

Discretização espectral aplicado a identificação mineralógica de um Luvissole Crômico em Juazeiro- BA

Deorgia Tayane Mendes de Souza¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista¹
Washington de Jesus Sant'anna da Franca Rocha²

¹Universidade de Brasília, Instituto de Geociências Campus Darcy Ribeiro - Asa Norte, Caixa Postal 4465, CEP 70910-900, Brasília-DF;
deorgiasouza.geo@gmail.com; gmbaptista@unb.br

²Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/DEXA
Avenida Transnordestina, s/n, km 3, Bairro Novo Horizonte, Feira de Santana-BA, Caixa Postal 96 - 13416-000, CEP 44054-008, Feira de Santana - BA, Brasil
wrocha@uefs.br

Abstract. Reflective spectroscopy is can be considered a technique for the analysis of mineralogical components of soils. The soils of environments with predominance of semiarid climates, need studies applying remote sensing and spectral behavior to identify the constituent attributes of the soils, especially the mineralogy. In this way, the aim of this paper is apply the reflectance spectroscopy to identify the mineralogical contents in a Luvissole Crômico's profile, in near infrared and shortwave infrared spectral range. The applied methods were, reflectance spectroscopy and XRD, applied methodology for identification of the minerals were, removal of the continuum, determinate the depth of spectral feature, and the X-ray diffractogram's interpretation. With the choice of spectral bands, it was possible to identify how the molecular vibrational processes occur in the minerals found in the samples. It was possible to identify in the present work a pedogenic evolution, finding minerals of type 2:1 (montmorillonite, muscovite, illite) as well as 1:1 (as a kaolinite). The data validation was from the XRD analyzes, by means of the minerals found: kaolinite, montmorillonite, muscovite, quartz and goethite. The last two minerals mentioned have no spectral response in the range. The discretization of the chosen spectral range was satisfactory for mineralogical identification of the soils originated in semiarid climates. The results found in the mineralogical identification were satisfactory and could be used as an auxiliary technique in soil science for the identification of clay minerals in soils.

Palavras-chave: Hyperspectral remote sensing, soils, spectral behavior, sensoriamento remoto hiperespectral, solos, comportamento espectral

1. Introdução

A espectroscopia de refletância é uma técnica que tem sido aplicada para identificação dos atributos dos solos como, umidade, textura, CTC, salinidade, mineralogia. Dessa forma compreende-se que a exploração acerca do comportamento espectral dos solos é importante, pois permite extração de informações para estudo da ciência dos solos.

A Ciência do Solo faz uso de análise interdisciplinar do corpo pedológico, uma vez que este é constituído por material orgânico, inorgânico, ar, água, organizados em uma cobertura ou perfil pedológico, sofrendo processos de alteração bem como, transformação, transporte, adição, translocação e processos intempéricos.

Os Luvissoles Crômicos é uma classe pedológica pouco profundo com horizonte A delgado sobre o horizonte B avermelhado, por vezes com acúmulo de carbonato de cálcio, não o suficiente para classificar Chernossolo (LEPSCH, 2010).

A aplicação da espectrorradiometria de refletância no estudo dos solos é relativamente recente, essas análises podem permitir a identificação de minerais nos solos e os produtos de alteração.

A assinatura espectral dos alvos é decorrente dos materiais constituintes de cada objeto, desta forma pode-se prever que os solos refletem as assinaturas espectrais dos minerais constituintes.

Nesse contexto Meneses (2001) ressalta, que as feições espectrais de um material correspondem às porções das curvas de reflectância em determinado comprimento de onda, com formas e intensidade muito bem definidas e próprias daquele material. Essas feições podem ser identificadas a partir da interação da energia eletromagnética e o sensor, esta interação da origem a processos eletrônicos e vibracionais, cada processo terá uma resposta espectral em uma região espectral diferente. Importante destacar que estas interações e suas respostas no espectro eletromagnético ocorrem devido à composição do material bem como às ligações entre os íons e às ligações químicas.

Pode-se afirmar que a presente técnica e estudo é relevante na ciência dos solos, no que tange a identificação de minerais de modo rápido, seguro e menor custo. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo a identificação mineralógica de um perfil de solo Luvissole Crômico na faixa espectral do NIR e do SWIR.

A escolha dessa classe é decorrente a sua característica pedológica de pouca alteração intempérica, já que os estudos de espectroscopia de reflectância em suma são mais aplicados a solos tropicais (MENESES, 2001; EPIPHÂNIO, 1992; BAPTISTA, 2006; MADEIRA NETO, 2000; FORMAGGIO, 2006). No que tange a faixa de comprimento de ondas analisada, NIR e SWIR, a escolha foi de acordo a intensidade dos processos de vibrações moleculares que ocorrem nas faixas supracitadas.

2. Material e Métodos

2. 1. Caracterização da área

O município de Juazeiro-Ba está localizado a norte do estado da Bahia (figura 1), as margens do rio São Francisco, o tipo climático predominante no município é o Aw' – Tropical com chuvas de verão-outono (KOPPEN-GEIGER, 1928).

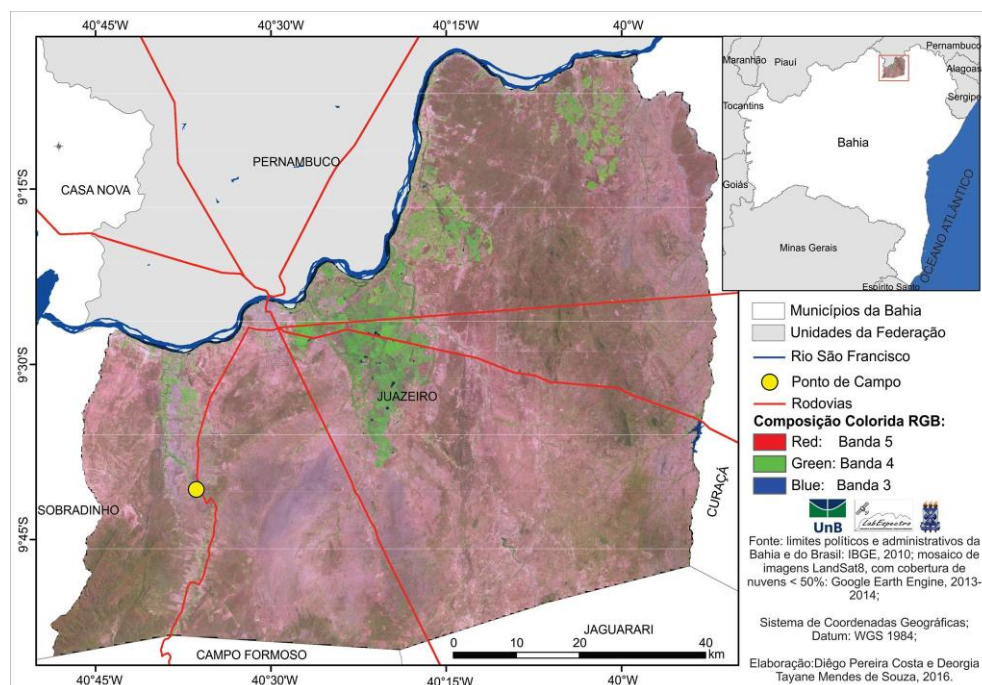


Figura 1. Localização da área de estudo

A vegetação predominante é típica Caatinga arbórea arbustiva, sendo que o uso do solo deste município está pautado na atividade de agricultura irrigada e agropecuária.

Os solos predominantes no município de acordo com SEI (2010) são Vertissolos, Planossolos, Argissolos, Neossolos, Luvisolos. A topografia é tipicamente plana com declividade de até 15°.

2.2. Etapas metodológicas

Os procedimentos adotados foram: 1) Trabalho de campo, classificação morfológica do perfil pedológico e amostragem; 2) pré tratamento das amostras para análise no espectro; 3) análise espectrorradiométrica; 4) interpretação das curvas espectrais; 5) tratamento das amostras para análise de difratometria de raio X; 6) análise dos difratogramas e interpretação; e 7) discussão dos resultados.

Para realização da classificação morfológica do perfil, foi utilizado o manual de descrição coleta de solo em campo com base Santos e colaboradores (2013). A coleta das amostras decorreu pelos horizontes descritos A, B e C. O material de origem do perfil coletado foi identificado em campo como litotipo xisto, identificou-se macroscopicamente em campo os minerais da muscovita e quartzo.

A preparação das amostras seguiu o protocolo descrito por Bem-Dor (2015), o material amostral foi peneirado em uma malha de 2mm. Referente a umidade, essa característica pode mascarar informações no espectro eletromagnético uma vez que diminui a reflectância da amostra, destarte as amostras terem sido secas em estufa em um período de 24h a 45°C. As análises espectrais foram realizadas no Laboratório de Espectrorradiometria da UEFS com o equipamento *ASD FieldSpec 4*, que abrange o intervalo de 350 a 2500 nanômetros.

A análise mineralógica dos solos, por meio da espectroscopia de reflectância, tem sido um instrumento rápido e preciso na identificação, tanto dos minerais, como dos constituintes dos solos. Para obtenção dos resultados os espectros obtidos em laboratório foram analisados a partir de procedimentos adotados por Clark (1999); Baptista (2006); Terra (2007), porém, os dados foram normalizados a partir da remoção do contínuo e os dados obtidos por meio do cálculo da profundidade da feição.

Clark (1999) afirma que o processo de remoção do contínuo isola as características espectrais e as coloca em condições de igualdade para que elas possam ser intercomparadas. A remoção do contínuo é a chave para o sucesso da identificação espectral. O cálculo de profundidade de feição espectral permite identificar a proporção da presença do mineral presente na amostra (BAPTISTA, 2006). Nesse sentido o cálculo de profundidade de feição foi realizado utilizando a equação 1. Terra (2007), aplicou a equação supracitada e encontrou alta correlação entre as bandas de absorção com o cálculo de profundidade de feição e análise geoquímica.

Equação 1: Profundidade de feição

$$D = 1 - \frac{R_b}{R_c}$$

D é a profundidade de uma banda de absorção, R_b é a reflectância no fundo da banda e R_c é a reflectância do contínuo no mesmo comprimento de onda que R_b (CLARK, 1999).

Para validação na identificação mineralógica dos solos estudados foi realizado análise de difratometria de raio X, amostra total, fração argila, etileno glicol, glicerol e aquecida 490°C.

O procedimento de preparo para amostra total foi de pulverização do material e exposta em lâminas de vidro para análise no difratômetro RIGAKU – ULTMA IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 30 kV e 15 mA.

Para a separação da fração argila foi realizado solubilização em H₂O destilada em um centrífuga à 750 rpm por 7 minutos. Descartou-se o material residual e reservou a solução em suspensão, centrifugou a 3000 rpm por 30 minutos, em seguida o material foi utilizado para elaborar as laminas orientadas e secagem ao ar. Na sequência foi utilizado o dessecador em/

etileno glicol e glicosada. Por fim, as lâminas foram aquecidas a 490°C em 4 horas e 30 minutos. Cada procedimento realizado amostral ao fim era analisado a amostra no DRX.

3. Resultados e Discussão

Os valores de profundidade de feições e as bandas de absorção estão representadas na Tabela 1. Já os espectros, esses estão representados na Figura 2, destacando a faixa analisada de 1,4 até 2,5 μm , na qual os processos de vibrações moleculares ocorrem predominantemente. As bandas de absorção, foram escolhidas por apresentarem maior profundidade de feição na faixa espectral.

Tabela 1 – Profundidade de feição do perfil Luvissole Crômico

<i>Banda de absorção</i>	<i>Horizonte A</i>	<i>Horizonte B</i>	<i>Horizonte C</i>
1,413 μm	1576	1727	1696
1,915 μm	2367	2696	2459
2,204 μm	2551	2821	2790

Clark (2007) afirma que as amostras de minerais podem ser uma mistura de minerais no qual apresentam bandas de absorção iguais e para diferenciar um mineral do outro é necessário observar a assimetria da curva, profundidade de feição e bandas de absorção secundárias.

O espectro do horizonte A apresenta menor profundidade de feição na banda centrada em 1,413 μm , que representa a adsorção da H₂O e OH⁻. Na banda 1,915 μm , encontra-se a feição decorrente da presença da absorção H₂O e de argilomineral expansivo montmorilonita. Em 2,204 μm , a fisionomia da curva espectral, profundidade e banda de absorção dos minerais caulinita e montmorillonita (Figura 2), no entanto ocorre uma inflexão suave característica da caulinita, configurando pouca presença do mineral na amostra.

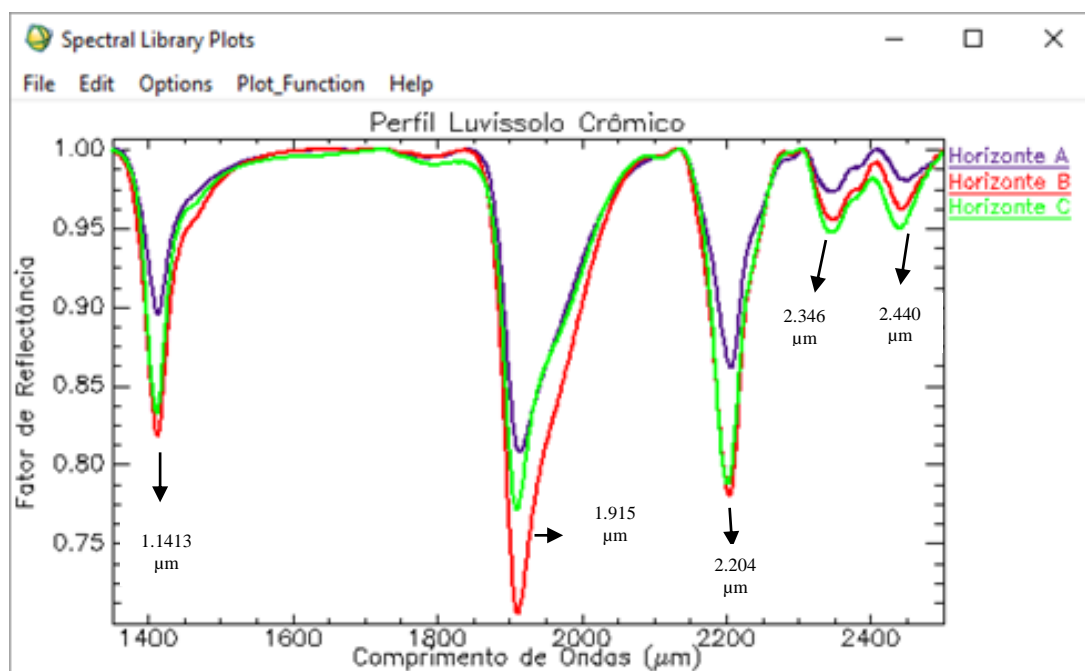


Figura 2. Biblioteca espectral Perfil Luvissole (1.400 a 2.500 μm)

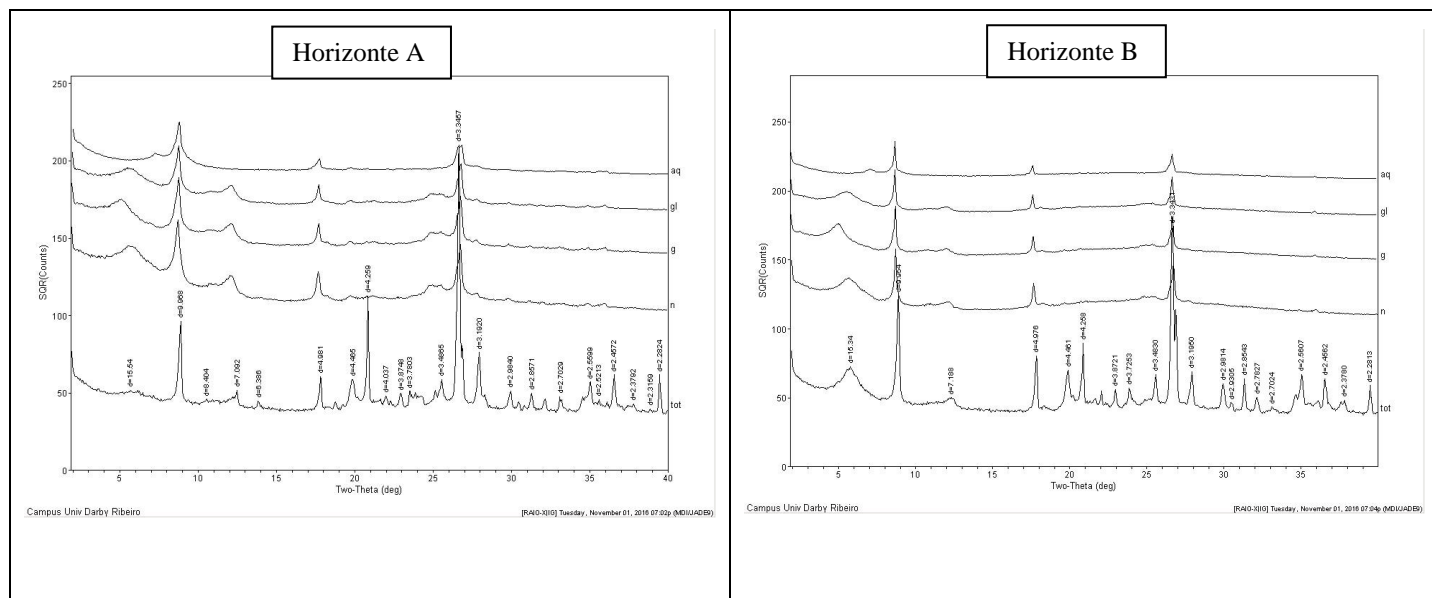
O horizonte B apresenta maior profundidade em 2,204 μm , exibindo características tanto de argilominerais do grupo das micas como do grupo das esmectitas. No entanto, o que prevalece nesse horizonte é a montmorillonita. As absorções nas bandas 2,346 μm e 2,440 μm estão presentes e representam o grupo das micas (muscovita), e essas serão discutidas no horizonte C.

No horizonte C ocorre absorções significativas em 2,204 μm , 2,346 μm e 2,440 μm , essas bandas exibem absorções da montmorillonita, illita, muscovita. Segundo Clark (1999) para diferenciar o grupo das micas (muscovita e illita) a banda de absorção 1,9 μm deve ser observada, pois, quanto menor a profundidade, mais o espectro apresenta muscovita, e quanto maior a profundidade e simetria na feição de absorção com prolongamento, prevalece a presença da illita.

Nesse contexto é possível afirmar que o espectro apresenta tanto a feição da muscovita como da illita e isso decorre das bandas de absorção centradas em 2,346 e 2,440 μm , que são feições diagnósticas da muscovita e as bandas centradas em 1,413, 1,915 e 2,204 μm , são referentes à illita como também a montmorillonita e caulinita.

Em concordância com os resultados encontrados, Hunt (1979) afirma que a intensidade dos espectros da muscovita e montmorillonita, perto de 2,205 μm , também correspondem a características da caulinita em 2,209 μm (horizonte A). Essas características são causadas por uma combinação de Al-OH, e por isso são particularmente característicos de argilas contendo alumínio. A maioria dos minerais não apresenta recursos nítidos nessa região. Aqueles que sempre contêm grupos OH constituintes, e a principal característica aparece perto de 2,2 ou 2,3 μm .

As análises de difratometria de Raio X, foram usadas para confirmar a mineralogia identificada pela espectroscopia de reflectância (Figura 3). Com exceção do quartzo que não possui feições no VNIR e SWIR e dos óxidos de ferro que apresentam feições predominantes no visível, no entanto não foi o foco do presente estudo, devido ao grupo destes minerais apresentarem predominância os processos de transições eletrônicas.



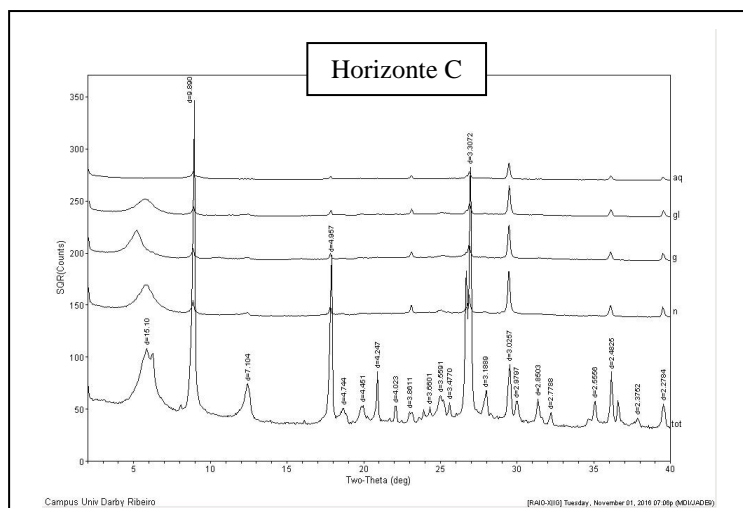


Figura 3. Difratomogramas perfil Luvisol Crômico

A partir do difratograma do horizonte A (Figura 3a), pode-se identificar os minerais montmorillonita ($15,54^{\circ}2\theta$), muscovita ($9,96^{\circ}2\theta$), caulinita ($7,09^{\circ}2\theta$), quartzo ($4,25^{\circ}2\theta$) e hematita/goethita ($2,70^{\circ}2\theta$). Na identificação da caulinita, observou-se um deslocamento e expansão na fração argila, etileno glicol e glicerol, quando aquecida o pico desaparece. O difratograma do horizonte B (Figura 3b), os minerais identificados foram montmorillonita ($15,54^{\circ}2\theta$), muscovita ($9,95^{\circ}2\theta$), caulinita ($7^{\circ}2\theta$) vermiculita ($4,46^{\circ}2\theta$), quartzo ($3,34^{\circ}2\theta$), feldspato Na-Ca ($3,19^{\circ}2\theta$), hematita/goethita ($2,70^{\circ}2\theta$). Já no horizonte C, os minerais identificados foram a montmorillonita interestratificada ($15,10^{\circ}2\theta$), muscovita ($9,89^{\circ}2\theta$), quartzo ($4,24^{\circ}2\theta$ e $3,30^{\circ}2\theta$), feldspato Na-Ca ($3,18^{\circ}2\theta$) goethita ($2,77^{\circ}2\theta$).

Os difratogramas dos horizontes A e B (Figura 3a, 3b) apresentaram picos da montmorillonita em $15,54^{\circ}2\theta$ na fração total. Na fração argila, glicosada este pico expande e desloca-se para $17^{\circ}2\theta$ e quando aquecida, o pico desaparece. Esse processo ocorre devido a presença da H_2O na intracamada e que desaparece ao ser aquecida. Ressaltando que no horizonte B o pico largura à meia altura é mais expressivo na fração total do que no horizonte A.

Os óxidos de ferro pedogenéticos refletem as condições ambientais e os solos com hematita exclusiva são praticamente inexistentes e a goethita, ainda em pequena quantidade, ainda está presente (RESENDE et al, 2005). Corroborando com a citação, foi encontrado o pico da hematita em $2,7^{\circ}2\theta$, e nesse pico ($2,7^{\circ}2\theta$) pode ocorrer a presença tanto da goethita como da hematita. No horizonte C (Figura 3c) o pico da goethita foi identificado.

Nos solos as micas são, em sua grande parte, de origem primária dada sua ocorrência numa ampla variedade de rochas (xistos, calcários, filitos, gnaisses etc.). Com a alteração da mica, constitui-se outros minerais como esmectitas e vermiculita. Essa transformação é parcial, ocorrendo mica interestratificada (RESENDE et al, 2005).

Em todos os horizontes como também em todos os procedimentos de análise DRX, ocorre o pico do quartzo em conjunto com o da muscovita ($3,34^{\circ}2\theta$). No horizonte A, quando amostra aquecida a largura à meia altura se expande, comparado aos demais horizontes subsuperficiais. Este pico pode apresentar dois fenômenos, o primeiro interestratificação e o outro, baixa cristalinidade da muscovita devido a largura do pico.

Em $9,98^{\circ}2\theta$ encontra-se o pico da muscovita e foi possível diferenciá-la da illita, devido aos picos secundários diagnósticos. Na fração total o horizonte A apresenta um pico mais largo a largura meia altura enquanto que no horizonte B os picos são agudos e intensos. No horizonte C o pico é ainda mais intenso comparado ao horizonte B na fração total, representando a pouca alteração mineralógica nos horizontes subsuperficiais.

A intensidade do pico da muscovita permite semiquantificar, pois, segundo Rezende e colaboradores (2005) a difração de raio X permite quantificar os minerais presentes na amostra, e a área dos picos é o parâmetro que se usa, comparando-se a um padrão, para estimar a quantidade existente do material.

Fazendo uma analogia com o espectro e o difratograma ambos do horizonte C, apresentou-se valor de profundidade de feição maior nas bandas de absorção foram 2,346 μm e 2,44 μm , se comparado aos outros horizontes e essas bandas se referem à presença da muscovita. O difratograma do horizonte C, na fração total, apresentou o pico mais intenso da muscovita, se comparado aos demais horizontes. Nos horizontes A e B, foram identificados montmorillonita e caulinita, tanto por DRX, como por espectroscopia de reflectância.

4. Conclusões

Os minerais do grupo dos óxidos de ferro como hematita e goethita respondem espectralmente predominantemente na faixa do visível, assim não foi possível identificar os minerais supracitados na faixa espectral estudada, visto que o objetivo era identificar os minerais que tenha processos vibracionais moleculares predominantes. Entretanto foi possível a identificação dos óxidos de ferro por meio de DRX.

A partir da análise dos dados obtidos em laboratório (espectroscopia de reflectância e DRX) pode-se afirmar que a espectroscopia de reflectância permitiu de forma segura a identificação mineralógica em solos com pouca alteração pedogenética e que apresentam uma diversidade mineralógica expressiva na identificação em uma curva espectral, como o Luvissole Crômico estudado.

Novos estudos deverão ser incentivados para ampliar as compreensões das relações entre as características das feições espectrais com a identificação e quantificação de minerais em ambientes como os de Semiárido.

Agradecimentos

Aos estudantes do curso de Geografia da UEFS, Selma Barbosa Bastos e Diego Pereira Costa, pela contribuição do trabalho de campo e debates sobre os temas abordados neste trabalho. Ao Labespectro (PPGM/UEFS) pela aquisição dos espectros de reflectância das amostras; ao Laboratório de Difractometria de raios-X (IG/UnB) pela realização dos ensaios de difractometria de raio-X das amostras.

Referências Bibliográficas

- Baptista, G. M. M. **Sensoriamento Remoto hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais**. Brasília: Universa, 2006.
- Ben-dor, E. ONG, C. LAU, L.C. Reflectance measurements of soils in the laboratory: standards and protocols. **Geoderma**. 2015
- Clark, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. **Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing**, 3 ed., Vol. 3, edited by Andrew N. Rencz. 1999.
- Clark, R.N. et al, USGS digital spectral library splib06a: U.S. Geological Survey, 2007, disponível em <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06>, acesso em: 13 de novembro de 2016.
- Epiphânio, J.C.N. et al. **Comportamento espectral de solos do estado de São Paulo. São José dos Campos**. INPE, 1992.
- Formaggio A. R., epiphânio, J. C. N., Valeriano, M. M. & Oliveira, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista brasileira Ciência do Solo**, Campinas, 20:467-474, 1996.
- Hunt, R G. Near-infrared (1.3-2.4 μm) spectra of alteration minerals- Potential for use in remote sensing. **Eophysics**, vol. 44, no. 12. 1979); p. 1974-1986,
- Köppen, W.; Geiger, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- LEPSCH, I, F. **Formação e Conservação dos Solos**. Ed. Oficina de texto. São Paulo, SP. 2010.

- Madeira Netto, J. S. Baptista, G. M. M. **Reflectância espectral de solos**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2000.
- Meneses, P. R. Origem das feições espectrais. In: **Sensoriamento remoto reflectância dos alvos naturais**. Org. Meneses, P. R, Madeira Netto, J.S. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrado. 2001
- Santos, R. D.; Lemos, R. C.; Santos, H. G. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: SBCS, 2013. 99 p.
- Terra, F. S. **Estudo da contribuição do comportamento espectral de diferentes substratos do bioma pampa na componente espectral dos modelos agrometeorológicos-espectrais**. 2007. 207 p. (Dissertação) Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) área de concentração Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Ambiente.