

UTILIZAÇÃO DA ESPECTRORRADIOMETRIA NA CARACTERIZAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE NO SOLO

USE OF SPECTRORRADIOMETRY IN THE CHARACTERIZATION OF ORGANIC MATTER CONTENT IN THE SOIL

Ayala de Souza Reis Carneiro

Graduanda em Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual de Feira de Santana. Bolsista FAPESB (ayala.reis@hotmail.com)

Taise Bomfim de Jesus

Doutora em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Universidade Estadual de Feira de Santana / Departamento de Ciências Exatas. (taisebj@hotmail.com)

Erli Pinto dos Santos

Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Agrícola. (erlitec.agri@hotmail.com)

Rosângela Leal Santos

Doutora em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo. Universidade Estadual de Feira de Santana / Departamento de Tecnologia. (rosangela.leal.uefs@gmail.com)

Resumo

O comportamento espectral do solo é condicionado por todos os elementos que o constituem. A matéria orgânica atua de forma peculiar no solo, influenciando diretamente em suas propriedades físicas, químicas, biológicas, mineralógicas; portanto, apresenta forte relação com a sua resposta espectral. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi demonstrar o potencial da espectrorradiometria na caracterização da matéria orgânica de solos, confrontando a variável reflectância espectral com a quantificação da matéria orgânica de amostras de solo coletadas no Centro de Agroecologia Rio Seco – UEFS, aplicando também a técnica da remoção do contínuo, sobre os dados de reflectância, como técnicas de extração de informações de dados hiperespectrais. A espectrorradiometria apresentou-se como uma técnica eficaz, rápida e não destrutiva, fornecendo dados significativos para caracterização de amostras de solo. O processamento dos espectros originais com a técnica de remoção do contínuo possibilitou avaliar as bandas de absorção e o relacionamento destas com a presença de matéria orgânica no solo, aumentando o detalhamento das informações contidas nas curvas espectrais.

Palavras-chave: sensoriamento remoto hiperespectral; Walkley-Black; ciências do solo.

Abstract

The spectral behavior of the soil is conditioned by all the elements that constitute it. The organic matter acts peculiarly in the soil, influencing directly in their physical, chemical, biological and mineralogical properties, therefore, presents a strong relationship with your spectral response. In this sense, the objective of this study was to demonstrate the potential of spectroradiometry in the characterization of soil organic matter, confronting the spectral reflectance variable with the quantification of organic matter of soil samples collected in the Agroecology Center Rio Seco – UEFS, also applying the removal of the continuum on reflectance data, as techniques for extracting information from hyperspectral data. The spectroradiometry presented himself as an effective technique, rapid and non-destructive, providing meaningful data for characterization of soil samples. The processing of the original spectra whit the continuous removal technique made it possible to evaluate the absorption bands and the relationship of these with the presence of organic matter in the soil, increasing the detail of the information contained in the spectral curves.

Keywords: hyperspectral remote sensing; Walkley-Black; sciences of soil.

1. INTRODUÇÃO

O termo matéria orgânica do solo refere-se a todo material orgânico de origem animal e vegetal e aos produtos resultantes do seu processo de decomposição (materiais fúbrico, hêmico e sáprico) (SANTOS, 2013). A matéria orgânica do solo desempenha um papel de grande importância nos solos tropicais e subtropicais, pois influencia nas propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas, sendo essencial à capacidade produtiva dos solos. Concomitantemente, a presença de matéria orgânica apresenta forte relação com a resposta espectral do solo (DALMOLIN, 2002; BEN-DOR *et al.*, 2002; DOTTO *et al.*, 2016; MOHAMED *et al.*, 2018).

Atualmente, no sensoriamento remoto, a matéria orgânica (MO) vem sendo estudada através da espectrorradiometria, que é um método que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida por diferentes objetos, não havendo contato físico direto entre o sensor e alvo. Como o solo apresenta diferentes componentes, é possível estudar diversas características pela análise da sua resposta espectral (DALMOLIN, *et al.*, 2005), já que o solo é uma coleção de corpos naturais resultante da atuação integrada do clima e de organismos vivos, atuando sobre o material de origem, condicionado pelo relevo, durante um dado período de tempo (KER, *et al.*, 2013).

O estudo do solo por meio de técnicas de sensoriamento remoto ganhou destaque nas últimas décadas, visto que a sua observância por sistemas sensores em diferentes regiões do espectro eletromagnético (especialmente do visível ao infravermelho de ondas curtas, 400 a 2500nm) tem demonstrado que é possível sua aplicação na quantificação de atributos como matéria orgânica, óxidos ferrosos, bem como formação mineralógica (BELLINASO *et al.*, 2009; DEWITTE *et al.*, 2012; ARAÚJO *et al.*, 2013; FRANCESCHINI *et al.*, 2013; GENÚ *et al.*, 2013; TERRA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013; DEMATTÊ *et al.*, 2014).

Sabendo-se que a curva espectral de um solo é resultante de uma forte correlação existente entre os diversos atributos químicos, físicos e mineralógicos com a energia incidida sobre o solo, ou seja, a curva espectral do solo é formada a partir da irradiância de energia que se relaciona com o solo e reflete diferentes comprimentos de onda (EPIPHANIO *et al.*, 1992),

então, essa diferença de comprimento de onda se dá pelas propriedades específicas de cada solo. Neste sentido, existe a possibilidade da utilização do sensoriamento remoto como ferramenta para obtenção de informações sobre o solo e auxiliar em futuros levantamentos (DEMATTÊ *et al.*, 2015).

A viabilidade da caracterização do solo por meio de sua curva espectral baseia-se na intensidade dessa curva, assim como nas feições de baixa reflectância (picos de absorvância) da energia eletromagnética, específicos intervalos de comprimento de onda, uma vez que diferentes moléculas interagem de forma distinta com a radiação eletromagnética (NANNI, 2000). Especificamente, a matéria orgânica é capaz de influenciar o comportamento espectral de um solo ao longo do espectro visível até o infravermelho de ondas curtas, havendo na literatura muitos trabalhos que propõem diferentes bandas espectrais para a predição da sua concentração (AL ABBAS *et al.*, 1972; KRISHNAN *et al.*, 1980; COLEMAN *et al.*, 1991; DALMOLIN *et al.*, 2005; BELLINASO *et al.*, 2009; BALENA, 2011; FRANCESCHINI *et al.*, 2013; DEMATTÊ *et al.*, 2014; MOHAMED; BELAL, 2015; MOHAMED *et al.*, 2016) com diferentes algoritmos para obter essa informação. Esta questão remete às intrínsecas relações existentes nos diferentes tipos de solos e diferentes ambientes (DALMOLIN, *et al.*, 2005).

Técnicas de sensoriamento remoto, como a espectrorradiometria, vêm ganhando espaço no estudo de solos. Diversos estudos desenvolvidos em diferentes classes de solos (DALMOLIN, *et al.*, 2005; ARAÚJO *et al.*, 2013; DEMATTÊ *et al.*, 2014; DOTTO *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2018) demonstram a capacidade de prever características físicas, químicas e mineralógicas do solo por meio da sua resposta espectral, de maneira rápida e não destrutiva desse corpo natural que é responsável pela segurança alimentar e ambiental.

O objetivo do trabalho é demonstrar o potencial da espectrorradiometria na caracterização do teor de matéria orgânica presente no solo, confrontando a variável reflectância espectral com a quantificação analítica da matéria orgânica em amostras de solo, coletadas no Centro de Agroecologia Rio Seco – UEFS, aplicando também a remoção do contínuo sobre os dados de reflectância, como técnica de extração de informações de dados hiperespectrais.

2. METODOLOGIA

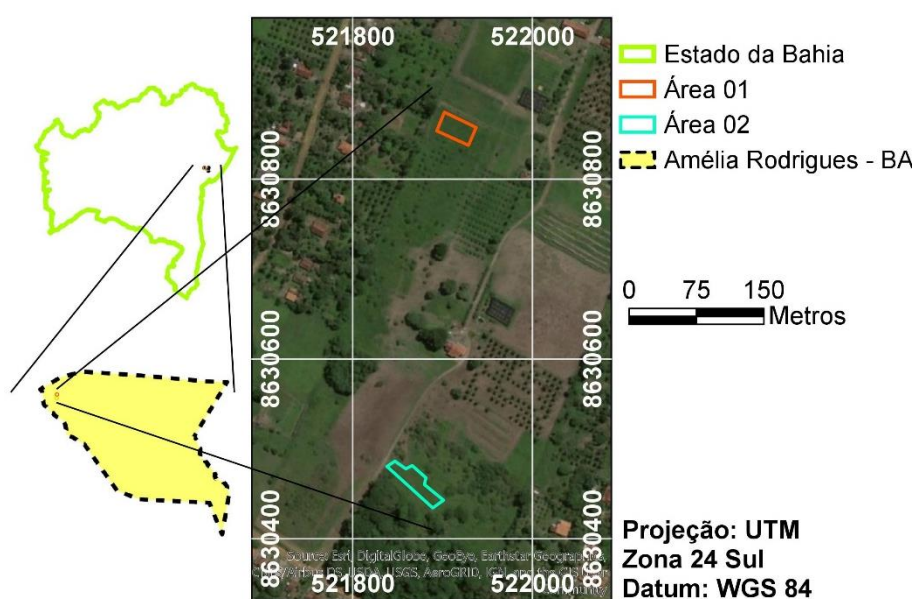
Área de estudo e amostragem

A área de estudo do trabalho compreende duas pastagens de *Brachiaria decumbens* (Área 1 e Área 2), localizadas no Centro de Agroecologia Rio Seco (CEARIS/UEFS), no município de Amélia Rodrigues – Bahia. Foram realizadas duas idas ao campo, em dezembro de 2016 e fevereiro de 2017, para coleta de amostras da camada superficial (de 0 a 0,2 m de profundidade) do solo, solo este que, de acordo com os mapas de solos

da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (RECIFE, 2006; SANTOS *et al.*, 2011), é classificado como Argissolo vermelho amarelo.

Em cada área de pastagem, foi feita uma amostragem aleatória usando um trado holandês, com uma coleta de 10 amostras por área, as quais foram homogeneizadas em uma amostra composta. De cada amostra composta, uma parte foi destinada para as leituras espectrorradiométricas e outra parte para quantificar a matéria orgânica.

Figura 1. Localização da área de estudo, exibindo as duas áreas de pastagem, no Centro de Agroecologia Rio Seco – UEFS.



Fonte: SANTOS *et al.*, 2018.

Quantificação da matéria orgânica

A metodologia para a determinação de matéria orgânica seguiu o método de Walkley-Black, descrito em Nelson e Sommers (1982) e Teixeira *et al.*, (2017). O princípio do método é a determinação de carbono orgânico por oxidação da MO em solução contendo o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido.

As amostras de solo foram peneiradas em malha de 2,0 mm e pesadas em triplicata 0,1 g de solo e, posteriormente, transferidas para um *erlenmeyer*. Foi adicionado 20 mL de $K_2Cr_2O_7$, 1N em cada *erlenmeyer*, acrescentando rapidamente o H_2SO_4 concentrado; de imediato, agitou-se o frasco, por um período de aproximadamente 1 minuto, para proporcionar a mistura do solo com

os reagentes; e, em seguida, a mistura foi deixada em repouso para que ocorresse a oxidação. Após esse procedimento, foi adicionada água destilada e, em seguida, a solução foi filtrada em papel filtro utilizando uma bomba de vácuo para acelerar o processo. Adicionou-se mais água destilada sobre o papel filtro para a completa remoção da solução no mesmo; logo após, foi introduzido na solução o indicador difenilamina, seguido de titulação com o sulfato ferroso até a passagem da cor violeta para a verde. Com a obtenção dos valores de sulfato ferroso gasto na titulação, o percentual de carbono orgânico foi calculado seguindo a equação 1.

$$\%C = \frac{(\text{meq.g de } Cr_2O_7^{2-} - \text{meq.g de } Fe^{2+}) \cdot 0,003 \cdot (\% \text{ matéria seca}) \cdot fd}{P} \quad (1)$$

em que:

meq.g de $Cr_2O_7^{2-}$ é o volume de dicromato pipetado x normalidade da solução de dicromato; meq.g de Fe^{2+} é o volume de sulfato ferroso gasto na titulação x normalidade determinada pela prova em branco; % umidade é a percentagem de matéria seca a 65/ 60 °C; P é a massa da

amostra tomada para a oxidação; e fd é o fator de diluição.

Calculado o percentual de carbono orgânico na amostra, a MO foi obtida pela equação 2 através do produto de %C pelo fator de correção de carbono orgânico em MO, dado por Nelson e Sommers (1982) como 1,72, considerando que a matéria orgânica do solo tem 58 dag/kg de C.

$$\text{Teor de MO (\%)} = \%C \cdot 1,72 \quad (2)$$

Espectrorradiometria

As leituras espectrais das amostras de solo foram aferidas medindo-se a reflectância das amostras em laboratório utilizando o espectrorradiômetro FieldSpec 3 (ASD Inc.), com faixa espectral de captação de sinal de 350 a 2.500 nm com 2.151 bandas do espectro eletromagnético, resolução de 3 nm até 700 nm e de 8 nm até 1.400/2.100 nm. Cada parcela de amostra composta destinada à medição da reflectância foi peneirada em uma malha de 2,0 mm, recolhendo o peneirado e preenchendo uma placa de petri levando à estufa para secagem a 45 °C por 24 horas. Após secagem, de cada uma das duas amostras (representando as duas áreas de solo), foram realizadas cinco medições de reflectância, sendo, no final, obtida uma média aritmética, formando uma curva espectral para cada amostra de solo.

Para melhor explorar as curvas de reflectância espectral, foi aplicada a técnica da remoção do contínuo, como técnica de extração de informações (SANTOS *et al.*, 2018), que permite qualificar a análise espectral (BREUNIG *et al.*, 2007). A técnica de remoção do contínuo, proposta e descrita por Clark e Roush (1984), consiste no emprego de uma função matemática, que permite ao usuário isolar uma feição de absorção peculiar durante a análise de um espectro, sendo sua função remover feições contínuas do espectro (SANTOS *et al.*, 2018). O primeiro passo é a obtenção da reflectância do espectro contínuo, que é obtida a partir da curva de reflectância original do solo: a reflectância do espectro contínuo é obtida matematicamente pela equação da reta, onde o coeficiente linear (w) é obtido pela equação 3, e o coeficiente angular (k) pela equação 4:

Extração de informações do espectro original

$$w = \frac{[y_1 * (\lambda_2 - \lambda_1)] + [-\lambda_1 * (y_2 - y_1)]}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (3)$$

$$k = \frac{y_2 - y_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (4)$$

em que:

Y_2 é a reflectância (p) observada no limite superior da banda de absorção, e y_1 é a p observada no limite inferior da banda; λ_2 é o comprimento de onda do limite superior da banda e λ_1 é o comprimento de onda do limite inferior da banda.

reta, a qual define o contínuo espectral para cada feição. Como o equipamento faz a leitura espectral no intervalo de 350 a 2.500 nm, e como existem muitas feições de absorção nos espectros de reflectância do solo, então, para cada intervalo de comprimento de onda, é calculada uma equação da reta, ou seja, para cada intervalo, há uma reflectância espectral contínua, e obtidos os parâmetros linear e angular

Mediante isso, os pontos de máxima reflectância de um espectro são ligados por uma

de cada uma, cada feição contínua é gerada pela

$$\rho_{CONTÍNUO}(\lambda) = w + k \lambda$$

Na equação 5, $\rho_{CONTÍNUO}(\lambda)$ corresponde ao fator de reflectância do espectro do contínuo. Este deve ser removido por divisão quando se trabalha com espectros de reflectância (CLARCK;

$$\rho_{CRA} = \frac{\rho_{original} \lambda}{\rho_{contínuo} \lambda}$$

em que:

ρ_{CRA} é o fator de reflectância com o contínuo removido e $\rho_{original} \lambda$ é o fator de reflectância original.

equação 5:

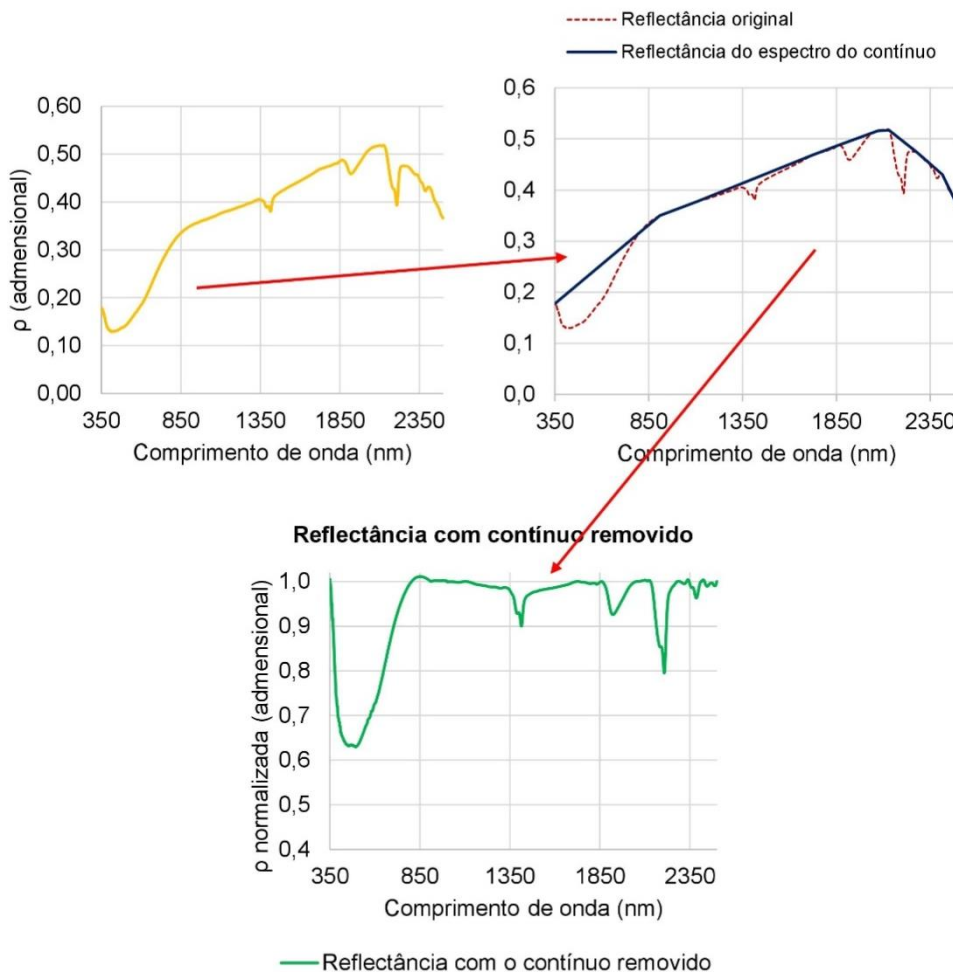
(5)

ROUSH, 1984; MEER, 2000). Obtido, então, $\rho_{CONTÍNUO}(\lambda)$, pôde-se entrar com a variável na equação 6 que é a formulação matemática da técnica para espectros de reflectância:

(6)

Portanto, seguindo o passo a passo que é ilustrado pela figura 2 a seguir, é obtida a curva de reflectância normalizada, dada por ρ_{CRA} . Todo este processamento foi realizado usando o software ENVI ®.

Figura 2: Esquema de ilustração da obtenção da curva de reflectância normalizada, exibindo o efeito da técnica sobre espectros de reflectância de solos.



Fonte: Elaborada pelos autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Dalmolin *et al.* (2005), além de feições particulares de absorção, a reflectância é caracterizada pela forma e pelo albedo da curva espectral. Muitos estudos descrevem o papel da MO no comportamento espectral do solo, como o de Krishnan *et al.* (1980), os quais apresentam estudos que estabelecem intervalos espectrais que são utilizados em algoritmos para prever o teor de MO no solo, estabelecendo características de absorção em bandas na região do visível,

compreendendo o intervalo de comprimento de onda de 500 a 700 nm. Neste sentido, o intervalo de comprimento observado para caracterizar o teor de MO foi de 500 a 700 nm; para a caracterização da MO, foram interpretados os valores de reflectância apresentados nesse intervalo de comprimento de onda.

Na tabela 1, encontram-se os resultados referentes aos teores de MO obtidos a partir da análise química, para cada área de estudo e em cada mês de amostragem.

Tabela 1: Teores de matéria orgânica (%) encontrados nos solos em estudo.

TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE NAS AMOSTRAS DE SOLO (%)		
Local	Dezembro 2016	Fevereiro 2017
Área 01	3,09	3,04
Área 02	3,30	3,65

Fonte: Elaborada pelos autores

Os resultados obtidos a partir da leitura espectral das amostras de solo estão apresentados na figura 3.

Em estudos para determinar a presença de matéria orgânica no solo, Balena (2011), Dalmolin *et al.* (2005) e Bellinaso (2009) relatam que, neste intervalo de comprimento de onda (500-700nm), quanto menor a reflectância maior é o teor de matéria orgânica, pois ocorre diferença com relação à absorção da energia incidente sobre o solo. Neste sentido, os dados obtidos no presente trabalho por meio da leitura espectral corroboram com os daqueles autores, pois, a partir da análise química, foram obtidos teores de MO maior para a área 02 em ambos os meses. Concomitante, na leitura espectral, a área 02 obteve valores de reflectância menores, apresentando maior absorbância da energia incidente.

Para melhor análise da curva espectral, foi aplicada a técnica de remoção do contínuo, e as curvas normalizadas são apresentadas na figura 4.

O método de remoção do espectro contínuo foi utilizado para isolar as características espectrais em comprimentos de ondas específicos, acentuando as diferenças nas profundidades das bandas de absorção dos principais fatores envolvidos, em especial a matéria orgânica (ALVARENGA *et al.*, 1993). Os resultados obtidos após a remoção do contínuo

condizem com os espectros originais, apresentados nos gráficos de reflectância da figura 4, pois se verificam feições de absorção na região do visível relacionadas às concentrações do teor de matéria orgânica.

Os resultados obtidos a partir da leitura espectral das amostras de solo estão apresentados na figura 3.

Em estudos para determinar a presença de matéria orgânica no solo, Balena (2011), Dalmolin *et al.* (2005) e Bellinaso (2009) relatam que, neste intervalo de comprimento de onda (500-700nm), quanto menor a reflectância maior é o teor de matéria orgânica, pois ocorre diferença com relação à absorção da energia incidente sobre o solo. Neste sentido, os dados obtidos no presente trabalho por meio da leitura espectral corroboram com os daqueles autores, pois, a partir da análise química, foram obtidos teores de MO maior para a área 02 em ambos os meses. Concomitante, na leitura espectral, a área 02 obteve valores de reflectância menores, apresentando maior absorbância da energia incidente.

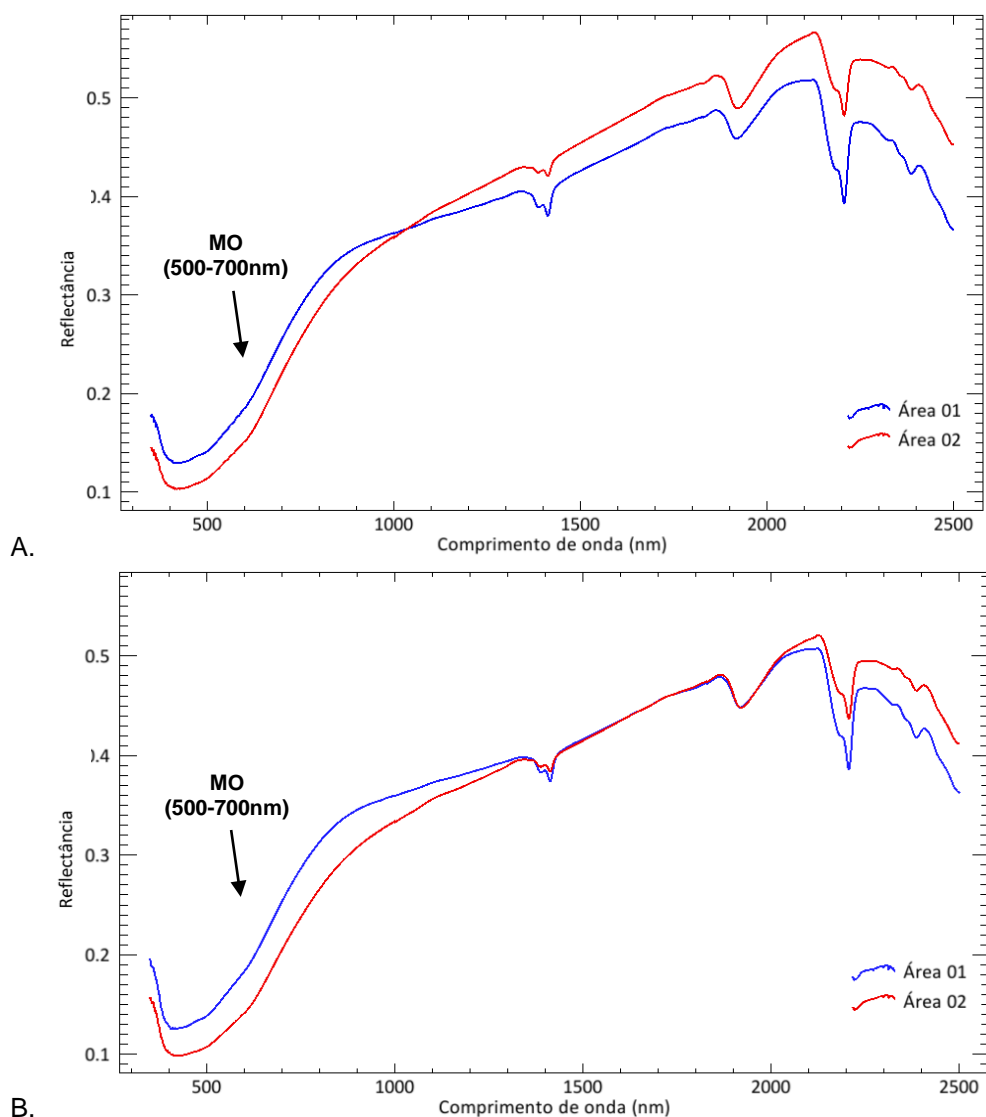
Para melhor análise da curva espectral, foi aplicada a técnica de remoção do contínuo, e as curvas normalizadas são apresentadas na figura 4.

O método de remoção do espectro contínuo foi utilizado para isolar as características espectrais em comprimentos de ondas

específicos, acentuando as diferenças nas profundidades das bandas de absorção dos principais fatores envolvidos, em especial a matéria orgânica (ALVARENGA *et al.*, 1993). Os resultados obtidos após a remoção do contínuo

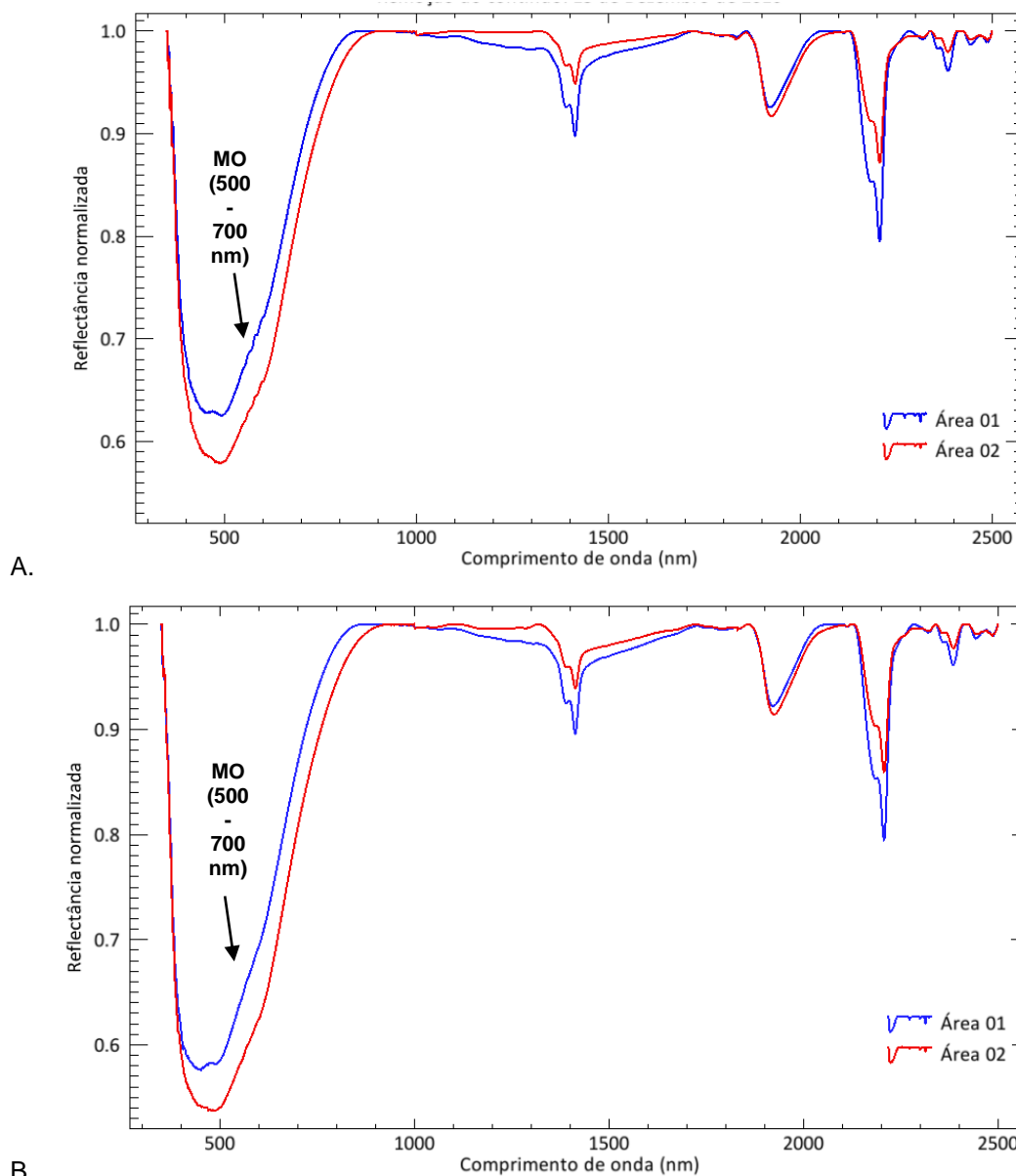
condizem com os espectros originais, apresentados nos gráficos de reflectância da figura 4, pois se verificam feições de absorção na região do visível relacionadas às concentrações do teor de matéria orgânica.

Figura 3: Espectros de reflectância de amostras de solos: dezembro de 2016 (A) e fevereiro de 2017 (B).



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4: Gráficos de reflectância normalizada dos espectros originais: dezembro de 2016 (A) e fevereiro de 2017 (B).



Fonte: Elaborada pelos autores

4. CONCLUSÃO

No presente trabalho, observou-se a relação entre o comportamento das curvas espectrais e a presença do teor de MO no solo. Ao confrontar os resultados analíticos com a interpretação da leitura espectral, constatou-se uma concordância entre os valores de reflectância representados nas curvas espectrais e os resultados analíticos do teor de MO (%), sendo que, para um determinado intervalo de comprimento de onda característico da MO (500 a 700 nm), os valores de reflectância foram condizentes com os valores

analíticos. A área 02 apresentou menores valores de reflectância nos dados espectrais, indicando maiores valores de MO, bem como maiores valores no teor de MO na análise química, em ambos os meses de amostragem, contrário aos resultados (espectrais e analíticos) obtidos para a área 01; constatando o maior teor de MO na área 02 quando comparada com a área 01.

Verificou-se uma estreita relação entre o comportamento dos valores de reflectância originais e as curvas espectrorradiométricas obtidas com base na técnica de remoção do contínuo, o que possibilitou uma análise mais

precisa das feições de absorção provocadas pelo teor de matéria orgânica.

A espectrorradiometria é uma técnica que vem ganhando espaço no estudo de várias propriedades dos solos. Trabalhos como este demonstram a capacidade de prever características peculiares dos diferentes solos, ao confrontar seus resultados com dados obtidos por análises químicas, podendo-se obter informações de maneira rápida e não destrutiva da constituição dos solos em nível de laboratório.

5. REFERÊNCIAS

- AL-ABBAS, A.H.; SWAIN, P.H.; BAUMGARDNER, M.F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. **Soil Science, Baltimore**, v. 114, p. 477-485, 1972.
- ALVARENGA, B. S.; D'ARGO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. Manual de Referência. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2-12.
- ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; BELLINASSO, H. Analysing the effects of applying agricultural lime to soils by VNIR spectral sensing: a quantitative and quick method. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 13, p. 4570-4584, 2013.
- BALENA, S. P. **Correlação de análises físico-químicas e espectroscópicas de laboratório com dados obtidos em campo por espectrorradiômetro**. 2011. 105 f. Tese (Doutorado) – Curso de Química, Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROMEIRO, S.A. Soil spectral library and its use in soil classification (in Portuguese). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 861-870, 2009.
- BEN-DOR, E. Using imaging spectroscopy to study soil properties. **Remote Sensing of Environment**, Ispra, Italy, v. 75, p. 38-55, out. 2002.
- BREUNIG, F.M.; CAMARGO, F.F.; ADAMI, M.; MANTELLI, L.R.; COSTA, M.C.; PONZONI, F.J.; FREITAS, J.G. Aplicação da técnica de remoção do contínuo para a discriminação espectral de diferentes dosagens de nitrogênio aplicadas ao trigo (*Triticumaestivum*, L. - IAC-370). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais eletrônicos**. Florianópolis-SC: Inpe, 2007. p. 91-98. Disponível em: <<http://mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.11.32/doc/91-98.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2017.
- CLARK, R.N.; ROUSH, T.L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 89, n. 7, p.6329-6340, 1984. <http://dx.doi.org/10.1029/jb089ib07p06329>.
- COLEMAN, T.L.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L.; GAO, T.; PRASAD, S. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils. **Soil Sci.**, n. 151, p. 355-361, 1991.
- DALMOLIN, R. S. D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de latossolos de diferentes ambientes**. 2002. 151p. Tese (Doutorado) – Ciências do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- _____; GONCALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 481-489, 2005.
- DEMATÊ, J. A. M., SILVA, T. F. Spectral pedology: a new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma**, v. 217-218, p. 190-200, 2014.
- _____; RIZZO, R.; BOTTEON, V. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 4, n. 46, p.1-10, out./dez. 2015.
- DEWITTE, O.; JONES, A.; ELBELRHITI, H.; HORION, S.; MONTANARELLA, L. Satellite remote sensing for soil mapping in Africa: an overview. **Progress in Physical Geography**, v. 36, p. 514-38, 2012.
- 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**, n. 40, p. 1-8, 2016.
- EPIPHÂNIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. **Comportamento espectral dos solos do estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992. 132p.
- FRANCESCHINI, M.H.D.; DEMATTÊ, J.A.M.; SATO, M.V.; VICENTE, L.E.; GREGO, C.R. Abordagem semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-BIR-SWIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 1569-1582, 2013.

GENÚ A. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R. Characterization and comparison of soil spectral response obtained from orbital (ASTER e TM) and terrestrial (IRIS). **Ambiência**, v. 9, n. 2, p. 279-88, 2013.

KER, J. C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E.G. R.; TORRADO-VIDAL, P. **Pedologia: fundamentos**. Florianópolis: Editora SBCS, 2013.

KRISHNAN, P.; ALEXANDER, J. D.; BUTLER, B. J.; HUMMEL, J. W. Reflectance technique for predicting soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 1282-1285, 1980.

MEER, F. van Der. Spectral curve shape matching with a continuum removed CCSM algorithm. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 16, p. 3179-3185, jan. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160050145063>.

MOHAMED, E.S.; BELAL, A.S.A. Impacts of soil sealing on potential agriculture in Egypt using remote sensing and GIS techniques. **Eurasian Soil Sci.**, v. 48, n. 10, p. 1159-1169, 2015.

_____; ALI, A.M.; EI-SHIRBENY, M.A.; ABD EL-RAZEK, A.A.; SAVIN, I. Near infrared spectroscopy techniques for soil contamination assessment in the Nile delta. **Eurasian Soil Sci.**, v. 49, p. 632-639, 2016.

_____; SALEH, A. M.; BELAL, A. B.; GAD, A. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, Cairo, Egypt, n. 10, p. 1-14, jan. 2018.

NANNI, M. R. **Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento dos solos**. 2000. 366p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2000.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis** – chemical and microbiological properties, part 2. 2 ed.

Madison: American Society of Agronomy e Soil Science Society of America, 1982. cap. 29, p. 539-579.

RECIFE. EMBRAPA SOLOS UEP. **Solos do Nordeste**. 2006. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

SANTOS, E.P.; JESUS, T.B.; CARNEIRO, A.S.R.; SANTOS, R.L.; SANTOS, R.A. Imagens sentinel-2A e espectrorradiometria aplicada a estudo de pastagens degradadas. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 2, p.141-151, 2018. http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_141_151.

SANTOS, H.G. dos; CARVALHO JÚNIOR, W. de; DART, R. de O.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUSA, J.S. de; PARES, J.G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. **O novo mapa de solos do Brasil: Legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Documentos).

_____. (Org.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L. et al. **Methods of soil analysis: part chemical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1011-1069.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de Solo**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 574 p.

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

SOUZA, S. F.; ARAÚJO, M. S. B.; DEMATTÊ, J. A. M.; FILHO, J. C. A. Sensoriamento remoto no estudo de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 9012-9019.