

Influência da matéria orgânica na estabilidade de agregados do solo em áreas de matos após fogo controlado, NE Portugal

Influence of organic matter on soil aggregates stability in a scrubland area after prescribed fire, NE Portugal

Israel Santos^{1,2,*}, Tomás de Figueiredo^{1,2} & Felícia Fonseca^{1,2}

¹Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

²Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

(*E-mail: israelnsantos@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.33877>

Recebido/received: 2023.07.30

Aceite/accepted: 2023.11.20

RESUMO

A estabilidade dos agregados do solo é um fator fundamental para o funcionamento e sustentabilidade do ecossistema solo. Os agregados são formados a partir da união de partículas primárias e agentes cimentantes, sendo a matéria orgânica um componente chave nesse processo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do fogo controlado aplicado no Parque Natural de Montesinho, Nordeste de Portugal, na estabilidade da agregação do solo e sua relação com as alterações nos teores de matéria orgânica decorrentes do fogo controlado. As amostras foram coletadas em 11 pontos, nas profundidades 0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm, ao longo de dois transectos, com aproximadamente 15 m de distância entre pontos e transectos. Após avaliar a estabilidade da agregação, as condições do solo antes e depois do incêndio foram comparadas. Os resultados indicam que a exposição a altas temperaturas, onde a maior temperatura registrada na superfície do solo foi de 670 °C e a menor 38,9 °C, foi capaz de reduzir a estabilidade da agregação do solo, bem como alterar a disponibilidade de matéria orgânica no solo. Esta, por sua vez, mostrou-se relevante quando correlacionada com a estabilidade dos agregados, permitindo explicar cerca de 58% das variações verificadas na estabilidade dos agregados. Desta forma, a presença de matéria orgânica no solo revelou-se como um eficiente indicador da agregação do solo e consequentemente da qualidade do solo.

Palavras-chave: qualidade física do solo; degradação do solo; estrutura do solo.

ABSTRACT

The stability of soil aggregates is a crucial factor for soil functioning and sustainability. Aggregates are formed by the union of primary particles and cementing agents, with organic matter being a key component in this process. The aim of this study was to assess the effects of prescribed fire in the Montesinho Natural Park, NE Portugal, on soil aggregate stability and its relationship with changes in organic matter availability resulting from prescribed fire. Samples were collected at 11 points, at depths 0-3, 3-6, 6-10, and 10-20 cm, along two transects, with approximately 15 m distance between points and transects. After evaluating aggregate stability, the soil conditions before and after the fire were compared. The results indicated that exposure to high temperatures reduced soil aggregate stability and altered organic matter availability in the soil. Moreover, a significant correlation was found between organic matter content and aggregate stability, with approximately 58% of the variations being explained by this relationship. Thus, the presence of soil organic matter proved to be an efficient indicator of soil aggregation and consequently of soil quality.

Keywords: physical quality of the soil; soil degradation; soil structure.

INTRODUÇÃO

A estabilidade da agregação é um atributo essencial para garantir a funcionalidade e a capacidade de suporte de vida do solo. Os agregados têm origem na união de partículas primárias e agentes cimentantes, que agem de forma a dar maior coesão e estabilidade ao solo, sejam eles de origem mineral ou orgânica, com destaque para a matéria orgânica (Yan *et al.*, 2015; Volikov *et al.*, 2016). No entanto, as perturbações antrópicas associadas ao uso da terra, particularmente o fogo/incêndios, podem alterar de forma significativa a estabilidade dos agregados do solo. Mediante esta problemática, é crescente a busca por técnicas de gestão de áreas florestais a fim de reduzir a ocorrência de incêndios, principalmente devido aos impactos no solo e às alterações na biodiversidade do local afetado. A estabilidade do solo é particularmente vulnerável a modificações decorrentes das altas temperaturas resultantes do fogo/incêndios. Segundo Badía-Villas *et al.* (2014), áreas afetadas pelo fogo tendem a apresentar alterações nos parâmetros físico-químicos e biológicos, resultando, por exemplo, na diminuição do teor de matéria orgânica, principalmente nas camadas superficiais do solo.

A redução da estabilidade da agregação do solo pode ser percebida em decorrência da alteração de agentes cimentantes presentes no solo que contribuem para a união das partículas. Entre eles, o teor de matéria orgânica é considerado como o principal componente responsável por unir partículas minerais do solo, formando complexos argilo-húmicos. Este processo contribui para manter a estabilidade dos agregados do solo (Edwards & Bremner, 1967). Além disso, conforme apontado por Pádua *et al.* (2015), a estabilidade da agregação do solo está relacionada com o tamanho dos agregados, sendo que os microagregados (dimensões $\leq 0,25$ mm) tendem a ser mais estáveis em comparação aos macroagregados (dimensões $> 0,25$ mm), que possuem maior instabilidade e menor coesão entre as partículas.

Com o intuito de reduzir o risco de incêndio, atualmente são utilizadas técnicas de gestão da vegetação para controlar a disponibilidade de materiais inflamáveis em determinada área. Nesse sentido, uma prática comum é a utilização do fogo controlado, também conhecido como fogo prescrito. O fogo

controlado consiste em uma prática planejada, na qual a duração e a intensidade são cuidadosamente ajustadas para atingir objetivos específicos. Esse planejamento leva em consideração diversos aspectos, como condições meteorológicas, quantidade de material combustível presente e características topográficas da área (Fernandes *et al.*, 2009). Esses elementos são avaliados minuciosamente a fim de garantir a eficácia e a segurança do fogo controlado como uma ferramenta de prevenção de incêndios florestais.

O presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos do fogo controlado aplicado no Parque Natural de Montesinho, para proteger as florestas contra incêndios de verão, na estabilidade da agregação do solo e sua relação com as alterações no teor de matéria orgânica do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Características da área experimental

Este trabalho foi conduzido numa área de matos, com cerca de 5 hectares, no Parque Natural de Montesinho próximo da aldeia de Aveleda, Bragança (41°53'57.06"N, 6°40'55.39"O), submetida a um fogo controlado (Figura 1). A vegetação predominante é composta por Urze (*Erica australis*), Carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) e Esteva (*Cistus ladanifer*). O fogo controlado foi realizado no dia 22 de março de 2021 e teve como principal objetivo criar uma faixa de descontinuidade entre a área

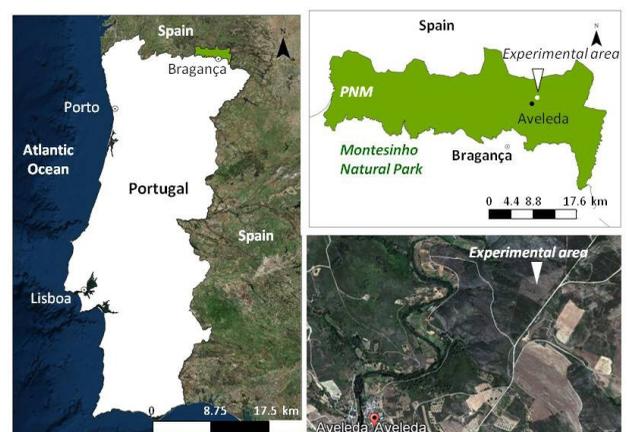


Figura 1 - Localização geográfica da área experimental. Fonte: Fonseca *et al.* (2017).

de matos e um povoamento florestal contíguo de *Pinus pinaster* e, conseqüente proteção da floresta contra incêndios. Trata-se de uma área de planalto, a 800 m de altitude, cortada por vales profundos, com temperatura média anual de 12 °C e precipitação média anual de 850 mm, concentrada de outubro a março (Agroconsultores e Coba, 1991). Os solos predominantes na área de estudo são os Leptosolos Úmbricos de xisto. Estes são solos delgados, com elevado teor de elementos grosseiros, tendo menos de 20% de terra fina até uma profundidade de 125 cm. Segundo Nogueira (2014) o solo presente na área de estudo é classificado como ácido, tendo seus valores variando entre 4,6 a 5,5.

Colheita de amostras de solo no campo

Para avaliar os efeitos do fogo controlado nas propriedades físicas e químicas do solo, foram definidos aleatoriamente 11 pontos distribuídos ao longo de dois transetos, com uma distância média de 15 metros entre pontos e transetos. Em cada ponto procedeu-se à colheita de amostras de solo nas profundidades 0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm, antes da aplicação do fogo controlado, dois meses e sete meses pós-fogo (DMPF e SMPF). (Figura 2). Neste trabalho são apresentados dados relativos à estabilidade de agregados do solo e, sua relação com o teor de matéria orgânica do solo.



Figura 2 - Localização dos pontos de amostragem na área de estudo. Fonte: Piovesan (2021).

Processamento das amostras e determinação da estabilidade dos agregados

As amostras de solo foram processadas em laboratório, tendo passado por um processo de secagem a 45 °C por 48 horas, em estufa de circulação e renovação de ar. Em seguida, foram crivadas utilizando malhas de 2 mm e 1 mm. Para a avaliação da estabilidade dos agregados, utilizaram-se apenas as partículas retidas no crivo de 1 mm, ou seja, aquelas com dimensões entre 1 e 2 mm. Foram definidas duas classes de tamanho de agregados: (1) macroagregados com dimensão de 0,4 mm (crivo de malha de 0,4 mm); e microagregados com dimensão de 0,25 mm (crivo de malha de 0,25 mm).

Na determinação da estabilidade dos agregados foi utilizado um estabilizador de agregados, equipamento que simula as forças mecânicas e físico-químicas de dispersão do solo. O equipamento gera movimentos de subida e descida das amostras de solo contidas nos crivos da respetiva classe de diâmetro, entrando primeiro em contacto com água e depois com uma solução de hexametáfosfato de sódio, conduzindo à dispersão dos agregados instáveis e estáveis, respetivamente (Soil and Water Wet sieving apparatus - metodologia descrita no manual da Eijkelkamp). O teor de matéria orgânica do solo, nos diferentes períodos de amostragem, foi avaliada pelo método *Walkley-Black*.

O tratamento estatístico dos dados obtidos, incluiu estatística descritiva, análise de variância e testes de comparação de médias (Tukey, $p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 3, onde são apresentados os valores médios da estabilidade da agregação antes e após (DMPF e SMPF) o fogo controlado para os diferentes tamanhos de agregados de solo estudados, pode-se observar que a estabilidade da agregação é significativamente superior no solo original em ambos as classes de agregados (0,4 mm e 0,25 mm), indicando que a aplicação do fogo resultou numa redução da estabilidade. Esta redução está relacionada com os impactos do fogo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Freitas *et al.*, 2022).

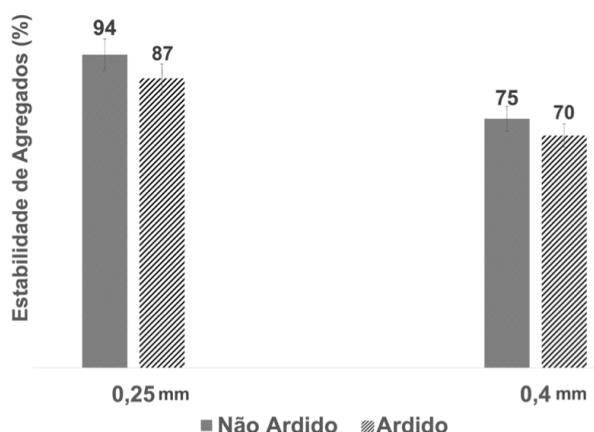


Figura 3 - Média da estabilidade dos agregados antes e após a aplicação do fogo controlado para cada classe de agregados (0,25 e 0,4 mm). As barras erro representam o desvio padrão.

A partir do primeiro boxplot (Figura 4), é possível observar que a aplicação do fogo controlado foi responsável por alterações significativas na estabilidade da agregação. Esta figura representa a menor classe de agregados (0,25 mm). O mesmo pode ser identificado no boxplot seguinte (Figura 5), porém, desta vez está relacionada a maior classe de agregados (0,4 mm).

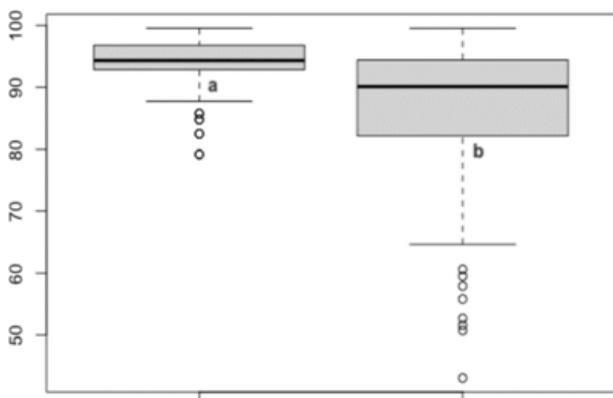


Figura 4 - Boxplot da estabilidade dos agregados nos períodos não ardido (AF) e ardido (DF) para a classe de agregados 0,25 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

Diversos trabalhos evidenciam o efeito do fogo sobre as propriedades físicas e químicas do solo Thomaz (2011) e Chen *et al.* (2016). E quando se trata da estabilidade dos agregados, verifica-se que esta é influenciada pelo grau de degradação da matéria

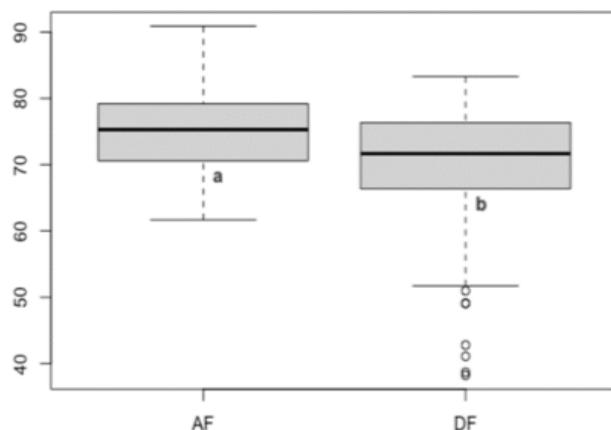


Figura 5 - Boxplot da estabilidade dos agregados nos períodos não ardido (AF) e ardido (DF) para a classe de agregados 0,4 mm. Colunas com letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

orgânica resultante da sua combustão durante o fogo (Mataix-Solera *et al.*, 2011). A queima da matéria orgânica ocorre devido às altas temperaturas geradas, as quais dependem da intensidade do fogo (Ibrahimi *et al.*, 2019). Contudo, a matéria orgânica não é o único agente cimentante das partículas do solo, que conduzem à formação e estabilidade da agregação.

Os valores de matéria orgânica obtidos a partir deste estudo podem ser observados no Quadro 1. Para a área de estudo foi possível estabelecer a relação entre o teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados do solo (Figura 6). 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.

Quadro 1 - Teor de matéria orgânica nos períodos antes da aplicação do fogo controlado, dois meses e sete meses após a aplicação do fogo controlado (SO, DMPF e SMPF)

Profundidade	SO	DMPF	SMPF
0-3	15,08	13,06	14,20
3-6	11,45	15,23	12,68
6-10	11,01	12,30	11,64
10-20	10,23	11,92	10,66

Em solos onde a matéria orgânica atua como o principal agente cimentante entre as partículas, nota-se que temperaturas até 170°C promovem a estabilidade dos agregados. No entanto, temperaturas superiores a 200°C resultam na degradação dessa estabilidade estrutural (Soto *et al.*, 1991). Aspeto este também observado por Guerrero *et al.* (2001), onde mostraram que elevadas temperaturas e intensidades do fogo podem gerar impactos na agregação do solo, bem como alterar de forma significativa a disponibilidade de matéria orgânica no solo. Também Calixto (2021) 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.

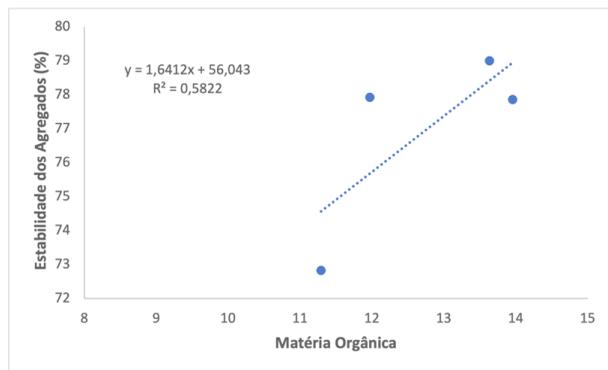


Figura 6 - Correlação entre a estabilidade dos agregados e a matéria orgânica no estado ardido dois meses e sete meses após a aplicação do fogo controlado (DMPF e SMPF).

CONCLUSÕES

Com o presente estudo, observou-se que o fogo, mesmo em condições de baixa intensidade, é capaz de alterar atributos do solo como a estabilidade da agregação. Sendo o teor de matéria orgânica no solo um fator relevante para explicar tais mudanças.

Diante disto, é visível a importância da realização de estudos mais completos sobre a estabilidade dos agregados, visando compreender a relação de outras propriedades consideradas importantes com uma boa estruturação do solo.

AGRADECIMENTOS

TERRAMATER- Innovative preventive recovery measures in burnt areas, 0701_TERRAMA-TER_1_E, co-funded by FEDER through Interreg V-A Espanha-Portugal (POCTEP) 2014–2022.

Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) e fundos nacionais FCT/MCTES (PIDDAC) pelo apoio financeiro ao CIMO (UIDB/00690/2020 e UIDP/00690/2020) e SusTEC (LA/P/0007/2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroconsultores e Coba (1991) - *Carta dos solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*. UTAD/PDRITM, Vila Real.
- 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*, vol. 213, p. 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.038>
- Calixto, S.K. (2021) - *Estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos submetidos diferentes temperaturas no oeste da Bahia, Brasil*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Estado da Bahia.
- 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*, vol. 204, p. 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.01.014>
- Edwards, A.P. & Bremner, J.M. (1967) - Microaggregates in Soil. *Journal of Soil Science*, vol. 18, n. 1, p. 64-73. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1967.tb01488.x>
- Fernandes, R.C.L. (2009) - *Recuperação de solos florestais ardidos com recurso a resíduos orgânicos e sua influência na matéria orgânica do solo*. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.
- Freitas, D.; Fonseca, F. & Figueiredo, T. (2022) - Aggregation stability: indicator of soil quality of great relevance in decisions regarding soil use and management. *Studies in Environmental and Animal Sciences*, vol. 3, n. 3, p. 1508-1520. <https://doi.org/10.54020/seasv3n3-016>
- 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*, vol. 15, n. 2, p. 163-171. <https://doi.org/10.1080/15324980151062823>
- Ibrahimi, K.; Mowrer, J.; Amami, R. & Belaid, A. (2019) - Burn Effects on soil aggregate stability and water repellency of two soil types from east and north Tunisia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 50, n. 7, p. 827-837. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1589487>
- Mataix-Solera, J.; Cerdà, A.; Arcenegui, V.; Jordán, A. & Zavala, L.M. (2011) - Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, vol. 109, n. 1-2, p. 44-60. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.08.002>
- Nogueira, C.C.F. (2014) - *Efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo em áreas de montanha sob cobertura de matos: o caso de Aveleda, Parque Natural de Montesinho*. Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Bragança.
- 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*, vol. 39, n. 3, p. 725-736. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140028>
- Soto, B.; Benito, E. & Diaz, F.F. (1991) - Heat-Induced Degradation Processes in Forest Soils. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 1, n. 3, p. 147-152. <https://doi.org/10.1071/WF9910147>
- Thomaz, E.L. (2011) - Influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade de agregados em chernossolo, Saskatchewan, Canadá. *Ciencia del Suelo*, vol. 29, n. 2, p. 277-284.
- Volikov, A.B.; Kholodov, V.A.; Kulikova, N.A.; Philippova, O.I.; Ponomarenko, S.A.; Elena, V.; Lasareva, E.V.; Aksana M.; Parfyonova, A.M.; Hatfield, K.; Irina V. & Perminova, I. V. (2016) - Silanized humic substances act as hydrophobic modifiers of soil separates inducing formation of water-stable aggregates in soils. *Catena*, vol. 137, p. 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.09.022>
- Yan, Y.; Cheng-Hua, L. & Zong-Lian, P. (2015) - Effect of greenhouse soil management on soil aggregation and organic matter in northeast China. *Catena*, vol. 133, p. 412-419. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.013>