

# Carbono no Solo no Nordeste Transmontano: relações com clima e uso da terra

## Carbon Soil in Trás-os-Montes region (NE Portugal): relationships with climate and land use

Arthur Aparecido Janoni Lima<sup>1,2,3,4,\*</sup>, Antonio Paz González<sup>1</sup>, Rui Pedro Lopes<sup>2,4</sup>, Zulimar Hernández<sup>3,4</sup> & Tomás de Figueiredo<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade da Coruña, Grupo de Investigación Xestión Sostible dos Recursos Hídricos e do Chan (AQUATERRA), 15071 A Coruña, España

<sup>2</sup> Centro de Investigação em Digitalização e Robótica Inteligente (CeDRI), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>4</sup> 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: arthur.lima@ipb.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.33466>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.10.16

### RESUMO

O carbono é um dos elementos responsáveis pela fertilidade dos solos, aspeto decisivo da produtividade agrícola. A quantificação convencional de Carbono Orgânico no Solo (SOC) é feita por análise laboratorial, método dispendioso e moroso e inviável para grandes áreas, o que estimula a exploração de novos métodos. Este trabalho tem como objetivo avaliar, preliminarmente, relações entre clima, uso da terra e SOC no Nordeste Transmontano, na perspectiva de utilizar variáveis do meio como indicadores do seu teor em C. Para este estudo, tomaram-se a Carta dos Solos do NE de Portugal, com dados de SOC (192 perfis), e as Cartas do Índice de Aridez (IA) e de Ocupação do Solo (COS 2018) para obter a distribuição espacial dos domínios climáticos e das classes de uso da terra, respetivamente. Verificou-se que em cerca de  $\frac{3}{4}$  da área regional há coincidência entre classes das unidades secundárias de solos diferenciadas pelo SOC, e classes de IA, diferenciando tipos climáticos. Os valores médios de SOC foram de 0,8%, 1,1% e 4,9%, respetivamente para as classes de solo/clima eutrícos/semi-árido, dístricos/sub-húmido e úmbricos/húmido. Os menores valores médios de SOC correspondem a culturas permanentes em solos eutrícos (0.7%) e os maiores a matos em solos úmbricos (6.3%).

**Palavras-chave:** Carbono, Solo, Trás-os-Montes, Cartografia.

### ABSTRACT

Carbon is one of the elements responsible for soil fertility, a decisive aspect of agricultural productivity. The conventional quantification of Soil Organic Carbon (SOC) is carried out by laboratory analysis, a costly and time-consuming method that is not feasible for large areas, which encourages the exploration of new methods. The objective of this work is to preliminarily evaluate the relationships between climate, land use, and SOC in the Northeast of Trás-os-Montes, in view using environmental variables as indicators of their C content. For this study, the Soil Map of NE Portugal was taken, with SOC data (192 profiles), and the Aridity Index (IA) and Soil Occupation Maps (COS 2018) to obtain the spatial distribution of soils. It was found that in about  $\frac{3}{4}$  of the regional area there is a coincidence between classes of secondary soil units differentiated by SOC, and classes of IA, differentiating climate types. Mean SOC values were 0.8%, 1.1%, and 4.9%, respectively for the Eutric/semi-arid, Dystric/sub-humid, and Umbric/humid soil/climate classes, respectively. The lowest average SOC values correspond to permanent crops in Eutric soils (0.7%) and the highest to shrubland in Umbric soils (6.3%).

**Keywords:** Carbon, Soil, Trás-os-Montes, Cartography.

## INTRODUÇÃO

O solo serve de suporte para o crescimento das plantas e, conseqüentemente, é essencial para a alimentação humana e animal. Portanto, é necessário compreendê-lo para o desenvolvimento de práticas de gestão sustentáveis e eficazes. Neste sentido, o carbono (C), um dos principais constituintes de um solo saudável, deve ser monitorizado, já que é altamente variável no espaço e no tempo (FAO, 2019).

Além da sua importância para a fertilidade, conhecer os teores de SOC contribui para o entendimento e monitorização das suas reservas. Isso permite estimar o potencial de sequestro de C de uma área, relevante para apoiar as políticas de mitigação das mudanças climáticas (Odindi *et al.*, 2015).

Os métodos tradicionais de quantificação de SOC envolvem análises laboratoriais, tipicamente custosas, morosas e impraticáveis para amostragem de grandes áreas, destacando a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas não invasivas. Uma alternativa promissora é a detecção remota (RS) que, aliada ao baixo custo, fácil acesso e rapidez, pode ser utilizada para amplas áreas e é um método não invasivo (Mngadi *et al.*, 2021).

A RS pode ser utilizada para diversas aplicações. Em relação ao SOC, ela permite a investigação de tendências e dinâmicas na conversão dos reservatórios de carbono devido à sua capacidade de obter diversos dados da paisagem (Xiao *et al.*, 2019). Condição a necessidade de alto poder de processamento, os estudos sobre manipulação de dados de RS aumentaram rapidamente na última década devido ao avanço computacional (Padarian, 2019).

Considerando a necessidade dos avanços nos estudos de quantificação de SOC, e procurando encontrar e entender as variáveis ambientais responsáveis pela dinâmica e disposição do teor de C no solo, este trabalho tem como objetivo avaliar, preliminarmente, a relação entre clima e uso da terra na distribuição de SOC no Nordeste Transmontano.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Área de estudo*

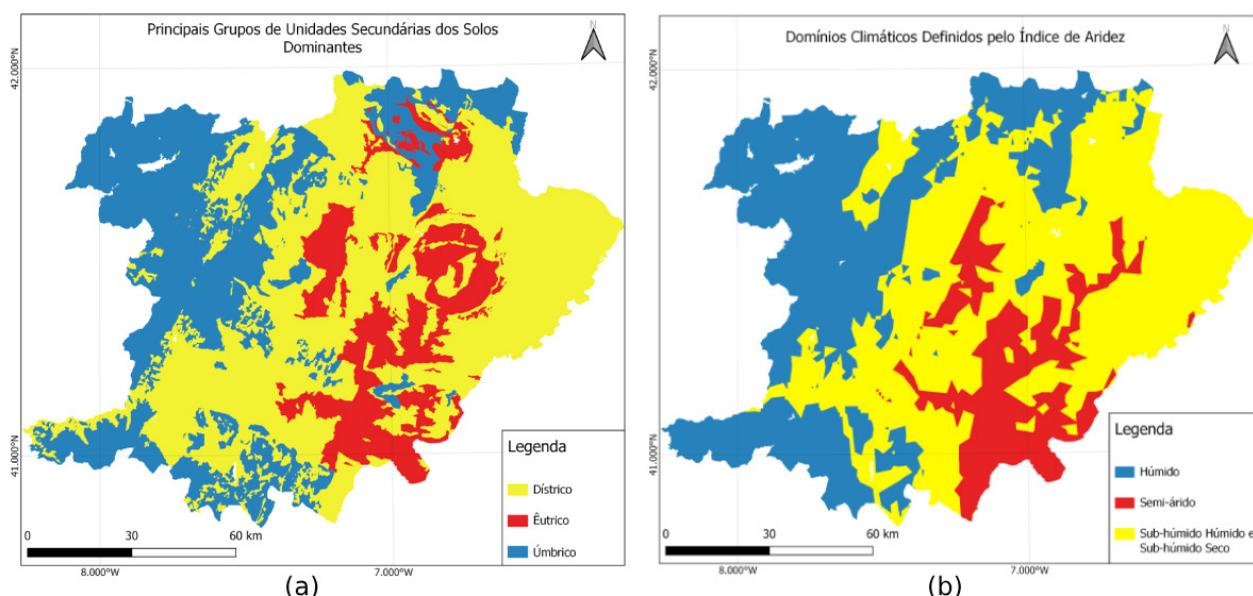
A região de Trás-os-Montes está localizada no nordeste de Portugal e abrange uma área geográfica caracterizada por paisagens diversificadas, que combinam fatores climáticos, geológicos e socioeconômicos com influência direta nos processos de formação e evolução dos solos.

### *Fonte de Dados*

Foram obtidos 3 conjuntos de dados cartográficos, todos à escala de 1:100.000: o Índice de Aridez (IA) para informações climáticas, referente ao período de 2000 a 2010 (ICNF, 2023), a Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (CS) contendo dados sobre classificação e características dos solos, litologia, carbono, entre outros (Agroconsultores e Coba, 1991), e a Carta de Ocupação do Solo (COS, 2018), que apresenta os principais usos da terra (SNIG, 2023). Além da base cartográfica, foram utilizados dados de carbono no solo superficial obtidos a partir da síntese e interpretação da CS realizada por Figueiredo (2013).

### *Tratamento de Dados e Cartografia*

Foram gerados os mapas da CS e do IA para a área de estudo (Figura 1). No caso da CS, foi representada a camada de informação que classifica as Unidades Secundárias (USEC) dos solos dominantes nas unidades cartográficas de acordo com a legenda da FAO e UNESCO (1988), adotada na Carta de Solos do NE de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991). Segregou-se a informação nos 3 grupos representados na Figura 1a: (i) úmbricos, apenas com USEC úmbricos; (ii) dístricos, incluindo as USEC dístricos, háplicos, líticos e gleícos; e (iii) êutricos, agregando as USEC êutricos, crômicos, vérticos e calcáricos. Atribuído aos conhecimentos dos autores, relativamente aos solos



**Figure 1** - Mapas da Carta de Solos, Representando as Três USEC (a) e do Índice de Aridez, Onde São Representadas as Três Distinções de Domínios Climáticos (b) do NE de Portugal. Fonte: adaptado de Agroconsultores e Coba (1991) e Araújo (2004) (a); e ICNF (2023) (b).

transmontanos, o critério utilizado para o agrupamento de distritos e éutricos foi o grau de saturação em bases entre os 20 e 50 cm de profundidade, sendo menor e maior que 50%, respetivamente (FAO e UNESCO, 1988). No caso do IA, os domínios climáticos (DC) Sub-húmidos Chuvoso e Sub-húmido Seco foram apresentados juntos.

Os dois mapas da Figura 1 foram processados utilizando a ferramenta Interseção do software QGIS. Essa ferramenta cria polígonos representando a área comum entre as diferentes classes sobrepostas nos dois mapas.

Na COS 2018, as classes de uso do solo são diferenciadas em quatro níveis, com detalhe crescente quanto à descrição da ocupação da terra. Para as classes de uso agrícola foi usado o nível 2, permitindo a diferenciação entre culturas permanentes e outras culturas; para as demais classes de uso foi usado o nível 1.

### Carbono Orgânico do Solo

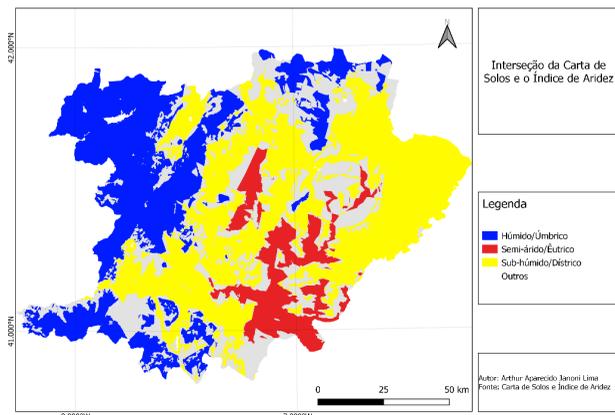
Em Agroconsultores e Coba (1991) encontra-se informação analítica de 192 perfis observados na área de estudo, incluindo a matéria orgânica no solo (MOS, %) por horizonte ou camada, a qual foi

tratada para obter os valores de SOC no solo superficial assumindo, como sugerido por Costa (1975), que a MO é constituída por 58% de C. As respetivas médias por USEC e por classe de uso da terra, tal como definidas em Agroconsultores e Coba (1991), foram calculadas de acordo com a informação disponível para cada perfil. Neste último caso, seguiu-se a agregação de classes de uso já adotada para este efeito em Figueiredo (2013), todavia distinguindo apenas dois grupos de uso agrícola: Culturas permanentes e Outras culturas. Foi efetuada a correspondência entre as classes de uso da terra de Agroconsultores e Coba (1991) e da COS 2018, segregadas como se indicou acima, sendo adotado para cada uma destas últimas o valor médio de SOC já obtido para as primeiras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Carta de Solos e Índice de Aridez

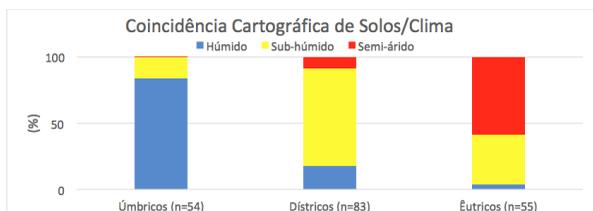
A Figura 1 mostra claramente a relação espacial entre Unidade Secundária de solo e Domínio Climático no Nordeste Transmontano. A interseção dos dois mapas revela uma coincidência em  $\frac{3}{4}$  da área regional entre as classes das USEC, diferenciadas pelo SOC, e as classes de IA, diferenciando DC (Figura 2).



**Figura 2 -** Mapa da Interseção entre a Carta de Solos e o Índice de Aridez.

A Figura 3 apresenta as percentagens de interseção entre as classes solo/clima. Observa-se que as maiores coincidências ocorrem entre êuticos/semi-árido, dísticos/sub-húmido e úmbricos/húmido com 58.5%, 73.4% e 86.6% de correspondência, respectivamente. Os valores de SOC para essas mesmas classes são entre 0.4% e 7.7%, <2.2% e entre 2.1% e 7.7%, respectivamente, com médias de 0.8%, 1.1% e 4.9%.

Considerando os resultados acima, sustentados pelo conceito de que maior taxa de decomposição da MOS em ambientes mais quentes resulta em menor concentração no solo (Lepsch, 2010), verifica-se que o IA pode ser um indicador de SOC.

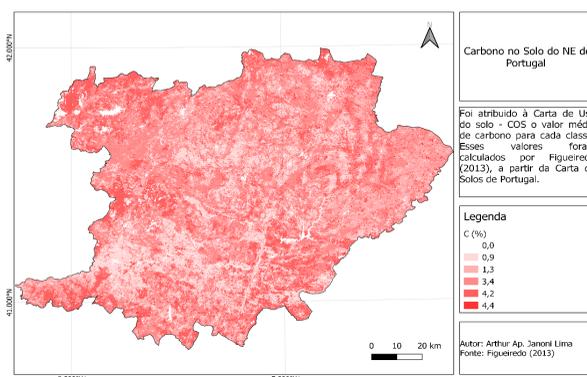


**Figura 3 -** Coincidência Cartográfica de Solos/Clima do Mapa da Interseção entre a Carta de Solos e o Índice de Aridez (n = número de perfis de solo).

#### Carta de Solos e Carta de Ocupação do Solo

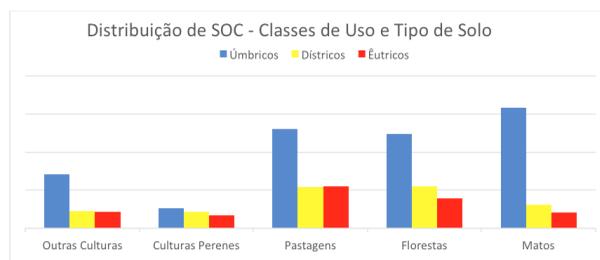
Os valores médios de SOC obtidos a partir do trabalho de Figueiredo (2013) são 3.4%, 4.2% e 4.4% para as classes florestas, matos (incultos) e pastagens, respectivamente. Para a classe designada

agricultura (Nível 1 da COS), foram atribuídos dois valores: 0.9% para culturas perenes (culturas permanentes) e 1.3% para outras culturas, este último obtido a partir da média ponderada calculada para o número de perfis representativos indicado na base do gráfico. Além disso, as classes “Território Artificializado”, “Massas D’água” e “Espaços Descobertos” da COS receberam o valor 0. A Figura 4 apresenta o Mapa de SOC obtido utilizando a abordagem descrita.



**Figura 4 -** Mapa de Carbono Orgânico no Solo do NE Transmontano.

Se considerados os tipos de solo em relação às classes de ocupação do solo, os menores valores médios de SOC correspondem a culturas permanentes em solos êuticos (0.7%) enquanto os maiores estão associados a matos em solos úmbricos (6.3%) (Figura 5).



**Figura 5 -** Distribuição de SOC para as Classes de Uso e o Tipo de Solo.

perenes e outras culturas, percebe-se que, mesmo nos solos úmbricos, os valores de SOC são baixos, o que é agravado para Culturas Perenes. A explicação para essa ocorrência é que nas classes de Pastagens, Florestas e Matos ocorre a acumulação e a preservação da biomassa, enquanto na agricultura o solo muitas vezes é manejado de forma incorreta, resultando na perda de MO (Hernani *et al.*, 1999).

Analisando-se, em conjunto, o mapa da Figura 4 e os mapas da Figura 1, levando em consideração os valores de SOC em cada um deles, é possível perceber que os fatores clima e uso do solo influenciam na distribuição de SOC. Como o C do solo também é influenciado por diversos outros fatores, é necessário realizar estudos mais aprofundados, nos quais conjuntos de dados mais complexos possam ser explorados, como, por exemplo, imagens de satélite que fornecem informações variadas sobre a paisagem e permitem investigar tendências e dinâmicas do SOC (Xiao *et al.*, 2019), aumentando também o nível de detalhe, visto que neste estudo a escala era demasiada grande, impossibilitando uma análise precisa do terreno.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que a variação de SOC é influenciada por diversos fatores, incluindo o clima e o uso do solo. No entanto, verifica-se que somente esses dois fatores não são suficientes para prever com precisão os níveis de C no solo. Para uma compreensão mais completa e precisa são necessários estudos mais aprofundados, que levem em consideração um maior número de variáveis e façam uso de novas técnicas de manipulação de dados, dada a magnitude e complexidade desses dados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) e aos fundos nacionais FCT/MCTES (PIDDAC) pelo apoio financeiro ao CIMO (UIDB/00690/2020 e UIDP/00690/2020), CeDRI (UIDB/05757/2020 e UIDP/05757/2020) e SusTEC (LA/P/0007/2020). E, também, ao financiamento nacional pela FCT, Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito da bolsa de doutoramento 2022.14010.BD de Arthur Aparecido Janoni Lima.

## 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.
- Araújo, J.; Figueiredo, T. e Castro, J. (2004) - Sistema de Informação Geográfico da Carta de Solos do Nordeste de Portugal. In: *Congresso Ibérico da Ciência do Solo*, p. 147. Bragança, Portugal.
- Costa, J.B. da (1975) - *Caracterização e constituição do solo*. Fundação Calouste Gulbenkian, 6ª edição, Lisboa.
- FAO (2019) - *Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1)*. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 p.
- FAO e UNESCO (1988) - *Soil Map of the World, Revised Legend*. FAO, Roma.
- Figueiredo, T.D. (2013) - *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano*. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. ISBN 978-972-745-138-8
- Hernani, L.C.; Kurihara, C.H. & Silva, W.D. (1999) - Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 23, n. 1, p. 145-154.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100018>
- ICNF (2023) - *Índice de Aridez para o período de 2000-2010*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. [cit. 2023.05.01]. [https://sigservices.icnf.pt/server/rest/services/BDG/Indice\\_aridez/MapServer](https://sigservices.icnf.pt/server/rest/services/BDG/Indice_aridez/MapServer)
- Lepsch, I.F. (2010) - *Formação e Conservação dos Solos*. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Mngadi, M.; Odindi, J.; Peerbhay, K. & Mutanga, O. (2019) - Examining the effectiveness of Sentinel-1 and 2 imagery for commercial forest species mapping. *Geocarto International*, vol. 36, n. 1, p. 1-12.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1585483>
- Odindi, J.; Bangamwabo, V. and Mutanga, O. (2015) - Assessing the value of urban green spaces in mitigating multiseasonal urban heat using MODIS land surface temperature (LTS) and Landsat 8 data. *International Journal of Environmental Research*, vol. 9, n. 1, p. 9-18.
- Padarian, J.B.; Minasny, B. and McBratney, A. (2019) - Transfer learning to localise a continental soil vis-NIR calibration model. *Geoderma*, vol. 340, p. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.009>
- SNIG (2023) - *Carta de Uso e Ocupação do Solo – 2018*. Serviço Nacional de Informação Geográfica [cit. 2023.05.01]. <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/metadata/b498e89c-1093-4793-ad22-63516062891b>
- Xiao, J.; Chevallier, F.; Gomez, C.; Guanter, L.; Hicke, J.A.; Huete, A.K.; Ichii, R.K.; Ni, W.; Pang, Y.; Rahman, A.F.; Sun, G.; Yuan, W.; Zhang, L.; Zhang, X. (2019) - Remote sensing of the terrestrial carbon cycle: A review of advances over 50 years. *Remote Sensing of Environment*, vol. 233, art. 111383.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111383>