

Sumidouro de carbono em lameiros de Portugal: quanto e como o C é armazenado no solo

C sink in pastures in Portugal: how much and how C is stored in the soil

Joceline Santos^{1,2}, Zulimar Hernández^{1,2,*}, Felícia Fonseca^{1,2} e Tomás de Figueiredo^{1,2}

¹Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal

²Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), IPB, Portugal

(*E-mail: zulimar@ipb.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.33469>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.10.16

RESUMO

Este trabalho pretende estudar a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) sob diferentes usos de solo: floresta de carvalho (QP), matos (M) e lameiros (LA). As amostras para este estudo foram coletadas nos seguintes locais: floresta carvalho na Serra da Nogueira, área de matos e lameiros do Parque Natural de Montesinho. Foram estudadas as variáveis pH, condutividade elétrica, e fez-se a determinação da MOS e o carbono orgânico do solo (COS). Foi desenvolvido o fracionamento químico da matéria orgânica que incluiu: i) a determinação da matéria orgânica, ii) a determinação das substâncias húmicas: ácidos húmicos e fúlvicos, e cálculo das huminas e iii) a purificação dos ácidos húmicos para caracterização química. Como um indicador da qualidade dos ácidos húmicos, foi determinada a densidade óptica dos ácidos húmicos e calculados os índices E4, E6 e E4/E6, que descrevem o grau de aromaticidade da MOS, o peso molecular e o grau de condensação. Os resultados mostraram que não houve grandes diferenças na quantidade de COS, sendo a floresta que apresentou maior quantidade de COS vs. os lameiros, pelo que os diferentes usos, contribuem praticamente da mesma maneira ao sequestro de carbono no solo no Nordeste de Portugal, embora, os resultados do fracionamento de matéria orgânica mostraram diferenças na qualidade de COS.

Palavras-chave: Reserva de Carbono, Fracionamento Químico, Pastagens, Substâncias húmicas, Coeficiente Isohúmico.

ABSTRACT

This work was carried out in the context of studying the quantity and quality of organic matter in the soil (SOM) under different land uses: oak forest (QP), bushes (M) and pastures (LA). The samples for this study were collected in different locations: oak forest in Serra da Nogueira, scrubland and pastures of the Parque Natural de Montesinho. The pH and electrical conductivity variables were studied, and SOM and soil organic carbon (SOC) were determined. The chemical fractionation of soil organic matter was developed, which included: i) determination of organic matter, ii) determination of humic substances: humic and fulvic acids, and humines and iii) chemical purification of humic acids for characterization. As an indicator of the quality of the humic acids, the optical density of the humic acids was determined and the E4, E6 and E4/E6 indices calculated, that describe the degree of aromaticity of SOM, the molecular weight and the degree of condensation of the humic acids. The results showed that there were no major differences in the amount of SOC with the forest having the highest amount of organic carbon in the soil vs. the pastures, the different uses, contribute practically the same with the sequestration of carbon in the soil in the Northeast of Portugal, although, the results of the fractionation of soil organic matter showed differences in the SOC quality.

Keywords: Carbon Reserve, Chemical Fractionation, Pastures, Humic Substances, Isohumic Coefficient

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) representa uma componente essencial nos vários processos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas terrestres (Piccolo, 1996; Christensen, 2000; Carter, 2001). A qualidade da MOS é entendida como o resultado de um conjunto de propriedades biogeoquímicas que lhe conferem estabilidade e resiliência (Almendros, 2008). Todas elas se relacionam com vários processos do solo, como o armazenamento de nutrientes, atividade biológica e estabilidade de agregados de solo. A importância da determinação da MOS em solos agrícolas e florestais reside nas numerosas funções agroecológicas que esta exerce sobre os mesmos, que se traduzem nos aumentos dos níveis de fertilidade, na estabilidade dos agregados, na retenção hídrica do solo, na libertação de nutrientes na solução de solo ou na regulação da concentração de contaminantes (Almendros & Gonzalez, 2012). A separação das distintas frações da MOS permite quantificar uma série de constituintes que, em função de que sejam particulados, solúveis ou coloidais, se denominam genericamente de matéria orgânica livre (MOL), ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), e humina (H) ligada a óxidos ou argilas não extraível ou residual (Duchaufour, 1975; Duchaufour & Jacquin, 1975; Velthorst *et al.*, 1999) ressaltando que os AH são as substâncias húmicas mais ativas do solo (Stevenson, 1994).

Assim sendo, o objetivo principal deste trabalho foi determinar a quantidade e qualidade de MOS em diferentes usos de solo da região fria de Trás-os-Montes (Portugal). A determinação da quantidade de MOS de cada solo foi feita por via húmida, e os parâmetros de qualidade foram determinados pelo fracionamento químico da MOS.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de solo foram colhidas em três locais diferentes, correspondendo a três usos de solo: 1) Serra da Nogueira, representando a área de floresta de carvalho ou *Quercus pyrenaica* (QP), 2) Aveleda, no Parque Natural de Montesinho (PNM), representando a área de matos (M) e 3) Lombada, no PNM, representando a pastagem de montanha, os lameiros (LA). Para cada área de estudo, representadas por três tipos de uso do solo distintos (floresta, matos e pastagem), foram analisadas amostras de solo compostas, colhidas na camada 0-5 cm de profundidade. No total foram analisadas 9 amostras: 3 para o uso florestal (QP); 3 para o uso matos (M), 3 para o uso pastagem (LA) (Figura 1).

Para estas amostras foram determinados os seguintes parâmetros: pH e condutividade elétrica (CE), COS e da MOS, pelo método de Walkley e Black. O fracionamento da MOS inclui a determinação da matéria orgânica livre (MOL), extração e

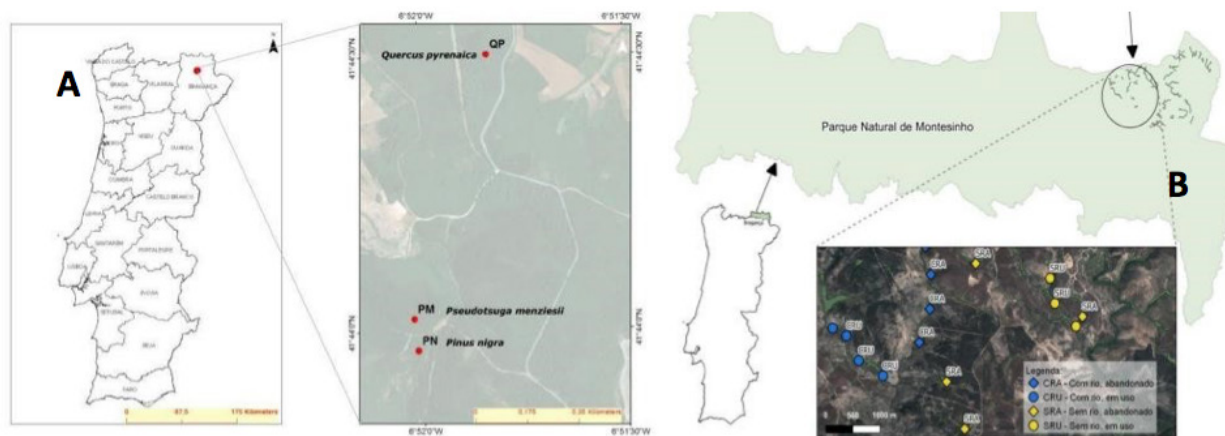


Figura 1 - A - Localização da área de estudo do carvalho da Serra da Nogueira, NE Portugal; B - Localização dos Lameiros no Parque Natural de Montesinho. (Fonte: Fonseca *et al.*, 2019; Piovesan, 2022).

determinação das substâncias húmicas, determinação quantitativa do extrato húmico total, ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) pelo método de solubilidade das substâncias húmicas em meio ácido. Posteriormente, foi desenvolvida a purificação dos AH (centrifugação de alta velocidade e diálises) para sua posterior caracterização molecular por espectroscopia visível (EVIS), entre 465 nm (E4) e 665 nm (E6).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantidade do COS

Os resultados obtidos para o COS nos diferentes usos de solo apresentam-se na Figura 2. Este indicador de qualidade do solo apresentou diferenças significativas entre diferentes usos. As diferenças observadas foram entre a floresta de carvalho (QP) e os lameiros (LA), com um valor médio de 9,09 g C/100 g solo para QP versus 7,72 g C/100 g solo para LA. Em termos gerais, os diferentes usos do solo acumulam praticamente a mesma quantidade de C (8 g/kg de solo). Estes resultados são comparáveis com os descritos por Fonseca *et al.* (2019) para florestas no NE Portugal, que referem que os sistemas florestais podem sequestrar em média 80 Mg C ha⁻¹. No caso das florestas de QP do NE de Portugal é de destacar que os valores médios são superiores que outras florestas do Sistema Central da Península Ibérica, e esta diferença pode estar relacionada com as camadas de solo e a profundidade analisadas.

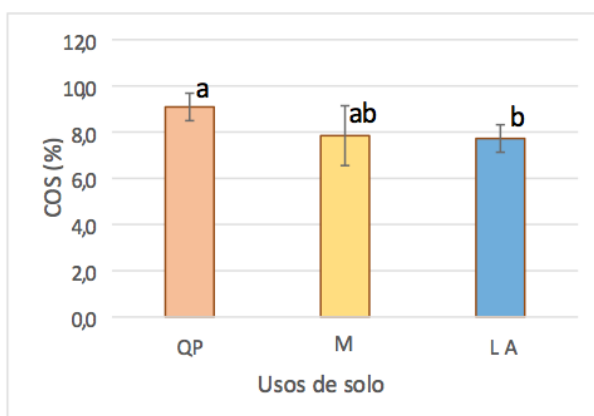


Figura 2 - Valores médios de Carbono orgânico do solo (COS) na camada 0-5 cm para os diferentes usos do solo (QP- Floresta de carvalho; M - Matos; LA- Lameiros). (Teste de Fisher LSD, $p < 0,05$).

Tipos de COS: o fracionamento da MOS

Observou-se diferenças significativas entre QP, com um valor médio de MOL de 1,2 g C/kg solo, e os restantes usos do solo (M, LA), com uma média de 0,7 g C /100 g solo. Não foram observadas diferenças significativas entre M e LA. Por outro lado, foi determinado o teor de C da fração MOL isolada nos diferentes tipos de vegetação, onde foi observado que a MOL do QP continha 87% de C, o LA 73% e o M 68%, o que demonstra que o tipo de vegetação que mais aporta C ao solo é a floresta (QP), a seguir os lameiros (LA) e por último, a vegetação e de matos (M). As diferenças observadas na floresta de QP já eram previstas, uma vez que, nos sistemas florestais a quantidade de resíduos orgânicos que entra é maior, em relação aos outros usos de solo estudados (Bolin e Sukumar, 2000), e também por ser uma espécie de folha caduca que aporta muita MO através de restos vegetais que evoluíram posteriormente para AH, AF e H (Figura 3).

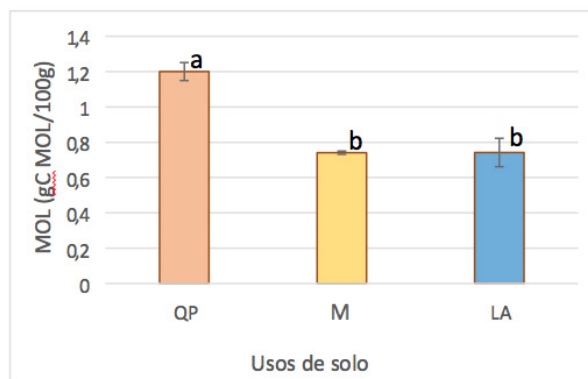


Figura 3 - Valores médios de Matéria orgânica livre (MOL) do solo para os diferentes usos do solo (QP Floresta de carvalho; M- matos; LA- Lameiros). (Teste de Fisher LSD, $p < 0,05$).

Na Figura 4 está representado o C das diversas frações da MOS (MOL, AH, AF, H) a igualdade de concentração de C onde pode observar-se que, a MOL é a fração de MOS que apresenta os menores valores de C, variando entre 4 e 5 g C/100 g de solo para os diferentes usos do solo. O C é superior na fração AH variando de 41 a 58 g C/100 g de C solo de QP a LA, respetivamente, o que indica que o LA acumula mais C em forma de AH. Enquanto a fração de AF que apresenta a menor concentração de C no uso M, não encontrando diferenças

significativas nos outros usos de solo. Por fim, a fração humina também destaca, variando entre 37 a 19 g C/100 g de C de solo de QP a LA, respetivamente, o que indica que o QP armazena grande parte de C em forma de humina. Segundo os estudos de Almendros (2008), a manutenção de maiores teores de C na forma de AH em relação aos teores de C na fração AF é um indicador de C mais preservado. Com base nesse facto, os LA é o uso de solo onde o C encontra-se mais alocado à fração mais ativa do solo, que são os AH (Stevenson, 1994).

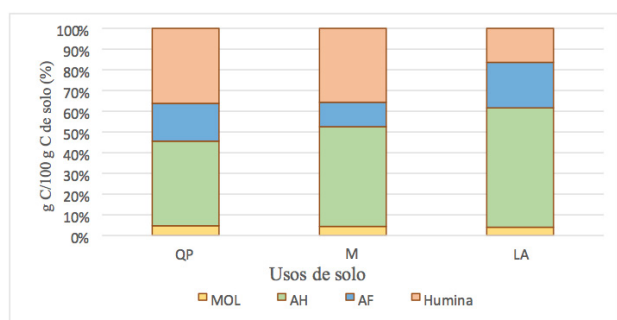


Figura 4 - Valores médios de Carbono (C) das diferentes frações da matéria orgânica do solo (MOS) para os diferentes usos do solo (QP- Floresta de carvalho; M - Matos; LA- Lameiros). MOL- matéria orgânica livre; AH- ácidos húmicos; AF- ácidos fúlvicos; H- humina.

Qualidade do COS

Os resultados espectroscópicos dos AH de QP permitiram demonstrar que são menos escuros e menos aromáticos que os AH dos M e LA; estes últimos possuem AH mais escuros e previsivelmente compostos orgânicos maiores (maior peso molecular), como pode ser observado na Figura 5 que mostra a razão entre E4/E6. Kononova (1982) descreveu que, quanto maior a razão E4/E6, menor é a aromaticidade da MOS, menor é o peso molecular e o grau de condensação dos AH. Estes resultados, ainda preliminares, indicariam que a qualidade do COS dos lameiros é previsivelmente maior que na floresta nativa. A utilização da segunda derivada em EVIS permitiu identificar os pigmentos fúngicos nos AH de QP, o que indicou que esta é uma via de humificação preferente, visto que são as

substâncias húmicas mais funcionais dos ecossistemas (Almendros, 2008).

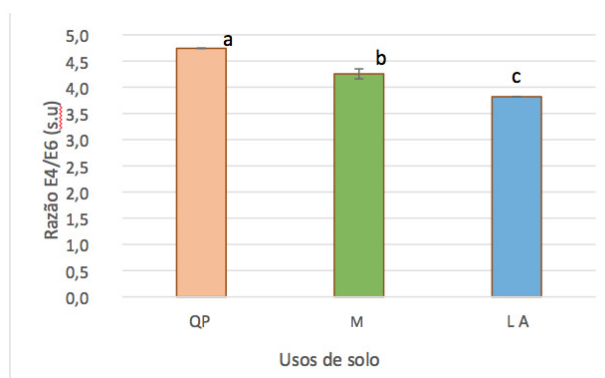


Figura 5 - Valores médios de Razão E4/E6 para os diferentes usos do solo (QP- Floresta de carvalho; M- matos; LA- Lameiros). (Teste de Fisher LSD, $p < 0,05$)

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que, em termos gerais, não houve grandes diferenças significativas quanto a quantidade de COS nos diferentes usos do solo, os quais sequestram, aproximadamente uma média de 8 g C/100 g de solo, sendo superior na floresta e inferior nos lameiros. A maior diferença observada entre os usos do solo foi na qualidade do COS, pois o fracionamento da MOS mostrou diferenças significativas, o que significa que a via de estabilização de C no solo é diferente. A floresta de QP acumula a maior parte do C em forma de MOL e humina, isto demonstra que o aporte de C de material vegetal da floresta e sua posterior estabilização organomineral é de maior importância que nos outros usos de solos, embora sejam os LA os que armazenam grande parte do C em forma de AH que são as formas de C mais funcionais nos ecossistemas; por último, os M apresentam um comportamento intermédio.

Como indicador da qualidade do C é destacar que os AH mais escuros e aromáticos pertencem aos LA, embora a floresta nativa de QP apresentou maior concentração de pigmentos fúngicos, de modo a conotar que esta é uma via de humificação preferente nestes ecossistemas de montanha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendros, G. (2008) - Carbon sequestration in soil. *In: Chesworth, W. (Ed.) - Kluwer encyclopedia of soil science*. Springer, Dordrecht. pp. 315–332.
- Almendros, G. & González, F.J. (2012) - Wildfires, soil carbon balance and resilient organic matter in Mediterranean ecosystems. *Spanish Journal of Soil Science*, vol. 2, n. 2, p. 8-33.
<https://doi.org/10.3232/SJSS.2012.V2.N2.01>
- Bolin, B. & Sukumar, R. (2000) - Global perspective. *In: Watson, R.T.; Noble I.R.; Bolin, B.; Ravindranath, N.H.; Verardo, D.J. & Dokken, D.J. (Eds.) - Land use, land use change, and forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-51.
- Carter, M. (2001) - Organic matter and sustainability. *In: Rees, R.M.; Ball, B.C.; Campbell, C.D. & Watson, C.A. (Eds.) - Sustainable management of soil organic matter*. CABI Publishing, p. 9-41.
- Christensen, B.T. (2000) - *Organic matter in soil: structure, function and turnover*. Tjele, DIAS. 95 p.
- Duchaufour, P. (1975) - *Manual de Edafología*. Toray-Masson, SA, Barcelona.
- Duchaufour, P. & Jacquin, F. (1975) - Comparaison des processus d'humification dans les principaux types d'humus forestiers. *Bulletin AFES*, vol. 1, p. 29–36.
- Fonseca, F.; Guerra, A. & Nogueira, C. (2019) - Efeito da Substituição de Espécies Florestais nos Horizontes Orgânicos e características Químicas do Solo. *Silva Lusitana*, vol. 12, n. 2, p. 183-190.
- Kononova, M. (1982) - Current problems in the study of organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. *Soil Science*, vol. 137, p. 419-427.
- Piccolo, A. (1996) - Humus and soil conservation. *In: Piccolo, A. (Ed.) - Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier, p. 225- 264.
- Piovesan, E. (2022) - *Efeitos de curta duração do fogo controlado em propriedades e processos físicos do solo: um exemplo em áreas de matos do Parque Natural de Montesinho*. Tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança e Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 73 p.
- Stevenson, F.J. (1994) - *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
- Velthorst, E.; Nakken-Brameijer, N. & Mulder, J. (1999) - Fractionation of soil organic matter. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, vol. 73, n. 3, p. 237–251. <https://doi.org/10.1080/03067319908032666>