

ANÁLISE DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO EM MAPAS
DE SOLOS OBTIDOS ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO
DE IMAGENS ORBITAIS EM DUAS ESCALAS

C.A. Vettorazzi
H.T.Z. do Couto
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo
Caixa Postal 9
13.400, Piracicaba, SP
BRASIL

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a exatidão de classificação, em mapas de solos obtidos através da interpretação visual de imagens TM/LANDSAT-5 (cópias em papel, em preto-e-branco), nas escalas 1:100.000 e 1:250.000. Para fins comparativos, foi utilizado como "verdade terrestre" o mapa de solos da região, em nível semi-detalhado, produzido pelo Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, na escala 1:100.000. As comparações entre os dados obtidos através da interpretação das imagens e os equivalentes à "verdade terrestre" foram feitas em função dos resultados da aplicação de uma malha regular de pontos amostrais (1 ponto/km²) sobre os mapas. Foram levantadas as proporções de pontos classificados corretamente, dentro de cada uma das duas escalas. Na avaliação da significância estatística dos resultados foi empregado o teste *t*, o qual acusou diferenças significativas entre escalas e entre solos para cada escala, ressaltando a superioridade técnica da escala 1:100.000 nesse tipo de trabalho.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF CLASSIFICATION ON SOIL MAPS OBTAINED BY THE INTERPRETATION OF ORBITAL IMAGERY AT TWO SCALES. The purpose of this study was to analyze the accuracy of classification, on soil maps obtained by the visual interpretation of black-and-white TM/LANDSAT-5 imagery (bands 3,4 and 5). The scales used were respectively 1:100,000 and 1:250,000. The soil map of the region, at a scale of 1:100,000 produced by the Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, was used for comparison purposes. The comparison of the data obtained by the interpretation of the images with those determined on the reference-map, was made by the application of a square grid of sample units (one point per square kilometer) on the maps. The ratio of correct classifications for each scale was determined. To determine the statistical significance of the results, was used the *t* test, wich showed significant differences between scales and among soils for each scale, attesting the technical superiority of the 1:100,000 scale in this kind of work.

1. INTRODUÇÃO

A interpretação visual de imagens orbitais em fotopedologia, quando empregada criteriosamente, com base em elementos do relevo, rede de drenagem superficial, vegetação e outros elementos da paisagem, conduz a resultados bastante satisfatórios, como comprovam os trabalhos de VALÉRIO FILHO et alii (1975), KOFFLER (1976), DONZELI et alii (1983), VETTORAZZI (1988), etc.

O emprego de imagens orbitais, assim como de outros produtos de sensoriamento remoto, pode reduzir bastante o trabalho em levantamentos de solos, uma vez que através da sua interpretação pode-se estratificar a região de estudo em áreas homogêneas quanto ao padrão fisiográfico. Isso torna possível o planejamento global das atividades de campo, a redução do número de

pontos de observação e também aumenta a precisão do traçado dos limites entre as unidades de solo.

Com relação à exatidão de mapeamento, CONGALTON (1988) comenta que, nos últimos anos, a avaliação da exatidão de dados obtidos através do sensoriamento remoto tem recebido largo suporte na comunidade. ROSENFELD & MELLEY (1980) citam que, em trabalhos de análise de mapas temáticos, dois são os problemas estatísticos com que se deparam: a determinação da exatidão do conteúdo temático e a comparação dos fatores estudados.

Este trabalho tem por objetivo principal a análise da exatidão de classificação em mapas de solos, gerados a partir da interpretação de imagens TM/LANDSAT-5, em duas escalas, tomando-se como "verdade terrestre" as informações de mapa de solos ao nível semi-detalhado, produzido através de técnicas convencionais de levantamento conjugadas ao emprego de fotografias aéreas.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização do Meio Físico

A área de estudo situa-se no Estado de São Paulo, sendo delimitada pelas coordenadas $22^{\circ}30'$ a $22^{\circ}45'$ de latitude S, e $47^{\circ}15'$ a $47^{\circ}30'$ de longitude W.Gr.. É ocupada pela quase totalidade do Município de Limeira, compondo-a ainda, regiões dos Municípios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Cosmópolis, Iracemápolis, Piracicaba, Santa Bárbara d' Oeste e Americana.

Essa área está totalmente incluída na província geomorfológica denominada Depressão Periférica Paulista, de origem predominante denudacional, na zona do Médio Tietê. Quanto à geologia, a predominância é de sedimentos do grupo Tubarão (Carbonífero-Permiano) e de suítes básicas. O clima, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no regime Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco. Apresenta importantes núcleos urbanos, ao lado de uma intensa ocupação agrícola, principalmente com as culturas de cana-de-açúcar e citros. Os solos da área de estudo foram classificados e mapeados em nível semi-detalhado, por OLIVEIRA et alii (1977). Há uma grande diversificação com relação às unidades de solo podendo-se, no entanto, reuni-las em três grupos principais: solos com horizonte B latossólico, solos com horizonte B textural e solos litólicos.

2.2. Imagens Orbitais

No presente trabalho foram empregados pro

duetos fotográficos TM/LANDSAT-5, sob a forma de cópias em papel, em preto-e-branco, em duas escalas (1:100.000 e 1.250.000) e três diferentes bandas TM-3 (630-690 nm), TM-4 (760-900nm) e TM-5 (1550-1750 nm). Foi utilizada a passagem referente a 06/07/84, com ângulo de elevação solar igual a 30° e azimute 43° . O processamento das imagens foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

2.3. Elaboração dos Mapas de Solos

Para cada uma das escalas estudadas foi elaborado um mapa de solos, através da interpretação visual das imagens orbitais, conforme metodologia apresentada por VETTORAZZI (1988).

A confecção do mapa de solos para cada uma das escalas iniciou-se pela elaboração do mapa da rede de drenagem superficial. Os elementos da rede foram traçados em uma folha de acetato transparente colocada sobre as imagens, sendo o produto final o resultado da reunião de informações obtidas em cada uma das três bandas (TM-3, TM-4 e TM-5).

A seguir fez-se a delimitação de áreas homogêneas quanto ao relevo. Foi adotada a metodologia sugerida por GOOSEN (1967) para trabalhos com fotografias aéreas, ou seja, a delimitação foi feita com base nas mudanças de relevo possíveis de serem detectadas nas imagens, através de variações na textura fotográfica e do efeito de sombras.

Sobre o mapa da rede de drenagem, acrescido do traçado dos limites indicativos das mudanças no relevo, quando necessário foi feita uma nova compartimentação, desta vez em função de aspectos qualitativos (visuais) da drenagem superficial isto é, as áreas homogêneas quanto ao relevo foram subdivididas em áreas homogêneas também quanto à rede de drenagem. As áreas resultantes foram denominadas unidades fisiográficas. Essas unidades foram numeradas e, posteriormente, cada uma delas foi analisada e caracterizada em detalhes, com relação ao relevo e a rede de drenagem superficial. Os elementos da drenagem empregados na caracterização das unidades foram: densidade; grau de uniformidade; ângulos de junção; orientação; angularidade, grau de controle e tipo ou modelo. Os índices de drenagem empregados foram a densidade de drenagem, a frequência de rios e o comprimento médio de rios. Quanto ao padrão de relevo, as unidades fisiográficas foram caracterizadas em função dos elementos: tipo e classe de relevo, comprimento das vertentes e posição topográfica.

Através dos dados de classificação dos so

los referentes aos pontos de amostragem do trabalho de campo realizado por OLIVEIRA et alii (1977), fez-se a determinação da (s) unidade(s) de solo predominante(s) nas unidades fisiográficas.

Foram definidos, a seguir, grupos homogêneos de unidades fisiográficas, empregando-se para isso a Análise de Agrupamentos (Cluster Analysis), tendo por coeficiente de semelhança a Distância Euclideana Média. Desse modo foram obtidas as unidades de mapeamento, sendo classificadas em função do(s) solo(s) predominante(s).

2.4. Análise da Exatidão de Classificação

A análise da exatidão de classificação das unidades de mapeamento foi feita comparando-se os mapas de solos obtidos a partir da interpretação das imagens orbitais, nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, com o mapa referente ao levantamento semi-detalhado dos solos da quadrícula de Campinas, na escala 1:100.000, elaborado por OLIVEIRA et alii (1977).

As comparações foram efetuadas através de pontos amostrais, definidos pela aplicação sobre os mapas de uma malha regular de amostragem, com dimensão equivalente a 1 Km entre nós (pontos amostrais), compatível com a densidade de pontos de observações de campo utilizada para a elaboração do mapa de solos por OLIVEIRA et alii (1977), que foi de aproximadamente 1 ponto de observação/km². Tomou-se o cuidado de que os pontos amostrados ocupassem rigorosamente a mesma posição nos três mapas. Foram eliminados da análise os pontos que recaíram sobre áreas urbanas e corpos d' água.

Para cada uma das escalas, a classificação de cada ponto amostral foi comparada com a obtida sobre o mapa tomado como "verdade terrestre", atribuindo-se os valores 0 e 1 às interpretações corretas e incorretas, respectivamente, permitindo o cálculo das proporções de erro e acerto.

Foram comparados, através do teste t , os desempenhos em termos de classificação das duas escalas, bem como dentro de cada escala as proporções de acerto entre as unidades de mapeamento.

O valor de t para comparação foi calculado como apresentado a seguir (FREESE, 1967) :

$$t = \frac{p_1 - p_2}{(p \cdot q)^{1/2} \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2} \right)^{1/2}}$$

onde

- p_1 = proporção de acerto do primeiro fator comparado
- p_2 = proporção de acerto do segundo fator comparado
- p = proporção geral de acerto nos dois fatores
- q = $1 - p$
- n_1 = número de pontos tomados para o primeiro fator
- n_2 = número de pontos tomados para o segundo fator
- $g.l.$ = $(n_1 + n_2) - 2$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Unidades de Mapeamento

Para a definição das unidades de mapeamento, foram analisados os resultados obtidos através da Análise de Agrupamentos para cada uma das escalas estudadas, que são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Assim, pela análise das duas tabelas e para efeito de homogeneização para as duas escalas, optou-se pela formação de três categorias de unidades de mapeamento: a) áreas de domínio dos solos com horizonte B latossólico (GR2 e GR3 para a escala 1:100.000, e GR2' e GR3' para a escala 1:250.000); áreas de domínio dos solos com horizonte B textural (GR4 e GR5, e GR5', respectivamente para as escalas 1.100.000 e 1.250.000); e c) áreas de domínio dos solos litólicos (GR1 para a escala 1.100.000 e GR 1' e GR4' para a escala 1.250.000).

A mesma categorização foi aplicada ao mapa de solos adotado como "verdade terrestre", para possibilitar as devidas comparações.

3.2. Verificação das Proporções de Erros e Acertos

Para cada um dos mapas nas duas escalas estudadas, e para cada ponto amostral definido pela aplicação da malha de amostragem, fez-se a comparação da classificação com o resultado observado no ponto homólogo sobre o mapa de referência.

Os resultados encontrados são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Como pode ser observado nas tabelas 3 e 4, o resultado geral obtido para as duas escalas foi favorável ao mapeamento gerado a partir da interpretação de imagens na escala 1:100.000, com 80,4% de acerto contra 75,3% obtidos para a escala 1.250.000, o que, sem dúvida, pode ser atribuído ao maior grau de detalhamento possí-

TABELA 1

GRUPOS HOMOGÊNEOS DE UNIDADES FIOGRÁFICAS DEFINIDOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS E SOLOS A ELES ASSOCIADOS (ESCALA 1:100.000)

Grupos	Número de Unidades	Solos Predominantes
GR1	12	Solos litólicos, substrato sedimentos do grupo Tubarão
GR2	16	Latossolo com rede de drenagem ausente ou escassa, por ocuparem as posições de terço superior das vertentes e interflúvios
GR3	5	Latossolos ocupando superfícies extensas na região, com rede de drenagem definida
GR4	28	Solos com horizonte B textural, predominando Podzólicos Vermelho-Amarelos
GR5	5	Associação entre solos com B textural, e entre estes solos com B latossólico

vel de ser atingido com o uso da maior escala, no que se refere aos aspectos de relevo e, principalmente, da rede de drenagem superficial.

Para ambos os casos, a maior proporção de interpretações corretas ocorreu na área de

mínio dos solos com horizonte B latossólico, devido principalmente à maior homogeneidade fisiográfica encontrada em tais áreas.

3.3. Análise Estatística

Com dados apresentados nas Tabelas 3 e

TABELA 2

GRUPOS HOMOGÊNEOS DE UNIDADES FIOGRÁFICAS DEFINIDOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS E SOLOS A ELES ASSOCIADOS (ESCALA 1:250.000)

Grupos	Número de Unidades	Solos Predominantes
GR1'	3	Solos litólicos, substrato sedimentos do grupo Tubarão. Relevo com alto grau de dissecação
GR2'	11	Latossolos com rede de drenagem ausente ou escassa, por ocuparem posições superiores no relevo
GR3'	6	Latossolos, em geral ocupando superfícies extensas na região, com rede de drenagem definida
GR4'	9	Solos litólicos, substrato sedimentos do grupo Tubarão, associados ou não a Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média
GR5'	30	Solos com horizonte B textural, predominando Podzólicos Vermelho-Amarelos

TABELA 3
RESULTADO DA INTERPRETAÇÃO SOBRE O MAPA NA ESCALA 1:100.000

Unidades de Mapeamento	Número Total de Pontos	Interpretação Correta	Interpretação Incorreta
Áreas de domínio dos solos com horizonte B latossólico	348 (50,8 %)	289 (83,0 %)	59 (17,0 %)
Áreas de domínio dos solos com horizonte B textural	265 (38,7 %)	213 (80,4 %)	52 (19,6 %)
Áreas de domínio dos solos litólicos	72 (10,5 %)	49 (68,0 %)	23 (32,0 %)
Área Total	685 (100,0 %)	551 (80,4 %)	134 (12,6 %)

4, fez-se uma análise para avaliar o grau de significância estatística dos resultados encontrados, através do teste *t*, segundo FRIESE (1967).

3.3.1. Comparação entre escalas

Na comparação geral entre os mapas nas duas escalas estudadas, o valor obtido para *t* foi igual a 2,280 (*) que, comparado ao valor de tabela, indicou que a exatidão de classificação diferiu significativamente entre os dois produtos, ao nível de 5% de probabilidade, nesse caso favoravelmente à escala 1:100.000.

Os resultados do teste *t* para as unidades de mapeamento, entre escalas, encontram-se na Tabela 5.

Apenas para as áreas de domínio dos solos com horizonte B textural foi constatada uma diferença significativa em relação à proporção de pontos classificados corretamente, indicando uma superioridade técnica das imagens na escala 1:100.000 quando se tratar do mapeamento em áreas de ocorrência de tais solos.

3.3.2. Comparação entre solos, dentro de escalas

Para cada uma das escalas estuda-

TABELA 4
RESULTADO DA INTERPRETAÇÃO SOBRE O MAPA NA ESCALA 1:250.000

Unidades de Mapeamento	Número Total de Pontos	Interpretação Correta	Interpretação Incorreta
Áreas de domínio dos solos com horizonte B latossólico	348 (50,8 %)	279 (80,2 %)	69 (19,8 %)
Áreas de domínio dos solos com horizonte B textural	265 (38,7 %)	188 (70,9 %)	77 (29,1 %)
Áreas de domínio dos solos litólicos	72 (10,5 %)	49 (68,0 %)	23 (32,0 %)
Área Total	685 (100,0 %)	516 (75,3 %)	169 (24,7 %)

TABELA 5
RESULTADOS DO TESTE T PARA UNIDADES DE MAPEAMENTO, ENTRE ESCALAS

Escala 1:100.000	Escala 1:250.000		
	B latossólico	B textural	Solos litólicos
B latossólico	0,9806 (n.s.)	-	-
B textural	-	2,5306 (*)	-
Solos litólicos	-	-	0,0000 (n.s.)

das, analisou-se o comportamento dos resultados obtidos entre as unidades de mapeamento, no tocante à proporção de pontos interpretados corretamente. Os resumos dessas análises encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Pelo exame das Tabelas 6 e 7 verifica-se diferentes comportamentos dentro das duas escalas. Para a escala 1:100.000 os solos litólicos diferiram aos níveis de 1% e 5%, respectivamente dos solos com horizonte B latossólico e B textural, seguida pela diferença entre os solos com B latossólico e os litólicos. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os solos com B textural e os litólicos. Esses resultados consubstanciam o fato de que as imagens na escala 1:250.000 possibilitam um nível de detalhamento menor na sua interpretação, quando comparadas às imagens na escala 1:100.000, afetando principalmente a retirada de informações em áreas de domínio dos solos litólicos e

daqueles com horizonte B textural, onde a rede de drenagem é mais densa, com um número maior de elementos (canais) de pequeno comprimento, e relevo mais movimentado.

4. CONCLUSÕES

Em função da metodologia empregada, foram possíveis as seguintes conclusões:

- na comparação geral entre escalas, a maior proporção de pontos classificados corretamente foi observada sobre o mapa gerado a partir da interpretação de imagens na escala 1:100.000;

- para as duas escalas estudadas, a maior proporção de classificações corretas deu-se nas áreas de domínio dos solos com horizonte B latossólico, sendo isso atribuído principalmente à maior homogeneidade fisiográfica

TABELA 6
RESULTADOS DO TESTE T PARA AS UNIDADES DE MAPEAMENTO, DENTRO DA ESCALA 1:100.000

Unidade de Mapeamento	B latossólico	B textural	Solos litólicos
B latossólico	-	0,8514 (n.s.)	2,9219 (**)
B textural	-	-	2,2290 (*)
Solos litólicos	-	-	-

TABELA 7

RESULTADOS DO TESTE T PARA AS UNIDADES DE MAPEAMENTO, DENTRO DA ESCALA 1:250.000

Unidade de Mapeamento	B latossólico	B textural	Solos litólicos
B latossólico	-	2,6576 (**)	2,2619 (*)
B textural	-	-	0,4744 (n.s.)
Solos litólicos	-	-	-

fica encontrada nessas áreas;

- as proporções de pontos classificados corretamente entre as unidades de mapeamento, dentro de escalas, apresentaram diferentes comportamentos, em decorrência da queda no nível de informações extraídas quando se passa da escala 1:100.000 para a 1:250.000, afetando principalmente a interpretação em áreas de maior densidade de drenagem e relevo mais movimentado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONGALTON, R.G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 54 (5) : 593-600, 1988.

DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PEREZ FILHO, A.; NOGUEIRA, F.P.; KOFFLER, N.F. Imagens orbitais e de radar na definição de padrões fisiográficos aplicados a solos. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 7 (1): 89-94, 1983.

FREESE, F. Elementary statistical methods for foresters. USDA Forest Service. Washington, D.C., 1967. 87 p. (Agriculture Handbook, 317).

GOOSEN, D. Aerial photo interpretation in soil survey. Roma, FAO, 1967. 55 p. (Soil Bulletin, 6).

KOFFLER, N.F. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru. São José dos Campos, 1976. 167 p. (Mestrado - INPE).

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. Levantamento semi-detalhado dos solos do Estado

de São Paulo: quadrícula de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1977. Mapa (escala 1:100.000).

ROSENFELD, G.H. & MELLEY, M.L. Applications of statistics to thematic mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 46 (10) : 1287 - 1294, 1980.

VALÉRIO FILHO, M. ; HIGA, N.T. ; CARVALHO, V.C. Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos. São José dos Campos, 1976. 276 p. (Mestrado - INPE).

VETTORAZZI, C.A. Interpretação de imagens TM/LANDSAT-5, em duas escalas, na caracterização fisiográfica para mapeamento de solos. Piracicaba, 1988. 184 p. (Doutorado - ESALQ/USP).