

Caracterização espectral de amostras de solo da região semiárida de Pernambuco e suas relações com os teores de argila ⁽¹⁾

Eduardo Alves da Silva⁽²⁾; Luciano José de Oliveira Accioly⁽³⁾; Edilton de Albuquerque Cavalcanti Junior⁽⁴⁾; Ademar Barros da Silva⁽³⁾; Amanda Germano de Souza Pereira⁽²⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq

⁽²⁾ Estudante da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE (eduardo_alves_silva@hotmail.com, Amanda_germano_souza@hotmail.com); ⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Solos UEP Recife, Recife, PE (luciano.accioly@embrapa.br, ademar.barros@embrapa.br); ⁽⁴⁾ Estudante da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE (ediltonjunior@yahoo.com.br)

RESUMO: A espectrorradiometria do visível e do infravermelho próximo e médio tem sido utilizada para avaliar a composição mineralógica dos solos de forma quantitativa e qualitativa. Objetivou-se neste trabalho caracterizar espectralmente amostras de solo do semiárido de Pernambuco e avaliar o teor de argila com base na técnica de realce da remoção do contínuo. Foram obtidos os fatores de refletância bidirecional (FRB) de 88 amostras de solo para a faixa espectral de 350 nm a 2.500 nm. Com base na remoção do contínuo para a banda centrada em 2.200 nm foram obtidas as variáveis assimetria, profundidade e largura. Estas variáveis foram utilizadas para estimar o teor de argila por meio de regressão linear simples. As curvas espectrais se assemelharam às formas minimamente alterada e afetada pelos teores de óxidos de ferro relacionando-se, em alguns casos, à ausência de feições de absorção destes óxidos à presença de elevados teores de matéria orgânica. Sugere-se que os teores de argila podem afetar o formato da banda de absorção da caulinita centrada em 2.200 nm. Com uma precisão de 48% a assimetria foi a variável que melhor estimou os teores de argila. O erro absoluto na estimativa dos teores de argila com base na assimetria foi de 56,8 g kg⁻¹.

Termos de indexação: espectrorradiometria, remoção do contínuo, caulinita.

INTRODUÇÃO

A espectrorradiometria é um dos métodos não invasivo utilizados para avaliar de forma qualitativa e quantitativa propriedades físicas e químicas dos solos (Madeira Netto, 2001). Esta técnica utiliza as características de refletância, principalmente, na faixa do espectro eletromagnético do visível e do infravermelho (próximo e médio). As curvas de refletância de amostras de solo se diferenciam pela sua magnitude e pela presença de feições de absorção. Variações nas feições de absorção têm sido utilizadas para estimar quantitativamente o teor de argila nos solos (Dotto et al., 2016). Estes autores, no entanto, sugerem que melhores resultados podem

ser obtidos a partir de amostras classificadas por região de origem. Na avaliação quantitativa da mineralogia de solos por espectrorradiometria, frequentemente, são aplicadas técnicas de realce sobre as feições de absorção. A remoção do contínuo é uma técnica de realce que quando aplicada para bandas em torno de 2.200 nm tem sido utilizada para avaliar os teores de argila quando nesta fração predomina a caulinita. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar espectralmente e, com base na remoção do contínuo, avaliar o teor de argila em amostras de solo coletadas na região semiárida do estado de Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo foram coletadas em 22 locais. A amostragem em cada local foi realizada nas profundidades de 0 cm a 2 cm, 2 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm perfazendo um total de 88 amostras. Esta sequência de profundidades objetivou analisar as alterações na composição química quando os solos são submetidos a diferentes usos e coberturas.

As amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foram submetidas às análises física (textura), química (carbono orgânico - C, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, relação Ki, relação Kr e Al+Fe) e fertilidade do solo (pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, H+Al, P, soma de bases (S) e saturação de bases (V) e capacidade de troca de cátions (T)), conforme Caessen et al. (1997).

Sob condições de laboratório, os valores de refletância obtidos são relativos, sendo computados como Fator de Refletância Bidirecional (FRB). As curvas do FRB foram obtidas utilizando-se o espectrorradiômetro FieldSpec Pro 3, tendo-se como referência uma placa de Spectralon. Este aparelho registra o FRB no intervalo de 350 nm a 2.500 nm com largura de banda variando de 3 nm a 10 nm dependendo da faixa espectral (FieldSpecRPro ..., 2002). Para a leitura no laboratório, as amostras de TFSA foram colocadas em placas de petri. A configuração da fonte de iluminação e do sensor assim como o procedimento de calibração foram realizados conforme Terra et al. (2013).

A técnica de remoção do contínuo é uma técnica de realce em que as curvas espectrais são normalizadas permitindo assim comparação entre curvas obtidas por diferentes instrumentos e sob diferentes condições de iluminação. Esta normalização é obtida a partir da seguinte equação:

$$R'(\lambda) = R(\lambda) / R_c(\lambda) \quad (1)$$

Onde λ é o comprimento de onda para cada banda da feição de absorção, $R'(\lambda)$ é a refletância do contínuo removido, $R(\lambda)$ é a refletância original e $R_c(\lambda)$ representa a refletância do contínuo. Com base nas curvas espectrais normalizadas pela remoção do contínuo, os seguintes parâmetros foram extraídos: profundidade da banda de absorção (P) (equação 2); largura da banda de absorção (L) (equação 3); assimetria (ASS) (equação 4);

$$P(\lambda) = 1 - R'(\lambda) \quad (2)$$

$$L(\lambda) = (A_{\text{esquerda}(\lambda)} + A_{\text{direita}(\lambda)}) / 2P(\lambda) \quad (3)$$

$$ASS = A_{\text{esquerda}(\lambda)} / A_{\text{direita}(\lambda)} \quad (4)$$

A assimetria indica o formato. Quanto mais próxima de 1 mais simétrica é a banda de absorção. A representação dos parâmetros P e L é apresentada na **figura 1**. As variáveis P, L e ASS foram testadas como variáveis independentes em modelos de regressão linear simples para estimar o teor de argila nas amostras da seguinte forma:

$$ARG = \alpha + \beta.X \quad (5)$$

Onde ARG representa o teor de argila em g kg⁻¹, α o intercepto e β o coeficiente angular. A avaliação dos modelos foi realizada com base no índice raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE = *Root Mean Square Error*).

A remoção do contínuo foi realizada para a feição de absorção centrada em torno de 2.200 nm, indicativa da presença dos minerais de argila caulinita e montmorilonita (Clark et al., 1990). O tratamento e o realce dos dados foram realizados utilizando-se os pacotes hyperSpec e prospectr do software de domínio público R (R. core ..., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras apresentaram padrões espectrais que se assemelham aqueles definidos por Stoner & Baumgardner (1981). Esses padrões estão associados a diferentes combinações de composição granulométrica, teores de óxidos de ferro e matéria orgânica e mineralogia. A **figura 2** apresenta as curvas espectrais originais (FRB) e o realce

utilizando a técnica da remoção do contínuo (FRB normalizado) para três amostras de solo. Nesta figura as barras verticais indicam bandas de absorção relacionadas com a presença de óxidos de ferro (em torno de 530 nm e 900 nm), água (em torno de 1.400 nm e 1.900 nm) e minerais de argila (em torno de 2.200 nm). Assim, a curva **a** se assemelha à forma minimamente alterada (Stoner & Baumgardner, 1981), onde os teores de carbono orgânico (4g kg⁻¹) e de óxidos de ferro (14g kg⁻¹) são baixos. Já a curva **b** é referida por estes autores como afetada pelo ferro. Neste caso o teor de óxido de ferro desta amostra foi 40g kg⁻¹.

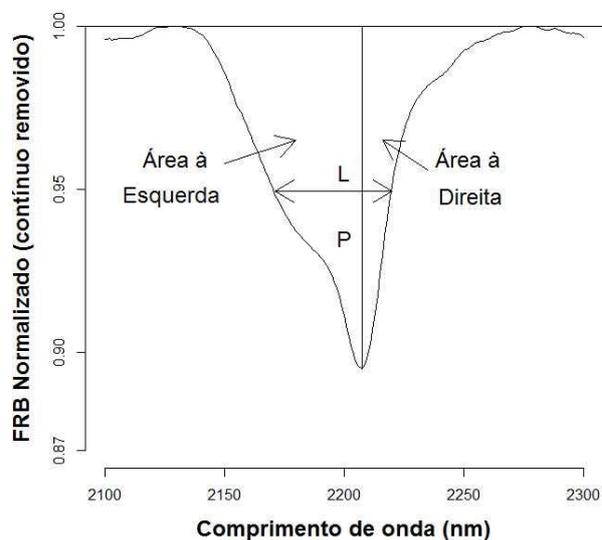


Figura 1 - Representação dos parâmetros extraídos a partir da remoção do contínuo.

As evidências da ocorrência de altos teores de óxidos de ferro são realçadas na curva da remoção do contínuo na região entre 400 nm e 550 nm e entre 800 nm e 1.000 nm do espectro. A banda de absorção em 900 nm é indicativa da presença de ferro cristalino (Demattê et al., 2015). Altos teores de matéria orgânica tendem a mascarar as feições de absorção dos óxidos de ferro (Demattê et al., 2015) como pode ser visto nas curvas presentes no gráfico **c** da Figura 2. Embora com o mesmo teor de óxidos de ferro, esta amostra apresentou altos teores de carbono orgânico (32g kg⁻¹) contra apenas 2,8g kg⁻¹ da amostra das curvas do gráfico **b**. Neste caso, a feição de absorção do ferro na faixa de 900 nm não aparece na curva da remoção do contínuo. As variações na feição de absorção das argilas em 2.200 nm são apresentadas na **figura 3**. Algumas amostras, como por exemplo, a amostra representada pela curva **a**, apresentaram dois pontos com valores mínimos: um mais intenso em torno de 2.208 nm e outro menos intenso em torno de 2.181

nm. Essa feição de absorção que parece um degrau ou ombro, conhecida como *doublet*, nesta faixa espectral, é típica da presença de caulinita. McKeown et al. (2009) estudando as características espectrais de amostras com diferentes proporções de caulinita e montmorilonita observaram que à medida que aumentava a feição de absorção em torno de 2,17 μm ficava menos profunda. Segundo esses autores, quando a proporção de caulinita na mistura era de 60% a feição se torna um degrau e que ela desaparece completamente quando chega a 15%. A presença desses minerais de argila tem sido registrada em solos do semiárido nordestino (Mota & Oliveira, 1999). Embora a composição dos argilominerais não tenha sido analisada, observou-se para algumas amostras que o formato desta feição de absorção variou com o teor de argila. Assim, as

primeiro quartil (amplitude interquartílica) e pelo desvio padrão. A proximidade entre a média e a

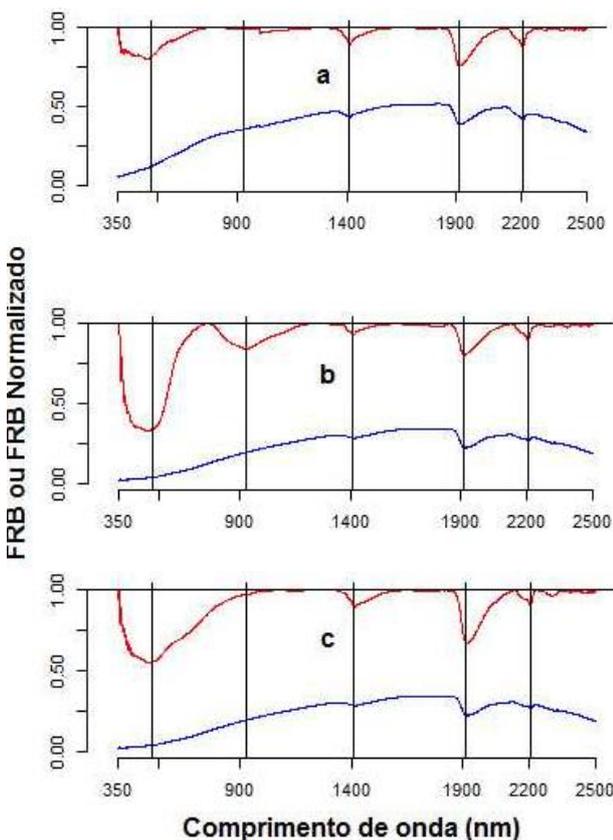


Figura 2 - Curvas espectrais (azul) e curvas da remoção do contínuo (vermelho).

amostras representadas pelas curvas **a**, **b**, **c** e **d** da **figura 3** apresentaram 360 g kg^{-1} , 280 g kg^{-1} , 120 g kg^{-1} e 80 g kg^{-1} de argila, respectivamente.

Algumas estatísticas das variáveis extraída da remoção do contínuo e para argila são apresentadas na **tabela 1**. Nesta tabela as medidas de dispersão estão representadas pelas diferenças entre valores máximo e mínimo (amplitude total), terceiro quartil e

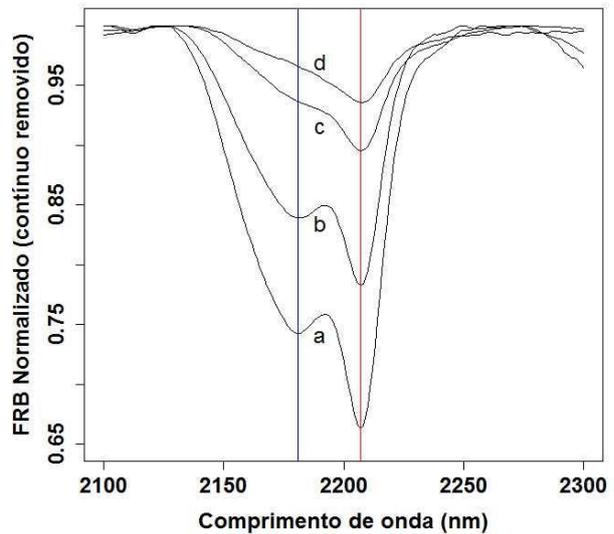


Figura 3 – Variação na feição de absorção em torno de 2.200 nm em quatro amostras de solo com diferentes teores de argila.

mediana, assim como as similaridades entre as diferenças do primeiro quartil para o valor mínimo e do valor máximo para o terceiro quartil, para as variáveis assimetria e argila indicam uma distribuição mais próxima da normal. Por outro lado, estes mesmos parâmetros apontam para uma distribuição assimétrica à direita para a variável largura. Portanto, a transformação dos dados desta variável por meio do emprego de uma função logarítmica foi necessária para a aplicação de testes paramétricos. Todas essas medidas indicam uma alta variabilidade nos dados se adequando, portanto, ao uso de modelos lineares.

A **tabela 2** apresenta as estatísticas para os modelos testados. A maior precisão para a estimativa dos teores de argila foi obtida com a variável assimetria (ASS). Neste caso, 48 % ($R^2 = 0,48$) da variação nos teores de argila pode ser explicado pela variação na assimetria da área computada na curva da remoção do contínuo. Resultado semelhante foi encontrado por Curcio et al. (2013). Os modelos que utilizaram as variáveis profundidade (P) e largura (L) foram menos precisos explicando 39% e 33% da variação nos teores de argila, respectivamente. O RMSE mede a variância não explicada pelo modelo na mesma unidade da variável dependente. Quanto menor o valor do RMSE melhor o ajuste. Verifica-se, portanto, que o modelo linear que usa a assimetria como variável independente apresentou um RMSE de 56,8 g kg^{-1} ou 5,6%, sendo, portanto, superior aos

modelos que utilizaram as variáveis profundidade (P) e largura(L). Esse resultado é compatível com aquele encontrado por Curcio et al. (2013) para a predição do teor de argila em amostras de solo.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas

Estatística	Variável			
	ASS	P	L	ARG
Mínimo	1,013	0,055	0,091	80
1° quartil	1,841	0,103	0,247	120
Mediana	2,200	0,136	0,443	180
Média	2,298	0,159	0,773	196
3° quartil	3,060	0,216	1,183	260
Máximo	3,505	0,337	3,031	360
Desvio padrão	0,661	0,072	0,729	79

Tabela 2 – Estatísticas para os modelos testados

Estatística	Variável		
	ASS	P	L
Intercepto	3,6	84,9	229,1
Coefficiente angular	83,6	695,4	49,2
R ²	0,48	0,39	0,33
RMSE	56,8	61,2	64,7

CONCLUSÕES

As amostras apresentam curvas espectrais minimamente alteradas ou afetadas pelos a teores de óxido de ferro.

A feição de absorção característica da presença da caulinita é evidenciada em várias amostras e seu formato parece variar com os teores de argila. Entre as variáveis extraídas da remoção do contínuo (profundidade, largura e assimetria) a assimetria é a que melhor se relaciona com os teores de argila.

A assimetria apresenta precisão de 48% na estimativa dos teores de argila

O erro absoluto do ajuste, estimado pelo RMSE, para a previsão dos teores de argila é de 56,8 g kg⁻¹.

REFERÊNCIAS

CAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. de O.; PAULA, J. P. de; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

CLARK, R. N.; GALLAGHER, A. J.; SWAYZE, G.A. Material absorption band depth mapping of imagin spectrometer data using a complete band shape least-square fit with library reference spectral. In: PROCEEDINGS OF THE SECOND AIRBORNE VISIBLE INFRARED IMAGING SPECTROMETER (AVIRIS) WORKSHOP. 1990. JPL Publication 90-54. 1990. p. 176-186. Disponível em:

<http://speclab.cr.usgs.gov/PAPERS/tricorder.1990/bd_epth.1990.html>. Acesso em 5 jul. 2016.

CURCIO, D.; CIRAULO, G.; D'ASARO, F.; MINACAPILLI, M. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy. *Procedia Environmental Sciences*, 19:494-503, 2013.

DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R.; FIORIO, P. R.; FONGARO, C. T.; NANNI, R. R. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). *Revista Ciência Agronômica*, 46:679-688, 2015.

FIELDSPCRPRO: user's guide. Colorado: Analytical Spectral Devices, 2002. 136p.

DOTTO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; CATEN, A. T.; MOURA-BUENO, J. M. Potential of spectroradiometry to classify soil clay content. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40:1-8, 2016.

MCKEOWN, N. K.; PARENTE, M.; CLARK, J. T. Detection of kaolinite at Mawrth Vallis, Mars: analysis of laboratory mixture and development of remote sensing parameters. Disponível em: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2009/pdf/2188.pdf>, Acesso em 25 jul. 2016.

MADEIRA NETTO, J. da S. Comportamento espectral dos solos. In: Sensoriamento remoto - reflectância dos alvos naturais. MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. DA S. org. Brasília: Embrapa/UNB, 2001. p.127-154.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA J. B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:799-806, 1999.

R FOUNDATION for Statistical Computing. R core team (2016) – R: a language and environment for statistical computing. Vienna. Disponível em <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45:1161-1165, 1981.

TERRA, F. da S.; DEMATÊ, J. A. M.; ROSSEL, R. V. Discriminação de solos baseada em espectroscopia de reflectância VisNIR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 16., 2013. Anais. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p.9224-9231.