

Discriminação de unidades de paisagem para fins de levantamentos pedológicos por meio da resposta espectral orbital

Marcos Rafael Nanni¹, Everson César¹, Marcelo Luiz Chicati^{1*}, Fernando Teruhiko Hata¹, Roney Berti Oliveira¹ e José Alexandre Demattê²

¹Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. ²Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: mlchicati@yahoo.com.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi comparar dois métodos de levantamentos de solos. O primeiro foi realizado por meio de metodologias tradicionalmente utilizadas na distinção das unidades de paisagem e discriminação das classes de solos, como fotointerpretação e relação solo-paisagem. O segundo foi baseado na distinção das classes de solos por meio da sua resposta espectral, obtida em nível orbital. Para o estabelecimento dos atributos dos solos e sua classificação, as amostras de solo foram coletadas em duas profundidades, num *grid* com pontos distanciados de 500 m. Com essas amostras foram realizadas análises físicas e químicas dos solos. Nos locais de amostragem foi determinada, a partir da imagem orbital, a reflectância aparente do solo e, por meio de análise de agrupamentos, foram estabelecidas as unidades de paisagem. A fidedignidade de semelhança entre as unidades de paisagem obtidas pelos dois métodos foi avaliada pelo índice Kappa, cujo valor foi de 0,43, indicando que ambos os métodos produziram resultados semelhantes na discriminação de classes de solo.

Palavras-chave: levantamento de solo, reflectância aparente, imagem orbital, classes de solo, índice Kappa.

ABSTRACT. Landscape unit discrimination for pedological surveys by orbital spectral response. The objective of this study was compare two soil survey methods. The first was performed by methods traditionally used to distinguish landscape units and soil class discrimination. The second was based on soil class distinction through orbital spectral response. In order to establish soil characteristics and their classification, soil samples were collected at two depths in a grid system, with a distance of 500 meters between points. With these samples, physical and chemical analyses were carried out. In the sampling points, the apparent reflectance of the soil, from the orbital image, was determined and, through cluster analysis landscape units were established. In order to evaluate the resemblance reliability between the landscape units established in each method, the Kappa index was used, the value set for the confusion matrix was 0.43, indicating high quality in the comparison, showing that the non-conventional method was as close as the one carried out by photointerpretation.

Key words: soil survey, apparent reflectance, orbital image, soil classes, Kappa index.

Introdução

Frente às perspectivas para melhor preservação e desenvolvimento do meio ambiente no terceiro milênio, a gestão territorial é um dos grandes desafios dos diferentes segmentos da sociedade, principalmente em relação à qualidade ambiental para a preservação da biodiversidade e da qualidade de vida do planeta. Um dos pressupostos para o adequado gerenciamento territorial é o conhecimento da capacidade de uso e manejo das áreas potencialmente agricultáveis. Neste contexto, os levantamentos dos solos tem papel fundamental no processo de gestão dos recursos naturais. Avaliar e aplicar as tecnologias disponíveis, dentre as quais a

análise do comportamento espectral, seria uma forma de contribuir com a identificação de solos para fins de levantamento.

Em relação ao uso de sensores remotos, muitos dos trabalhos realizados por diferentes autores demonstram a importância e a possibilidade de caracterizar os solos por sensores remotos instalados em plataformas terrestres, orbitais e suborbitais (STONER; BAUMGARDNER, 1981). Outros trabalhos demonstraram metodologias e/ou técnicas que efetivamente podem ser aplicadas no mapeamento como Andronikov e Dobroly'skiy (1991), Demattê et al. (2001) e Nanni et al. (2004). 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 dos solos de maneira mais rápida e eficiente e numa escala mais ampla que as anteriormente realizadas. Um exemplo atual refere-se ao EO-1, um novo satélite cujas expectativas dos pesquisadores da agência espacial americana refletem, dentre outros temas de interesse, o estudo da geologia, dos solos e o monitoramento agrícola, com redução de custos e aumento da qualidade das informações obtidas pela análise da resposta espectral (BECK, 2003).

A base de tais estudos está no fato de que cada solo apresenta uma assinatura espectral, decorrente da interação entre cada atributo e a energia eletromagnética em determinado comprimento de onda. A possibilidade de que a resposta espectral possa auxiliar na discriminação de unidades de solos baseia-se no pressuposto de que cada classe apresenta características que a difere das demais e, portanto é taxonomicamente individualizada (NANNI et al., 2004). Como a resposta espectral dos solos também é uma característica individualizada, supõe-se que o uso desta variável possa separar as classes de solos e, portanto, auxiliar nos levantamentos pedológicos (NANNI; DEMATTÊ, 2006).

A análise discriminante apresenta-se como uma poderosa ferramenta para levantamentos dos solos segundo Webster e Oliver (1990). Vários autores têm 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 pode ser utilizada no desenvolvimento de modelos preditores. No entanto, os autores destacam que a combinação da capacidade de predição da análise discriminante com os métodos geoestatísticos pode tornar-se muito valiosa para os propósitos de mapeamento e manejo ambiental. Desta forma, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o potencial de discriminação de unidades de mapeamento de solos pela sua resposta espectral quando comparado aos métodos tradicionalmente utilizados.

Material e métodos

A área de estudo localiza-se na região Norte-central paranaense delimitada pelas coordenadas UTM, com base no meridiano 51^oW.G. 386-410 km e 7461-7471 km do equador e numa altitude de 450 m. O clima da região é classificado, segundo

Köppen, como Cfa, sendo subtropical úmido mesotérmico com verões quentes e geadas menos frequentes que outras regiões do Estado, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. Geologicamente, a área é representada por duas unidades, constituídas por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Era Mesozoica sobrepostas a arenitos friáveis (Q) do Quaternário Superior (Pleistoceno/Holoceno) da Formação Paranaíba (CHICATI et al., 2008), cuja sobreposição possibilita o aparecimento de solos com diferença textural no perfil (Argissolos).

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 foi constituída por cartas planialtimétricas em escalas 1:50.000 com curvas de nível equidistantes em 20 m, 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 1:25.000 e imagens orbitais. Para a execução dos trabalhos foi utilizado, no decorrer do processo, o programa SPRING (INPE, 1999).

Uma vez configurado o banco de dados, foi estabelecida a base cartográfica em escala 1:50.000, por meio da digitalização das cartas planialtimétricas existentes. As principais redes de drenagem, estradas, rodovias, carreadores e curvas de nível foram digitalizados, via mesa digitalizadora, para compor esta base. Da mesma forma, os mapas geológico, geomorfológico, climático e pedológico foram, conjuntamente, introduzidos para compor e complementar o banco de dados.

Com a digitalização das curvas de nível e dos pontos cotados existentes nas cartas planialtimétricas da área de estudo, foi possível criar modelos numéricos de terreno com a finalidade de estabelecer as condições clinográficas da área de estudo, conforme estabelecido por INPE (1999). Utilizando-se estereoscópio de espelho demarcaram-se, em laboratório, os limites de unidades fisiográficas (paisagem) em pares aerofotogramétricos verticais, conforme metodologia descrita por Goosen (1968). Os limites das unidades foram transferidos para o banco de dados de acordo com Nanni e Rocha (1997). Tal procedimento teve, como objetivo, a produção do mapa de solos pelo método tradicional.

No sistema SPRING foi estabelecido um *grid* amostral de 500 x 500 m na área a ser levantada indicando os locais nos quais seriam coletadas as amostras de solo, nas porções superficiais e

subsuperficiais para identificação e classificação de solo conforme descrito por Nanni et al. (2004). As unidades fisiográficas delimitadas foram utilizadas juntamente com os pontos de coleta de amostras de solo para estabelecimento do mapeamento pedológico tradicional. Em seguida, foi produzida uma carta que continha os pontos de tradagem e suas respectivas coordenadas, para a realização da fase de prospecção no campo. Pelo sistema GPS, localizaram-se os pontos por meio do sistema de navegação. As amostras coletadas foram enviadas ao laboratório para realização das análises físicas e químicas de acordo com Embrapa (1997).

De posse dos resultados das análises físicas e químicas dos solos e da avaliação empírica de sua distribuição espacial, foram estabelecidas as classes de solo presentes na área conforme Embrapa (2006), formando o mapa de solos padrão obtido por meio dos métodos tradicionais. Imagens orbitais do sensor TM do satélite Landsat de diferentes datas, compondo as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 foram registradas (correção geométrica em relação ao plano terrestre) e incorporadas ao sistema. A partir daí foi possível realizar contraste linear, para melhoria da qualidade visual e observação dos temas (INPE, 1999).

Na sequência foram aplicados, sobre as mesmas, os processos de correção atmosférica e conversão dos níveis de cinza das imagens para Fatores de Reflectância Bidirecional Aparente (FRBA) e normalização radiométrica. Para tanto utilizou-se o software denominado Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite (SCORADIS), fundamentado na teoria e nos parâmetros atmosféricos calculados pelo Modelo 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solarie), conforme Tanré et al. (1990). Conforme o modelo de simulação 5S, os números digitais das imagens orbitais são normalizados para reflectância aparente do “topo da atmosfera” e depois corrigidos o “Rayleigh scattering” e a absorção por ozônio usando o código simulado de radiação transferida. As equações que descrevem tais procedimentos são listadas a seguir:

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

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

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

Sendo $L_{s(\lambda)}$ ($\text{mw cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}$) a radiância que chega ao detector do sensor num dado comprimento de onda; $DN_{(\lambda)}$ é o número digital para cada banda do TM; n, m são os coeficientes de calibração do TM; ρ_{app} é a reflectância aparente do “topo da atmosfera”; $E_{0,\lambda}$ é a irradiância solar exoatmosférica relacionada com cada intervalo espectral do TM; θ_z é o ângulo zenital solar; d é a distância da superfície da Terra ao Sol (unidades astronômicas); ρ^* 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. Após o processamento para conversão e correção, o nível de cinza 0 presente na imagem passou a corresponder à reflectância 0% e o nível de cinza 255 à reflectância 100%.

Com os dados espectrais dos solos nas imagens orbitais, foi estabelecido um mapa de unidades de mapeamento obtido pela classificação não-supervisionada das imagens. Para tanto, a imagem foi dividida em porções, ou áreas similares, atendendo ao processo denominado crescimento de regiões, onde o agrupamento de dados ou, neste caso, valores de reflectância normalizada, podem ser reunidos somente às regiões adjacentes espacialmente.

Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseou-se no teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, o processo dividiu a imagem em um conjunto de subimagens realizando-se então a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido previamente (INPE, 1999). Desta forma, o sistema SPRING estabeleceu limites por meio de algoritmos de agrupamento de valores de reflectância de cada região estudada demarcando-se, nas imagens orbitais previamente avaliadas, as unidades de mapeamento.

Para cada polígono representativo de uma unidade de mapeamento foram observadas as características físico-químicas das amostras de solo coletadas dentro de seus limites. Desta forma, foi possível estabelecer um mapa de solos pela divisão da área pela reflectância apresentada. Uma vez estabelecidos os limites computacionalmente foi possível compará-los com aqueles do mapa de solos obtido pelo método tradicional. Por meio do algoritmo “tabulação cruzada” do sistema foi gerada uma tabela com as áreas em hectares de cada classe de solo definida pelo método

tradicional e aquelas definidas pela classificação não-supervisionada (INPE, 1999).

Para avaliar 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. Para tanto, o mapa vetorial com as áreas representativas das classes de solos obtidas pelo método convencional foi convertido em um mapa matricial com células de 30 x 30 m por meio do algoritmo vetor – matriz do sistema SPRING (INPE, 1999), para ser sobreposto aos polígonos formados pela classificação não-supervisionada da imagem TM-Landsat com iguais dimensões.

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), conforme a equação a seguir:

$$\hat{K} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (2)$$

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.

Índice Kappa (K)	Qualidade
$K \leq 0,2$	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 (2009) a seguir:

$$Z = \frac{K_2 - K_1}{\sqrt{\sigma_{K_2}^2 + \sigma_{K_1}^2}} \quad (3)$$

no qual K_1 = índice Kappa da imagem 1; K_2 = índice Kappa da imagem 2; e σ^2 = variância do índice Kappa (expressão 4).

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

no qual:

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

$$\theta_4 = \frac{1}{X^3} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r X_{ij} (X_{j+} + X_{+i})^2 \quad (5)$$

Com as classificações, comparadas por meio do teste Z (ou teste-padrão de normalidade), testou-se a hipótese de nulidade (H_0) que ambos os mapas apresentaram classificações diferentes ($K = 0$) em contraposição a H_1 em que as classificações são semelhantes ($K > 0$) para $a/2 p < 0,05$.

Resultados e discussão

O mapa de solos, produzido por meio da análise fotointerpretativa, possibilitou a delimitação de seis unidades de paisagem, que configuraram, após a avaliação dos resultados das análises físico-químicas e com as descrições realizadas no campo, o mapa de solos obtidos pelo método convencional.

Após a obtenção dos limites, realizou-se o 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, agrupadas em cinco grandes grupos conforme a Figura 1.

Na análise da Figura 1, percebem-se diferenças não apenas nas classes de solo representadas cartograficamente, mas também no número de classes. Tal condição deve-se, principalmente, à constituição geológica local que, conforme Chicati et al. (2008), é representada por basaltos toleíticos recobertos por arenitos da Formação Paranaíba. Assim, as porções de topo mais preservadas do relevo apresentaram solos mais homogêneos, profundos e com baixos teores de argila, como é o caso dos Latossolos Vermelhos desta região. As porções de média vertente estão ocupadas por solos com presença de gradiente textural no perfil como os Argissolos e os Latossolos argissólicos, uma vez que a interseção arenito/basalto tem ocorrência nesta porção da paisagem. Na porção final da vertente, onde o relevo apresenta-se mais dissecado, ocorrem os Nitossolos desenvolvidos sobre o material vulcânico. Pequenas porções de Neossolos Quartzarênicos e de Gleissolos também foram encontradas, principalmente próximos aos canais de drenagem, sobre material sedimentar arenoso.

A descrição das unidades de solos que foram identificadas na área de estudo pela utilização de análise fisiográfica obtida pela fotointerpretação das fotografias aéreas é apresentada na Tabela 2.

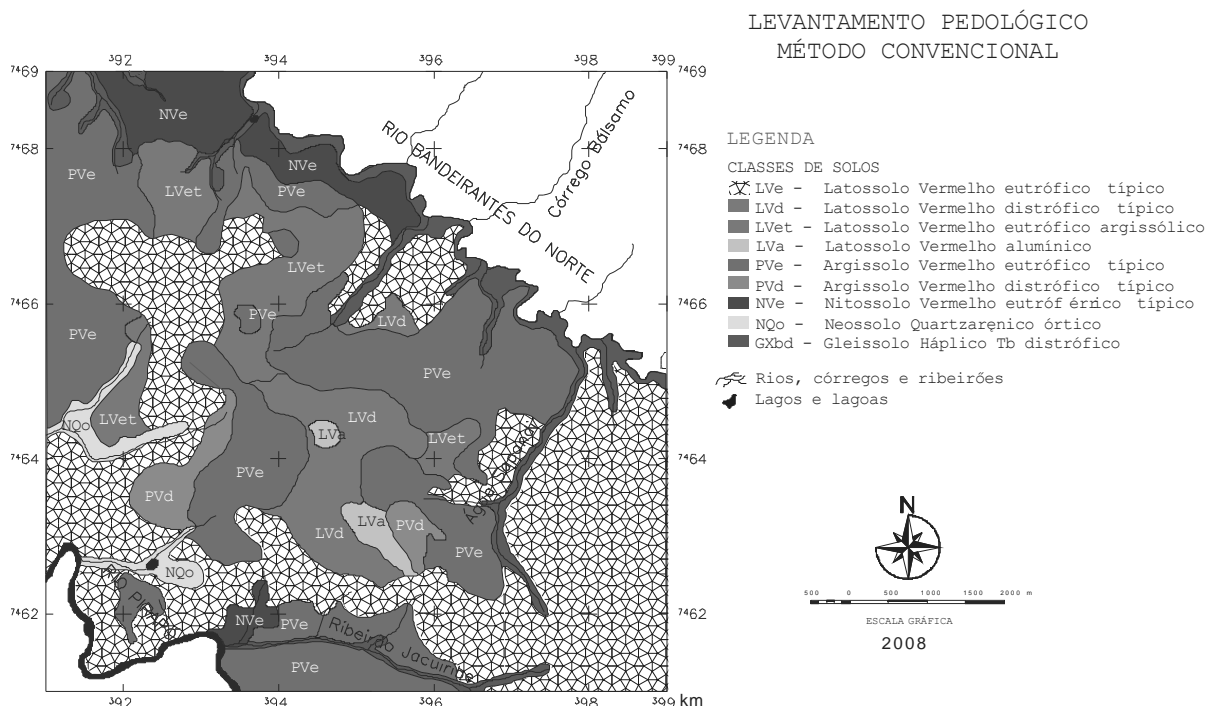


Figura 1. Mapa de Solos produzido a partir dos métodos convencionais.

Tabela 2. Área das unidades de mapeamento presente na área de estudo.

Símbolo da Classe	Área		Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006)
	ha	(%)	
LVd	288,1	5,7	Latossolo Vermelho distrófico típico
LVe	1927,5	38,1	Latossolo Vermelho eutrófico típico
LVet	407,0	8,0	Latossolo Vermelho eutrófico argissólico
LVa	48,3	1,0	Latossolo Vermelho aluminico
NVef	292,5	5,8	Nitossolo Vermelho eutrófico típico
PVd	123,4	2,4	Argissolo Vermelho distrófico típico
PVe	1566,8	31,0	Argissolo Vermelho eutrófico típico
RQo	98,7	2,0	Neossolo Quartzarênico órtico
GXbd	308,7	6,1	Gleissolos Háptico Tb distrófico

Posteriormente, foram definidos os polígonos na imagem Landsat obtidos pelo agrupamento de pixels da classificação não-supervisionada utilizando-se os valores de reflectância. A partir das áreas individualizadas pela classificação não-supervisionada e pelas características físico-química dos solos presentes, foi gerado o mapa de unidade de solos como apresentado na Figura 2. Observou-se que o número de polígonos obtidos pelo agrupamento de pixel que continham valores de reflectância (método não-convencional) foi substancialmente maior (469), que aquele obtido pelo primeiro (35, na análise da paisagem). Tal fato se deve, principalmente, pela variação da reflectância da área de estudo, decorrente das alterações dos teores de argila e areia em superfície como também, pela variação de uso da terra, que pode influenciar diretamente a reflectância aparente obtida na imagem.

No caso da análise da paisagem tais componentes, em muitos casos, passam despercebidos uma vez que o fotointérprete reconheça as diferenças geomorfológicas, mas não as variações de textura, prevalecendo a acuidade do mesmo na definição desses limites como estabelecido por Nanni e Rocha (1997).

Outro fator relacionado ao maior número de polígonos se refere às propriedades dos solos, que na imagem demonstraram características espectrais discordantes. Tais propriedades podem influenciar na reflectância, mas ao enquadrar os indivíduos no SiBCS, os mesmos acabam enquadrando-se numa mesma classe dentro de um certo nível categórico.

Por meio do cruzamento entre os limites das classes de solos obtidos pelos dois métodos observou-se que a porcentagem de similaridade geral entre os polígonos foi de 75%, podendo chegar a 82% no caso dos Latossolos Vermelhos eutróficos (Tabela 3).

Para avaliação do índice de similaridade, foi utilizado o índice Kappa. Para tanto, construiu-se a matriz de erros, que representa a distribuição de pixels ou células classificadas de forma correta ou erroneamente entre os mapas, conforme estabelecido na Tabela 4 de acordo com Congalton e Mead (1991).

Neste trabalho escolheu-se o Índice Kappa, para avaliar a acurácia temática por ser mais sensível as variações de erros de omissão e inclusão conforme descrito por Cohen (1960). 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 (MOREIRA, 2001).

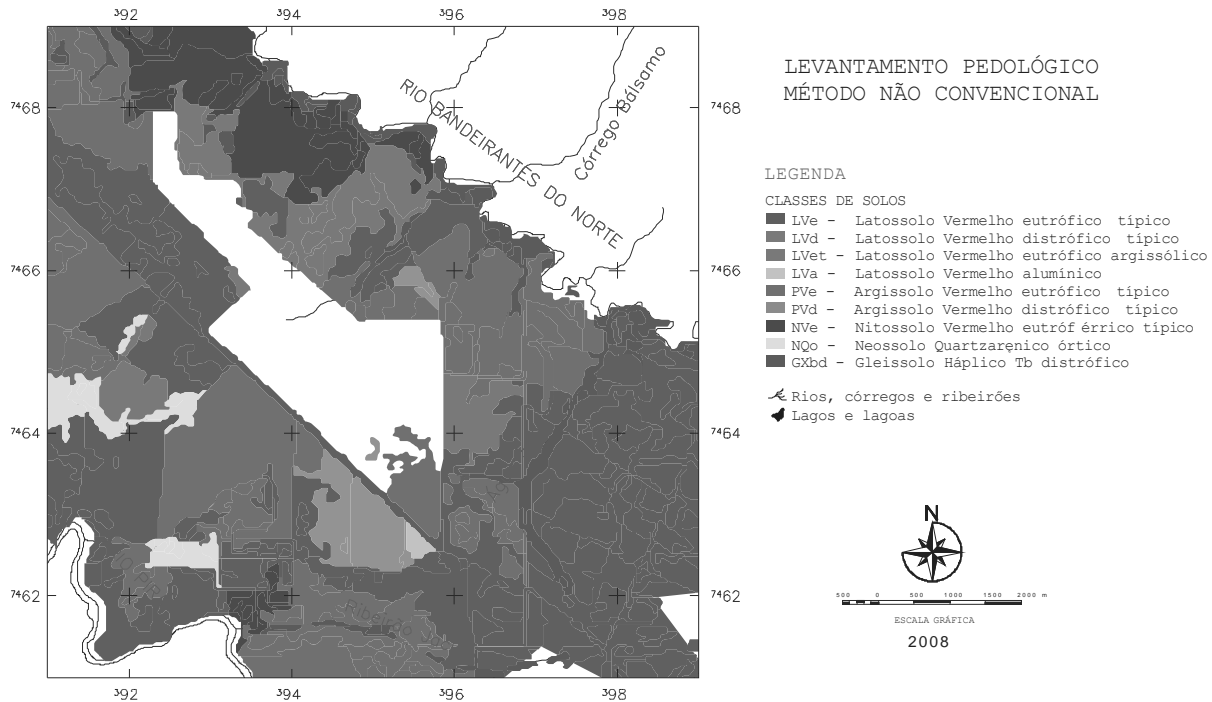


Figura 2. Unidades de solos obtidas pela classificação não-supervisionada a partir das reflectâncias aparentes das classes presentes.

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

Método Convencional	Polígonos obtidos pela classificação não-supervisionada utilizando-se valores de reflectância aparente								
	LVe	LVd	AVe	AVd	NQo	LVA	NVe	LVet	GXbd
LVe	82,80	15,19	9,30	0,00	26,81	1,05	0,83	10,96	9,59
LVd	1,25	72,79	1,24	0,00	0,00	26,31	0,00	0,44	0,00
AVe	1,48	0,00	7,21	100,00	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00
AVd	10,07	1,49	76,46	0,00	8,19	0,00	19,45	13,81	7,49
NQo	0,69	0,00	1,13	0,00	63,59	0,00	0,00	2,22	0,00
LVA	0,49	10,51	0,47	0,00	0,00	70,52	0,00	0,00	0,00
NVe	0,13	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	66,03	7,67	3,09
LVet	1,44	0,00	0,52	0,00	1,39	0,00	10,37	61,61	0,95
GXbd	1,61	0,00	2,88	0,00	0,00	0,00	3,30	3,26	78,85

Tabela 4. Matriz de erros entre o mapa de campo e aquele produzido pela classificação não-supervisionada por meio das respostas espectrais da imagem orbital.

Realidade de campo		Classificação não-supervisionada (reflectância da imagem orbital)									
		LVe	LVd	AVe	AVd	NQo	LVA	NVe	LVet	GXbd	
Realidade de campo	LVe	18394	214	1341	0	288	1	34	423	251	20946
	LVd	279	1025	179	0	0	25	0	17	0	1525
	AVe	2238	21	11019	12	88	0	795	533	196	14902
	AVd	329	0	1039	0	0	2	0	0	0	1370
	NQo	153	0	163	0	683	0	0	86	0	1085
	LVA	110	148	69	0	0	67	0	0	0	394
	NVe	30	0	110	0	0	0	2698	296	81	3215
	LVet	322	0	76	0	15	0	424	2377	25	3239
	GXbd	358	0	415	0	0	0	135	126	2062	3096
		22213	1408	14411	12	1074	95	4086	3858	2615	49772

A exatidão total (θ_1), obtida pela equação 5, para a matriz de erros foi de 0,55, estabelecido pela soma de todos os valores da diagonal da tabela 4 e dividido por 49772. Já o valor (θ_2), ou seja, a exatidão total para a matriz de classificação e a verdade de campo quando independentes entre si foi 0,21. O índice Kappa, obtido com os valores acima e, segundo a expressão 2 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 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 uma vez que o valor tabelado para Z é de 1,96 para 95% de probabilidade (CONGALTON; GREEN, 2009).

Conclusão

A similaridade entre os polígonos obtidos pelo método tradicional e 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 fotointerpretação. 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.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelas bolsas de iniciação científica (PIBIC/CNPq-UEM processo n. 13323/2007), produtividade (processo n. 310948/2006-1 e processo n. 300371/96-9) e doutorado (processo n. 141421/2007-0).

Referências

- 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, n. 6, p. 477-485, 1972.
- ANDRONIKOV, V. L.; DOBROVL'SKIY, G. V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. *Mapping Sciences and Remote Sensing*, v. 28, n. 2, p. 92-101, 1991.
- BECK, R. **EO-1-User guide**. Ohio: Department of Geography; University of Cincinnati Edition, 2003.
- CHICATI, M. L.; NANNI, M. R.; CEZAR, E.; DEMATTÊ, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B. Caracterização de alguns atributos do solo e sua correlação com a paisagem em uma porção do noroeste do Estado do Paraná, *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, n. 5, p. 719-724, 2008.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2. ed. Boca Raton: Taylor and Francis, 2009.
- CONGALTON, R. G.; MEAD, R. A. A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.
- DEMATTÊ, J. A. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; CAMARGO, W. P.; FIORIO, P. R.; NANNI, M. R. Remote sensing in the recognition and mapping of tropical soils developed

on topographic sequences. *Mapping Sciences and Remote Sensing*, v. 38, n. 2, p. 79-102, 2001.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Curitiba: Embrapa, 1984. (Boletim Técnico, 57).

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

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. (Boletim Sobre Suelos, n. 6).

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial Spring: Spring básico**. São José dos Campos: Inpe, 1999.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data, Washington, USA. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.

NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, v. 70, n. 2, p. 393-407, 2006.

NANNI, M. R.; ROCHA, H. O. Integration of GIS technology, remote sensing and multivariate analysis in the delimitation of physiographic units for pedological mapping. *Boletim do Instituto de Geociências*, v. 1, n. 28, p. 129-143, 1997. (Série Científica).

NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; FIORIO, P. R. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 10, p. 995-1006, 2004.

STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 45, n. 1, p. 1161-1165, 1981.

TANRÉ, D.; DEROO, C.; DUHAUT, P.; HERMAN, M.; MORCLETTE, J. J.; PERBOS, J.; DESCHAMPS, P. Y. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. *International Journal of Remote Sensing*, v. 11, n. 4, p. 659-668, 1990.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990.

Received on January 16, 2009.

Accepted on October 27, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.