

Quantificação do carbono do solo em diferentes povoamentos de carvalho no nordeste de Portugal

Soil carbon quantification in different oak stands in northeastern Portugal

Júlio Henrique Germano de Souza^{1,2,*}, Caroline Barradas Podsclan³ & Marina Castro^{2,4}

¹ Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, Espanha

² Centro de Investigação de Montanha (CI MO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

³ Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

⁴ Laboratório 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: julio_germano@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.33909>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.11.20

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi quantificar o teor de carbono orgânico presente no solo em florestas de *Quercus* e sua variação em profundidade na região nordeste de Portugal. O estudo foi realizado em bosques de *Quercus* (*Quercus suber* L., *Quercus rotundifolia* Lam. e *Quercus pyrenaica* Willd.) no NE de Portugal, no qual foram analisados os teores de matéria orgânica (MO) do solo nos primeiros 25 cm de profundidade, e estimada a concentração de carbono orgânico do solo. Aferiram-se as propriedades do solo no âmbito do carbono orgânico do solo em diferentes locais e profundidades. Os resultados evidenciaram um padrão distinto entre os tipos de bosques. A dinâmica de armazenamento altera-se com a profundidade, apresentando na camada inicial (0-5cm) maior concentração, independentemente da espécie ou local. Os povoamentos *Quercus pyrenaica* Willd. apresentam maiores concentrações de carbono orgânico com 55,60 g kg⁻¹, seguido do *Quercus rotundifolia* Lam. com 34,02 g kg⁻¹ e *Quercus suber* L. 27,72 g kg⁻¹. A presença de biomassa no sub-bosque favorece o acúmulo e manutenção da matéria orgânica e do carbono no solo.

Palavras-chave: Matéria orgânica, *Quercus* spp., Carbono do solo.

ABSTRACT

The objective of this work was to quantify the organic carbon content present in the soil in *Quercus* forests and their variation in depth in the northeast region of Portugal. The study was carried out in *Quercus* forests (*Quercus suber* L., *Quercus rotundifolia* Lam. and *Quercus pyrenaica* Willd.) in NE Portugal, in which soil organic matter (OM) contents were analyzed in the first 25 cm of depth, and estimated soil organic carbon concentration. Soil properties were measured in terms of soil organic carbon in different locations and depths. The results showed a distinct pattern between the types of forests. Storage dynamics change with depth, with the initial layer (0-5cm) having the highest concentration, regardless of the species or location. The *Quercus pyrenaica* Willd. stands have the highest concentrations of organic carbon with 55,60 g kg⁻¹, followed by *Quercus rotundifolia* Lam. with 34,02 g kg⁻¹ and *Quercus suber* L. 27,72 g kg⁻¹. The presence of biomass in the understory favors the accumulation and maintenance of organic matter and carbon in the soil.

Keywords: Organic matter, *Quercus* spp., Soil carbon.

INTRODUÇÃO

O gênero *Quercus* é um dos mais representativos no Hemisfério Norte, com cerca de 600 espécies (Mabberley, 2008). Em Portugal, as principais espécies são o sobreiro (*Quercus suber* L.) e a azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.) muito utilizados em sistemas agroflorestais, e o carvalho negral (*Quercus pyrenaica* Willd.). Essas espécies cobrem 719 900, 349 400 e 81 700 hectares, respectivamente, de acordo com o Inventário Florestal Nacional (ICNF, 2015) e representam 30% do carbono total (C) presente na floresta portuguesa, sendo que o sobreiro armazena $67,5 \times 10^6$ Mg CO₂, a azinheira armazena $19,5 \times 10^6$ Mg CO₂ e o carvalho negral $13,5 \times 10^6$ Mg CO₂ (ICNF, 2015).

O solo constitui um dos maiores reservatórios de carbono terrestre, contendo três a quatro vezes mais carbono do que a vegetação e duas a três vezes mais do que a atmosfera (Acosta *et al.*, 2011; Petrokofsky *et al.*, 2012; Köchy *et al.*, 2015), sendo também o reservatório mais estável (Vagen & Winowiecki, 2013) para este componente. Embora outros fatores como a topografia, o clima e a textura do solo também possam influenciar significativamente a sua distribuição (Nadal-Romero *et al.*, 2013; Oertel *et al.*, 2016); a alteração no uso e o coberto vegetal são um dos principais motores bióticos da dinâmica do carbono orgânico dos solos (COS) em diferentes domínios espaciais (Zhu *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2015; Wasak e Drewnik, 2015).

O balanço do carbono no sistema ocorre com as entradas (ganhos), que incluem os materiais provenientes da matéria orgânica acima do solo, e as perdas (saída), devido à decomposição e mineralização da matéria orgânica (Petrokofsky *et al.*, 2012). Dessa forma, a presença da matéria orgânica é fundamental para determinar o carbono orgânico do solo, assim como seus teores no mesmo.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar a variação das concentrações de carbono orgânico presente no solo e a sua variação em profundidade em três espécies florestais – carvalho-negral (*Quercus pyrenaica* Willd.), sobreiro (*Quercus suber* L.) e azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.) - em diferentes locais, no nordeste de Portugal.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada na região NE de Portugal, em Trás-os-Montes, entre as coordenadas 41° 23' N, 1° 56' W e 41° 50' N, 7° 02' W). Os bosques distribuem-se ao longo de um gradiente ecológico variável entre os 380 e 980 m de altitude. A precipitação média anual varia entre 520-1386mm e a temperatura média anual entre 11,9-14,2°C (IPMA, 2019). Foram selecionados seis bosques com aproximadamente 15 anos, sendo dois de cada uma das espécies de *Quercus* em estudo: *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus rotundifolia* Lam. e *Quercus suber* L.

Um total de 72 amostras individuais de solo foram coletadas em seis localidades diferentes (Freixedelo, Zido, Morais, Pousadas, Lagoa e Sendim) utilizando um trado calador, sendo que, 24 no povoamento de *Q. pyrenaica* (Freixedelo e Zido), 24 no povoamento de *Q. suber* (Morais e Pousadas) e 24 no povoamento de *Q. rotundifolia* (Lagoa e Sendim), conforme Figura 1. As amostras foram coletadas em diferentes profundidades (0-5cm; 5-15 cm; 15-25cm) para avaliação da concentração em profundidade do carbono orgânico em cada povoamento.

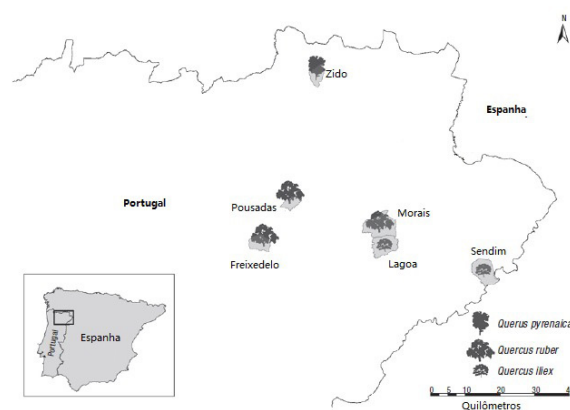


Figura 1 - Localização dos ecossistemas estudados.

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise em laboratório, secas em estufa a 40°C até peso constante e peneiradas em peneira de malha 2mm. Logo após foi determinado o percentual de matéria orgânica (MO) com análise laboratorial de cada amostra baseado no método de Walkley-Black (FAO, 2019), e posteriormente estimou-se o conteúdo de carbono com base na relação habitualmente

utilizada, em que 58% da MO é composta por carbono orgânico, proposta por Nelson e Sommers (1996).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por três fatores de variação (espécies, local e profundidade) e 24 repetições (coletas). Foi realizada uma análise de variância (ANOVA, a 5% de probabilidade) a três fatores de variação (tipo de povoamento, local e profundidade) e, em caso de significância à comparação de médias pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que as diferentes espécies, profundidade e a interação destas variáveis variam significativamente ($p < 0.05$) em relação ao conteúdo de carbono no solo, conforme Quadro 1.

Os povoamentos de *Q. suber* e *Q. rotundifolia* são largamente utilizados para sistemas agroflorestais, e a entrada de C orgânico é derivada principalmente de biomassa das herbáceas, nutrientes e raízes vivas de plantas na forma de exsudatos (Sokol *et al.*, 2019a), que são facilmente degradados e usados por microorganismos e depois adsorvidos por partículas minerais de argila do solo na forma de resíduos microbianos (Roth *et al.*, 2019, Sokol *et al.*, 2019b) o que afeta diretamente as concentrações de matéria orgânica no solo.

Os ecossistemas de *Q. suber* apresentaram valores de carbono no solo mais baixos ao longo do perfil do solo em comparação com os outros dois ecossistemas estudados, com exceção da camada superficial (0-5cm) onde não há diferenças entre *Q. suber* e os ecossistemas de *Q. rotundifolia* em ambos os locais. Comportamento também verificado por Díaz-Pinés *et al.* (2011) em povoamentos de *Q. pyrenaica* e também por González *et al.* (2012)

Quadro 1 - Resultado do teste ANOVA entre os parâmetros analisados

Carbono Orgânico (g kg ⁻¹)	Espécie		Profundidade		Espécie*profundidade	
	F-valor	p-valor	F-valor	p-valor	F-valor	p-valor
	37,38	<0,001	105,19	<0,001	9,82	< 0,001

Ao analisar a influência do tipo de ecossistema, o maior valor foi observado sob *Q. pyrenaica*, em Freixedelo com 55,01 g kg⁻¹, conforme Quadro 2. Díaz-Pinés *et al.* (2011) encontrou valores similares, com 55,60 g kg⁻¹ em povoamentos de *Q. pyrenaica* na Espanha central. Estes povoamentos habitualmente apresentam maior disponibilidade de matéria orgânica por apresentar caducidade das folhas, como também são tradicionalmente manejados como talhadia (Gea-Izquierdo e Cañellas, 2014).

com povoamentos *Q. ilex*, ambos estudos realizados na Espanha central.

A concentração de carbono no solo diminuiu consistentemente com a profundidade nos três ecossistemas estudados. Diversos fatores interferem para que isso ocorra, endógenos como rocha-mãe, tipo de solo, topografia, e exógenos como clima, práticas agrícolas atuais e anteriores (Poeplau *et al.*, 2017; Apesteguia *et al.*, 2018). No caso da textura do

Quadro 2 - Médias de carbono estocado para cada localidade e profundidade

Carbono Orgânico (g kg ⁻¹)	Profundidade (cm)	<i>Q. pyrenaica</i>		<i>Q. suber</i>		<i>Q. rotundifolia</i>	
		Freixedo	Zido	Morais	Pousadas	Lagoa	Sendim
	0-5	55,01 a	32,93 b	20,71 cd	27,72 bc	34,02 b	16,50 de
	5-15	26,00 b	11,38 f	11,05 f	11,80 f	19,79 c	14,21 e
	15-25	14,99 e	6,78 f	10,15 f	10,35 f	15,24 e	14,08 e

Médias com mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

solo, que deriva do material de origem, é um fator fundamental para a acumulação de matéria orgânica no mesmo (Gallardo *et al.*, 1980), como também a associação mineral, que controla o conteúdo em carbono diretamente através da sua interferência sobre os compostos químicos e o pH em sua superfície. Indiretamente, isso influencia a estrutura da comunidade microbiana e acesso ao carbono no solo (Heckman *et al.*, 2009).

Sendo assim, a gestão adequada do solo evitando o seu abandono apresenta-se como uma boa opção para melhorar sua qualidade, além de uma ótima estratégia para promover o sequestro de carbono (Poeplau e Don, 2015; Hombegowda *et al.*, 2016; Novara *et al.*, 2019).

CONCLUSÕES

Os povoamentos *Quercus pyrenaica* Willd. apresentaram maiores concentrações de carbono orgânico com 55,60 g kg⁻¹, seguido do *Quercus rotundifolia* Lam. com 34,02 g kg⁻¹ e *Quercus suber* L. 27,72 g kg⁻¹

na camada superficial (0-5 cm). A caducidade das folhas e o manejo por talhadia do *Q. pyrenaica* manifestam-se como elementos essenciais e determinantes para a maior presença e manutenção do carbono orgânico nesse ecossistema específico.

A presença de matéria orgânica nos bosques de *Q. suber* e *Q. rotundifolia* é reduzida devido à interferência dos animais nos sistemas agrofloretais, diminuindo assim sua concentração natural. Portanto, compreender a dinâmica complexa do carbono orgânico nesses ecossistemas é fundamental para orientar estratégias de manejo sustentável e promover a conservação eficaz desses ambientes naturais valiosos.

AGRADECIMENTO

Agradecimento a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo suporte no programa de Doutoramento em Investigação Agrária e Florestal, no âmbito da Bolsa 2022.12880.BD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J.A.A.; Amado, T.J.C.; Neergaard, A.; Vinther, M.; Silva, L.S. & Nicoloso, R.S. (2011) - Effect of ¹⁵N-labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 4, p. 1337-1345. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400028>
- Apestequia, M.; Plante, A.F. & Virto, I. (2018) - Methods assessment for organic and inorganic carbon quantification in calcareous soils of the Mediterranean region. *Geoderma Regional*, vol. 12, p. 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.12.001>
- Díaz-Pinés, E.; Rubio, A.; Van Miegroet, H.; Montes, F. & Benito, M. (2011) - Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests? *Forest Ecology and Management*, vol. 262, n. 10, p. 1895–1904. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.004>
- FAO (2019) - *Standard operation procedure for soil organic carbon. Walkley-Black method, Titration and colorimetric method*. Rome: FAO.
- Gallardo, J.F.; Cuadrado, S. & Egido, J.A. (1980) - Suelos forestales de El Rebollar (Salamanca): Propiedades y conclusiones. *Anuario del Centro de Edafología y Biología Aplicada del CSIC*, vol. 6, p. 214–228.
- Gea-Izquierdo, G. & Cañellas, I. (2014) - Contrasting instability in growth trends of Mediterranean oaks at opposite distributional limits. *Ecosystems*, vol. 790, n. 17, p. 228-241.
- González, I.G.; Grau, J.M. C.; Fernández, A.C.; Ballesma, R.J. & Cascón, M. R. G. (2012) - Soil carbon stocks and soil solution chemistry in *Quercus ilex* stands in Mainland Spain. *European Journal of Forest Research*, vol. 131, p.1653–1667. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0623-8>
- Heckman, K.; Welty-Bernard, A.; Rasmussen, C. & Schwartz, E. (2009) - Geologic controls of soil carbon cycling and microbial dynamics in temperate conifer forests. *Chemical Geology*, vol. 267, n. 1-2, p. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.01.004>
- Hombegowda, H.C.; van Straaten, O.; Köhler, M. & Hölscher, D. (2016) - On the rebound: soil organic carbon stocks can bounce back to near forest levels when agroforests replace agriculture in southern India. *Soil*, vol. 2, p. 13–23. <https://doi.org/10.5194/soil-2-13-2016>
- ICNF (2015) - *6º Inventário Florestal Nacional*. Lisboa: Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Conservação da Natureza e Floresta. <https://www.icnf.pt/api/file/doc/c8cc40b3b7ec8541>
- IPMA (2019) - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <https://www.ipma.pt/pt/index.html>
- Köchy, M.; Hiederer, R. & Freibauer, A. (2015) - Freibauer Global distribution of soil organic carbon – Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world, *Soil*, vol. 1, n. 1, p. 351-365. <https://doi.org/10.5194/soil-1-351-2015>
- Mabberley, D.J. (2008) - *Mabberley's plant-book. A portable dictionary of plants, their classifications and uses*. 3rd edition. Cambridge University Press. 1040 pp.
- Nadal-Romero, E.; Lasanta, T. & García-Ruiz, J.M. (2013) - Runoff and sediment yield from land under various uses in a Mediterranean mountain area: long-term results from an experimental station. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 38, n. 4, p. 346-355. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3281>
- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1996) - Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Black, C.A. (Ed.) - *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison, Soil Science of America and American Society of Agronomy. p. 961-1010.
- Novara, A.; Minacapilli, M.; Santoro, A.; Rodrigo-Comino, J.; Carrubba, A.; Sarno, M.; Venezia, G. & Gristina, L. (2019) - Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard. *Science of the Total Environment*, vol. 652, p. 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.247>
- Oertel, C.; Matschullat, J.; Zurba, K.; Zimmermann, F. & Erasmí, S. (2016) - Greenhouse gas emissions from soils: A review. *Geochemistry*, vol. 76, n. 3, p. 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- Petrokofsky, G.; Kanamaru, H.; Achard, F.; Goetz, S.J.; Joosten, H.; Holmgren, P. & Wattenbach, M. (2012) - Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, vol. 1, art. 6. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-6>

- Poeplau, C. & Don, A. (2015) - Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 200, p. 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Poeplau, C.; Vos, C. & Don, A. (2017) - Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *Soil*, vol. 3, n. 1, p. 61–66. <https://doi.org/10.5194/soil-3-61-2017>
- Roth, V.N.; Lange, M.; Simon, C.; Hertkorn, N.; Bucher, S.; Goodall, T.; Griffiths, R. I.; Mellado-Vázquez, P.G.; Mommer, L.; Oram, N.J.; Weigelt, A.; Dittmar, T. & Gleixner, G. (2019) - Persistence of dissolved organic matter explained by molecular changes during its passage through soil. *Nature Geoscience*, vol. 12, n. 9, p. 755-761. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0417-4>.
- Smith, P.; Cotrufo, M. F.; Rumpel, C.; Paustian, K.; Kuikman, P. J.; Elliott, J. A.; McDowell, R.; Griffiths, R. I.; Asakawa, S.; Bustamante, M.; House, J. I.; Sobocká, J.; Harper, R.; Pan, G.; West, P. C.; Gerber, J. S.; Clark, J. M.; Adhya, T., Scholes, R. J., & Scholes, M. C. (2015) - Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil*, vol. 1, p. 665–685. <https://doi.org/10.5194/soil-1-665-2015>.
- Sokol, N.W.; Sanderman, J. & Bradford M.A. (2019a) - Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. *Global Change Biology*, vol. 25, n. 1, p. 12-24. <https://doi.org/10.1111/gcb.14482>
- Sokol, N.W.; Kuebbing, S.E.; Karlsen-Ayala, E.; Bradford, M.A. (2019b) - Evidence for the primacy of living root inputs, not root or shoot litter, in forming soil organic carbon, *New Phytologist*, vol. 221, n. 1, p. 233-246. <https://doi.org/10.1111/nph.15361>
- Vagen, T.G. & Winowiecki, L.A. (2013) - Mapping of soil organic carbon stocks for spatially explicit assessments of climate change mitigation potential. *Environmental Research Letters*, vol. 8, n. 1, art. 015011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015011>
- Wasak, K. & Drewnik, M. (2015) - Land use effects on soil organic carbon sequestration in calcareous Leptosols in former pastureland – a case study from the Tatra Mountains (Poland). *Solid Earth*, vol. 6, p.1103–1115. <https://doi.org/10.5194/se-6-1103-2015>
- Zhu, Z.; Bergamaschi, B.; Bernknopf, R.; Clow, D.; Dye, D.; Faulkner, S.; Forney, W.; Gleason, R.; Hawbaker, T.; Liu, J.; Liu, S.; Pringle, S.; Reed, B.; Reeves, M.; Rollins, M.; Sleeter, B.; Sohl, T.; Stackpoole, S.; Stehman, S.; Striegl, R.; Wein, A.; Zhu, Z. (2010) - *A method for assessing carbon stocks, carbon sequestration, and greenhouse-gas fluxes in ecosystems of the United States under present conditions and future scenarios*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5233, 190 p. <https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5233/>