

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SEDIMENTOS E QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO: UM ESTUDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO EPAMINONDAS-RS

MÉLORY MARIA FERNANDES DE ARAUJO¹; STEFAN DOMINGUES
NACHTIGALL²; ANA CAROLINA NUNES DA SILVA ³; RAFAELA AMORIM
MOREIRA⁴; ANGELICA KONRADT GUTHS ⁵; PABLO MIGUEL⁶

¹Univerdidade Federal de Pelotas – mmfa.eh@gmail.com

²Univerdidade Federal de Pelotas – stefan.tefo@gmail.com

³Univerdidade Federal de Pelotas – anaufpel2019@hotmail.com

⁴Univerdidade Federal de Pelotas – rafaamorim43@gmail.com

⁵Univerdidade Federal de Pelotas – angelica-kg1@gmail.com

⁶Univerdidade Federal de Pelotas – pablo.ufsm@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades espectrais dos sedimentos tem mostrado uma ferramenta eficaz para identificar padrões de comportamento e quantificar elementos como o carbono, que desempenham um papel crucial na dinâmica dos solos. Nos solos, o comportamento espectral depende diretamente da composição química, física, mineralógica, biológica e, especialmente, matéria orgânica e óxidos de ferro (DALMOLIN et al., 2005). As medições espectralradiométricas fornecem uma alternativa barata, rápida e não destrutiva para a análise de propriedades geoquímicas e matéria orgânica quando usados na análise de sedimentos, e suas fontes potenciais, esses parâmetros podem fornecer informações importantes sobre os processos erosivos em uma bacia hidrográfica (EVRARD et al., 2019).

Portanto, quando a espectralradiometria é combinada com alguns métodos de modelagem multivariada, pode ser utilizada para quantificar as propriedades espectrais ativas de amostras de solo e sedimento. Na bacia hidrográfica do arroio Epaminondas, localizada no estado do Rio Grande do Sul, uma análise espectral permite investigar a variação dos sedimentos em função das diferentes características obtidas a partir das curvas espectrais. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento espectral de amostras de sedimentos encontrados na bacia, correlacionando os resultados com a quantificação de carbono e identificando as principais características responsáveis por sua variação.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consiste em uma abordagem sistemática para a análise espectral dos sedimentos na bacia hidrográfica do arroio Epaminondas, localizada ao sul do Rio Grande do Sul, no município de Pelotas. Foram coletadas 12 amostras de sedimentos em três pontos ao longo da bacia, em períodos diferentes durante os anos de 2019, 2021 e 2022. A determinação da reflectância espectral das amostras de sedimento foi realizada com o uso do espectralradiômetro FildSpec 3 (Analytical Spectral Devices, Boulder, USA), no laboratório de Pedologia da Universidade Federal de Santa Maria. Este aparelho possui capacidade de amostragem no intervalo de 350 a 2500 nm e resolução espectral de 1 nm. Como produto, o aparelho disponibilizou os espectros de reflectância obtidos para cada amostra através de sua assinatura espectral.

A análise dos dados espectrais envolveu várias etapas de processamento e modelagem, que incluíram a remoção do espectro contínuo, conversão de reflectância para absorvância, correção de linha de base, e análise por componentes principais (PCA). As 12 amostras de sedimento foram plotadas

usando o comprimento de onda (nm) no eixo x e a reflectância no eixo y, com o objetivo de observar os padrões gerais dos espectros obtidos. Para reduzir as flutuações aleatórias nos espectros, as curvas de reflectância consideradas como curvas originais foram suavizadas utilizando uma janela móvel de 11 nm e o filtro de Savitzky-Golay, que suavizam as curvas espectrais preservando a forma geral dos picos. Além disso, a técnica de diferenciação espectral foi aplicada para eliminar variações de base (offset) e aumentar a resolução de picos sobrepostos, utilizando derivadas de primeira ordem.

A quantificação do teor de carbono foi realizada a partir dos dados espectrais nas faixas vis-NIR, utilizando métodos de regressão estatística. As amostras espectrais foram processadas de forma a prever os valores de carbono com base nos espectros obtidos, usando quatro abordagens de modelagem diferentes: Máquina de Vetor Suporte (SVM) com núcleo radial; Máquina de Vetor Suporte (SVM) com núcleo linear; Mínimos Quadrados Parciais (PLSR) e Árvores de Regressão (Boosted Trees - BT). Os modelos foram avaliados com base em coeficientes de determinação (R^2) para determinar a precisão das previsões de carbono nas amostras de sedimento com base nas suas características espectrais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram analisados para identificar padrões espectrais que pudessem ser relacionados às diferentes características dos sedimentos na bacia. Na figura 1 observamos os dados espectrais e as etapas de processamento e modelagem deles.

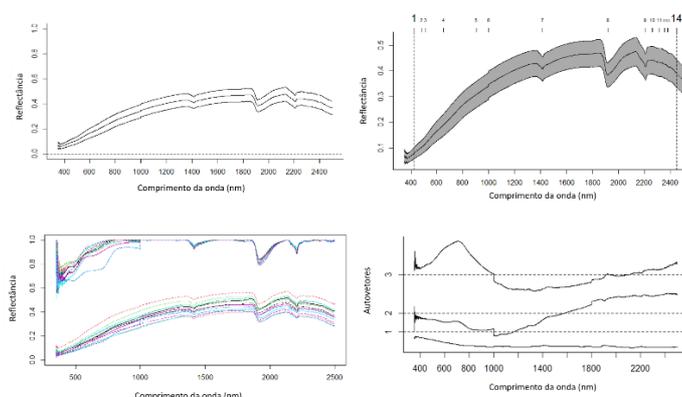


Figura 1. Dados espectrais e etapas de processamento e modelagem. Fonte: Autores

As absorções em 500-600 nm sugerem a presença de óxidos de ferro. A hematita tem forte absorção em torno de 850 nm e a goethita entre 950 nm e 1000 nm. Na faixa do infravermelho próximo em 700-1400 nm, as curvas apresentam um aumento gradual de reflectância. Esse comportamento é típico de sedimentos ricos em minerais como o quartzo, que apresentam uma reflectância relativamente elevada no infravermelho próximo. Já as curvas de reflectância nas bandas de absorção em torno de 1400 nm, 1900 nm e 2200 nm, indicam a presença de água e argilominerais como a caulinita. A absorção em 2200 nm, caracteriza a presença de caulinita através de uma queda pronunciada nesta região como um degrau ou ombro do lado esquerdo da zona de absorção. A presença desta queda em várias curvas indica uma quantidade considerável de argilas nas amostras indicando um ambiente de deposição com alta concentração de sedimentos finos e argilosos. Deste modo os resultados corroboram com (OLIVEIRA et al., 2020), onde os autores afirmam que a composição mineralógica em solos tropicais e subtropicais,

independentemente do material de origem, dá-se principalmente pela presença de óxidos de ferro e argilominerais 1:1.

Através das análises estatísticas foi possível explicar o comportamento das curvas espectrais. Deste modo a análise das componentes principais (PCA) indicou que as componentes principais PC1 e PC2 são os mais importantes para explicar a variação nos dados PC1 (97.36%) e PC2 (1.79%). Juntos, eles explicam 98,167% da variação, o que significa que a maior parte das diferenças entre suas amostras pode ser capturada analisando esses dois componentes. O agrupamento fuzzy organizou os dados em três grupos distintos, (Grupo 1: amostras 4, 8, 10, 12; Grupo 2: amostras 1, 5, 6, 7, 9, 11; Grupo 3: amostras 2, 3), com uma divisão moderadamente clara entre as amostras, de acordo com o índice de silhueta fuzzy (SIL.F = 0.425). Na figura 2 podemos observar os resultados da análise de componentes principais, o agrupamento fuzzy e a presença de carbono orgânico em relação aos grupos.

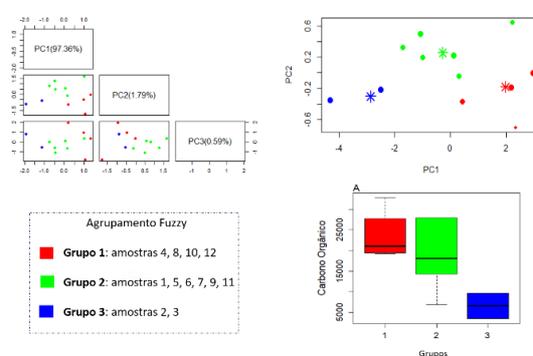


Figura 2. Análise das componentes principais e agrupamento fuzzy. Fonte: Autores

A diferença das cores dos grupos indica que há um certo agrupamento entre as amostras. As amostras vermelhas, estão mais à direita (valores positivos em PC1), o que pode indicar características específicas associadas a essas amostras. As amostras azuis estão mais à esquerda, com valores mais negativos de PC1, sugerindo características opostas às amostras vermelhas. E as amostras verdes estão mais centralizadas, mostrando que elas podem estar em uma posição intermediária em termos de características.

Segundo Moura Bueno et al. (2019), o melhor desempenho para a predição de carbono orgânico foi obtido com o modelo gerado pelo método PLSR, que alcançou um R^2 de 0,74. Na sequência, os modelos SVM apresentaram desempenho inferior, com R^2 de 0,72. Em contrapartida, os resultados obtidos neste estudo demonstraram que, entre os modelos analisados, tanto o PLSR quanto as Árvores de Regressão tiveram o melhor ajuste, ambos com R^2 de 1. Isso indica que esses modelos conseguiram capturar com precisão a variação do carbono nas amostras evidências. Por outro lado, o modelo SVM com kernel radial apresentou resultados mais baixos, com R^2 variando entre 0,30 e 0,38, revelando uma maior dificuldade em ajustar os dados. O modelo SVM linear também teve desempenho razoável, com R^2 de 0,47, mas ainda assim inferior aos modelos mencionados anteriormente.

Os gráficos de curvas de reflectância, junto com as derivadas e a suavização aplicada (FIGURA 3), indicaram que as amostras possuem padrões distintos de reflectância ao longo do espectro vis-NIR. A suavização por janela móvel de 11 nm ajudou a reduzir as flutuações aleatórias, destacando padrões consistentes entre as amostras. Após a aplicação da primeira derivada pode se observar de forma mais clara as variações sutis nos espectros, permitindo a identificação mais nítida

dos picos e vales que refletem as propriedades específicas dos materiais presentes nas amostras de sedimentos.

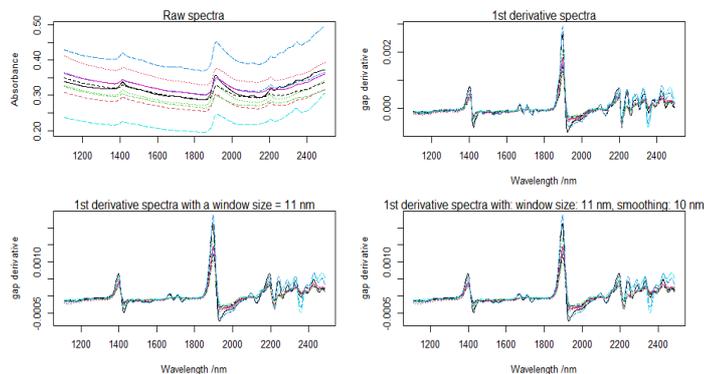


Figura 3. Curvas de reflectância, junto com as derivadas e a suavização. Fonte: Autores

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os resultados demonstraram que a matéria orgânica e os óxidos de ferro influenciam diretamente o comportamento espectral dos sedimentos. Os modelos estatísticos aplicados revelaram alta acurácia para a predição de carbono. A combinação das técnicas aplicadas permitiu uma análise mais clara e robusta dos espectros, destacando características importantes dos sedimentos.

A identificação dos padrões espectrais, pode estar diretamente relacionada às fontes de produção de sedimentos da bacia hidrográfica. Deste modo os resultados obtidos resultam em uma base sólida para associar as assinaturas espectrais com as origens dos sedimentos, contribuindo significativamente para o entendimento das dinâmicas de transporte e deposição de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica do arroio Epaminondas.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, código de financiamento 001

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DALMOLIN, R.S.D; GIASSON, E.; GONÇALVES, C.N; DICK, D.P; KNICKER, H.; KÄMPF, N.; KER, J.C.; Características dos solos do Rio Grande do Sul: sua relação com a utilização e conservação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 1, pág. 133-142, 2005.

EVARD, O.; DURAND, R.; FOUCHER, A.; TIECHER, T.; SELIER, V.; ONDA, Y.; LEFÈVRE, I.; CERDAN, O.; LACEBY, J. P.; Using spectrocolourimetry to trace sediment source dynamics in coastal catchments draining the main Fukushima radioactive pollution plume (2011–2017). *J Soils Sediments* 19, 3290–3301 (2019).

MOURA-BUENO, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; CATTEN, A.; DOTTO, A.C.; DEMATTE, J. AM. Stratification of a local VIS-NIR-SWIR spectral library by homogeneity criteria yields more accurate soil organic carbon predictions. *Geoderma*, v. 565-581, mar. 2019.

OLIVEIRA, J. S.; MATERIA, C. de C.; SOUZA, V. S. de; FREIRE, F. J.; CARRANCA, C.; MURAD, E.; TAVARES, D. T.; FERRAZ, A. Propriedades do solo que regem a adsorção de fósforo em solos do Sul do Brasil. *Geoderma Regional*, Amsterdã, v. 22, [art.] e00318, [p. 1–13], 2020.