

Utilização de espectrorradiometria na discriminação de solos oriundos da intecessão Basalto/Arenito no Noroeste do Paraná

Roney Berti de Oliveira¹

Marcos Rafael Nanni¹

Marcelo Luiz Chicati¹

Everson Cezar¹

¹ Universidade Estadual de Maringá - UEM

Av. Colombo, 5790 - 87020-900 - Jd. Universitário, Maringá – PR, Brasil.

roneyberti@yahoo.com.br

marcos.nanni@gmail.com

mlchicati@yahoo.com.br

eversoncezar@yahoo.com.br

Abstract. The use of the spectral response of soils has been applied to characterize and discriminate them through its reflected energy. To conduct this study, we used an agricultural area in the Lobato city, situated in the northwest of the Paraná state, whose peculiarity is to localized in a region that presents the intersection of two distinct source materials (basalt and sandstone). Soil samples were collected at two depths at predetermined points in grid, with distance of 500 meters between points. For location of sampling sites was used GPS navigation system. Of the samples collected were analyzed for physical, chemical and spectral, in order to establish the characteristics of soils present and, through statistical analysis, separate classes of soils through its spectral response. The curves were derived from spectral analyzes divided into 22 bands and 13 times higher for discriminant analysis. All soils were hit area exceeding 50%, and the class of Gleissolos presented score of 100%. It was also possible to discriminate between these two classes of soils of higher occurrence through its reflected energy, which are the Latossolos and Argissolos with hits above 75%.

Palavras-chave: Soil spectral analysis, Discriminant analysis, spectrorradiometer.

1. Introdução

O Brasil atualmente é o maior produtor de etanol. Desta forma existe a preocupação do impacto causado pela expansão da cultura da cana. Portanto estudar e colocar em prática tecnologias disponíveis, dentre as quais a análise do comportamento e a distribuição espacial dos solos seria uma forma de contribuir com a avaliação deste impacto (Nanni et al. 2004). Progressos importantes têm sido atingidos nos últimos anos na identificação e caracterização dos solos por todo o mundo o que vêm a acrescentar muito para a ciência do solo (Lepsch et al. (2002). No entanto o autor salienta que o emprego desses dados para o desenvolvimento de projetos é ainda muito deficiente, e que as interpretações ocorridas com a caracterização para finalidades práticas são altamente necessárias

Existem hoje, reconhecidamente no estado do Paraná, diferentes classes de solos que requerem práticas de uso e manejo diferenciados para uma melhor e maior produção sustentada (EMBRAPA, 2006). Com o desenvolvimento de uma agricultura moderna, novos sistemas agrícolas estão se propagando em termos experimentais ou não. Uma delas é a técnica de sensoriamento remoto que vem promovendo uma série de trabalhos que demonstram sua potencialidade na caracterização e discriminação de solos. No caso da região noroeste do estado, grandes porções são ocupadas por solos derivados da interposição entre o basalto oriundo da Formação Serra Geral e do Arenito Caiuá.

Nos últimos anos, tem sido grande o interesse pela obtenção de informações que caracterizem os atributos dos solos por meio de estudos da energia eletromagnética refletida (Epiphany et al., 1992; Formaggio et al., 1996; Nanni, 2000, Pizzarro et al., 2001; Fiorio, 2002; Demattê et al., 2003; Nanni et al., 2004; Sousa Jr. et al., 2008).

A correlação entre os constituintes do solo e sua reflectância tem sido apresentada por diversos autores (Myers, 1975; Gerbermann e Neher, 1979; Cipra et al., 1980; Sabins Jr., 1987; Kyoo-Seock et al., 1988; Frazier e Cheng, 1989; Demattê, 1995). Estes autores observam que bandas espectrais significativamente associadas com específicas propriedades dos solos, podem ser identificadas, sendo assim propriedades do solo podem ser estimadas por meio de dados de reflectância espectral. Como cada classe de solo apresenta características que a difere das demais, autores como Nanni et al. (2004), mostraram que a resposta espectral de solos auxiliaram em sua discriminação.

Desta forma, a hipótese a ser testada neste trabalho é a possibilidade de que a resposta espectral possa auxiliar na discriminação de unidades de solos desenvolvidas na intercessão basalto e arenito, uma vez que elas podem apresentar características que as diferem das demais e, portanto é taxonomicamente individualizada.

2. Metodologia de Trabalho

Situada no município de Lobato, a área de estudo está localizada no Noroeste do Estado do Paraná, delimitada pelas coordenadas UTM, com base no meridiano 51° W.G. 384 - 410 km e 7445 - 7472 km do, com superfície de 234,1180 Km². Apresenta altitude média de 400 metros, em região de junção entre os rios Pirapó e Bandeirantes do Norte. (EMBRAPA, 2008)

Para realização da coleta das amostras de solo, foi estabelecida uma malha regular de amostragem com arestas de 500 x 500 metros conforme orientações da Embrapa (1996) compreendendo, aproximadamente, 2575 ha num total de 103 pontos de amostragem, sendo as mesmas agrupadas para compatibilização pedológica. A amostragem foi realizada por meio de tradagens nas profundidades de 0–20 cm representante do horizonte superficial e 80-100 cm para o horizonte subsuperficial, quando presente. As amostras foram localizadas e cartograficamente demarcadas por sistema GPS. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e conduzidas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, para análise química. Os elementos químicos analisados foram determinados utilizando-se os métodos desenvolvidos pela Embrapa (1997).

Os dados espectrais dos solos foram obtidos em laboratório com o espectrorradiômetro *FieldSpec Pro* (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo). O *FieldSpec* é composto por uma unidade leitora ao qual é adaptada uma fibra ótica e que apresenta resolução espectral de 1 nm até 1100 nm e 2 nm até 2500 nm. Para a coleta dos dados de reflectância, as amostras foram preparadas segundo Henderson (1992). Para a coleta dos dados de reflectância, as amostras foram secas em estufa à 45°C durante 24 horas seguidas de moagem e peneiramento em peneira de malha de 2 mm. Cada amostra corresponde a aproximadamente 15 cm³ de solo que foram alocados em placa de petri para determinação da reflectância. O lente do sensor ótico, presente na ponta da fibra, foi colocada em posição vertical a 8 cm de distância da amostra, sendo medida a luz refletida numa área aproximada de 2 cm² no centro da amostra. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, sendo posicionada a 35 cm da amostra e com um ângulo zenital de 30°.

Utilizou-se, como padrão de referência, uma placa branca a qual reflete 100% do feixe luminoso. Os dados espectrais desta placa foram armazenados pelo sistema para

posterior determinação do fator de reflectância das amostras, o qual foi multiplicado pelas leituras obtidas de cada uma delas. No total, foram obtidas 636 leituras espectrais dos solos. Com este fator, foram produzidas representações gráficas, ou seja, curvas de reflectância espectral.

Para a manipulação dos dados obtidos e análise estatística, foi utilizado o programa Statistical Analysis System (SAS, 1992). Uma vez tabuladas as informações oriundas das respostas espectrais de cada solo, a matriz de dados utilizada para a análise estatística foi composta por 22 bandas (Nanni e Demattê, 2006). Essa seleção baseou-se principalmente na observação visual das porções do espectro avaliado onde ocorreram as inflexões e porções abauladas e côncavas das curvas espectrais médias de todos os solos, além da observação das bandas selecionadas por outros autores como Henderson et al (1992), Madeira Netto (1993a,b), Madeira Netto (1996) e Demattê e Garcia (1999), Nanni (2000) e Fiorio (2002). Além do intervalo médio, foi utilizado também, o comprimento de onda no intervalo ótico caracterizado por uma forte inflexão por se tratar de uma banda de absorção de elementos do solo já descritos e bem caracterizados como de óxidos de ferro (481 nm), água e grupos OH (1417 e 1927 nm), caulinita (2206) e gibbsita (2258 nm) nas bandas 2, 9, 14, 18 e 20, respectivamente.

Utilizou-se amostras de solo de duas profundidades devido ao fato que as mesmas são utilizadas usualmente para a designação das classes de solos, ou seja, é por meio das características pedogenéticas conferidas aos horizontes diagnósticos que podemos estabelecer certa classe dentro do sistema categórico de classificação. Parte-se do pressuposto que as respostas espectrais possam representar tais características e, portanto, diferenciar as várias classes encontradas no sistema trabalhado.

De outra forma, foram selecionados, para as curvas espectrais obtidas em laboratório, valores obtidos pela diferença entre os valores de fator de reflectância centrada no menor ponto de inflexão (bandas de absorção) e sua crista. Foram selecionados 13 valores representando a altura entre a crista e o vale das áreas de inflexão da curva conforme descrito por Nanni (2000).

Pretendendo-se estabelecer, dentro das variáveis aplicáveis no sistema, quais teriam maior ou menor potencial para produção de modelos que melhor explicariam o problema proposto, foi realizado inicialmente o procedimento STEPDISC para seleção mais adequada entre as vinte e duas bandas e treze alturas, das curvas espectrais obtidas em laboratório. Para não estabelecer nenhuma tendenciosidade na análise, passou-se para o procedimento de avaliação de colinearidade das variáveis para que não houvesse duas ou mais variáveis que pudessem estar se sobrepondo.

Realizada a análise do erro, foi emitido o relatório com as tabelas contendo as equações, as matrizes de covariância e as tabelas de classificação e erro. Após a análise do erro, foram escolhidas apenas as classes que apresentaram mais que sete indivíduos, pois como relatado por Oliveira et al. (1982), este deve ser o número mínimo de amostras por classe de solo, para que as análises estatísticas não tenham influência marcante no erro padrão da média. Entendemos também que as classes com número reduzido de indivíduos podem não contemplar a variabilidade existente na classe, ou possuir características muito próximas de outra classe, não possibilitando assim, uma análise segura e confiável.

Para reforçar a análise discriminante, foi realizada uma simulação onde 80% dos pontos amostrados foram utilizados para gerar um modelo discriminante que seria testado pelos 20 % restantes dos dados. A escolha das proporções foi aleatória, ou seja, o sistema SAS escolheu aleatoriamente os componentes que fariam parte da análise discriminante (80 %) e aqueles que seriam utilizados para testar os modelos obtidos (20 %). Para tanto, o sistema escolheu aleatoriamente 80 % dos pontos amostrados para

geração do modelo de discriminação e 20 % para teste por cinquenta vezes consecutivas. Uma vez estabelecida a simulação, foi gerado o relatório que continha as tabelas geradas pelo Qui-quadrado para análise do erro parcial e global da análise.

3. Resultados e Discussão

Com o intuito de se realizar a análise discriminante dos solos da área de estudo e testar um método para a separabilidade entre as classes, a partir de dados espectrais de laboratório, utilizou-se o procedimento DISC do SAS, visando o desenvolvimento das funções lineares discriminantes. Desta forma observou-se que a área apresentou cinquenta e quatro indivíduos para a classe dos Latossolos Vermelho enquanto que para a classe do Gleissolo háplico, apresentou apenas um indivíduo.

Dentre as setenta variáveis estabelecidas metodologicamente, ou seja, vinte e duas bandas mais treze alturas para duas camadas, oito foram selecionadas pelo STEPDISC do SAS (SAS, 1992), cuja relação encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação das variáveis utilizadas para análise discriminante das classes de solos selecionadas

Banda		Altura	
A ¹	B	A	B
2 ²	4	3 ³	1
		9	6
		12	8

¹ Horizonte; ² Bandas selecionadas pelo procedimento STEPDISC das vinte e duas extraídas para a camada. ³ Alturas selecionadas pelo procedimento STEPDISC das treze extraídas para as camadas.

Na Tabela 3 são apresentadas as equações discriminantes para cada classe de solo obtida pela análise de regressão com os dados de reflectância obtidas no sensor Fieldspec.

Tabela 3 - Equações discriminantes para as classes de solos da área de estudo

	AV	GO	LV	NQ	NV
Constante	-47.00584	-448.24934	-44.99090	-93.34128	-52.88226
H01_HB	-3251	65855	-3069	-1920	-118.62628
B03_HB	2763	-36994	2764	1781	153
B01_HB	-3173	31050	-3333	-344.33480	-2685
H05_HB	-3044	-3199	-3019	-7041	-3494
H10_HA	-1490	-18212	-844.75310	-1896	-1136
H10_HB	1613	9220	1064	2072	498.00508
H01_HA	-1620	-32099	-1389	2013	-370.93982
B04_HA	973.50523	6690	933.46553	366.79216	875.91412

Como exemplo, tomemos a equação da classe AV, sendo assim, a equação discriminante para esta classe de solo será: $AV = -47.00584 - 3251 \cdot H01_HB + 2763 \cdot B03_HB - 3173 \cdot B01_HB - 3044 \cdot H05_HB - 1490 \cdot H10_HA + 1613 \cdot H10_HB - 1620 \cdot H01_HA + 973.50523 \cdot B04_HA$

Os valores B01, B03 e B04 correspondem as faixas de comprimento de onda selecionadas, e os valores de H01, H05 e H10 correspondem as alturas das inflexões de absorção selecionadas para as camadas superficial e subsuperficial dos pontos amostrados. Consideremos agora que tenhamos em mãos os dados de reflectância médios por faixa de comprimento de onda de um destes solos. Os dados de reflectância deverão ser aplicados em todas as equações da Tabela 3. O solo que obtiver o maior valor resultante da equação terá uma maior probabilidade de ser o solo desconhecido.

Tal raciocínio é válido para os solos e as condições deste trabalho, porém abre a possibilidade de caracterização de diferentes regiões, auxiliando numa identificação preliminar mais rápida conforme comentado por Fiorio (2002). Como destacado por vários autores, se obtivermos uma coleção de dados de forma automatizada, poderemos consumir um tempo menor para a produção de mapas de solos que os métodos convencionais.

A Tabela 4 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados por meio das equações discriminantes. Nota-se que todos os solos da área de estudo apresentaram acima de 50% de acerto, tendo a classe Gleissolo com 100% de acerto, não tendo se confundido com nenhum outro solo.

O maior erro foi encontrado com a classe Neossolo, confundindo-se com a amostra do Nitossolo. Tal fato se explica, devido a pequena quantidade de indivíduos destas classes, onde a classe de Neossolo apresenta apenas duas amostras, e a confusão de apenas um indivíduo revela um erro de 50%.

O erro global da classificação foi de 29%, valor este inferior aos encontrados por Coleman e Montgomery (1990) e Coleman et al.(1991), que chegaram a obter erros de até 55,6%, mas superior aqueles encontrados por Fiorio (2002).

Tabela 4 Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para todas as classes da área estudo.

Classe ¹	PV	G	LV	RQ	NV	Total ²
PV	25 ³ 64.10 ⁴	0	12	0	2	39
G	0	1	0	0	0	1
LV	0	100	0	0	0	100
RQ	11 20.37	0	41 75.93	0	2 3.70	54 100
NV	0	0	0	1	1	2
	0	0	0	50.00	50.00	100
	2	0	1	0	5	8
	25	0	12.5	0	62.5	100
Classe	PV	G	LV	RQ	NV	Total ⁷
Total ⁵	38	1	54	1	10	104
% ⁶	36.54	0.96	51.92	0.96	9.62	100

¹ Classe de solos estudados; ² Total de observações de cada classe; ³ Número de observações classificadas para a classe; ⁴ % de erro ou acerto; ⁵ Total de observações classificadas em cada classe; ⁶ % de observações em cada classe em relação ao número total de observações; ⁷ Número total de observações.

Como relatado por Oliveira et al. (1982) o número mínimo de indivíduos por classe de solo não pode ser inferior a sete, para que as análises estatísticas discriminantes não tenham influência marcante no erro padrão da média. Junto a isto, para a realização desta análise discriminante apenas duas classes apresentaram maior número de observações sendo as classes Argissolo e Latossolo,

A Tabela 5 resume a porcentagem de acertos para a classificação dos solos aqui examinados por meio das equações discriminantes.

Tabela 5 - Número de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se as trinta e nove variáveis para as duas classes mais populosas da área de estudo

Classe ¹	PV	LV	Total ²
---------------------	----	----	--------------------

PV	28 ³	11	39
	71.79 ⁴	28.21	100
LV	10	44	54
	18.52	81.48	100
Total ⁵	38	55	93 ⁷
% ⁶	40.86	59.14	100

¹ Classe de solos estudados; ² Total de observações de cada classe; ³ Número de observações classificadas para a classe; ⁴ % de erro ou acerto; ⁵ Total de observações classificadas em cada classe; ⁶ % de observações em cada classe em relação ao número total de observações; ⁷ Número total de observações.

Observa-se na Tabela 5 que houve melhora na classificação para as duas classes de solo analisadas, em relação a análise discriminante com todas as classes (Tabela 4) e o erro global da classificação apresentou valor mais baixo do que no caso anterior, sendo este de 23%, onde o mesmo era esperado, e inferior aos encontrados por Coleman e Montgomery (1990) e Coleman et al.(1991), onde este chegou a obter erros de até 55,6%, e valor este superior aos encontrados por Fiorio (2002).

Após a análise discriminante, foi realizada uma simulação na qual 80% dos pontos amostrados foram utilizados para gerar um modelo discriminante que seria testado pelos 20% restante dos dados. A escolha das proporções foi aleatória, ou seja, o sistema SAS escolheu aleatoriamente os componentes que fariam parte da análise discriminante (80%) e aqueles que seriam utilizados para testar os modelos obtidos (20%). Para tanto, o procedimento foi testado cinquenta vezes, ou seja, o sistema escolheu aleatoriamente 80% dos pontos amostrados para geração do modelo de discriminação e 20% para o teste por cinquenta vezes consecutivas. Como resultado deste teste obteve-se os seguintes valores (Tabela 6)

Tabela 6 – Numero de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se 80% das observações que geraram o modelo.

Classe	PV	LV	Total ¹
PV	1075 ²	466	1541
	28,81 ³	12,49	41,30 ⁴
	69,76 ⁵	30,24	
	70,96 ⁶	21,03	
LV	440	1750	2190
	11,79	46,90	58,70
	20,09	79,91	
	29,04	79,97	
Total ⁷	1515	2216	3731 ⁹
	40,61 ⁸	59,39	100,00

¹ Frequência total em relação a linha; ² Frequência em relação a própria classe; ³ % da frequência em que a classe aparece em relação ao total; ⁴ % da frequência em que a classe aparece na linha em relação ao total; ⁵ % da frequência em que a classe aparece na linha; ⁶ % da frequência em que a classe aparece na coluna; ⁷ Frequência total em relação a coluna; ⁸ % da frequência em que a classe aparece na coluna em relação ao total; ⁹ Frequência total para todas as classes.

Como pode ser observado na Tabela 6, confirma-se a expectativa onde o uso da refletância espectral possibilita a discriminação dos solos e conseqüente sua classificação. As duas classes obtiveram acerto (em porcentagem) acima de 70%. Na simulação, 80% das frequências esperadas foram altamente significativas pelo teste do qui-quadrado para $p < 0,001$. A correlação entre as classes observadas e estimadas foram aleatoriamente escolhidas gerando um modelo a cada simulação. Em cinquenta simulações as observações participaram do modelo numa frequência total de 3731 tentativas. Destas, 906 vezes (24,28%) o modelo classificou a observação e 2825 vezes (75,72%) o modelo acertou a classe a que se destinava a observação.

Após tal procedimento, utilizou-se 20% das observações selecionadas ao acaso, para a realização do teste do modelo. Na Tabela 7 observa-se que a porcentagem de acerto para a classe PV aumentou de 70% para 75% e a classe LV diminuiu de 80%

para 75%. Tal fato pode estar associado apenas a relação textural que diferenciam as duas classes.

Em cinquenta simulações, os indivíduos de cada classe participaram do modelo numa frequência total de 919 tentativas. Destas, o modelo classificou 236 vezes a observação erroneamente (25,69%), e 683 vezes o modelo acertou a classe a que se destinava a observação (74,31%). O modelo apresentado foi altamente significativo pelo teste do qui-quadrado para $p < 0,001$.

Tabela 7 – Numero de observações e porcentagem de classificação dos solos dentro de cada classe utilizando-se 20% das observações que testaram o modelo.

Classe	PV	LV	Total ¹
PV	276 ²	133	409
	30,03 ³	14,47	44,50 ⁴
	67,48 ⁵	32,52	
	72,82 ⁶	24,63	
LV	103	407	510
	11,21	44,29	55,50
	20,20	79,80	
	27,18	75,37	
Total ⁷	379	540	919 ⁹
	41,24 ⁸	58,76	100,00

¹ Frequência total em relação a linha; ² Frequência em relação a própria classe; ³ % da frequência em que a classe aparece em relação ao total; ⁴ % da frequência em que a classe aparece na linha em relação ao total; ⁵ % da frequência em que a classe aparece na linha; ⁶ % da frequência em que a classe aparece na coluna; ⁷ Frequência total em relação a coluna; ⁸ % da frequência em que a classe aparece na coluna em relação ao total; ⁹ Frequência total para todas as classes.

4. Conclusão

O modelo de análise discriminante do solo por meio da sua resposta espectral mostrou-se eficaz para as duas classes mais populosas na área de estudo com acertos acima de 70%.

Referência Bibliográfica

CIPRA, J.E.; FRANZMEIER, D.P.; BAUER, M.E. & BOYD, R.K. Comparison of multispectral measurements from some nonvegetated soils using Landsat digital data and a spectroradiometer. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:80-84, 1980.

COLEMAN, T.L.; MONTGOMERY, O.L. Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.53, p.1659- 1663, 1987.

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 Science**, v.151, n.5, p.355-361, 1991.

DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alteration of Soil Properties through a Weathering Sequence as Evaluated by Spectral Reflectance. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, vol. 63, 1999. p. 327-342.

DEMATTÊ, J.A.M.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, Campinas, vol. 62, n 3, 451-464, 2003.

DEMATTÊ, J.A.M. **Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas**. Piracicaba, 1995. 265 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos** 2 ed. Brasília, 2006. 306p.

EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.; OLIVEIRA, J.B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992.131p.

FIORIO, P.R. **Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos**. 2002. 198. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FORMAGGIO, A.R. et al. Comportamento espectral (450-2450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.467-474, 1996.

FRAZIER, B.E.; CHENG, Y. Remote Sensing of soil in the eastern Palouse region with Landsat Thematic Mapper. **Remote Sensing of Environment**, v.28, p.317-325, 1989.

GERBERMANN, A.H.; NEHER, D.D. Reflectance of varying mixtures of a clay soil and sand. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.45, n.8, p.1145-1151. 1979.

HENDERSON, T.L. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.865-872, 1992.

MADEIRA NETTO, J.S. **Étude quantitative des relations constituants minéralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens: applications à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasília)**. Paris, 1993. 236p. Tese (Docteur) - L'ORSTOM .

MADEIRA NETTO, J.S.; POUGET, M.; DEDIDI, A.; CERVELLE, B. Informações quantitativas sobre a minaralogia dos latossolos à partir da reflectância espectral no visível e infravermelho próximo e médio (400 à 2500 nm). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 7., Curitiba, 1993. Anais. São José dos Campos : INPE, 1993b. v. 3, p. 249-255.

MADEIRA NETO, J.S.; Spectral reflectance of soil properties. **Photo Interpretation**. 34: 59-70. 1996. MYERS, V.I. Crops and soils. In: Manual of Remote Sensing. Fall Church, **American Society of Photogrammetry**, 1975. cap. 22, p.1715-1807.

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

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M; FIORIO,P.R., Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre, Brasília **Pesq. Agropec. Bras.** vol.39 no.10 2004.

OLIVEIRA, J. B.; MENCK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo : quadrícula de Araras. **IAC – Boletim Técnico 71**. Campinas:IAC, 1982. 180 p.

PIZARRO, M.A.; EPIPHANIO, J.C.N; GALVÃO, L.S. Caracterização Mineralógica de Solos Tropicais por Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1277-1286, out. 2001.

SABINS JUNIOR, F.F. **Remote Sensing: principles and interpretation**. San Francisco: W. H. Freeman. 1987, 449 p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS, software: user's guide**, version 6.0, Cary, 1992. 291p.

SOUSA Jr. J.G.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; GENÚ, A.M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 727-738. 2008.