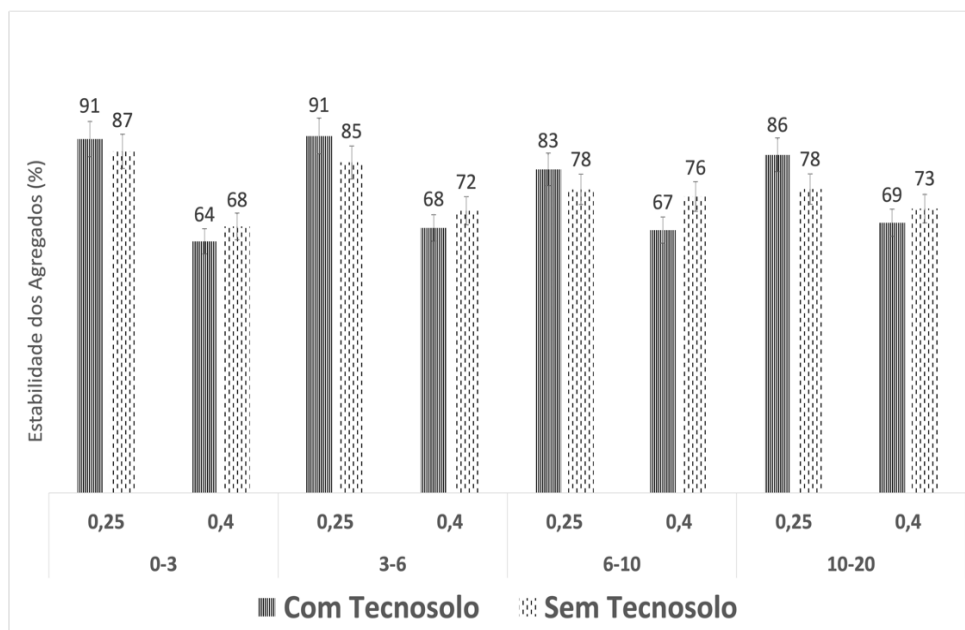


Figura 31 – Estabilidade dos agregados em profundidade (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm) no período SMPF, onde se considerou os pontos com e sem a aplicação do Tecnosolo, para as classes de agregados 0,25 e 0,4 mm

A partir das Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39, é possível identificar se ocorreram diferenças significativas entre os pontos com e sem aplicação do tecnosolo.

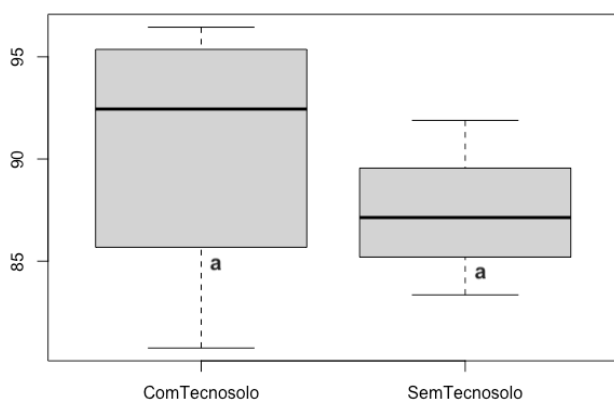


Figura 32 - Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 0-3 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

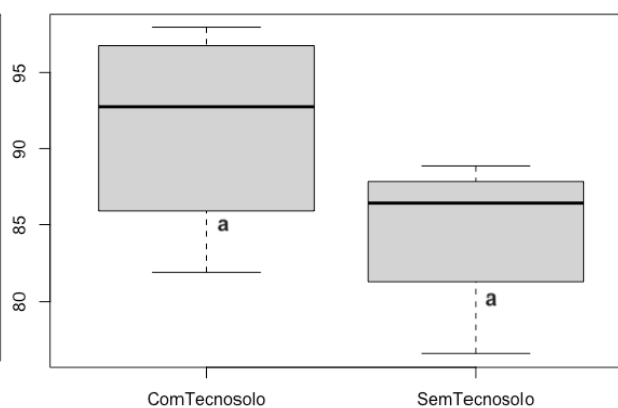


Figura 33 - Boxplot da estabilidade dos agregados no período SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 3-6 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

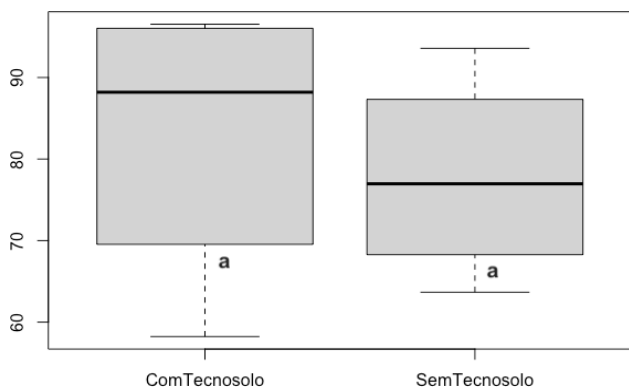


Figura 34 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 0-3 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

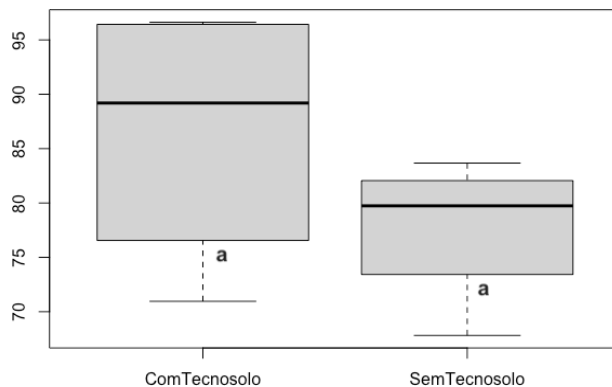


Figura 35 - Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 3-6 cm para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

Desta forma, para a classe de agregados de 0,25 mm, é possível identificar que mesmo apresentando percentagens maiores de estabilidade da agregação, em nenhuma das profundidades estudadas (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm) houve diferenças significativas entre os pontos com e sem a adição do tecnosolo.

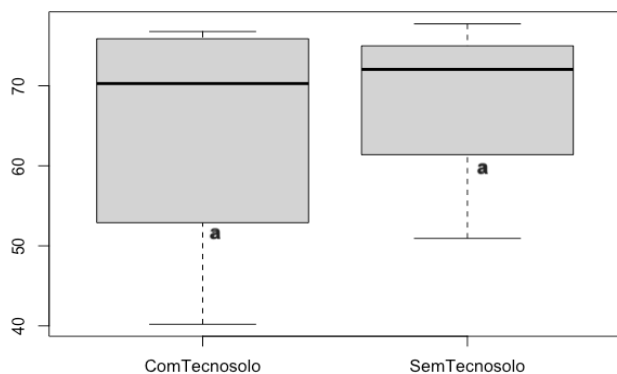


Figura 36 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 0-3 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

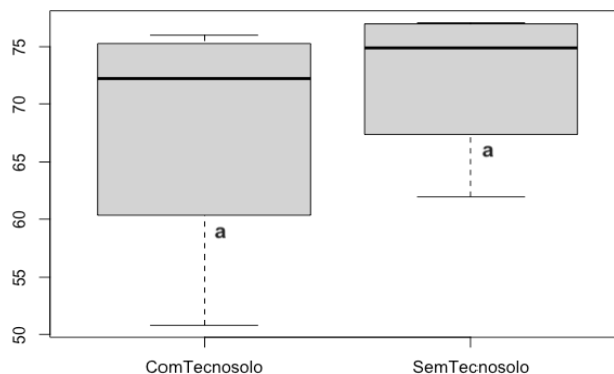


Figura 37 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 3-6 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

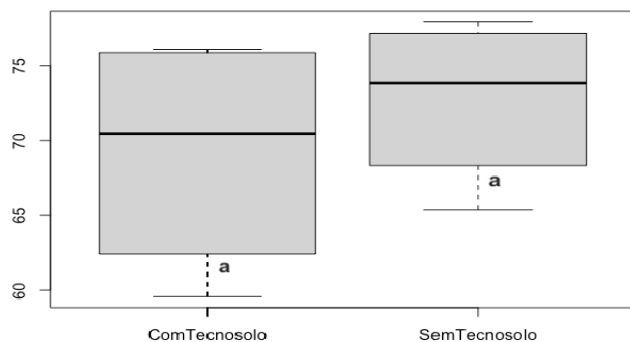


Figura 38 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 6-10 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

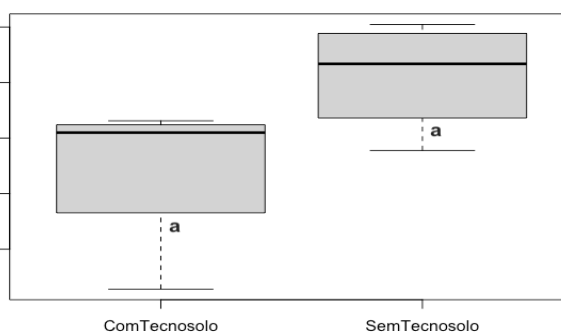


Figura 39 – Boxplot da estabilidade dos agregados no período de SMPF em parcelas com e sem a aplicação do Tecnosolo, na profundidade de 10-20 cm para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ( $p < 0,05$ )

Da mesma forma, quando se considera a classe de agregados de 0,4 mm, nota-se que não há diferenças significativas entre os pontos com e sem a adição do tecnossolo, independentemente da profundidade analisada (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm). Apesar de autores como Macías Vázquez (2004); Lorenz (2009) e Deeb et al. (2016) abordarem a importância e benefícios da utilização dos tecnossolos no processo de recuperação de áreas degradadas, não foram observadas diferenças significativas entre os pontos com e sem a aplicação do tecnossolo. A falta de grandes variações pode ser resultado de um curto período da aplicação do tecnossolo na área de estudo. Não obtendo tempo suficiente para que o mesmo seja integrado de forma efetiva e traga os benefícios esperados ao solo já presente. No entanto, esta avaliação deve ser repetida futuramente para que se confirme seus possíveis benefícios.

## 5. CONCLUSÕES

A estabilidade da agregação apresenta valores significativamente maiores no estado não ardido quando comparado ao ardido. Quando se compara individualmente os períodos e as profundidades, é possível concluir que os momentos DMPF e SMPF tendem a apresentarem menores valores de estabilidade da agregação independentemente da profundidade, quando comparados ao solo original (SO). Sendo possível concluir também que os impactos do fogo no solo tendem a se prolongar e agravar ao longo do tempo, tendo em vista os menores valores de estabilidade do solo no período de SMPF.

Constatou-se também que, as camadas superiores do solo tendem a apresentar maior estabilidade quando comparadas com as camadas mais profundas. Um fator capaz de explicar a variação apresentada na estabilidade dos agregados no período ardido é o teor de matéria orgânica. Esta se mostrou relevante quando correlacionada com os valores da estabilidade do solo.

Em relação a classe dos agregados, conclui-se que o tamanho das partículas influencia de forma significativa na percentagem de estabilidade da agregação, sendo mais estáveis os agregados menores (0,25mm) comparativamente aos maiores (0,4mm).

No que se refere ao tecnossolo, ainda não foram observadas alterações significativas após a sua implementação. Isto possivelmente é devido ao curto período de sua presença, não tendo havido tempo suficiente para a manifestação dos benefícios da sua aplicação. No entanto, já são perceptíveis pequenas alterações.

Diante disto, é visível a importância da realização de estudos mais aprofundados sobre a estabilidade dos agregados, pois este atributo está relacionado a outras características físicas e químicas do solo, sendo um relevante indicador da qualidade do solo.

É recomendado novos estudos sobre a estabilidade dos agregados no local para se conhecer de forma mais efetiva os efeitos do fogo ao longo do tempo, bem como identificar o período necessário para que ocorra a regeneração do solo e os efeitos da aplicação do tecnossolo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFIF, E.; OLIVEIRA, P. (2006). *Efectos del fuego prescrito sobre el matorral en las propiedades del suelo*. Investig. Agrar. Sist. Recur. For. 15 (3), 262-270.
- ALAUZIS, M. V.; MAZZARINO, M. J.; RAFFAELE, E. ROSELI, L. (2004). *Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a Nothofagus forest soil*. Forest Ecology and Management 192, 131-142.
- ALCAÑIZ, M.; OUTEIRO, L.; FRANCOS, M.; FARGUELL, J.; ÚBEDA, X. (2016). *Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain)*. Sci. Total Environ. 572, 1329-1335.
- ANDRADE, O. C. S. (2020). *Estrutura do solo: conheça a sua importância*. 2020. Disponível em: <https://www.3rlab.com.br/2020/09/10/estrutura-do-solo-conheca-a-sua-importancia/>. Acesso em: 10 set. 2021.
- AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. (2004). *Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos*. Ciência Rural, Santa Maria, 34, 2, 609-617.
- BADÍA-VILLAS, D.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; AZNAR, J. M.; ARJONA-GRACIA, B. (2014). *Changes in water repellency, aggregation and organic matter of a mollic horizon burned in laboratory: soil depth affected by fire*. Geoderma, Pequim, v. 213, p. 400-407.
- BALABANE, M.; PLANE, A. F. (2004). *Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques*. European Journal of Soil Science, Oxford, v. 55, n. 2, p. 415-427.
- BALBINO, L. C.; BRUAND A.; BROSSARD, M.; GRIMALDI, M.; HAJNOS M.; GUIMARAES M. F. (2002). *Changes in porosity and microaggregation in clayed ferralsols of the Brazilian Cerrado*. European Journal of Soil Science, Oxford, v. 53, n. 2, p. 219-230.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. (2005). *Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 21-31.
- BAYER, C.; NETO, L. M.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. (2004). *Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto*. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.7, p.677-683.

- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D. (2012). *Fire and soils: Key concepts and recent advances*. Geoderma, 191, 3-13.
- BOND, W. J.; VAN WILGEN, B. W. (1996). *Fire and plants: Population and community biology series*. Chapman & Hall, London.
- BRADFORD, M. A.; WIEDER, W. R.; BONAN, G.B.; FIERER, N.; RAYMOND, P. A.; CROWTHER, T. W. (2016). *Managing uncertainty in soil carbon feed-backs to climate change*. Nature Climate Change, 6, 751-758.
- Bronick, C. J.; LAL, R. (2005). *Soil structure and management: a review*. Geoderma, 124(1), 3-22.
- BRYE, K. R. (2006). *Soil physicochemical changes following 12 years of annual burning in a humid subtropical tallgrass prairie: a hypothesis*. Acta Oecol. 30, 407-413.
- CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. (2011). *Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um argissolo no Estado do Ceará*. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 258-267.
- CALIXTO, S. K.; NETO, J. P. S.; NUNES, H. B. (2021). *Estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos submetidos diferentes temperaturas no oeste da Bahia, Brasil*. Universidade do Estado da Bahia.
- CAPECHE, C. L. (2008). *Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista*. EMBRAPA – Comunicado técnico.
- CARVALHO, P. A. C. F. (2006). *Modelação do risco de incêndio florestal com redes neuronais artificiais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho*. Universidade Nova.
- CASTRO FILHO, C.; MUZZILI, O.; PODANOSCHI, A. L. (1998). *Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas*
- CATRY, F. X.; REGO, F. C.; BAÇÃO, F. L.; MOREIRA, F. (2007). *Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal*. International Journal of Wildland Fire. 18(8) 921-931
- CERTINI, G. (2005). *Effects of fire on properties of forest soils: a review*. Oecologia 143, 1-10.
- CHEN, Z.; ZHU, H.; YAN, Z.; ZHAO, L.; SHEN, Y.; MISRA, A. (2016). *Experimental study on physical properties of soft soil after high temperature exposure*. Engineering Geology, Clemson, v. 204, p. 14-22.

CHIEF, K.; YOUNG, M. H.; SHAFER, D. S. (2012). *Changes in soil structure and hydraulic properties in a wooded- shrubland ecosystem following a prescribed fire*. Soil Sci. Soc. Am. J. 76, 1965-1977.

CÓ JÚNIOR, C. (2011). *Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana de açúcar*. USP Campus Jaboticabal.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. (2002). *Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26:913-923.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. (2012). *Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja*. Ciência Rural, v. 42, n. 7, p.1180-1186.

DÍAZ-FIERROS, F.; BENITO, E.; VEGA, J. A.; CASTELAO, A.; SOTO, B.; PÉREZ, R.; TABOADA, T. (1990). *Solute loss and soil erosion in burnt soil from Galicia (NW Spain)*. In *Fire in Ecosystem Dynamics: Mediterranean and Northern Perspectives*, Goldammer JG, Jenkins MJ (eds). SPB Academic Publishing: The Hague; 103-116.

FERNANDES, P.; DAVIES, G. M.; ASCOLI, A.; FERNÁNDEZ, C.; MOREIRA, F.; RIGOLOT, E.; STOOFF, C. R.; VEGA, J. A.; MOLINA, D. (2013). *Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape*. Front. Ecol. Environ. 11, 4-14.

FERNANDES, R. C.; CORDOVIL, C. M.; VARENNE, A. (2009). *Use of organic residues to recover nutrients and organic matter pools in burned soils*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

FERREIRA A. D.; PRATS, S.; COELHO, C. (2015). *Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas*. Catena, 2015(128): 224-237.

FERREIRA-LEITE, F. (2010). *A realidade dendrocaustológica do Noroeste português – o caso dos grandes incêndios florestais*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.

FIGUEIREDO, T.; FONSECA, F.; NUNES, L. (2015). *Proteção do Solo e combate à desertificação*. Escola Superior Agrária, Bragança.

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.

- FRANZLUEBBERS, A. J. (2002). *Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth*. Soil Tillage Res. 66, 197-205.
- GIOVANNINI, G.; LUCHESI, S.; GIACHETTI, M. (1987). *The natural evolution of a burned soil: a three years investigation*. Soil Sci. 143, 220-226.
- GLIESSMAN, S. R. (2000). *Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 653p.
- GOMES, R. F.; LOPES, A. K. C.; SALES, L. L. N.; NOBRE, C. P.; PINHEIRO, E. M. (2018). *Vegetação herbácea como instrumento de mitigação de processos erosivos em taludes de corte*. Revista Educação Ambiental em Ação, 64.
- GROHMANN, F. (1960). *Análise de Agregados de Solo*. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. v19, n13. P 201-213.
- GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; NAVARRO-PEDREÑO, J.; GARCÍA-ORENES, F.; GÓMEZ, I. (2001). *Different patterns of aggregate stability in burned and restored soils*. Arid Land Research Management 15(2), 163-171.
- IPB / ICN. (Instituto Politécnico de Bragança / Instituto da Conservação da Natureza), (2007). *Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho*. Caracterização. Bragança.
- HERAWATI, H.; SANTOSO, H. (2011). *Tropical Forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: a review of fire nature, policy and institutions in Indonesia*. Forest Policy and Economics 2011(13): 227-233.
- HUBBERT, K. P.; PREISLER, H. K.; WOHLGEMUTH, P. M.; GRAHAM, R. C.; NAROG, M. G. (2006). *Prescribed burning effectson soil physical properties and soilwater repellency in a steep chaparralwatershed, southern California, USA*. Geoderma 130 (3-4), 284-298.
- IMBANA, R.; BLUM, S. C.; AGUIAR, M. I.; SOUZA, G. G.; NDAMI, M.; DABÓ, I. (2021). *Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Vol. 16, Nº. 4, 351-357.
- IPB / ICN. (2007). *Plano de ordenamento do Parque Natural de Montesinho- Caracterização*. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO.

- JACTO, P. (2019). *Agregados do solo: entenda o que são e por que a estabilidade importa*. Com.br. <https://blog.jacto.com.br/agregados-do-solo-entenda-o-que-sao-e-por-que-a-estabilidade-importa>
- JOSÁ, R. (1994). *Effects of slashburning on some physical properties in an olm-oak coppice*. Geofoma Ediciones, Logronõ, pp. 29-42.
- JUNIOR, C. C., PÍCCOLO, M. C., CAMARGO, P. B., CERRI, C. C.; BERNOUX, M. (2012). *Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36 (4)1, 311-1322.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, R., J.W.; CLINE, G; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. (1997). *Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation* (a guest editorial). Soil Sci. Soc. Am. J., 61:4-10.
- KEELEY, J. E.; PAUSAS, J. G.; RUNDEL, P. W.; BOND, W. J.; BRADSTOCK, R. A. (2011). *Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits*. Trends in Plant Science.
- KENNARD, D. K., GHOLZ, H. L. (2001). *Effects of high-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest*. Plant Soil 234, 119-129.
- KIEHL, E. J. (1979). *Manual de Edafologia: relação solo – planta*. 1. São Paulo: Editora Agronômica CERES,. V. 1, 264 p.
- LAL, R. (1991). *Soil structure and sustainability*. J. Sustain. Agric. 1, 67-92. Larson, W. E. Pierce, F. J. (1994). *The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. & Stewart, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA.
- LEITE, F. F.; GONÇALVES, A. B.; LOURENÇO, L.; ÚBEDA, X.; VIERA, A. (2013). *Grandes incêndios florestais em Portugal continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo*. Revista Silva Lusitana, v. 9, n.1, p. 129-144.
- LEPSCH, I. F. (2010). *Formação e conservação dos solos*. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos. 109; Elsevier; pág. 44-60.
- LIMA, H. V.; LIMA, C. L. R.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. (2005). *Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 5, p.677-684.

- LIMA, V. C.; LIMA, M. R. (2008). *O Solo no Meio Ambiente*. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola.
- LORENZ, K.; LAL, R. (2009). Biogeochemical C and N cycles in urban soils. *Environment International* 35(1):1-8.
- LOURENÇO, L. (1986). “*Consequências geográficas dos incêndios florestais nas serras de xisto do centro do país*”. Atas IV Colóquio Ibérico de Geografia, Coimbra, pp. 943-957.
- LOURENÇO, L. (1988). *Tipos de tempo correspondentes aos grandes incêndios florestais ocorridos em 1986 no Centro de Portugal*. Finisterra, vol. XXIII, nº 46, Lisboa, pp. 251-270.
- LOURENÇO, L. (2011). “*Forest Fires in Portugal*”. In Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A. (eds) - Field trip guidebook: 3rd International Meeting of Fire Effects on Soil Properties, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento da Universidade do Minho, pp. 20-27.
- LUO, Y.; KEENAN, T.F.; SMITH, M. (2015). *Predictability of the terrestrial carbon cycle*. *Global change biology*, 21, 1737-1751.
- MACÍAS-GARCIA, F.; NIETO, C.; OTERO, X. L.; VERDE, J. R.; ARBESTAIN, M. C.; VÁZQUEZ, F. M. (2015). Recuperación de aguas, suelos y ecosistemas con nuevas tecnologías: tecnosoles biocarbones y humedales reactivos. *Seminário Solos contaminados – Tecnologias e Soluções de Remediação*.
- MACÍAS VÁZQUEZ, F. (2004). *Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental*. *Recursos Rurais* 1:49-56.
- MATAIX-SOLERA, J. (2011). “*Fire effects on soil aggregation: A review*” *Earth-science Reviews*, Mataix-Solera, J; Cerdà, A; Arcenegui, V; Jordán, A; Zavala, L.M. (2011). *Fire effects on soil aggregation: a review*. *Earth-Science Reviews*, Roma, v. 109, n. 1, p. 44-60.
- MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A. (2009). *Los efectos de los incendios forestales en los suelos en España. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión*. FUEGORED, Cátedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de Valencia, Spain.
- MEIRA-CASTRO, A. (2014). *Effects of prescribed fire on surface soil in a Pinus pinaster plantation, northern Portugal*. *Environ. Earth Sci.* 73 (6), 3011-3018.
- MENEZES, K. C.; PUIA, J. D.; MACHADO, A. H. R. (2020). *A importância da elasticidade da matéria orgânica e de sua atuação na estabilidade dos agregados para o controle da compactação do solo*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(3), 1349-1356.

- MIRA, M.; LOURENÇO, L. (2019). *Grandes incêndios florestais de 17 de junho de 2017 em Portugal e exemplos da determinação das respectivas causas*. Territorium, n. 26, p. 49-60, 13.
- MORAIS, L. A.; FIGUEIREDO, T. A. F. R.; FONSECA, F. M. S.; CHAVES, M. A. (2019). *Eficácia de condicionadores do solo para a redução da sua erodibilidade no Nordeste de Portugal avaliada com simulação de chuva*. Dissertação de mestrado, IPB.
- MORENO, J. M.; VÁZQUEZ, A.; VELEZ, R. (1998). "Recent history of forest fires in Spain". In Moreno, J. M. (Ed.) - Large Forest Fires, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 159-185.
- MUQADDAS, B.; ZHOU, X.; LEWIS, T.; WILD, C.; CHEN, C. (2015). *Long-term frequent prescribed fire decreases surface soil carbon and nitrogen pools in wet sclerophyll forest of Southeast Queensland, Australia*. Sci. Total Environ. 536, 39-47.
- MUSITANO, M. (2019). *O homem e o fogo..* Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1014&sid=9>. Acesso em: 15 out. 2021.
- NUNES, A.; LOURENÇO, L.; BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A. (2013). *Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais fatores responsáveis*. Cadernos de Geografia, Coimbra n. 32, p. 133-143.
- NUNES, H. B.; KATO, E.; SÁ, M. A. C.; ROSA, V. A.; CARVALHO, A. S.; SOARES NETO, J. P. (2019). *Influência da temperatura sobre a agregação do solo avaliada por dois métodos*. Ciência Florestal, 29(2), 496-507.
- NUNES, H. B.; KATO, E.; SÁ, M. A. C.; ROSA, V. A.; CARVALHO, A. S.; NETO, J. P. S. (2019). *Influência da temperatura sobre a agregação do solo avaliada por dois métodos*. Ciência Florestal, v. 29, n. 2, p. 496-507.
- PÁDUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. (2015). *Modelagem da densidade do solo em profundidade sob vegetação nativa em Minas Gerais*. Revista brasileira de ciência do solo, v. 39, n. 3.
- PARDO, A.; AMATO, M.; CHIARANDA, F. Q. (2000). *Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (Cicer arietinum L.)*. Plant growth and water distribution.

- PIERSON, F. B.; ROBICHAUD, P.; MOFFET, C. A.; SPAETH, K. (2008). *Soil water repellency and infiltration in coarse-textured soils of burned and unburned sagebrush ecosystems*. *Catena* 74 (2), 98-108.
- PISSARRA, J. B. (1981). *O papel da litologia na cartografia dos solos de Portugal*. Boletim Da Sociedade Geológica de Portugal, Vol. XXII.
- PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. (1992). Transfer of macronutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, 8: 487-497.
- PRIMIERY, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. (2017). *Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. Floresta e Ambiente*. Floresta e Ambiente, v. 24, p. 3-9.
- RAMPAZZO, N.; BLUM, W. E. H.; WIMMER, B. (1998). *Assessment of soil structure parameters and functions in agricultural soils*. *Bodenkultur* 49, 69-84.
- RECH, L. C.; THOMAZ, E. L. (2008). *Uso da terra e distribuição granulométrica: Estudo de caso de uma propriedade rural representativa em Laranjeiras do Sul-PR*. *Revista Eletrônica Latu Sensu - UNICENTRO*, Paraná, v. 1, p. 1-17.
- REDIN, M.; SANTO, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. (2011). *Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo*. *Ciências Florestais*, v. 21. n. 2, p381-392.
- REGO, F. C. (2001). *Florestas públicas. Direção Geral das Florestas e Comissão Nacional Especializada de Fogos Florestais*, Lisboa.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. (2006). *Propriedades físicas do solo*. Santa Maria. Resck, D.V.S. (1999). *O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, Brasília.
- RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, F. (2005). *Compactação do solo: causas e efeitos*. *Ciências Agrárias*, v. 26, n. 3, p.321-344.
- RODRIGUES, N. S.; ALMEIDA, K. P.; CARDOSO, C. A. H.; NOQUELLI, L. H. M.; ALVES, M. A. S.; BATISTA, S. B. (2021). *Pantanal mato-grossense: como a supressão da vegetação favorece formação de processos erosivos*. IX Simpósio De Iniciação Científica Das Ciências Agrárias (Sicca). 17-21.

- ROMEIRO, A. R. (1998). *Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura*. Annablume.
- Roque, A. A. O; Souza, Z. M.; Barbosa, R. S.; Souza, G. S. (2010). *Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar*. Pesq. Agropec. Bras.,v. 45, n. 7, p.744-750.
- ROSA, R. S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINE, B.; REZENDE, M. O. O. (2003). *Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável*. Instituto de química de São Carlos- USP. P.52.
- SAMPAIO, E. (2011). *O solo e as suas funções*. Disponível em:  
<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4413/1/O%20solo%20e%20suas%20fun%20c3%a7%20c3%b5es.pdf>. Acesso em: 06 set. 2021.
- SANTÍN, C.; DOERR, S. H. (2016). *Fire effects on soils: the human dimension*. Phyl. Trans. R. Soc. B.371, 20150171.
- SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. (2006). *Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002*. Revista Floresta, v. 36, n. 1.
- SILVA, F. W. A.; PORTELA, J. C.; GONDIM, J. E. F.; OLIVEIRA, V. N. S. (2019). *Matéria orgânica e suas inter-relações com os atributos físicos do solo*. Terra, Habitats Urbanos e Rurais. V2. 255-267.
- SILVA, G. J.; JÚNIOR, D. D. V.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. (2008). *Variação de atributos físico-hídricos em latossolo vermelho-amarelo do Cerrado mato-grossense sobdiferentes formas de uso*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 5, p.2135-2143.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. (1998). *Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade da agregação*. Revista Brasileira Ciências do Solo, 22, 311-317.
- SILVA, R. B; JUNIOR, M. S. D.; SILVAS, F. A. M.; FOLE, M. (2003). *Tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 6, p.973-983.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; STEPHEN OGLE, S.; SÁ, J. C. M.; ALBRECHT, A. (2002). *Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage*. Agronomie, Les Ulis, v. 22, n. 7/8, p. 755-775.

- SMYTH, A. J.; DUMANSKI, J. (1995). *A framework for evaluating sustainable land management*. Can. J. Soil Sci., 75:401- 406.
- SWITZER, J.M.; GRAYSTON, S.; PRESCOTT, C.; HOPE, G. D. (2012). *Changes in soil chemical and biological properties after thinning and prescribed fire for ecosystem restoration in a Rocky Mountain Douglas-fir Forest*. For. Ecol. Manag. 275, 1-13.
- THOMAZ, E. L. (2011). *Influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade de agregados em chernossolo*, Saskatchewan, Canadá. Ciencia del Suelo, Santa Fe, v. 29, n. 2, p. 277-284.
- THOMAZ, E. L. (2011). *Influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade de agregados em chernossolos*, Saskatchewan, Canadá. Ciencia del suelo, 29(2), 277-284.
- THOMAZ, E. L. (2017). *Fire changes the larger aggregate size classes in slash-and-burn agricultural systems*. Soil and Tillage Research, Santa Rosa, v. 165, p. 210-217.
- VARELA, M.E.; BENITO, E.; KEIZER, J. J. (2010). *Wildfire effects on soil erodibility of woodlands in NW Spain*. Land Degrad. Dev. 21, 75-82.
- VIDAL-BEAUDET, L., ROKIA, S., NEHLS, T., & SCHWARTZ, C. (2018). *Aggregation and availability of phosphorus in a Technosol constructed from urban wastes*. Journal of Soils and Sediments, 18(2), 456-466.
- VIEIRA, A.; GONÇALVES, A. B.; LOURENÇO, L.; NUNES, A. (2012). “*Medidas de mitigação da erosão em canais: aplicação em áreas ardidadas do NW de Portugal*” Revista GeoNorte, Edição Especial, 4; Vol. 1; pág. 800-815.
- WHELAN, R. J. (1995). *The ecology of fire*. New York: Cambridge University Press, 1ªed.

