

## ESTIMATIVA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO ATRAVÉS DE ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DIFUSA EM AMOSTRAS DO SUL DO RIO GRANDE DO SUL

HELOISA SOUZA DOS SANTOS<sup>1</sup>; MÉLORY MARIA FERNANDES DE ARAUJO<sup>2</sup>; ANA PAULA KNAPP<sup>3</sup>; KAUÃ ANDREY CONRAD TESSMANN<sup>4</sup>; ARTHUR CAMACHO FAULSTICH<sup>5</sup>; PABLO MIGUEL<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [heloisasouzadossantos96@gmail.com](mailto:heloisasouzadossantos96@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos – [meloryaraujo@ufscar.br](mailto:meloryaraujo@ufscar.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [anapaulaknapp@gmail.com](mailto:anapaulaknapp@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [kauaandreytessmann@outlook.com](mailto:kauaandreytessmann@outlook.com)

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – [arthurfaults05@gmail.com](mailto:arthurfaults05@gmail.com)

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – [pablo.miguel@ufpel.edu.br](mailto:pablo.miguel@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo (COS) é um componente fundamental para a saúde e sustentabilidade dos ecossistemas. Por ser o principal componente da matéria orgânica do solo, ele desempenha funções essenciais que vão muito além de seu papel como reservatório de carbono, influenciando diretamente a fertilidade do solo, a estrutura, a capacidade de retenção de água, a atividade microbiana e a ciclagem de nutrientes (LAL, 2004). Solos com teores adequados de COS são mais resilientes à degradação, mais produtivos e contribuem significativamente para a mitigação das mudanças climáticas ao sequestrar carbono atmosférico (JANZEN, 2004). No entanto, a quantificação precisa e eficiente do COS tem sido um desafio, uma vez que os métodos analíticos tradicionais, embora precisos, são destrutivos, demandam tempo, recursos e geram resíduos químicos (MOURA BUENO et al., 2019).

Nesse contexto, a espectroscopia de reflectância difusa (ERD), uma técnica radiométrica que mede a interação da luz com a superfície do solo em diferentes comprimentos de onda (do visível ao infravermelho próximo e onda curta - Vis-NIR-SWIR), surge como uma ferramenta valiosa para a ciência do solo. Esta técnica baseia-se no princípio de que os constituintes do solo, incluindo o carbono orgânico, absorvem e refletem a radiação eletromagnética de maneira característica, criando uma resposta espectral única.

Através de modelos de calibração estatística (como algoritmos de regressão), é possível relacionar esses dados espectrais com os teores de COS determinados em laboratório, permitindo estimativas rápidas, não destrutivas, de baixo custo e com potencial para análise de um grande número de amostras (PAUSTIAN et al., 2016; MOURA BUENO et al., 2019).

A aplicação da radiometria representa, portanto, uma inovação tecnológica crucial para avançar em programas de monitoramento da qualidade do solo em larga escala, avaliação da degradação ambiental e implementação de práticas agrícolas sustentáveis, fornecendo informações relevantes para a tomada de decisão.

Portanto, o objetivo do trabalho foi gerar as curvas espectrais a partir dos espectros de um conjunto de amostras do laboratório de análises de solos de rotina do Departamento de Solos da FAEM/UFPEL. Posterior a essa etapa serão estimados os teores de carbono orgânico do solo via espectroscopia de reflectância difusa (ERD).

## 2. METODOLOGIA

Para avaliação da resposta espectral das amostras de solos foram usadas as mesmas amostras que vêm sendo analisadas, de maneira convencional, no Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal da FAEM/UFPEL. Após estas serem analisadas, elas são coletadas, acondicionadas em sacos plásticos para posterior leitura no espectroradiômetro. A leitura da reflectância espectral das amostras de solo foi realizada com o uso do espectroradiômetro FildSpec 3 (Analytical Spectral Devices, Boulder, USA), com capacidade de amostragem no intervalo de 350 a 2500 nm e resolução espectral de 1 nm, que correspondem a faixa do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) no espectro eletromagnético.

Para realização da leitura foram utilizados aproximadamente 15 cm<sup>3</sup> de solo acondicionado em placa de petri. Como fonte de energia foi utilizada uma lâmpada de halogênio 50 W com o feixe colimado não-alvo para o plano, posicionado a 35 cm da amostra num ângulo de 30° zênite. Uma placa branca Spectralon foi utilizada como padrão de referência de 100 % de reflectância para a calibração do equipamento a cada 20 minutos. As análises foram realizadas na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) junto ao Laboratório de Pedologia.

As curvas espectrais brutas foram submetidas a um pré-processamento, com o objetivo de remover a variabilidade física da dispersão de luz e de reduzir as interferências nos espectros. Após o pré-processamento, foram aplicados os modelos de calibração. A partir das conclusões de NAIBO (2022), foi aplicado como pré-processamento o Savitzky-golay derivative (SGD). Sendo ainda aplicadas quatro abordagens de modelagem distintas para predizer o teor de carbono nas amostras de sedimento a partir de suas características espectrais: Máquina de Vetor Suporte (SVM) com núcleo radial, SVM com núcleo linear, Mínimos Quadrados Parciais (PLSR) e Árvores de Regressão (Boosted Trees - BT). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com a linguagem de programação R.

No total, foram analisadas 1353 amostras, que foram agrupadas segundo a normativa nº 02 do MAPA (BRASIL, 2008), e para este estudo foram analisadas 100 amostras inicialmente. A média de cada grupo foi calculada, e as curvas de reflectância originais foram suavizadas usando uma janela móvel de 11 nm para reduzir flutuações aleatórias.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas espectrais de reflectância das amostras de solo analisadas, máxima, média e mínima, são apresentadas nas figuras 1 e na figura 2 são apresentadas todas as curvas das 100 amostras. Estudos anteriores, como o de SATO (2015), realizados com a biblioteca espectral de solos do Brasil, apontaram que amostras com texturas mais argilosas ou finas apresentaram maior absorção de energia ao longo do espectro Vis-NIR. Esses dados confirmam a importância da espectrorradiometria para caracterizar texturas de solo e prever a presença de componentes importantes para a sua fertilidade.

Figura 1. Curvas espectrais de máxima, média e mínima reflectância.

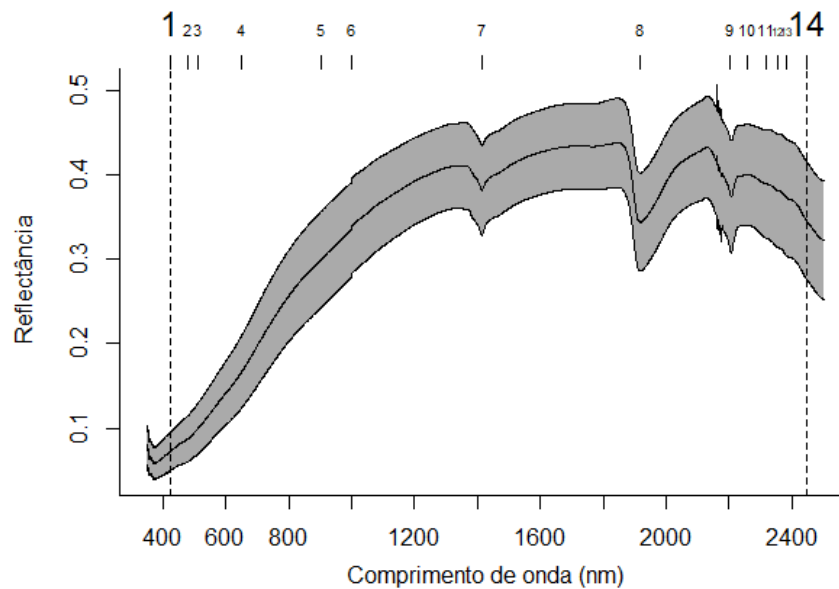
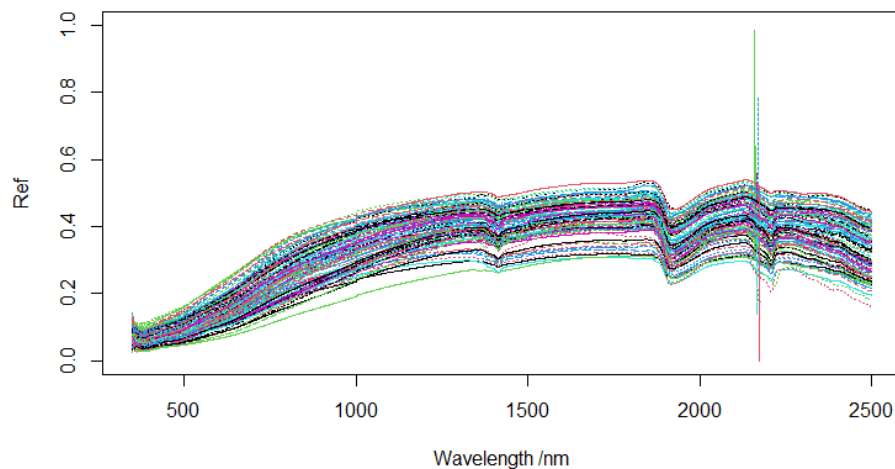


Figura 2. Curvas espectrais mostrando o comportamento espectral do solo das amostras analisadas.



Trabalhos indicam que a confiabilidade e precisão dos modelos dependem do pré-processamento aplicado aos dados espectrais VASQUES et al. (2008). Após o tratamento inicial das curvas espectrais o agrupamento fuzzy organizou os dados em três grupos distintos, assim como os resultados da análise de componentes principais. O melhor desempenho para a predição de carbono orgânico foi obtido com o modelo gerado pelo método PLSR. Portanto, demonstra-se que as variações nos dados espectrais (Figura 1) podem estar associadas à variabilidade pedológica, ou seja, nas características do solo no comportamento espectral e, por sua vez, nos modelos de predições de propriedades do mesmo.

Estes resultados corroboram com os resultados encontrados por MOURA-BUENO et al. (2019), onde o melhor desempenho para a predição de carbono orgânico foi obtido com o modelo gerado pelo método PLSR, bem como os resultados obtidos por ARAUJO et al. (2024).

#### 4. CONCLUSÕES

Definir áreas com características de solo semelhantes no RS e elaborar uma função de previsão específica para cada uma delas pode representar uma alternativa para alcançar uma precisão ainda maior no que diz respeito ao teor de carbono orgânico do solo. Esta abordagem pode ser extrapolada para todo o território nacional, possibilitando a utilização da radiometria como um método alternativo à análise convencional.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Mélorly Maria Fernandes de; NACHTIGALL, Stefan Domingues; SILVA, Ana Carolina Nunes da; MOREIRA, Rafaela Amorim; GUTHS, Angelica Konradt; MIGUEL, Pablo. **Análise do comportamento espectral de sedimentos e quantificação de carbono: um estudo na bacia hidrográfica do Arroio Epaminondas-RS**. XXVI ENPÓS – Encontro de Pós-Graduação, 10ª SIIPE, UFPEl, 2024.

LAL, Rattan. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security**. Science, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

JANZEN, H. H. **Carbon cycling in earth systems a soil science perspective**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 104, n. 3, p. 399-417, 2004.

MOURA-BUENO, Jean Michel et al. **Stratification of a local VIS-NIR-SWIR spectral library by homogeneity criteria yields more accurate soil organic carbon predictions**. Geoderma, v. 337, p. 565-581, 2019.

PAUSTIAN, Keith et al. **Climate-smart soils**. Nature, v. 532, n. 7597, p. 49-57, 2016.

SATO, M.V. **Primeira aproximação da biblioteca espectral de solos do Brasil: caracterização de espectros de solos e quantificação de atributos**. 2015. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2015.

VASQUES, G. M.; GRUNWALD, S.; SICKMAN, J. O. **Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra**. Geoderma. Amsterdam, v. 146, p. 14-25, 2008.