

## Dinâmica do armazenamento de carbono em áreas de matos de montanha: efeito do fogo controlado

Felícia Fonseca<sup>1</sup>, Diego Silva<sup>1</sup>, Zulimar Hernández<sup>2</sup>, Ana Caroline Royer<sup>1</sup>, Tomás de Figueiredo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Centro de Investigação de Montanha (Portugal)  
[ffonseca@ipb.pt](mailto:ffonseca@ipb.pt), [ana.royer@ipb.pt](mailto:ana.royer@ipb.pt), [tomasfig@ipb.pt](mailto:tomasfig@ipb.pt)

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Laboratório Colaborativo Montanhas de Investigação (Portugal)  
[zhernandez@morecolab.pt](mailto:zhernandez@morecolab.pt)

### Resumo

Este trabalho teve como objectivo avaliar a dinâmica temporal do armazenamento de carbono nos compartimentos solo, horizonte orgânico e biomassa da vegetação arbustiva, na sequência da aplicação de um fogo controlado, numa área de matos do Parque Natural de Montesinho, NE Portugal. Em 11 locais distribuídos aleatoriamente, foi avaliada a biomassa das espécies arbustivas e do horizonte orgânico e colhidas amostras de solo, antes do fogo controlado, dois meses, seis meses e três anos pós-fogo. Trinta e seis meses após o fogo, o carbono armazenado na biomassa aérea das espécies arbustivas ( $7,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) e nos horizontes orgânicos ( $1,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), representa cerca de metade do carbono armazenado na situação original (antes do fogo controlado). Em oposição, o solo registou um aumento de 10% da quantidade de carbono ( $6,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

**Palavras-chave:** Matos, fogo controlado, solo, carbono.

### Abstract

*Carbon storage dynamics in mountain scrubland areas: effect of prescribed fire.* This research focused in effects of a prescribed fire (PF), which was applied in Montesinho Natural Park (PNM), NE Portugal, in temporal dynamics of carbon storage in mineral soil, litter and shrub biomass. In 11 plots randomly distributed, shrub biomass and organic horizon were evaluated and soil samples were collected before the controlled fire, two months, six months and three years after prescribed fire. Thirty-six months after the PF carbon storage in aboveground biomass of shrub species ( $7.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) and litter ( $1.6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) is about on half when compared with original situation (before PF). In contrast, the mineral soil recorded a 10% carbon increase ( $6.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ).

**Keywords:** Shrubs, prescribed fire, soil, carbon.

## Introdução

A elevada ocorrência de incêndios florestais na região mediterrânea está, em parte, relacionada com profundas alterações do uso da terra, nomeadamente o abandono da agricultura que proporciona o aumento de áreas cobertas por matos e a redução de espaços abertos, resultando numa acumulação de biomassa e consequente aumento do risco de incêndio (Lourenço, 2011; Ferreira-Leite *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2017). A aplicação do fogo controlado em áreas de matos com vista à criação de faixas de descontinuidade da vegetação e protecção dos povoamentos florestais é uma prática relativamente comum no Parque Natural de Montesinho (PNM), NE de Portugal (IPB / ICN, 2007; Fonseca *et al.*, 2017). Nesta região, o solo é um recurso qualitativamente escasso, com especial realce para as áreas marginais onde predominam os matos (Figueiredo, 2002). A protecção do solo é essencial devido à sua importância na provisão de serviços ecossistémicos, designadamente o armazenamento de carbono, sendo o solo o maior reservatório de carbono na biosfera terrestre (José, 2009).

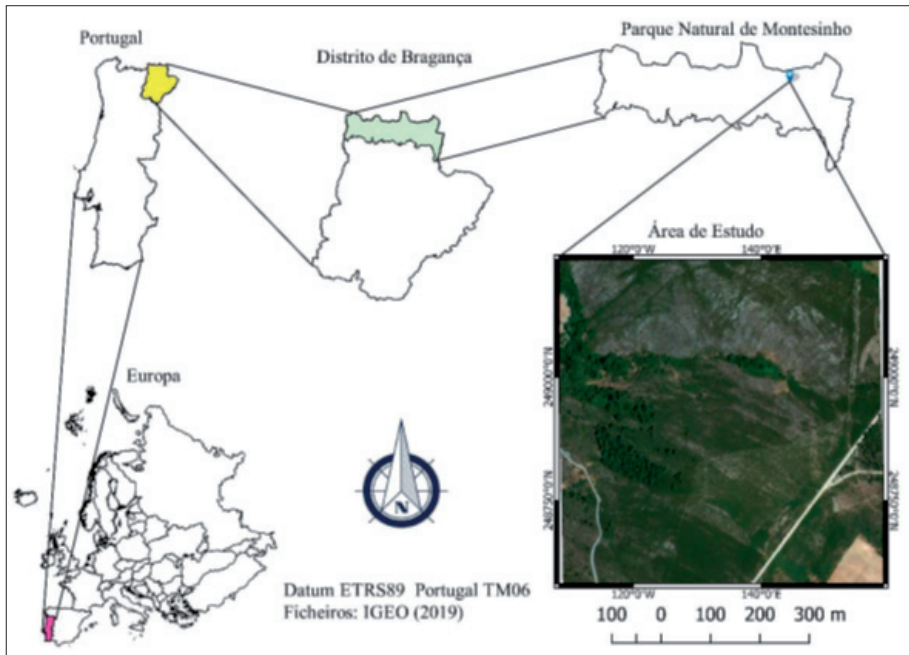
Durante o fogo, o coberto vegetal e os horizontes orgânicos do solo são total ou parcialmente consumidos e os horizontes minerais são aquecidos, o que pode conduzir a modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O efeito produzido no teor de matéria orgânica do solo é muito variável e depende de vários fatores, incluindo tipo, severidade, intensidade e duração do fogo (Shakesby *et al.*, 2013). Dependendo da severidade do fogo, a matéria orgânica pode sofrer uma leve destilação, carbonização ou oxidação completa, traduzindo-se em relevantes efeitos a nível do ciclo biogeoquímico do carbono (Certini, 2005).

O presente trabalho teve como principal objectivo avaliar o impacto do fogo controlado na dinâmica temporal do armazenamento de carbono em comunidades arbustivas de montanha da região mediterrânea.

## Material e Métodos

O presente estudo decorreu, numa área de montanha coberta por matos (41°53'57.06"N, 6°40'55.39"W), localizada no Parque Natural de Montesinho (PNM), NE Portugal (fig. 1), que foi submetida a fogo controlado de acordo com o plano de gestão do PNM. Trata-se de uma área de planalto a 800 m de altitude, com temperatura média anual de 12°C e precipitação média anual de 850 mm, concentrada de outubro a

abril (Agroconsultores & Coba, 1991). Os solos integram-se na unidade solo Leptosolos úmbricos de xisto, com elevado teor de elementos grosseiros, textura média, ácidos e com teor médio a alto de matéria orgânica na camada superficial (Agroconsultores & Coba, 1991; Fonseca *et al.*, 2017).



**Fig. 1** - Localização da área de estudo no Parque Natural de Montesinho.

Foi realizado o levantamento da vegetação no terreno, antes da aplicação do fogo controlado, tendo sido identificadas manchas com clara dominância de espécies representativas das principais comunidades de matos do PNM (IPB/ICN, 2007). A abundância relativa das espécies arbustivas foi avaliada em parcelas de 70 × 70 cm em 11 locais distribuídos aleatoriamente no terreno, verificando-se que 44% da superfície estava ocupada por urze (*Erica australis*), 30% por carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) e 26% por esteva (*Cystus ladanifer*).

O armazenamento de carbono no sistema foi avaliado antes do fogo controlado (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) após o fogo, nos compartimentos biomassa aérea e subterrânea das espécies arbustivas, horizonte orgânico e solo mineral. A ação do fogo não foi uniforme, apresentando a carqueja e a urze um

fator de combustão de 80%, e parte significativa das manchas de esteva resistiram à passagem do fogo, com um fator de combustão de 50%. A severidade do fogo foi estimada qualitativamente com base na presença de materiais incompletamente queimados e no nível de combustão do horizonte orgânico (Persons *et al.*, 2010).

Antes do fogo controlado, nas 11 parcelas referidas anteriormente, procedeu-se ao corte da vegetação arbustiva, que foi separada por espécies, determinado o peso fresco no campo e retiradas subamostras que foram secas a 65°C durante 72 h, com vista à determinação da quantidade de matéria seca por unidade de área (Mg ha<sup>-1</sup>). Após o fogo controlado (DMAF, SMAF e TAAF), a biomassa aérea das espécies arbustivas foi estimada a partir da Equação 1 proposta por Rambal (2001), para áreas de matos da região mediterrânea submetidas a perturbações naturais ou antrópicas.

$$BA = 2880 (1 - e^{-0,0896t}) \quad \text{Equação 1}$$

onde BA é a biomassa aérea (g m<sup>-2</sup>); t é o tempo em anos.

A biomassa das raízes (BR) foi quantificada com base na relação BR / BA de 2,48 para a espécie *Erica australis* e 0,60 para as espécies *Chamaespartium tridentatum* e *Cystus ladanifer*, valores obtidos por Fonseca *et al.* (2012), na mesma área geográfica onde decorreu o presente estudo.

A matéria seca das espécies arbustivas foi convertida em carbono (expresso em Mg C ha<sup>-1</sup>), multiplicando estes valores pela concentração de carbono na matéria seca. Considerou-se uma concentração média de carbono na BA de 55,8% e de 53,6% na BR, valores obtidos por Fonseca *et al.* (2012) num trabalho desenvolvido a cerca de 5 km de distância do local onde se desenvolveu o presente estudo.

Após o corte da vegetação foi realizada a medição da espessura do horizonte orgânico através de 9 medições realizadas em linhas paralelas na parte superior, central e inferior das parcelas, processo que se repetiu em todos os períodos de monitorização (AF, DMAF, SMAF e TAAF). O armazenamento de carbono no horizonte orgânico foi estimado com base na Equação 2 (Fonseca *et al.*, 2012).

$$C_{HO} = 0,1229 E_{HO} + 0,0437 \quad r^2 = 0,81; P < 0,000 \quad \text{Equação 2}$$

onde C<sub>HO</sub> é o carbono armazenado no horizonte orgânico; E<sub>HO</sub> é a espessura do horizonte orgânico

Também nas 11 parcelas foram colhidas amostras de solo perturbadas (avaliação da concentração de carbono e teor de elementos grosseiros) e não perturbadas (avaliação da

densidade aparente), nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. A quantidade de carbono armazenada no solo ( $C_s$ ,  $Mg\ ha^{-1}$ ) foi calculada multiplicando a concentração de carbono ( $C_c$ ) pela densidade aparente (DAP) e espessura da camada ( $z$ ) com correção para o conteúdo de elementos grosseiros (EG), usando a Equação 3.

$$C_s = zC_c (DAP - 2,65\ EG/100) \quad \text{Equação 3}$$

O Carbono total armazenado no sistema ( $C_T$ ) por unidade de área ( $Mg\ ha^{-1}$ ), foi obtido a partir do somatório do teor de carbono nos diferentes compartimentos:

$$C_T = C_B + C_{HO} + C_s$$

onde  $C_B$  é a quantidade de carbono armazenada na biomassa aérea e radicular das espécies arbustivas;  $C_{HO}$  é a quantidade de carbono armazenada no horizonte orgânico;  $C_s$  é a quantidade de carbono armazenada no solo.

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

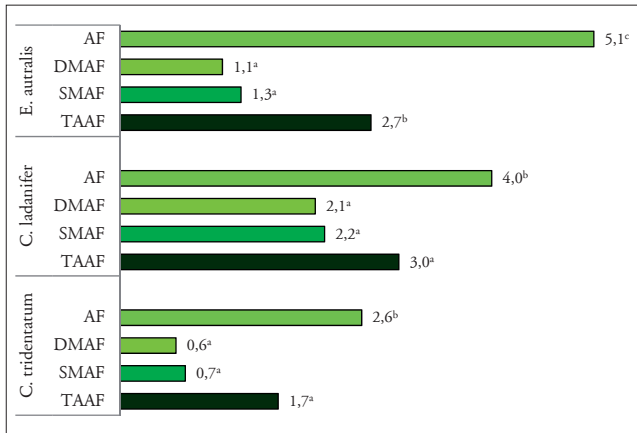
## Resultados e Discussão

### Armazenamento de carbono na biomassa das espécies arbustivas

A acção do fogo não foi uniforme, apresentando as espécies *E. australis* e *C. tridentatum* um fator de combustão de 80%, enquanto a espécie *C. ladanifer* revelou maior resiliência, com um fator de combustão de 50%. A figura 1 traduz o efeito do fogo controlado no armazenamento de carbono na biomassa aérea (BA) das espécies *E. australis*, *C. ladanifer* e *C. tridentatum* durante o período de monitorização (três anos).

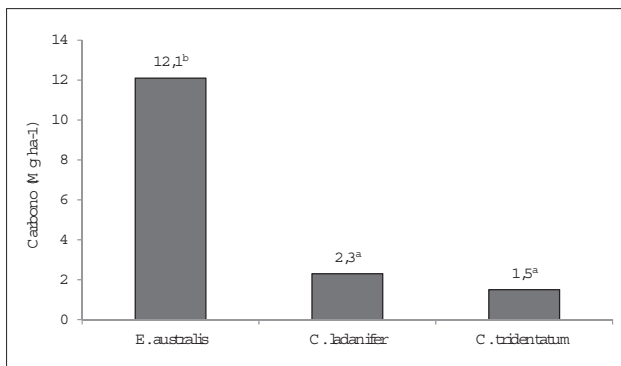
Antes da aplicação do fogo (AF), observa-se que a espécie *E. australis* armazena na BA uma quantidade de carbono significativamente superior à das restantes espécies. Nos períodos de amostragem 2 meses (DMAF) e 6 meses (SMAF) pós-fogo, a *E. australis* perdeu cerca de  $4\ Mg\ C\ ha^{-1}$ , armazenando ao fim de 36 meses (TAAF) cerca de metade do carbono, comparativamente à situação original. As espécies *C. ladanifer* e *C. tridentatum* tiveram um comportamento idêntico entre si ao longo do período de amostragem, com perdas de  $2\ Mg\ C\ ha^{-1}$  ao fim de 2 e 6 meses e de  $1\ Mg\ C\ ha^{-1}$  no final do período experimental.

De acordo com os critérios estabelecidos por Persons *et al.* (2010), o fogo foi de baixa severidade, assumindo-se que este não produziu efeitos nos sistemas radiculares das



**Fig. 2** – Carbono armazenado (Mg ha<sup>-1</sup>) na biomassa aérea das espécies *Erica australis*, *Cystus ladanifer* e *Chamaespartium tridentatum*. Antes do fogo (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) pós-fogo. Para cada espécie, valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ( $p > 0,05$ )

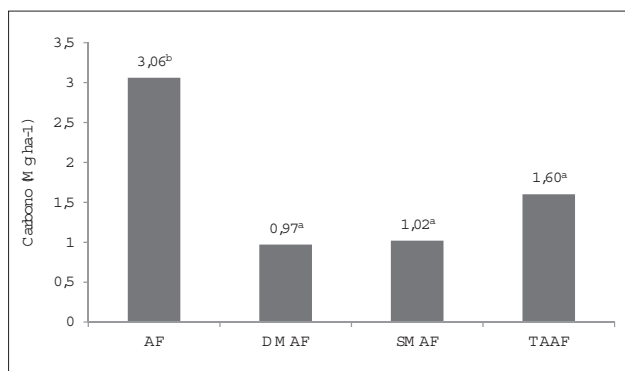
espécies em estudo. Neste sentido, a quantidade de carbono armazenada na biomassa das raízes (BR) manteve-se constante ao longo do período experimental (fig. 3). Na situação original (AF), a quantidade de carbono armazenado na BR era significativamente superior para a espécie *E. australis* (12,1 Mg ha<sup>-1</sup>), representando 70% do carbono total armazenado na biomassa. Para as restantes espécies (*C. ladanifer* e *C. tridentatum*) a BR registou cerca de um terço (36%) do carbono armazenado na biomassa. Os resultados obtidos sugerem que a produção relativa de BA e BR é controlada por padrões de desenvolvimento específicos de cada espécie (Gedroc *et al.*, 1996).



**Fig. 3** - Carbono armazenado (Mg ha<sup>-1</sup>) na biomassa das raízes das espécies *Erica australis*, *Cystus ladanifer* e *Chamaespartium tridentatum*, ao longo do período experimental. Valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ).

### Armazenamento de carbono no horizonte orgânico

Os horizontes orgânicos registaram perdas de carbono (fig. 4), por um lado devido ao fogo, e por outro devido aos processos erosivos. Parte dos resíduos orgânicos foram transportados para fora do sistema ou acumulados em pequenas depressões, ficando a superfície do solo parcialmente nua. Ao fim de 36 meses (TAAF) o carbono armazenado no horizonte orgânico era sensivelmente metade do registado na situação pré-fogo (AF). Apesar, do reduzido contributo para o total de carbono armazenado no sistema, o horizonte orgânico é um importante componente do ciclo de carbono (Ordóñez *et al.*, 2008).



**Fig. 4** - Carbono armazenado (Mg ha<sup>-1</sup>) nos horizontes orgânicos. Antes do fogo (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) pós-fogo. Valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ).

### Armazenamento de carbono no solo

Dois meses após o fogo (DMAF), em todas as profundidades verificou-se um ligeiro aumento de carbono no solo, porém não significativo do ponto de vista estatístico (TABELA I). Este aumento pode dever-se à deposição de cinzas e da decomposição do material orgânico que não sofreu combustão completa (González-Pérez *et al.*, 2004; Fonseca *et al.*, 2017). Seis meses após o fogo (SMAF), a quantidade de carbono registou uma redução, também pouco perceptível, nas camadas mais superficiais, voltando a aumentar novamente 36 meses após o fogo (TAAF), resultando num balanço final positivo (6,4 Mg ha<sup>-1</sup>). Estes aumentos de carbono no solo, embora não significativos, são extremamente importantes para a conservação do recurso solo e das suas funções ambientais e produtivas (Fonseca *et al.*, 2019). Os efeitos do fogo na matéria orgânica do solo ainda não são totalmente conhecidos, não sendo possível descrever com precisão a dinâmica quantitativa e qualitativa do carbono pós-fogo (Armas-Herrera *et al.*, 2016).

**TABELA I** - Carbono armazenado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nas camadas minerais do solo. Antes do fogo (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) pós fogo. Para a mesma profundidade, valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ).

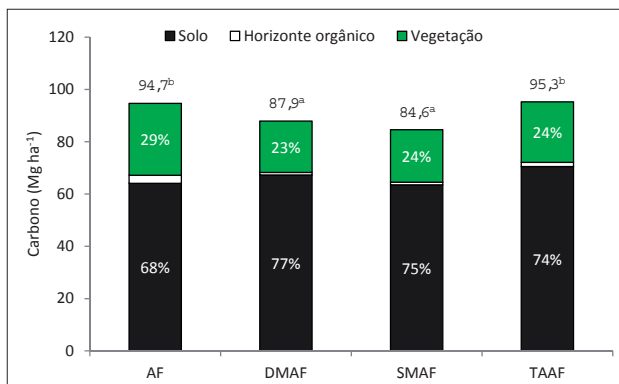
Prof (cm)	Período experimental			
	AF	DMAF	SMAF	TAAF
0-5	20,9 ± 1,7 <sup>a</sup>	21,2 ± 2,8 <sup>a</sup>	20,2 ± 1,9 <sup>a</sup>	22,0 ± 3,2 <sup>a</sup>
5-10	17,0 ± 3,2 <sup>a</sup>	17,2 ± 4,1 <sup>a</sup>	16,7 ± 2,9 <sup>a</sup>	17,9 ± 4,5 <sup>a</sup>
10-20	26,2 ± 7,1 <sup>a</sup>	28,8 ± 8,8 <sup>a</sup>	26,6 ± 6,9 <sup>a</sup>	30,6 ± 9,6 <sup>a</sup>

### Armazenamento de carbono no sistema

Apesar das perdas de carbono verificadas na biomassa da vegetação arbustiva e no horizonte orgânico, o aumento de carbono observado no solo foi suficiente para compensar aquelas perdas, mostrando o sistema ao fim de 36 meses, um valor total de carbono armazenado ligeiramente superior ( $95,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) ao registado na situação original ( $94,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (fig. 5).

O solo representa o maior reservatório de carbono, armazenando mais de 68% do carbono no sistema. Na biomassa da vegetação o carbono não ultrapassa os 29% e a contribuição do horizonte orgânico é muito pouco expressiva, representando menos de 3% do total de carbono armazenado.

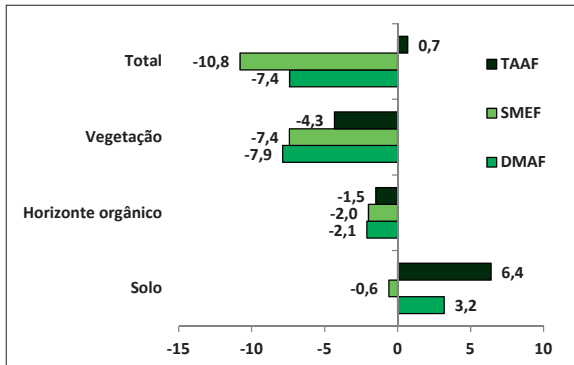
Com base nos resultados apresentados, verifica-se que as comunidades de matos constituem importantes reservatórios de carbono terrestre. Mais atenção deve ser prestada aos serviços ecossistémicos associados a estes ecossistemas (Fonseca *et al.*, 2012).



**Fig. 5** - Carbono total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) armazenado no sistema. Antes do fogo (AF), dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) pós-fogo. Valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ).



A variação do armazenamento de carbono em relação à situação antes da aplicação do fogo, mostra perdas de 7,4 e 10,8 Mg C ha<sup>-1</sup> ao fim de 2 (DMAF) e 6 meses (SMAF), respetivamente e ganhos de 0,7 Mg C ha<sup>-1</sup> ao fim de 36 meses (TAAF) (fig. 6).



**Fig. 6** - Variação do carbono armazenado (Mg ha<sup>-1</sup>) ao longo do período experimental (dois meses (DMAF), seis meses (SMAF) e três anos (TAAF) pós fogo), comparativamente à situação original (AF).

## Conclusões

Os resultados mostram uma elevada redução do teor de carbono armazenado na biomassa da vegetação arbustiva e nos horizontes orgânicos do solo, com perdas de cerca de 5,7 Mg ha<sup>-1</sup> ao fim de três anos. O carbono armazenado no solo mostrou um comportamento diferente com tendência de aumento, apresentando um acréscimo de 6,4 Mg ha<sup>-1</sup> no final do período experimental. Dois meses após o fogo a taxa anual de perda de carbono era de 43,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> contra 21,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> após seis meses, apresentando um ganho de 0,24 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ao fim de três anos.

Apesar da severidade do fogo controlado ter sido classificada de baixa, três anos após a sua ocorrência ainda são visíveis os efeitos no armazenamento de carbono no sistema.

## Bibliografia

- Agroconsultores & Coba (1991). *Carta dos Solos do Nordeste de Portugal*. UTAD, Vila Real.
- Armas-Herrera, C. M., Martí, C., Badía, D., Ortiz-Perpiñá, O., Girona-García, A. & Porta, J., (2016). Immediate effects of prescribed burning in the Central Pyrenees on the amount and stability of topsoil organic matter. *Catena*, 147, 238-244.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Lourenço, L., Úbeda, X. & Vieira, A. (2013). Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como Resultado das Perturbações nos Regimes de Fogo no Mundo

- Mediterrâneo. *Silva Lusitana*, 21, Especial, 127-142.
- Figueiredo, T. (2002). Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. In *Proceedings of II Seminário sobre Recursos Naturais do Nordeste Transmontano*. Escola Superior de Educação de Bragança.
- Fonseca, F., Figueiredo, T. & Ramos, M. A. B. (2012). Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. *Agroforestry Systems*, 86, 463-475.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9509-5>
- 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.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.018>
- Fonseca, F., Figueiredo, T., Vilela, A., Santos, R., Carvalho, A. L., Eliane, A. & Nunes, L. (2019). Impact of tree species replacement on carbon stocks in a Mediterranean mountain area, NE Portugal. *Forest Ecology and Management*, 439, 181-188.
- Gedroc, J. J., McConnaughay, K. D. M. & Coleman, J. S. (1996) Plasticity in root/shoot partitioning: optimal, ontogenetic, or both? *Functional Ecology*, 10, 44-50.
- González-Pérez, J. A., González -Vila, F.J., Almendros, G. & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment International*, 30, 855-870.
- IPB/ICN (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho – Caracterização. Bragança.
- José, S. (2009). Agroforestry for ecosystems services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1–10.
- Lourenço, L., Fernandes, S., Bento-Gonçalves, A., Castro, A., Nunes, A., Vieira, A. (2011). Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efectuada no último quinquénio (1996 a 2010). *Cadernos de Geografia*, 30/31, 61-80.
- Ordóñez J. A. B., de Jong B. H. J., García-Oliva, F., Aviña, F. L., Pérez, J. V., Guerrero G., Martínez, R. & Masera, O. (2008). Carbon content in vegetation, litter and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255, 2074-2084.
- Persons, A., Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Napper, C. & Clark, J. T. (2010). *Field guide for mapping post-fire soil burn severity*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 49 pp.
- Rambal, S. (2001). Hierarchy and productivity of mediterranean-type ecosystems. In Roy, J. S. B. & Mooney, H. A. (eds) *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press, pp. 315-344.
- Shakesby, R. A., Bento, C. P. M., Ferreira, C. S. S., Ferreira, A. J. D., Stoof, C. R., Urbanek, E. & Walsh, R.P. (2013). Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: An assessment based on an experimentally burned catchment in central Portugal. *Catena*, 128, 278-293.