

Uso de dados espectrais para estimar a relação entre óxidos de ferro e minerais 2:1 com suas respectivas reflectâncias

Use of spectral data for estimating the relationship between iron oxides and 2:1 minerals with their respective reflectances

Everson Cezar^{1*}; Marcos Rafael Nanni²; Marcelo Luiz Chicati³;
Ivan Graneman de Souza Júnior⁴; Antônio Carlos Saraiva da Costa²

Resumo

Os óxidos de ferro e os minerais 2:1 possuem forte influência sobre o comportamento espectral dos solos. No entanto, estudos que abordem de maneira mais profunda a relação entre ambos e suas respectivas reflectâncias são escassos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de estimar a relação entre óxidos de ferro e minerais 2:1 com seus respectivos fatores de reflectância, e avaliar se tal relação apresenta comportamento linear. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com 4 repetições por tratamento. As leituras espectrais das amostras de hematita, goethita, magnetita e bentonita foram realizadas por meio do equipamento FieldSpec 3 JR, o qual recobre a faixa espectral de 350 a 2500 nm. Após as leituras, foram escolhidos os intervalos que melhor representavam os minerais e realizaram-se as análises estatísticas a partir dos fatores de reflectância médios encontrados nestes pontos. Os resultados mostraram que a hematita, goethita e magnetita apresentam relação não linear com seus respectivos fatores de reflectância, enquanto que a bentonita apresenta relação linear não só no intervalo estudado, mas em toda faixa coberta pelo equipamento. Desta maneira, conclui-se que quantidades relativamente pequenas destes óxidos de ferro são capazes de afetar a reflectância do solo da mesma forma que quantidades próximas de 100%. Com relação aos minerais 2:1 conclui-se que o aumento na proporção dos mesmos em uma determinada classe de solo leva a uma queda progressiva do fator de reflectância em todo o espectro-óptico, assim como descrito para outros elementos.

Palavras-chave: Comportamento espectral, raios-x, albedo, sensoriamento remoto

Abstract

Iron oxides and 2:1 minerals have a strong influence on the spectral behavior of soils. However, studies that address more deeply the relationship between them and their reflectances are scarce. Thus, the objective of this study was to estimate the relationship between iron oxides and 2:1 minerals with their reflectance factors, and assess whether such a relationship presents a linear behavior. The experimental design was completely randomized with four replicates per treatment. The spectral readings of the samples of hematite, goethite, magnetite and bentonite were performed using the equipment FieldSpec 3 JR, which covers the spectral range from 350 to 2500 nm. After the readings, were chosen the intervals that best represented the minerals and performed statistical analysis from the average reflectance factors found in these points. The results showed that the hematite, goethite and magnetite have nonlinear relationship with their reflectance factors, while bentonite has not only linear relationship in the range

¹ Eng.º Agr.º, Discente de Doutorado em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Programa de Pós-graduação em Agronomia, PGA, Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR. E-mail: eversoncezar@yahoo.com.br

² Profs. Drs., PGA, UEM, Maringá, PR. E-mail: mrnanni@uem.br; acscosta@uem.br

³ Prof. Dr., DEC, UEM, Maringá, PR. E-mail: mlchicati@yahoo.com.br

⁴ Pesquisador Dr., Laboratório de Química e Mineralogia de Solos, UEM, Maringá, PR. E-mail: ivangsjunior@gmail.com

* Autor para correspondência

studied, but in the entire area covered by the equipment. Thus, we conclude that relatively small amounts of iron oxides are able to affect soil reflectance in the same way that amounts close to 100%. With respect to mineral 2:1 concludes that the increase in the proportion of them in a certain class of soil leads to a progressive decrease of the reflectance factor across the entire spectrum-optical, as described for other elements.

Key words: Spectral behavior, x-ray, albedo, remote sensing

Introdução

O sensoriamento remoto aplicado no estudo da terra tem crescido notavelmente na última década, estimulado por rápidos avanços nas tecnologias de informação e espacial. Entre os avanços, o uso da espectroscopia de reflectância tem sido o mais importante, por ser uma ferramenta quantitativa em laboratório muito utilizada por estudiosos da área de solo.

Dentro do sensoriamento remoto, o fator a ser estudado é a reflectância, a qual, segundo Stoner e Baumgardner (1981), é uma propriedade cumulativa derivada do comportamento espectral inerente da combinação heterogênea de seus componentes. O comportamento espectral do solo é afetado por diversos fatores como matéria orgânica, tamanho de partícula, estrutura do solo, rugosidade superficial, umidade, quantidade de minerais carbonatados, presença ou não de quartzo, óxidos de ferro e minerais 2:1 (DALMOLIN et al., 2005; CIERNIEWSKI; KUSNIEREK, 2010).

Dentre estes fatores, os óxidos de ferro e os minerais 2:1 requerem uma atenção especial, em função da sua influência marcante sobre o albedo do solo quando comparados aos demais. Vários pesquisadores têm buscado caracterizar e quantificar a abundância desses minerais, principalmente os óxidos de ferro a partir de amostras de solo no estado natural, tendo como variável preditora a sua reflectância (BEN DOR; BANIN, 1994; NANNI; DEMATTÊ, 2006). Outros trabalhos têm demonstrado de forma simplificada o comportamento espectral de tais minerais puros com suas bandas de absorção específicas (MADEIRA

NETTO, 1996; SCHWERTMANN; CORNELL, 1996).

Porém, trabalhos que abordem de maneira mais profunda a variação no fator de reflectância destes elementos à medida que ocorre alteração na proporção dos mesmos ainda são escassos. Desta forma, a busca por um melhor entendimento a cerca da assinatura espectral dos argilominerais e minerais de ferro puros faz-se necessária, para que se possa de fato realizar um estudo mais preciso entre a estimativa de abundância desses minerais e a resposta espectral dos solos.

No entanto, para que isso ocorra, é necessário que se considere os diferentes tipos de misturas minerais, uma vez que a mistura espectral é proveniente da integração de dois ou mais componentes distintos que geram um comportamento híbrido de seus integrantes. Assim, o espectro de uma mistura é uma combinação das reflectâncias dos membros puros ou finais presentes (CARVALHO JÚNIOR et al., 2004). Segundo estes autores, existem dois tipos de mistura, sendo classificadas como macroscópicas e microscópicas ou íntimas.

A mistura macroscópica considera que o espalhamento de um fóton depende somente da área de cada espécime presente em uma mistura (JOHNSON et al., 1983), enquanto na mistura íntima, a luz é espalhada de forma múltipla entre as espécies minerais (MUSTARD; PIETERS, 1989).

O objetivo deste trabalho foi de empregar a técnica de espectrorradiometria para estimar a relação entre óxidos de ferro e minerais 2:1 com seus respectivos fatores de reflectância, e avaliar se tal relação apresenta comportamento linear.

Material e Métodos

Os óxidos de ferro utilizados na realização dos tratamentos foram sintetizados em laboratório, seguindo metodologia preconizada por Schwertmann e Cornell (1991). A argila bentonítica e a barita foram obtidas de jazidas naturais, no entanto, as mesmas passaram por processos de pré-tratamentos como descrito por Neumann et al. (2001, 2002).

As amostras de hematita, goethita, magnetita, bentonita e barita foram analisadas por Difração de Raios-X (DRX) na forma de pó utilizando um equipamento Shimadzu XRD 6000. Os difratogramas de raios-x das amostras de bentonita e de barita foram obtidos utilizando radiação $\text{CoK}\alpha$ em uma varredura escalonada de $0,02^\circ$ 2θ por minuto na faixa de 5 a 65° 2θ , enquanto que para os minerais de ferro, foi utilizada a radiação $\text{CuK}\alpha$ e um intervalo de 10 a 70° 2θ . Após a leitura, foi gerado um arquivo txt contendo todos os resultados. Estes dados, foram inseridos no software ConvX – XRD para conversão em formato DiffracPlus RAW. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões contidos no PDF 02 (ICDD, 1996) em software X'Pert HighScore Plus.

Em ambiente livre da presença de luz externa, os minerais foram submetidas à avaliação em espectrorradiômetro FieldSpec 3 JR, o qual recobre a faixa espectral de 350 a 2500 nm. O equipamento foi programado para realizar 50 leituras por amostra, resultando em uma curva espectral média. A geometria de aquisição dos dados utilizou-se de placa padrão branca com 100% de reflectância calibrada de acordo com Labsphere (1996).

O leitor de fibra óptica foi colocado em posição vertical de 8 cm de distância da plataforma de apoio para amostras. A área de leitura gerada foi de aproximadamente 2 cm^2 . A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada de 650 W, com feixe não colimado para o plano visado, posicionada a 35 cm da plataforma e com um ângulo de 30° em relação ao plano horizontal. A relação entre a energia

refletida pelo alvo e a energia refletida pela placa de referência gerou o fator de reflectância bidirecional, o qual foi utilizado no estudo dos minerais.

Com relação aos tratamentos, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições, para estudar os efeitos de 11 doses de bentonita (Tratamentos): 0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 gramas, 11 doses de goethita e magnetita (Tratamentos): 0,0; 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05; 1,20; 1,35; 1,50 gramas e 11 doses de hematita (Tratamentos): 0,0; 0,12; 0,24; 0,36; 0,48; 0,60; 0,72; 0,84; 0,96; 1,08; 1,20 gramas, sobre o fator de reflectância. Estas doses descritas acima simularam os teores de cada elemento de 0 a 100% no solo.

Os resultados foram avaliados por meio de análise de regressão desenvolvida no Sisvar 5.1 (FERREIRA, 2008) assim como no Statistical Analysis System (SAS, 2001). Nos modelos polinomiais todos os coeficientes da regressão foram testados por meio do “teste t”, ao nível de 1% de probabilidade. Nos modelos não lineares, os coeficientes foram testados pelo intervalo de confiança, ao nível de 5%.

Neste último, utilizou-se o algoritmo de Levenberg-Marquardt para determinação das melhores combinações dos valores iniciais que produziram as menores somas de quadrados residuais. Com Aquela combinação que apresentou a menor soma de quadrados residual, o programa SAS iniciou o método iterativo.

Em função da dificuldade de se concentrar um determinado elemento como hematita, por exemplo, até 100% optou-se por trabalhar com diluições, onde foi sempre mantido o mesmo peso em todos os tratamentos, porém, variando-se a quantidade de cada elemento. Para isso, os elementos foram diluídos em barita.

A barita foi escolhida após terem sido realizadas leituras com equipamento de raios-x e testes com o espectrorradiômetro, os quais indicaram não haver influência da mesma no comportamento espectral

dos elementos avaliados. Portanto, este material funcionou primeiro como testemunha (dose 0) e depois como enchimento (outras doses), tendo somente função de completar o peso fixado para cada tratamento.

Resultados e Discussão

Hematita

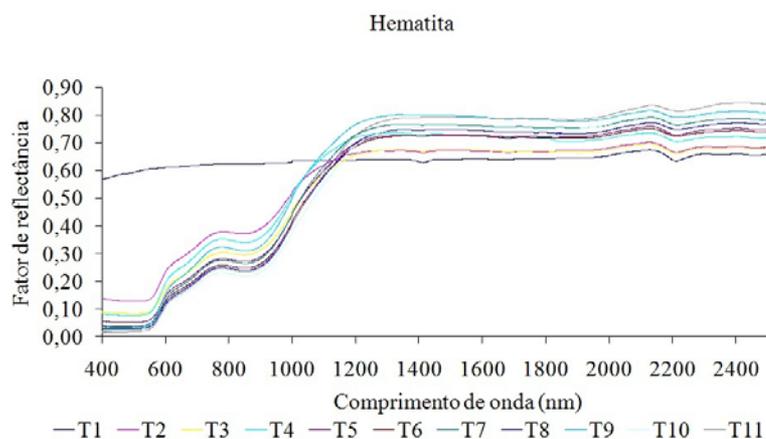
Observa-se através da Figura 1 que a hematita apresentou uma forte absorção na região do visível e do infravermelho próximo, não ocorrendo mudança no padrão de absorção e sim na amplitude do fator de reflectância com o aumento de sua proporção sendo, portanto, a região mais indicada para sua caracterização e quantificação, concordando desta forma, com o descrito por Madeira Netto (1996). Por outro lado, observa-se que a região do infravermelho de ondas curtas não apresentou banda de absorção,

sendo, portanto uma região não representativa de tal mineral.

O comportamento espectral médio obtido quando avaliado o intervalo de 780 a 950 nm, assim como, o modelo matemático ajustado aos valores de fator de reflectância nesta faixa do espectro, são apresentados abaixo por meio da Figura 2.

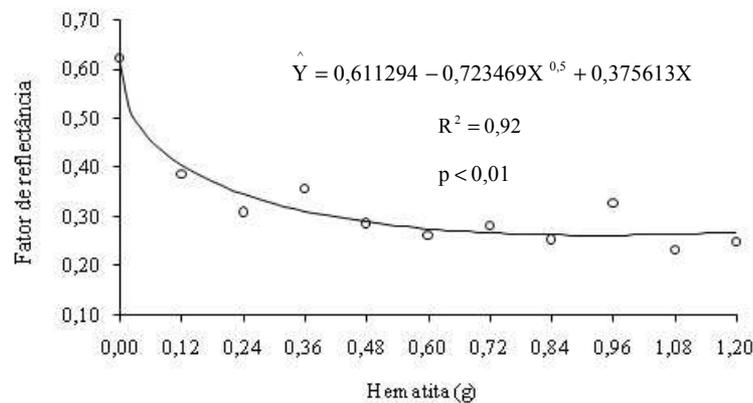
O fator de reflectância médio obtido nesta região apresentou comportamento não linear, sendo o conjunto de dados melhor ajustado ao modelo raiz quadrada. Por meio da Figura 2, é possível constatar que ocorre uma queda acentuada no fator de reflectância até a dose de 0,24 gramas (20% de hematita), sendo que a partir daí a variação é pequena e o comportamento apresenta tendência mais estável. Desta forma, pressupõe-se por meio da curva que 20% de hematita no solo seja capaz de absorver a energia eletromagnética com eficiência próxima a proporção de 100%.

Figura 1. Comportamento espectral obtido para cada tratamento contendo diferentes porcentagens de hematita.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 2. Equação de regressão obtida para a hematita sintetizada em laboratório.

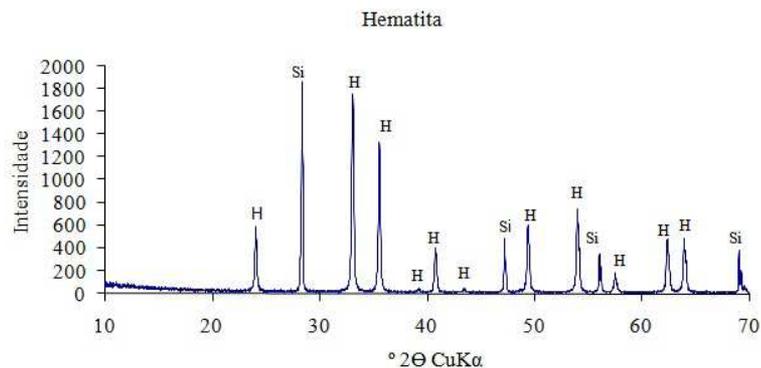


Fonte: Elaboração dos autores.

Esta característica se deve provavelmente a sua área superficial específica, a qual possui valor elevado, fazendo com que o mineral mesmo em pequenas quantidades seja capaz de recobrir uma extensa área, ou no caso do presente estudo, a maioria das partículas de barita, influenciando no espalhamento do fóton uma vez que se trata de uma mistura macroscópica, estando de acordo com o preconizado por Johnson et al. (1983). Associado a

isso, pesa o fato de que a hematita possui um grande efeito pigmentante mesmo em baixa concentração, levando a saturação pela cor como descrito por Fernandes et al. (2004). Segundo este pesquisador, quantidades próximas 20 % de hematita são suficientes para ocorrência deste fenômeno. O difratograma de raios-x obtido para a hematita sintetizada em laboratório é apresentado abaixo através da Figura 3.

Figura 3. Difratograma de raios-x (montagem em pó) da hematita sintética. H – hematita, Si – silício.



Fonte: Elaboração dos autores.

Os resultados demonstraram que não houve misturas de fases, e que o mineral encontra-se puro, com posições de picos característicos do mesmo. O silício presente na amostra aparece como padrão interno, e não como um contaminante. Desta forma, fica claro que toda e qualquer variação no fator de reflectância ocorreu somente em função da hematita.

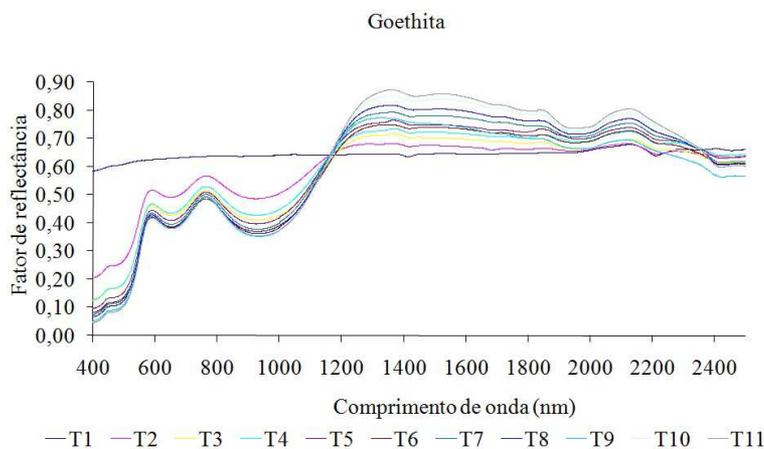
Goethita

Os resultados das leituras espectrorradiométricas (Figura 4) mostraram que a goethita, assim como a hematita, apresenta forte relação com as regiões do visível e do infravermelho próximo, fato este que ocorre devido aos processos de transição eletrônica

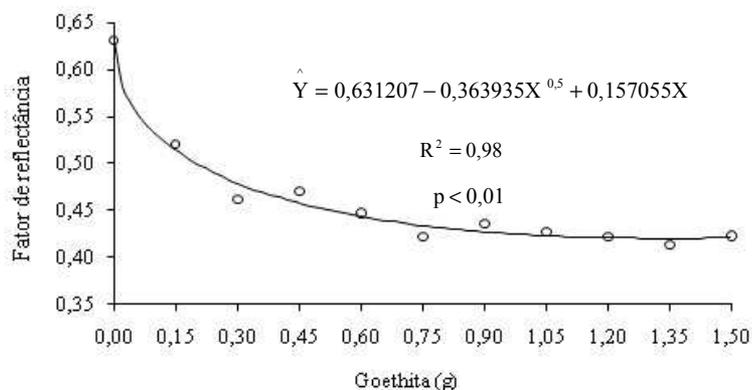
como descrito por Hunt (1980). No entanto, observou-se que diferentemente da hematita, a goethita apresenta forte banda de absorção na região próxima de 700 nm e de 1900 nm, sendo importante na diferenciação entre os espectros dos minerais. A banda próxima de 1900 nm ocorre em função da presença de água na estrutura do mineral, uma vez que a goethita é um óxido de ferro hidratado, mais precisamente um oxihidróxido (COSTA; BIGHAM, 2009).

O comportamento espectral médio da goethita sintética na região de 595 a 770 nm, assim como o modelo ajustado ao conjunto de dados nesta faixa, são demonstrados em seguida pela Figura 5.

Figura 4. Comportamento espectral obtido para cada tratamento contendo diferentes porcentagens de goethita.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 5. Equação de regressão obtida para a goethita sintetizada em laboratório.

Fonte: Elaboração dos autores.

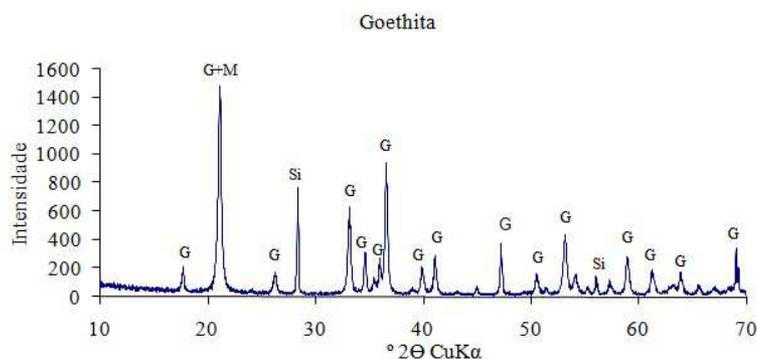
Observou-se que a goethita apresentou comportamento não linear, sendo os dados de fator de reflectância bem ajustados quando utilizado o modelo raiz quadrada. A curva apresentou queda acentuada até a dose de 0,60 gramas (40% de goethita), sendo o fator de reflectância mais estável a partir deste ponto, demonstrando pequena variação na absorção.

Provavelmente, este comportamento encontra-se ligado à cobertura da barita pela goethita (Pigmentação), assim como ocorrido para hematita, visto que a mesma apresenta altos valores de área superficial específica, ou seja, mesmo em pequenas quantidades este mineral é capaz de recobrir uma extensa área, seja em função de seu tamanho diminuto ou baixo grau de cristalinidade como descrito por Costa e Bigham (2009).

Portanto, pode se concluir que o mineral goethita, quando presente nos solos mesmo em pequena proporção, é capaz de reduzir o fator de reflectância de maneira acentuada na região de 595 a 770 nm. No entanto, vale frisar que embora

tenha sido pesquisado este intervalo, toda a região do visível e do infravermelho próximo apresentou comportamento semelhante ao descrito acima. O difratograma de raios-x obtido para a amostra de goethita sintética é apresentado abaixo por meio da Figura 6.

O difratograma indicou que a goethita sintetizada em laboratório é pura, não mostrando evidência de outra fase. O elemento silício aparece nos difratogramas como padrão interno adicionado à goethita, não tendo influência sobre os resultados. A interpretação da amostra por meio dos cartões do ICDD (1996) mostraram que todos espaçamentos (d) e posições dos picos pertencem ao mineral em questão. Desta forma, toda e qualquer variação que ocorreu na leitura espectral, foi somente em função das características deste mineral, dando desta forma maior confiabilidade ao conjunto de dados submetido à pesquisa, assim como aos resultados alcançados.

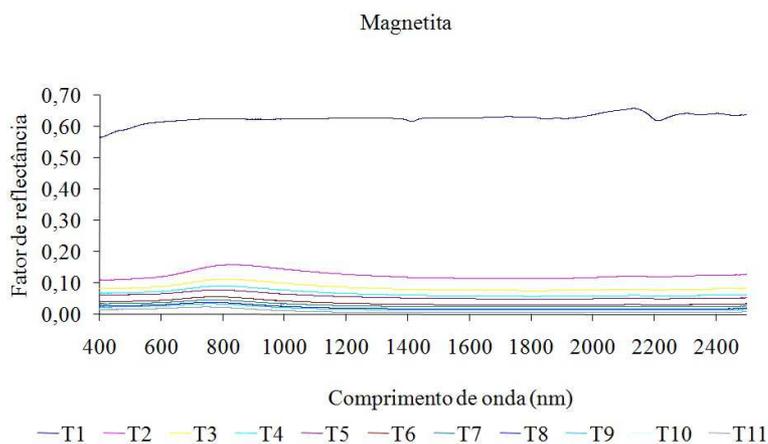
Figura 6. Difratoograma de raios-x (montagem em pó) da goethita sintética. G – goethita, Si – silício.

Fonte: Elaboração dos autores.

Magnetita

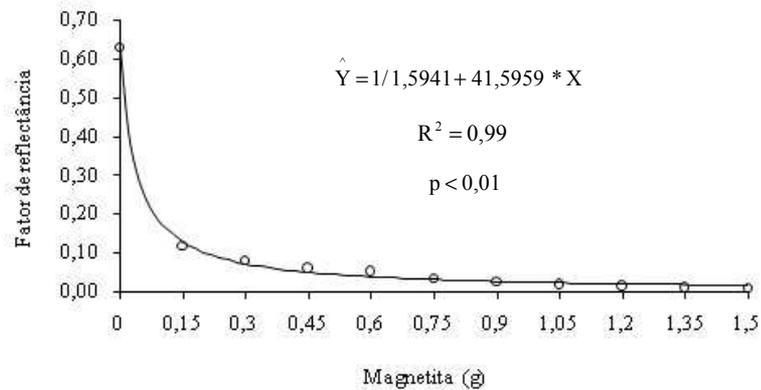
O comportamento espectral da magnetita mostrou-se extremamente limitado em toda a faixa de leitura realizada pelo equipamento FieldSpec 3 JR, não exibindo bandas de absorção. Quando comparada a testemunha (T1) com o segundo tratamento (T2) observou-se que o fator de reflectância diminuiu acentuadamente de cerca de 0,6 para cerca de 0,1. Quando comparada a testemunha com os demais tratamentos a queda no fator de reflectância é ainda maior, ficando abaixo de 0,08 (Figura 7).

Esses resultados concordam com o preconizado por Hunt, Salisbury e Lenhoff (1971), onde tal pesquisador afirma que o espectro de reflectância deste material é inexpressivo, girando em torno de 5% na região do visível e do infravermelho médio. A Figura 8 a seguir mostra o fator de reflectância médio da magnetita para todos os tratamentos na faixa espectral de 1200 a 1930 nm, assim como o modelo ajustado ao conjunto de dados.

Figura 7. Comportamento espectral obtido para cada tratamento contendo diferentes porcentagens de magnetita.

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 8. Equação de regressão obtida para a magnetita sintetizada em laboratório.



Fonte: Elaboração dos autores.

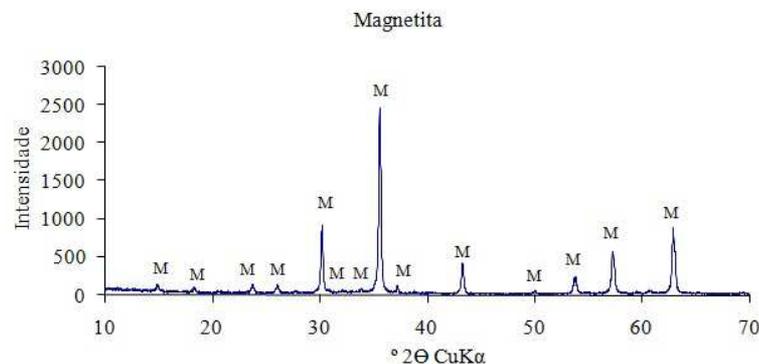
Observa-se que a capacidade desse mineral opaco em absorver a energia eletromagnética é extremamente elevada, causando uma forte redução do fator de reflectância, estando de acordo com o descrito por Hunt, Salisbury e Lenhoff (1971) e Madeira Netto (1996). O ajuste do modelo ao conjunto de dados mostra que este elemento apresenta comportamento hiperbólico com uma queda acentuada no fator de reflectância até a dose de 0,15 gramas (10% de magnetita) e, a partir deste ponto a queda torna-se menos acentuada, não sendo significativa.

Desta forma, pode se concluir que um solo contendo cerca de 10% de óxido de ferro opaco terá

seu albedo reduzido para níveis considerados baixos, o que acarretará em uma queda acentuada do fator de reflectância, fato este que leva ao mascaramento do efeito de outras fases cristalinas presentes na amostra de solo. Cabe frisar ainda, que embora tenha sido avaliado o intervalo de 1200 a 1930 nm, houve forte redução do fator de reflectância na região do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, ou seja, em toda a faixa de leitura do equipamento (350 a 2500 nm).

O difratograma de raios-x apresentado por meio da Figura 9, mostrou que a magnetita sintética foi o único mineral a participar da avaliação, não sofrendo, portanto influência de outro elemento.

Figura 9. Difratograma de raios-x (montagem em pó) da magnetita sintética. M – magnetita.



Fonte: Elaboração dos autores.

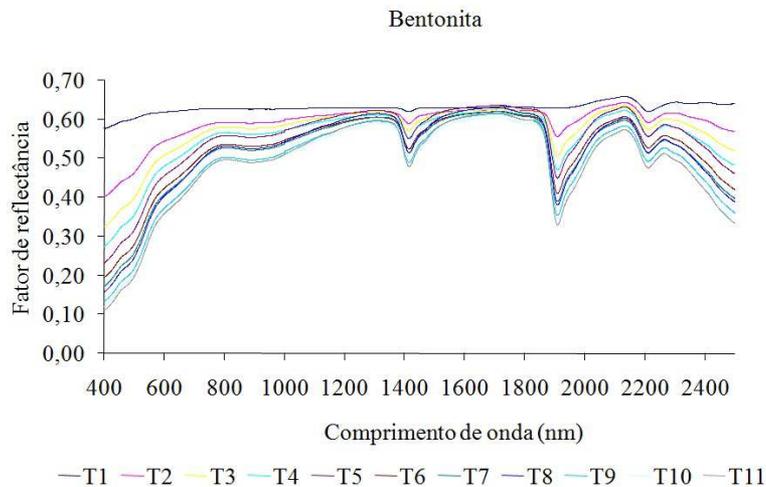
Portanto, a partir destes resultados sugere-se que outros minerais opacos como a titanomagnetita e a ilmenita encontradas nos solos provenientes de basalto, apresentem comportamento espectral semelhante.

Bentonita

As curvas espectrais obtidas para este mineral 2:1, mostraram que o mesmo apresenta três bandas de absorção bem distintas, sendo uma próxima de 1400 nm, uma próxima de 1900 nm e outra próxima de 2200 nm (Figura 10). Tais absorções devem-se a presença de água na estrutura do mineral, como descrito por Hunt e Salisbury (1970).

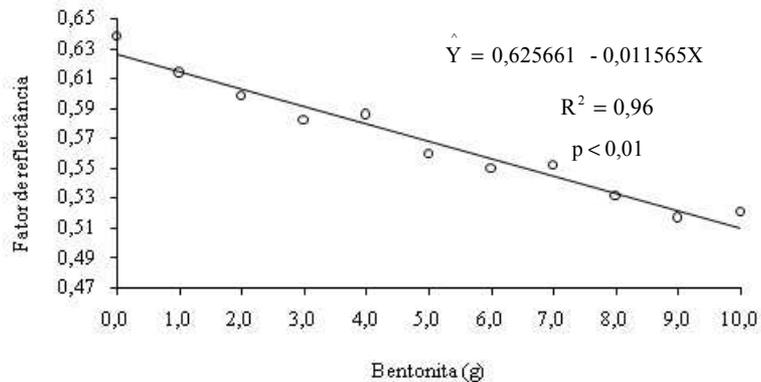
Observou-se que o aumento na quantidade de mineral 2:1 fez com que a intensidade de absorção nas bandas espectrais citadas acima fosse maior. Da mesma forma, ficou evidenciado que à medida que ocorreu aumento na quantidade destes minerais, ocorreram reduções do fator de reflectância em toda a curva espectral (350 a 2500 nm), sugerindo que o aumento na quantidade deste tipo de mineral em uma determinada classe de solo é capaz de influenciar em toda a curva, e não em um ou outro ponto específico. A Figura 11, apresenta o comportamento espectral no intervalo de 1730 a 2140 nm, assim como o modelo ajustado ao conjunto de dados.

Figura 10. Comportamento espectral obtido para cada tratamento contendo diferentes porcentagens de bentonita.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 11. Equação de regressão obtida para a bentonita proveniente de depósito geológico.

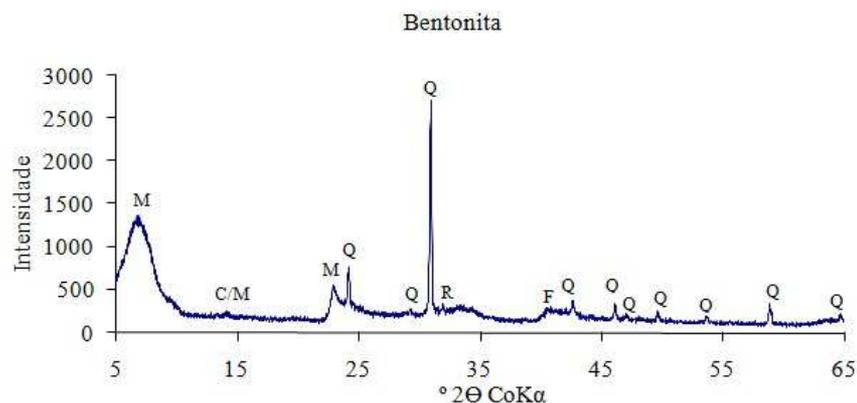


Fonte: Elaboração dos autores.

Como observado, o fator de reflectância apresentou comportamento linear negativo à medida que aumentou a quantidade de minerais 2:1 adicionados a barita, sugerindo, que tal comportamento seja semelhante quando do aumento da quantidade deste mineral no solo natural. Esta queda acentuada no albedo se justifica em função do aumento na quantidade de água na amostra, uma vez que os minerais 2:1 apresentam moléculas de água entre as células unitárias (HUNT; SALISBURY, 1970).

Este resultado concorda com os alcançados por Rencz (1999) e Cierniewski e Kusnierek (2010). No entanto, discorda daqueles obtidos por Lobell e Asner (2002), os quais afirmam que o aumento na quantidade de água leva a uma redução na reflectância do solo, a qual ocorre de maneira exponencial. A Figura 12 a seguir representa o difratograma de raios-x da bentonita com suas respectivas fases cristalinas.

Figura 12. Difratograma de raios-x (montagem em pó) da bentonita proveniente de depósito geológico. E – esmectita (montmorilonita), C – caulinita, Q – quartzo, R – rutilo, F – feldspato.



Fonte: Elaboração dos autores.

O difratograma obtido para a bentonita mostrou que essa esmectita foi o mineral dominante na amostra, seguida do quartzo, caulinita, rutilo e feldspato, sugerindo, portanto, que seu efeito foi capaz de sobrepor o efeito dos outros minerais, inclusive do quartzo, o qual deveria aumentar o fator de reflectância. Estes resultados assemelham-se com aqueles obtidos por Neumann et al. (2002) e Leite, Raposo e Silva (2008), durante caracterização mineralógica e estrutural das bentonitas brasileiras e importadas.

Conclusões

Os minerais hematita, goethita e magnetita sintetizados em laboratório e tidos como misturas macroscópicas apresentaram relação não linear com seus respectivos fatores de reflectância nas faixas espectrais de 780 a 950 nm, 595 a 770 nm e 1200 a 1930 nm, respectivamente;

A bentonita representativa dos minerais 2:1, também considerada mistura macroscópica apresentou relação linear com seus respectivos fatores de reflectância nas faixas espectrais de 1730 a 2140 nm;

A hematita apresentou saturação pela cor quando atingida a quantidade de 20%;

A magnetita reduziu o fator de reflectância próximo de zero quando atingida a quantidade de 10%.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de Doutorado nº do processo 141874/2009-0.

Referências

BEN-DOR, E.; BANIN, A. Visible and near-infrared (0.4–1.1 μm) analysis of arid and semiarid soils. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 48, n. 3, p. 261-274, 1994.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SOUZA MARTINS, E.; CARVALHO, A. P. F.; MENESES, P. R.; GUIMARÃES, R. F.; FONSECA CARDOSO, F. B. Estimativa da abundância de minerais do depósito de níquel laterítico da mina fazenda por espectrorradiometria. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 579-586, 2004.

CIERNIEWSKI, J.; KUSNIEREK, K. Influence of several soil properties on soil surface reflectance. *Quaestiones Geographicae*, Poznan, Polônia, v. 29, n. 1, p. 13-25, 2010.

COSTA, da A. C.; BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. *Química e mineralogia do solo: conceitos básicos*. Viçosa, SBCS, 2009. p. 1-695.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de reflectância difusa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 245-257, 2004.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III oxides and hidróxidos. *Modern Geology*, New York, v. 2, n. 3, p. 195-205, 1971.

HUNT, G. R. Electromagnetic radiation: The communication link in remote sensing. In: SIEGAL, B. S.; GILLESPIE, A. R. (Ed.). *Remote sensing in geology*. New York: J. Wile & Sons, 1980. p. 5-45.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicates minerals. *Modern Geology*, New York, v. 1, n. 4, p. 283-300, 1970.

INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA – ICDD. *Software: x'pert highscore plus*, 2004. Banco de dados: 1996.

JOHNSON, P. E.; SMITH, M. O.; TAYLOR-GEORGE, S.; ADAMS, J. B. A semi-empirical method for analysis of the reflectance spectra of binary mineral mixtures. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 88, n. 4, p. 3557-3561, 1983.

LABSPHERE REFLECTANCE CALIBRATION LABORATORY. *Spectral reflectance target calibrated from 0.25-2.5 nm reported in 0.050 nm intervals*. Sutton, 1996. 5 p.

- LEITE, I. F.; RAPOSO, C. M. O.; SILVA, S. M. L. *Caracterização estrutural de argilas bentoníticas nacional e importada: antes e após o processo de organofilização para utilização como nanocargas*. Cerâmica, São Paulo, v. 54, n. 331, p. 303-308, 2008.
- LOBELL, D. B.; ASNER, G. P. Moisture effects on soil reflectance. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 66, n. 3, p. 722-727, 2002.
- MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. *Photo Interpretation*, Paris, v. 34, n. 2, p. 59-76, 1996.
- MUSTARD, J. F.; PIETERS, C. M. Photometric phase functions of common geologic minerals and applications to quantitative analysis of mineral mixture reflectance spectra. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 94, n. 10, p. 13.619-13.634, 1989.
- NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 70, n. 2, p. 393-407, 2006.
- NEUMANN, R.; ALCOVER NETO, A.; ARANHA, I. B.; OLIVEIRA, C. H.; LUZ, A. B. da. Caracterização mineralógica de bentonitas brasileiras. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 19., 2002, Recife. *Anais...* Recife: CETEM, 2002. p. 9.
- NEUMANN, R.; MENEZES, R. O. G. de; ALCOVER NETO, A. Caracterização tecnológica da barita de Miguel Calmon, BA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 19., 2001, Recife. *Anais...* Recife: CETEM, p. 686-693.
- RENCZ, A. N. *Remote sensing for the earth sciences: manual of remote sensing*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 699 p.
- SAS – INSTITUTE. *SAS, software: user's guide*. version 8.2, Cary, 2001.
- SCHWERTMANN, U.; CORNELL, R. M. *Iron oxides in the laboratory: preparation and characterization*. New York: VHC, 1991. 137 p.
- _____. *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses*. New York: VHC, 1996. 573 p.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 45, n. 6, p. 1161-1165, 1981.

