

## Discriminação de unidades de paisagem para levantamentos de solo por meio de espectrorradiometria difusa

Fernando Teruhiko Hata<sup>1</sup>  
Everson Cezar<sup>1</sup>  
Felipe Derbocio Fabro<sup>1</sup>  
Marcelo Luiz Chicati<sup>1</sup>  
Marcos Rafael Nanni<sup>1</sup>  
Roney Berti de Oliveira<sup>1</sup>  
Edson Cristiano Groff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia,  
Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR - Brasil.

prox\_fdinhu@hotmail.com  
eversoncezar@yahoo.com.br  
felipe\_fabro@hotmail.com  
mlchicati@yahoo.com.br  
mrnanni@uem.br  
roneyberti@yahoo.com.br  
ecgroff@hotmail.com

**Abstract.** The objective of this study was to compare two methods for soil survey involving spectroradiometry diffuse. The first was conducted through the traditional method used in the distinction of landscape units, and discrimination against land classes. The second was based on an innovative methodology in the distinction of soil classes, where they search through the classification for spectral response of each individual. Soil samples were collected in the field under two depths, using a grid system of sampling, a regular distance of 500 meters between points. The soil samples collected went through testing procedures physical and chemical, with the aim of establishing the soil attributes present to obtain reasons for their subsequent classification. At each sampling point of camp drew to the ground in apparent reflectance corresponding point in an image-orbital Landsat5 TM, and through analysis of a group, are contained the units present through its spectral response. It was later performed a comparison between the units boundaries, where it was shown that the conventional method was not as close to reality as that done by conventional methods. Thus, evidence of this study was that the methodology employed has good possibility to apply for future studies in this knowledge area.

**Keywords:** soil classes, remote sensing, grid, reflectance, classes de solo, sensoriamento remoto, grid, reflectância.

### 1 . Introdução

Frente às perspectivas do terceiro milênio de melhor preservação e desenvolvimento do meio ambiente, a gestão territorial é um dos grandes desafios dos diferentes segmentos da sociedade, principalmente em relação à qualidade ambiental, fator inerente à preservação da biodiversidade e da qualidade de vida do planeta.

Uma dos pressupostos para o adequado gerenciamento territorial é o conhecimento da capacidade de uso e manejo das áreas potencialmente agricultáveis. Para tal, os levantamentos dos solos passam a ser um passo imprescindível no processo gestor.

Estudar e colocar em prática tecnologias disponíveis, dentre as quais a análise do comportamento espectral dos solos, seria uma forma de contribuir com a avaliação dos solos.

Em relação ao uso de sensores remotos muitos dos trabalhos desta área feitos por Stoner e Baumgardner (1981); Formaggio et al. (1996) vieram demonstrar a importância e a possibilidade de caracterizar os solos por sensores remotos ao nível terrestre (no campo ou laboratório). Por outro lado, e num passo seguinte, outros trabalhos demonstraram

metodologias e/ou técnicas que efetivamente podem ser aplicadas no mapeamento segundo Andronikov e Dobroly'skiy (1991) e Demattê et al. (1999).

Al-Abbas et al. (1972) descrevem que, com o desenvolvimento de técnicas computacionais para analisar medidas de reflectância obtidas de forma remota, houve a possibilidade do mapeamento das propriedades dos solos de uma forma mais rápida e eficiente, e sobre uma escala mais ampla que as anteriormente possíveis.

A possibilidade de que a resposta espectral possa auxiliar na discriminação de unidades de solos assenta-se no pressuposto de que cada classe apresenta características que a difere das demais e, portanto é taxonomicamente individualizada. Como a resposta espectral dos solos também é uma característica individualizadora supõe-se que o uso desta variável possa separar as classes de solos e, portanto, auxiliar nos levantamentos pedológicos.

A análise discriminante apresenta-se como uma poderosa ferramenta para levantamentos dos solos segundo Webster e Oliver (1990). Vários autores tem demonstrado a possibilidade de prever classes de solos e/ou sua separabilidade na paisagem por meio da análise multivariada. Uma das desvantagens da análise discriminante acerca do mapeamento das propriedades dos solos, é que a localização geoespacial das suas propriedades não podem ser utilizadas no desenvolvimento de modelos preditores. No entanto, destacam os autores, a combinação da capacidade de predição da análise discriminante com os métodos geoestatísticos podem tornar-se muito valiosos para os propósitos de mapeamento e manejo ambiental.

A distribuição das propriedades dos solos na paisagem segundo Sinowski e Auerswald (1999) são controladas pelos fatores de formação tais como relevo, material parental, clima organismos e tempo. Buol et al. (1989) destacam que o solo é função dos fatores de formação, tais como relevo (R), material parental ou origem (MO), biosfera (B), Clima (C) e tempo (T), ou seja Solo = f (R, MO, B, C, T). Da mesma forma acreditamos que as classes de solos podem ser consideradas como uma função de sua resposta espectral, representadas por faixas do espectro eletromagnético óptico, ou seja, Classe de Solo= função de bandas espectrais dentro de um intervalo do espectro.

Desta forma, pretende-se avaliar o potencial de discriminação dos solos pela sua resposta espectral quando comparado aos métodos tradicionalmente utilizados.

## **2 . Material e Métodos**

A área de estudos fica localizada no norte central Paranaense encontrando-se delimitada pelas coordenadas UTM, com base no meridiano 51<sup>o</sup> W.G. 386-410 Km e 7461-7471 Km do equador, estando a uma altitude de 450 metros. O clima da região é classificado segundo Koppen, como Cfa, sendo subtropical úmido mesotérmico com verões quentes e geadas menos freqüentes que outras regiões do estado, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida.

O objetivo da pesquisa foi o de comparar o método tradicional de análise da paisagem para levantamentos pedológicos com o proposto (análise discriminante dos solos pela resposta espectral orbital).

O trabalho iniciou-se com a preparação de uma base cartográfica em laboratório e o estabelecimento de um banco de dados georreferenciado. A documentação cartográfica utilizada para este trabalho foi constituída por cartas planialtimétricas em escalas 1:50.000 com curvas de nível eqüidistantes em 20 metros, carta pedológica de reconhecimento do Estado do Paraná, produzida pela Embrapa (1984) na escala 1:650.000, carta climática do Estado do Paraná, mapas geológicos e geomorfológicos, fotografias aéreas pancromáticas verticais em escala 1:25000 e imagens orbitais. Para a execução dos trabalhos, foi utilizado, em todo o decorrer do processo, o programa denominado Sistema de Processamento de

Informações Geocodificadas - SPRING desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Uma vez configurado o banco de dados, foi estabelecido uma base cartográfica em escala 1:50.000, através da digitalização das cartas planialtimétricas existentes. As principais redes de drenagens, estradas, rodovias e carreadores, foram digitalizados para comporem esta base. Conjuntamente, os mapas geológico, geomorfológico, clima, pedológico foram introduzidos via digitalização para complementar o banco de dados.

As imagens orbitais foram passadas por processos de registro e incorporadas ao sistema. A partir daí foi possível a realização de uma série de tratamentos de contraste e filtragens para melhoria da qualidade visual e observação dos temas. Como tais cenas foram utilizados como base de extração de informações e limites de unidades de prospecção pedológica, a correção geométrica e registro foram o mais apurado possível. Com a digitalização das curvas de nível e pontos cotados existentes nestas cartas, foi possível criar modelos numéricos de terreno, com a finalidade de estabelecermos as condições clinográficas da área de estudo.

Utilizando a estereoscopia, demarcou-se em laboratório os limites de solos em fotografias pancromaticas. Foi criado um grid de amostragem de 500 x 500 metros indicando de onde deveriam ser coletadas as amostras de solo superficiais e subsuperficiais para classificação de solo. As unidades fisiográficas delimitadas foram utilizadas juntamente com os pontos de coleta de amostras de solo para estabelecimento do mapeamento pedológico. Uma vez que a imagem georreferenciada continha os pontos de tradagem e suas respectivas coordenadas, foi realizada a fase de prospecção no campo. Pelo sistema GPS, localizou-se os pontos através do sistema de navegação. As amostras coletadas foram enviadas ao laboratório para realização das análises físicas e químicas de acordo com Embrapa (1997).

Posterior a determinação dos resultados laboratoriais, realizou-se a obtenção dos dados radiométricos nas imagens orbitais. Após a transformação dos valores de níveis de cinza para reflectância, foram realizadas transformações de contraste, como técnica de realce para melhor visualização dos temas. Para avaliação de tais dados, utilizou-se a fórmula abaixo:

$$L_{s(\lambda)} = n_1 + m_1 \times DN_{\lambda}$$

$$\rho_{app} = \frac{L_{s\lambda} \times \pi}{E_{0,\lambda}} \Rightarrow \frac{L_{s\lambda} \times \pi \times d^2}{E_{0,\lambda} \times \cos(\theta_z)}$$

$$\rho^* = \frac{\rho_{app} - \rho_{a,r}}{T_r}$$
(1)

onde :

$L_{s(\lambda)}$  ( $\text{mw cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}$ ) é a radiância que chega ao detetor do sensor;

$DN_{(\lambda)}$  é o número digital para cada banda do TM;

$n, m$  são os coeficientes de calibração do TM;

$\rho_{app}$  é a reflectância aparente do “topo da atmosfera”;

$E_{0\lambda}$  é a irradiância solar exoatmosférica relacionada com cada intervalo espectral do TM;

$\theta_z$  é o ângulo zenital solar;  $d$  é a distância da superfície da Terra ao Sol (unidades astronômicas);

$\rho^*$  é a reflectância corrigida *Rayleigh/Ozônio*;

$T_{o3}$  é a transmitância do ozônio (absorção);

$\rho_{a,r}$  é a reflectância atmosférica *Rayleigh*;

$T_r$  é a transmitância *Rayleigh* total da atmosfera.

De posse dos resultados das análises e estudo de sua distribuição espacial, foram estabelecidas classes de solo segundo Embrapa (2006), formando o mapa de solos padrão. O

estabelecimento da distribuição cartográfica das classes de solos foi realizado utilizando-se a análise fisiográfica das fotografias aéreas verticais segundo critérios estabelecidos por Goosen (1968).

Em outra frente de investigação, com os dados espectrais dos solos nas imagens orbitais, foi estabelecido um mapa de unidades de mapeamento obtido pela classificação não supervisionada das imagens. Por meio de algoritmos do sistema Spring, em cada região estudada demarcou-se nas imagens orbitais previamente avaliadas, as unidades fisiográficas.

Uma vez estabelecido o mapa de solos, por meio do sistema tradicional (análise fisiográfica associada com as observações de campo), foi produzido por meio de expressões booleanas no sistema Spring, mapas contendo polígonos resultantes do processo de cruzamento entre as informações contidas no banco de dados por meio de linguagem Legal de acordo com Câmara et al. (1996). Tendo-se limites estabelecidos computacionalmente, foi possível compará-los com os limites do mapa de solos tradicional. Por meio do algoritmo cruzamento entre tabelas do sistema, pode-se estabelecer a porcentagem de erro e acerto para cada área estabelecida no mapa resultante da análise booleana.

Buscando estabelecer a fidedignidade entre os dois mapas, os mesmos foram sobrepostos e assim foi possível, por meio do sistema Spring cruzar os dois planos de informação: o mapa de solos convencional e o mapa de solos obtido por reflectância. O sistema produziu, pela sobreposição, uma matriz de erros (ou matriz de confusão) dos planos de informação que continham os mapas avaliados.

A fidedignidade da classificação foi avaliada pelo índice kappa ( $K$ ). A avaliação de cada classe informacional, de forma particular, foi realizada calculando-se o kappa condicional para linha (mapa convencional) e coluna (mapa de reflectância). O nível de exatidão do índice kappa foi classificado conforme a Tabela 1, de acordo com o estabelecido por Landis e Koch (1977).

Tabela 1 – Nível de exatidão de uma classificação, conforme o valor de índice kappa.

<i>Índice Kappa (K)</i>	<i>Qualidade</i>
$K \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito Bom
$K \geq 0,8$	Excelente

Para testar a significância estatística da diferença entre dois índices kappa, foi utilizado o teste Z de Congalton e Green (1999) a seguir:

$$Z = \frac{K_2 - K_1}{\sqrt{\sigma_{K_2}^2 + \sigma_{K_1}^2}} \quad (2)$$

$K_1$  = índice kappa da imagem 1;

$K_2$  = índice kappa da imagem 2; e

$\sigma^2$  = variância do índice kappa (expressão 2).

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n} \left[ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \quad (3)$$

No qual:

$$\theta_1 = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^r X_{ii}, \quad \theta_2 = \frac{1}{X^2} \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}, \quad \theta_3 = \frac{1}{X^2} \sum_{i=1}^r X_{ii} (X_{i+} + X_{+i}), \quad \theta_4 = \frac{1}{X^3} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r X_{ij} (X_{j+} + X_{+i})^2$$

(4)

### 3. Resultados e Discussão

O mapa de solos produzido por meio da análise fotointerpretativa das fotografias aéreas, possibilitou a produção de 6 unidades de paisagem, que configuraram, após avaliação dos resultados das análises físicas e químicas e conjuntamente com as descrições realizadas no campo o mapa de solos denominado convencional.

Após a obtenção dos limites, seguiu-se ao exame das análises laboratoriais das áreas delimitadas e de acordo com Embrapa (2006), pôde-se estabelecer a presença de nove unidades ou classes de solos, divididas em quatro grandes grupos (Figura 1).

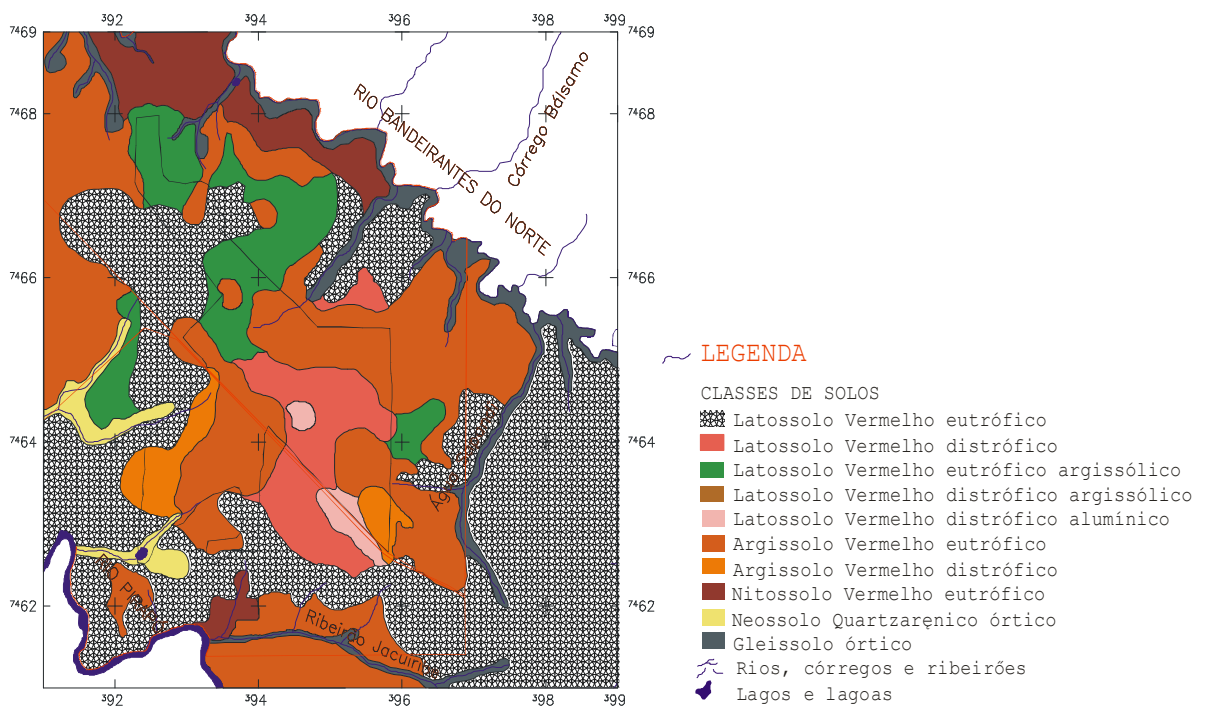


Figura 1 - Mapa de Solos produzido a partir dos métodos convencionais.

A análise visual permite perceber diferenças não apenas na forma das classes de solo representadas cartograficamente, mas também no número de classes.

É apresentado, na Tabela 2, a descrição das unidades de solos que foram identificadas na área de estudos pela utilização de análise fisiográfica.

Tabela 2. Área de cada unidade de solo presente na área de estudo.

Símbolo da Classe	Área		Classificação dos Solos (Embrapa, 1999)
	ha	(%)	
LVd	288,1	5,7	Latossolo Vermelho distrófico (LVd)
LVe	1927,5	38,1	Latossolo Vermelho eutrófico (LVe)
LVet	407,0	8,0	Latossolo Vermelho eutrófico argissólico (LVet)
LVea	48,3	1,0	Latossolo Vermelho distrófico aluminico (LVea)
Nvef	292,5	5,8	Nitossolo Vermelho eutrófico (Nvef)
PVd	123,4	2,4	Argissolo Vermelho distrófico (PVd)
PVe	1566,8	31,0	Argissolo Vermelho eutrófico (PVe)

RQo	98,7	2,0	Neossolo Quartzarênico órtico (RQo)
GXbd	308,7	6,1	Gleissolos Háplico Tb distrófico (GXbd)

Posteriormente, foram definidos os polígonos na imagem Landsat obtidos pela análise de cluster utilizando-se os valores de reflectância. Foi observado que o número de polígonos obtidos no método não convencional (469) foi substancialmente maior que aquele obtido pelo primeiro método tradicional (35). Tal fato se deve, inicialmente, pela variação de uso da terra, que pode influenciar diretamente a reflectância aparente obtida na imagem.

Outro fator relacionado ao maior número de polígonos diz respeito as propriedades dos solos, que na imagem demonstraram características espectrais discordantes. Tais propriedades podem influenciar na reflectância mas, ao enquadrar-se os indivíduos nas classes de disponíveis no sistema brasileiro os mesmos acabam enquadrando-se numa mesma classe dentro de um certo nível categórico.

A partir das classes individualizadas pela classificação não supervisionada, foi gerado o mapa de unidade de solos como apresentado na Figura 2.

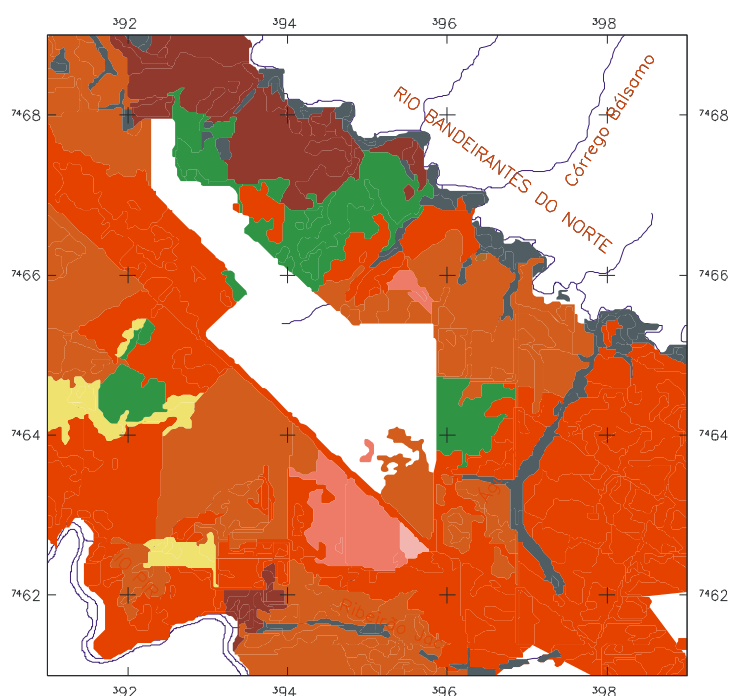


Figura 2 – Unidades de solos obtidas pela classificação não supervisionada a partir das reflectâncias aparentes das classes presentes.

A porcentagem de similaridade geral entre os polígonos foi de 75%, podendo chegar a 82% no caso dos Latossolos Vermelhos eutróficos (Tabela 3).

Tabela 3. Porcentagem de similaridade entre os polígonos de cada classe de solo obtido pelos métodos convencional e pela reflectância aparente.

Classes de Solos	Polígonos obtidos pela análise de agrupamento da reflectância aparente							
	LVe	LVd	AVe	NQo	LVdal	NVe	LVet	Go
LVe	82,80	15,19	9,30	26,81	1,05	0,83	10,96	9,59
LVd	1,25	72,79	1,24	0,00	26,31	0,00	0,44	0,00
AVd	1,48	0,00	7,21	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00
AVe	10,07	1,49	76,46	8,19	0,00	19,45	13,81	7,49
NQo	0,69	0,00	1,13	63,59	0,00	0,00	2,22	0,00
LVdal	0,49	10,51	0,47	0,00	70,52	0,00	0,00	0,00
NVe	0,13	0,00	0,76	0,00	0,00	66,03	7,67	3,09
LVet	1,44	0,00	0,52	1,39	0,00	10,37	61,61	0,95

Go	1,61	0,00	2,88	0,00	0,00	3,30	3,26	78,85
----	------	------	------	------	------	------	------	-------

Para avaliação do índice de similaridade foi utilizado o índice Kappa. Para tanto, construiu-se a matriz de confusão, que representa a distribuição de percentagens de pixel classificados de forma correta ou erroneamente conforme estabelecido na Tabela 4 de acordo com Congalton (1991).

Tabela 4 – Matriz de confusão entre o mapa de campo e aquele produzido pela classificação não supervisionada.

		Segmentada									
		LVe	LVd	AVe	NQo	LVdal	LVdal	NVe	LVe	Go	
Realidade de campo	LVe	18394	214	1341	288	1	0	34	423	251	20946
	LVd	279	1025	179	0	25	0	0	17	0	1525
	AVd	329	0	1039	0	2	0	0	0	0	1370
	AVe	2238	21	11019	88	0	12	795	533	196	14902
	NQo	153	0	163	683	0	0	0	86	0	1085
	LVdal	110	148	69	0	67	0	0	0	0	394
	NVe	30	0	110	0	0	0	2698	296	81	3215
	LVe	322	0	76	15	0	0	424	2377	25	3239
	Go	358	0	415	0	0	0	135	126	2062	3096
		22213	1408	14411	1074	95	12	4086	3858	2615	<b>49772</b>

Neste trabalho escolheu-se o Índice Kappa, para avaliar a acurácia temática por ser mais sensível as variações de erros de omissão e inclusão. Sua grande vantagem é que para o seu cálculo não se incluem somente os elementos da diagonal principal e sim todos os elementos da matriz de erro. A exatidão total para a matriz de confusão foi de 0,55 ( $\theta_1$ ) e 0,21 ( $\theta_2$ ) se a matriz de classificação e a verdade de campo forem independentes entre si. O índice kappa obtido com os valores acima e segundo a expressão foi de 0,43:

$$\hat{k} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} = \frac{0,55 - 0,21}{1 - 0,21} = 0,43$$

Este valor, segundo estabelecido por Landis e Kock (1977), representa boa qualidade (Tabela 1). Para assegurar-se de que o valor de k é significativo, estabeleceu-se o valor Z pela equação 2. O valor encontrado para Z foi de 297,1 indicando que há concordância entre as classificações dos solos realizada pela análise das reflectâncias da imagem orbital e aquelas obtidas pelo mapeamento tradicional.

#### 4. Conclusão

- A similaridade entre os polígonos obtidos pelo método tradicional e aqueles obtidos pela reflectância aparente da imagem orbital foi de até 75%.
- O número de polígonos gerados pela análise de agrupamentos dos valores de reflectância foi significativamente maior que aqueles obtidos na fointerpretação.
- O valor do índice de similaridade (kappa) entre as matrizes de confusão foi de 0,43 sendo considerada boa.
- Há concordância entre os mapas gerados pela reflectância e o método tradicional definido pelo valor de z.

## 5. Referências Bibliográficas

- Al-Abbas, A. H.; Swain, P. H.; Baumgardner, M. F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. **Soil Science**, v.114, p. 477-485, 1972.
- Andronikov, V. L.; Dobroly'skiy, G. V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. **Mapping Sciences & Remote Sensing**, v.28, n.2, p.92-101, 1991.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J.; Mitsuo, F. Spring: integrating remote sensing and gis by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v.20, p.395-403, 1996.
- Congalton, R. G., Assessing the accuracy of remotely sensed data principles and practices: boca raton : **Lewis Publications**, 1999.
- Demattê, J. A. M.; Campos, R. C.; Alves, M. C. Evaluation of soil survey by spectral reflectance. in: applied geologic remote sensing - Thirteenth International Conference, 13., Vancouver, BC, Canada, march, 1999. **Proceedings**, Erim, p.126-133, v.2, 1999.
- Embrapa. snlcs. **levantamento de reconhecimento dos solos do estado do paraná. Curitiba**, 1984. (boletim técnico, 57). 791p.
- Embrapa. cnps. **manual de métodos de análise de solo**. rio de janeiro, 1997. 212p.
- Embrapa. cnps. **sistema brasileiro de classifica o de solos**. rio de janeiro: embrapa, 2006. 306p.
- Formaggio, A. R.; Epiph nio, J. C. N.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de são paulo, Campinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.467-474, 1996.
- Goosen, D. **Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos, Roma** : Organizaciones de las naciones unidas para la agricultura y alimentacion, 1968. 55 p. (boletim sobre suelos n. 6).
- Landis, J.; Koch, G. The measurement of observer agreement for categorical data, Washington, USA. **Biometrics**, v.33, p.159-74, 1977.
- Stoner, E. R. & Baumgardner, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.45, p.1161-1165, 1981.
- Webster, R.; Oliver, M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. **Oxford University Press**, cap.9, p.147-167, 1990.