

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALGORÍTMOS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGEM COM BASE NA EXATIDÃO DO MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO: UM EXEMPLO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM - SP

SOFIA DE AMORIM MASCARO¹
MARCOS CÉSAR FERREIRA²

¹IGCE - Universidade Estadual Paulista
Caixa Postal: 178 - 13506-900 - Rio Claro - SP, Brasil
sofiamascaro@yahoo.com.br

²IGE - Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
macferre@ige.unicamp.br

Abstract: The most common method employed to accuracy assessment of land-use and land-cover maps, obtained from remote sensing data and digital processing, is based in error matrix analysis. In this paper some of the supervised classification algorithms are tested and compared to determine the classifications that produces the most accuracy results. The area used to evaluate the classifiers is located in southwest of São Paulo State, Brazil, near of Jurumirim reservoir. The results show that, in relation to global accuracy, maxlike is the best classifier, and the minimum distance classifier is the best for Cerrado forest category mapping.

Keywords: image processing, land-use classification accuracy, error matrix, Landsat 7, Jurumirim reservoir.

1. Introdução

A classificação digital de imagens tem sido um procedimento amplamente utilizado no mapeamento do uso e cobertura do solo. No entanto, a exatidão global de mapas temáticos produzidos por meio das técnicas de classificação digital e a exatidão das categorias mapeadas, não têm sido procedimentos normalmente utilizados neste campo de pesquisa do sensoriamento remoto.

O método mais comum para representar a exatidão da classificação de mapas obtidos de classificação digital de dados orbitais é a matriz de erro ou tabela de contingência (Congalton et al., 1983). Esta matriz expressa o cálculo da concordância e discordância entre as categorias classificadas de um mapa de uso e cobertura do solo e a verdade terrestre (Rosenfield, 1986; Rosenfield e Fitzpatrick-Lins, 1986).

Os dados derivados das matrizes de erro são também utilizados em pesquisas cujo objetivo é comparar a qualidade do mapeamento em função do tipo de sensor, da data de aquisição da imagem e do algoritmo empregado para a classificação (Congalton et al., 1983).

Este trabalho tem como objetivo avaliar, com base em matrizes de erro, o desempenho da classificação digital supervisionada, comparando-se os algoritmos *máxima verossimilhança*, *mínima distância* e *paralelepípedo*, para o mapeamento do uso e cobertura do solo no entorno do reservatório de Jurumirim (SP), destacando-se a vegetação de cerrado.

O presente estudo é parte integrante do projeto "Monitoramento ambiental em áreas turísticas: represa de Jurumirim-SP, nos municípios de Avaré e Paranapanema", cujo objetivo principal consiste em estudar a evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo em parte das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no entorno do reservatório de Jurumirim (SP), utilizando fotografias aéreas de 1972 e imagens do satélite Landsat 7 de 2000. Na área de estudo encontram-se remanescentes da vegetação do cerrado, representados por fisionomias como o cerradão, o cerrado *stricto sensu*, o campo cerrado e o campo sujo. Estas áreas estão sujeitas à degradação devido ao desenvolvimento e implementação de infra-

estrutura de lazer, que podem estar contribuindo para a retirada da vegetação natural. A pesquisa citada foi financiada pela FAPESP (processo 00/02212-5).

1.1. Algoritmos da classificação digital supervisionada de imagens

A classificação digital supervisionada de imagens adota como pressuposto a necessidade de conhecimento prévio da área de estudo a partir de trabalhos de campo, de tal forma a permitir ao intérprete delimitar sobre a imagem áreas representativas de cada categoria definida na legenda, chamadas de amostras de treinamento (*training sites*). A partir destas amostras, o algoritmo do classificador estima parâmetros estatísticos aos NDs que definem cada uma das categorias, e designa o restante dos pixels da imagem à uma destas categorias (Chuvieco, 2000). É importante que as amostras de treinamento sejam homogêneas e representativas da categoria de interesse (Novo, 1998).

Os algoritmos utilizados no mapeamento do uso e cobertura do solo neste trabalho foram:

- a) *Máxima verossimilhança*: Considera que os NDs de cada categoria ajustam-se à uma distribuição normal em um espaço multidimensional das bandas, definido por uma zona elíptica que caracteriza a assinatura. Apoiar-se na teoria da probabilidade Bayesiana, a qual utiliza dados da média e variância/covariância das assinaturas espectrais de um conjunto de amostras de treinamento com o objetivo de estimar a probabilidade de um dado pixel pertencer à cada uma das categorias (Eastman, 1999; Chuvieco, 2000).
- b) *Mínima distância*: Baseia-se na reflectância média de cada assinatura, para cada banda espectral. Os pixels são designados à categoria com o valor de reflectância média mais próximo do valor daquele pixel (Eastman, 1999), ou seja, àquela que apresenta a mínima distância entre o pixel a ser classificado e o centróide da categoria (Chuvieco, 2000).
- c) *Paralelepípedo*. Fundamenta-se na determinação do conjunto de reflectâncias mínimas e máximas para uma dada assinatura, em cada banda espectral. Para ser atribuído à uma categoria em particular, o pixel deve exibir valores de reflectância, pertencentes ao intervalo de reflectâncias da amostra esperada para cada banda. Este critério tende a delinear polígonos multidimensionais de lados paralelos ao redor do centro de cada categoria (Eastman, 1999; Chuvieco, 2000);

1.2. Exatidão da classificação

A matriz de confusão ou tabela de contingência, é derivada de cálculos realizados a partir da amostragem dos dados classificados (Story e Congalton, 1986). Congalton et al. (1983) e Story e Congalton (1986), explicam que as colunas desta matriz representam a verdade terrestre ou os dados de referência, enquanto as linhas indicam os dados classificados pelo algoritmo de classificação. A diagonal principal indica a concordância entre estes dois grupos de dados. A exatidão global é calculada pela divisão da soma dos elementos da diagonal principal pelo número total de amostras tomadas (Story e Congalton, 1986).

Segundo Congalton et al. (1983), a matriz de erro também permite determinar a exatidão para cada categoria mapeada. Quando o número de amostras classificadas corretamente em uma dada categoria é dividido pelo número total das amostras de referência desta categoria, o resultado percentual indica a probabilidade da amostra de referência ter sido classificada corretamente. Estima-se assim, os erros de omissão e a “exatidão do produtor”. No entanto, os erros de classificação não são apenas erros de omissão da categoria correta, mas erros de inclusão em outra categoria. Quando o número de amostras classificadas corretamente em uma dada categoria é dividido pelo número total das amostras que foram classificadas nesta categoria, a porcentagem resultante indica a probabilidade da amostra realmente representar

aquela categoria. Estima-se assim os erros de inclusão e a “exatidão do usuário” (Story e Congalton, 1986).

Além disto, a matriz de erro permite uma análise multivariada discreta. Cohen (1960) apud Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), desenvolveu um coeficiente de concordância para escalas nominais, o Índice de Kappa (K). O valor de K é computado para cada matriz e estima a medida de concordância da classificação com os dados de referência (Congalton et al., 1983). Segundo Congalton et al. (1983) e Hudson e Ramm (1987), o cálculo do coeficiente de Kappa é efetuado por meio da seguinte relação:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}$$

onde: - N é o número total de pixels contemplado pela matriz de erro;
 - x é o elemento da matriz de erro;
 - r é o número de categorias presentes na matriz de erro;
 - x_{ii} são os elementos da diagonal principal;

- x_{i+} é o total da linha para uma dada categoria informacional;
- x_{+i} total da coluna para uma dada categoria informacional.

Para gerar a matriz, uma amostragem de pontos é realizada para checagem em campo (ou em mapas de referência) para comprovar se a atribuição dos pontos às categorias em questão, é correta (Ponzoni e Almeida, 1996).

Muitos autores discutem o tamanho ideal da amostra (N) utilizada para a coleta dos dados de referência (Hord, 1976; Genderen e Lock, 1977; Aronoff, 1981; Aronoff, 1982; Hord, 1986; Gong e Howarth, 1990; Dicks e Lo, 1990; Brites et al., 1996 e Chuvieco, 2000), bem como o padrão de amostragem adotado (Genderen e Lock, 1977; Fitzpatrick-Lins, 1981; Dicks e Lo, 1990; Gong e Howarth, 1990; Stehman, 1992; Brites et al., 1996; Chuvieco, 2000). Fitzpatrick-Lins (1981) sugere que o tamanho da amostra (N) deve ser determinado pela fórmula da teoria da probabilidade binomial (acerto-erro):

$$N = \frac{Z^2 (p)(q)}{E^2}$$

- onde: - p é o percentual de exatidão esperado;
 - $q = 100 - p$;
 - E é o erro permissível;
 - $Z = 2$, pelo desvio padrão normal de 1,96 para 95% de intervalo de confiança.

2. Área de estudo

A área de estudo, com 496km², insere-se em parte das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, situadas nas proximidades do reservatório de Jurumirim, entre as coordenadas UTM 705439 mE, 729235 mE, 7412390 mN e 7433225 mN. Localiza-se na bacia do Alto Paranapanema, sudoeste do Estado de São Paulo (**Figura 1**).

O uso e cobertura do solo predominantes na área compõem-se de pastagem, reflorestamento, culturas temporárias e loteamentos de primeira e segunda residência (estes últimos destinados ao turismo), e remanescentes da vegetação do cerrado, representados pelas fisionomias do cerradão, cerrado ss, campo cerrado e campo sujo.

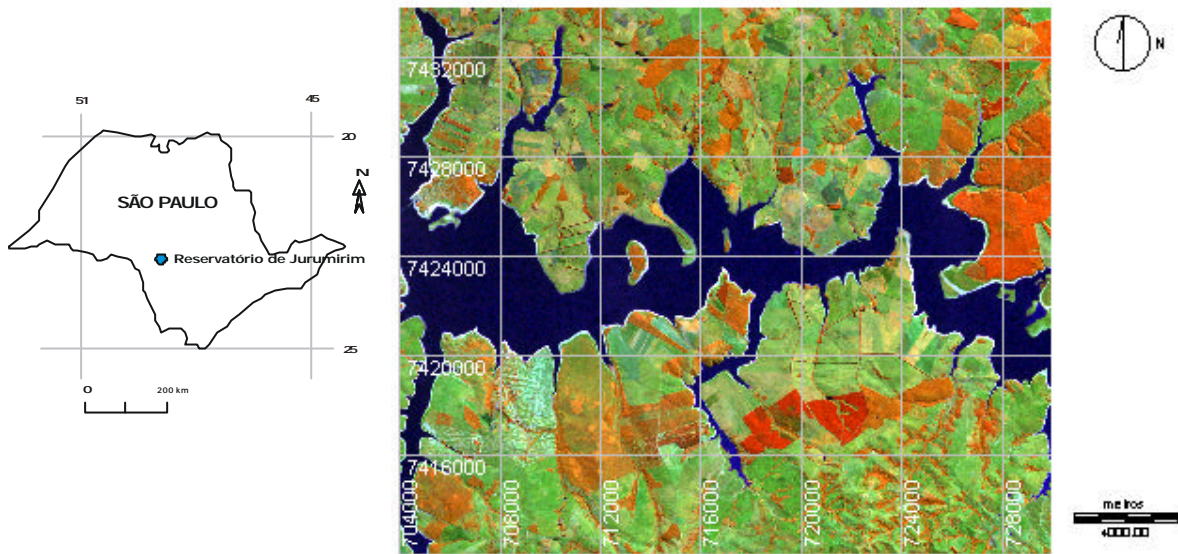


Figura 1: Localização da área de estudo (Imagem IHS bandas 3, 4, 5 e 8, Landsat 7/ETM+).

3. Materiais e métodos

3.1. Materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas imagens do satélite Landsat 7/ETM+ (220/76, de 24.06.2000) bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7, e 8; ampliação fotográfica da composição colorida 453/RGB+Pan; fotografias aéreas pancromáticas de 1972/1:25.000 do IPT; folhas topográficas Avaré e Paranapanema, escala 1:50.000; mapa cadastral do uso do solo elaborado pela Prefeitura Municipal de Avaré; plantas dos projetos dos loteamentos implantados no município de Paranapanema; mesa digitalizadora; estereoscópio de espelho ZEISS; Sistema de Informação Geográfica Idrisi32; software AutoCAD 14 e GPS Map Garmin.

3.2. Métodos

Inicialmente fez-se um recorte da cena da imagem a fim de delimitar a área de estudo. Posteriormente efetuou-se a correção geométrica de todas as bandas utilizando um polinômio de 1º grau e o método do vizinho mais próximo, adotando-se o sistema de projeção UTM. Realizou-se a fusão das bandas 3, 4, 5 e 8 pela técnica IHS, com o objetivo de compatibilizar a resolução espectral das bandas 3, 4 e 5 à resolução espacial da banda 8 (15 metros). Todos os procedimentos que estão sendo descritos foram realizados no SIG Idrisi 32.

Para a coleta das amostras de treinamento, procurou-se identificar na imagem IHS o padrão de respostas espectrais das categorias de uso e cobertura do solo, definidas com apoio de trabalhos de campo. Buscou-se delimitar amostras homogêneas com histogramas unimodais, representativas das seguintes categorias: *cerrado*, *pastagem*, *reflorestamento*, *cultura temporária*, *loteamento*, *areia* e *água*. A categoria *cerrado* inclui os remanescentes de cerradão, cerrado ss, campo cerrado, campo sujo e matas de galeria; a *pastagem* agrupa o pasto natural e o plantado; o *reflorestamento* inclui culturas de *eucaliptus* e *pinus*; as áreas de *cultura temporária* destaca-se pela presença de pivôs centrais de irrigação; o *loteamento* é definido por lotes vagos, condomínios de segunda residência e hotéis turísticos; a *areia*, correspondente às praias formadas na borda do reservatório nos períodos de seca e *água* está associada à lâmina d'água do reservatório de Jurumirim e aos açúdes menores.

Em seguida foram criadas as assinaturas espectrais das categorias. A categoria *loteamento*, por apresentar maior heterogeneidade, foi digitalizada com base nas coordenadas adquiridas em campo, via GPS e em informações do mapa cadastral, e sobreposta à imagem. Para a classificação digital supervisionada foram utilizados os seguintes métodos e especificidades:

- a) *Máxima verossimilhança*: opções utilizadas: igual probabilidade de ocorrência para cada assinatura – MAXLIKE/IP, e probabilidade especificada a priori – MAXLIKE/EP. Nestes dois métodos, a proporção de exclusão dos pixels foi de 0%, classificando-se assim todos os pixels da imagem. Para especificar a probabilidade de ocorrência das assinaturas, foi calculada a porcentagem de ocorrência por categorias de uso e cobertura do solo, com base em amostragem.
- b) *Mínima distância*: opções: distância pura MINDIST/RI e normalizada MINDIST/NI. Nas duas opções, adotou-se como distância máxima a infinita.
- c) *Paralelepípedo*: Foram utilizados Z-score de 1,95 (PIPED/Z1,96) e 2,58 (PIPED/Z2,58) que retiram, respectivamente, 5% e 1% de pixels menos similares às assinaturas espectrais;

Após a classificação das imagens, foi aplicado o filtro de média (janela 5x5) com o objetivo de remover pixels isolados (ruídos) na classificação. Após a filtragem, a categoria *loteamento* foi sobreposta às imagens classificadas finais.

Na fase de avaliação da exatidão de cada método de classificação, foi determinado o tamanho da amostra (N=144) com base em exatidão de 90%, como sugerido por Anderson et al. (1972) apud Genderen e Lock (1977), com erro permissível de 5%, (Brites et al., 1996). Adotou-se a amostragem sistemática, como sugerida por Stehman (1992).

As matrizes de erro das classificações geradas foram analisadas considerando a exatidão global, os erros de omissão e inclusão e o coeficiente de Kappa.

4. Resultados e Discussão

A **Tabela 1** mostra as matrizes de erro das seis classificações efetuadas pelos algoritmos máxima verossimilhança, mínima distância e paralelepípedo, ordenadas pelos valores de exatidão e kappa global. Na diagonal principal (em vermelho) estão posicionados o número de pixels classificados corretamente. A classificação pelo algoritmo MAXLIKE/EP apresentou a maior exatidão global (88%) e o maior valor de Kappa global (83%). Isto significa que o usuário possui um mapeamento no qual a seleção aleatória de uma área tem probabilidade de 88% de ter sido classificada corretamente. O mapa de uso e cobertura do solo produzido pelo algoritmo MAXLIKE/EP pode ser observado na **Figura 2**.

As classificações MAXLIKE/IP e MINDIST/NI atingiram respectivamente a exatidão global de 86% e 85%, com igual valor de Kappa (80%). Estes valores de exatidão estão relacionados aos algoritmos empregados, que ajustaram melhor os dados na fase de classificação por considerarem as diferenças na variabilidade das assinaturas espectrais. Segundo Fitzpatrick-Lins (1981) e Brites et al. (1996) o mínimo de exatidão global requerida para a maioria das aplicações é de 85%.

As classificações pelos algoritmos MINDIST/RI, PIPED/Z1,96 e PIPED/Z2,58 apresentaram valores inferiores de exatidão global, respectivamente de 83%, 52% e 44%. Os valores de Kappa também foram menores que as demais classificações, ou seja, respectivamente 77%, 40% e 32%. Estes algoritmos não consideram a variabilidade das assinaturas espectrais, ocasionando maiores erros de inclusão e omissão na classificação.

Tabela 1: Matrizes de erro das classificações.

		CATEGORIAS DE USO E COBERTURA DO SOLO												Kappa (%)	
		VERDADE TERRESTRE							pixels amostrados	erros de inclusão (%)	exatidão do usuário (%)				
CLASSIFICAÇÃO		cerrado	água	pastagem	culturas temporárias	reflorestamento	areia	loteamento				linhas	colunas		
MAXLIKE/EP	cerrado	24	0	5	0	3	0	0	32	25	75	69	90		
	água	0	30	0	0	0	0	0	30	0	100	100	96		
	pastagem	1	0	60	1	2	1	0	65	8	92	86	83		
	culturas temporárias	1	0	1	0	1	0	0	3	100	0	0	0		
	reflorestamento	0	0	0	0	4	0	0	4	0	100	100	38		
	areia	0	1	0	0	0	2	0	3	33	67	66	66		
	loteamento	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100		
pixels amostrados		26	31	66	1	10	3	6	126	Kappa global = 83					
erros de omissão (%)		8	3	9	100	60	33	0							
exatidão do produtor (%)		92	97	91	0	40	67	100	Exatidão global = 126/143 = 88%						
MAXLIKE/IP	cerrado	21	0	5	0	2	0	0	28	25	75	69	76		
	água	0	30	0	0	0	0	0	30	0	100	100	96		
	pastagem	2	0	59	0	2	1	0	64	8	92	85	81		
	culturas temporárias	1	0	2	1	2	0	0	6	83	17	16	100		
	reflorestamento	2	0	0	0	4	0	0	6	33	67	64	37		
	areia	0	1	0	0	0	2	0	3	33	67	66	66		
	loteamento	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100		
pixels amostrados		26	31	66	1	10	3	6	123	Kappa global = 80					
erros de omissão (%)		19	3	11	0	60	33	0							
exatidão do produtor (%)		81	97	89	100	40	67	100	Exatidão global = 123/143 = 86%						
MINDIST/NI	cerrado	23	0	2	0	2	0	0	27	15	85	82	86		
	água	2	30	5	0	2	0	0	39	23	77	71	96		
	pastagem	0	0	56	0	0	1	0	57	2	98	97	75		
	culturas temporárias	0	0	0	1	1	0	0	2	50	50	50	100		
	reflorestamento	1	0	0	0	4	0	0	5	20	80	79	38		
	areia	0	1	3	0	1	2	0	7	71	29	27	65		
	loteamento	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100		
pixels amostrados		26	31	66	1	10	3	6	122	Kappa global = 80					
erros de omissão (%)		12	3	15	0	60	33	0							
exatidão do produtor (%)		88	97	85	100	40	67	100	Exatidão global = 122/143 = 85%						
MINDIST/RI	cerrado	22	0	5	0	3	0	0	30	27	73	67	81		
	água	0	30	0	0	0	0	0	30	0	100	100	96		
	pastagem	0	0	55	0	1	1	0	57	4	96	93	72		
	culturas temporárias	3	0	6	1	2	1	0	13	92	8	7	100		
	reflorestamento	1	0	0	0	4	0	0	5	20	80	79	38		
	areia	0	1	0	0	0	1	0	2	50	50	49	32		
	loteamento	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100		
pixels amostrados		26	31	66	1	10	3	6	119	Kappa global = 77					
erros de omissão (%)		15	3	17	0	60	67	0							
exatidão do produtor (%)		85	97	83	100	40	33	100	Exatidão global = 119/143 = 83%						
PIPED/ZI.96	cerrado	2	0	0	0	0	0	0	2	0	100	100	6		
	água	18	29	8	0	2	0	0	57	49	51	37	89		
	pastagem	0	0	32	1	2	1	0	36	11	89	79	31		
	culturas temporárias	0	0	20	0	0	1	0	21	100	0	0	0		
	reflorestamento	4	0	0	0	4	0	0	8	50	50	46	36		
	areia	0	1	1	0	1	1	0	4	75	25	23	31		
	loteamento	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100		
pixels amostrados		26	31	66	1	10	3	6	74	Kappa global = 40					
erros de omissão (%)		92	6	52	100	60	67	0							
exatidão do produtor (%)		8	94	48	0	40	33	100	Exatidão global = 74/143 = 52%						
pixels não classificados		2	1	5	0	1	0	0							
PIPED/Z2.58	cerrado	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	0	0		
	água	12	31	18	0	2	1	0	64	52	48	34	100		
	pastagem	1	0	19	1	1	0	0	22	14	86	75	16		
	culturas temporárias	0	0	6	0	1	0	0	7	100	0	0	0		
	reflorestamento	13	0	1	0	5	0	0	19	74	26	21	42		
	areia	0	0	22	0	1	2	0	25	92	8	6	60		
	loteamento	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100		
pixels amostrados		26	31	66	1	10	3	6	63	Kappa global = 32					
erros de omissão (%)		100	0	71	100	50	33	0							
exatidão do produtor (%)		0	100	29	0	50	67	100	Exatidão global = 63/143 = 44%						

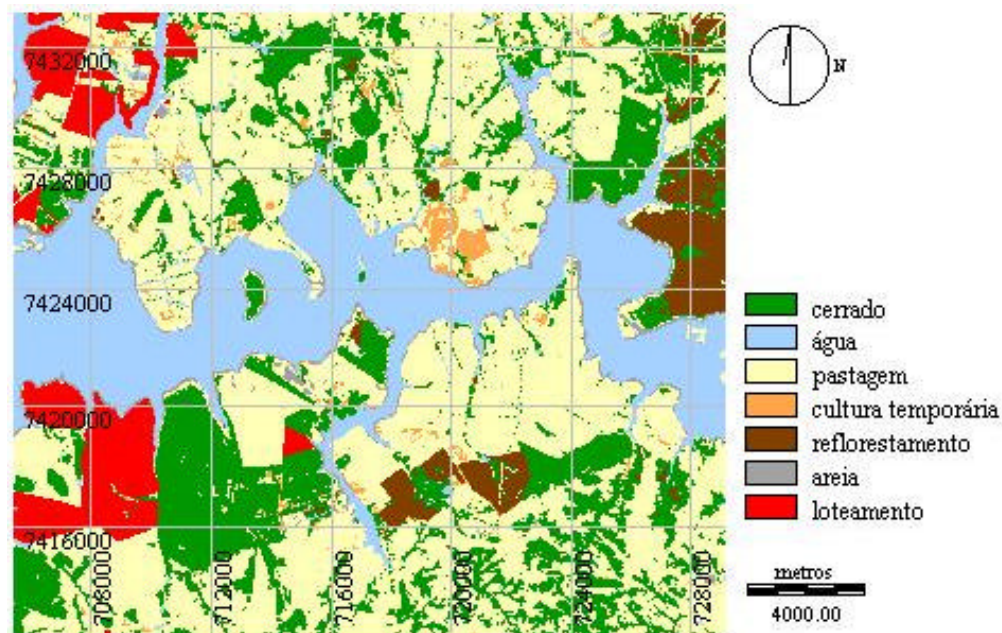


Figura 2 Mapa de uso e cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema (reservatório de Jurumirim) em 2000, classificado pelo algoritmo MAXLIKE/EP.

No caso da categoria *cerrado*, focalizada com maior relevância neste trabalho, a maior exatidão do usuário foi obtida na classificação MINDIST/NI, com 85% (erro de inclusão de 15%). Neste caso, ocorreu 12% de erro de omissão, com exatidão do produtor da ordem de 88%. Isto significa que 88% das áreas que foram mapeadas como *cerrado*, 85% correspondem de fato ao *cerrado*. Na classificação PIPED/Z1,96, apesar de uma exatidão do usuário de 100% foram somente mapeadas 8% das áreas como *cerrado*. Na classificação PIPED/Z2,58 o *cerrado* não apresentou exatidão do usuário pois nenhum dos pontos amostrais foi representativo. Os demais algoritmos evidenciaram uma exatidão do usuário entre de 73 e 75%, com erro de inclusão entre 27 e 25%.

5. Conclusões

As imagens do satélite Landsat 7/ETM+, mostraram-se adequadas para o mapeamento do uso e cobertura do solo da região estudada. A banda 8 permitiu a realização da técnica IHS, contribuindo para a maior eficiência na coleta visual das amostras de treinamento para a fase da classificação digital.

Os algoritmos MAXLIKE/EP, MAXLIKE/IP e MINDIST/NI apresentaram resultados satisfatórios na classificação digital, pois atingiram o mínimo de exatidão global requerida. No mapeamento da categoria *cerrado*, o algoritmo MINDIST/NI foi o que apresentou o melhor desempenho, no que refere-se à exatidão do usuário

O uso de matrizes de erro na avaliação da exatidão de mapas de uso e cobertura do solo originados por diferentes algoritmos de classificação digital supervisionada demonstrou ser eficiente, na medida que fornecem a exatidão global do mapa e de cada categoria mapeada.

No que se refere à exatidão de uma categoria de uso e cobertura do solo, deve-se observar os valores da exatidão do produtor (erros de omissão) e a exatidão do usuário (erros de inclusão). Portanto, a matriz de erro deve estar informada sempre que possível. A decisão de qual matriz representará melhor a classificação irá depender da relativa importância de cada categoria de uso e cobertura do solo no trabalho que está sendo realizado (Stehman, 1997).

6. Referências Bibliográficas

- Aronoff, S. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. *Forum. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 47, n. 9, p. 1349, 1981.
- Aronoff, S. Classification accuracy: a user approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 48, n. 8, p. 1299-1307, 1982.
- Brites, R.S.; Soares, V.P.; Ribeiro, C.A.A.S. Efeitos da estratégia de amostragem na exatidão reportada pelo índice de kappa na classificação de imagens orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, abr.1996. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.01.15.30>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/banon/2001/03.14.09.08.12>>. Acesso em: 14 de novembro de 2002.
- Chuvieco, E. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid :Ed. Rialp S.A, 2000. 568 p.
- Congalton, R.G.; Oderwald, R.O.; Mead, R.A. Assessing landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1983.
- Dicks, S.E.; Lo, T.H.C. Evaluation of thematic map accuracy in a land-use and land-cover mapping program. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 56, n. 9, p. 1247-1252, 1990.
- Eastman, J.R. *Idrisi for Windows – Version 32*. Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs: Clark University, 1999. 169 p.
- Fitzpatrick-Lins, K. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 47, n. 3, p. 343-351, 1981.
- Genderen, J.L. Van; Lock, B.F. Testing land-use map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 43, n. 9, p. 1135-1137, 1977.
- Gong, P.; Howarth, P.J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 56, n. 5, p. 597-603, 1990.
- Hord, R.M. Land-use map accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 42, n. 5, p. 671-677, 1976.
- Hord, R.M. *Remote sensing: methods and applications*. New York: Wiley-Interscience Publication, 1986. 362 p.
- Hudson, W.D.; Ramm, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 53, n. 4, p. 421-422, 1987.
- Novo, E.M.L.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 2^o ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998. 308 p.
- Ponzoni, F.E.; Almeida, E.S. A estimativa do parâmetro kappa (k) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, abr.1996. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 1996. Comunicações. p.230-234. Repositório da URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.39>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/banon/2001/03.14.09.08.12>>. Acesso em: 15 de novembro de 2002.
- Rosenfield, G.H. Analysis of thematic map classification error matrices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 5, p. 681-686, 1986.
- Rosenfield, G.H.; Fitzpatrick-Lins, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 2, p. 223-227, 1986.
- Stehman, S.V. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 58, n. 9, p. 1343-1350, 1992.
- Stehman, S.V. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environmental*, n. 62, p. 77-89, 1997.
- Story, M.; Congalton, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.