

Detecção Automática de Mudanças como Recurso Auxiliar no Monitoramento da Cobertura do Terreno

JOÃO Z. CARRILHO¹
JOÃO VIANEI SOARES¹
MÁRIO VALÉRIO FILHO¹

¹ - INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil
carrilho@ltd.inpe.br

Abstract. This paper refers to the use of selective principal component analysis as an automatic change detection technique, aiming at reducing the overall area subject to interpretation in remote sensing imagery, in applications of land-cover changes monitoring. The region under focus is in the “cerrado” of Minas Gerais-Brazil, a fast developing agricultural frontier.

Keywords: Remote Sensing, Change Detection, Land-Cover

1 Introdução

A aplicação de imagens de sensoriamento remoto, no monitoramento da cobertura do terreno, requer a interpretação repetida e comparação das classes de cobertura em datas diferentes. Sendo possível detectar automaticamente as áreas em que tenham ocorrido as mudanças, poderá reduzir-se o tempo necessário à sua caracterização.

As metodologias de detecção automática de mudanças de cobertura do terreno a partir de produtos de sensoriamento remoto baseiam-se no pressuposto de que, em geral, a diferente comportamento espectral corresponde uma diferente cobertura da terra. Considerando-se duas imagens co-registradas da mesma cena, elas podem ser diferentes devido a diferenças nas (i) condições atmosféricas, (ii) nos procedimentos de calibração dos sensores, (iii) no conteúdo de água no solo, e (iv) na cobertura vegetal. Só as últimas duas interessam ao presente objetivo.

Entre as metodologias estudadas por vários autores (por exemplo, Nelson, 1980; Jiaju, 1988; Green et al., 1994; Chavez e MacKinnon, 1994; Coppin e Bauer, 1994) podem distinguir-se aquelas que (a) requerem prévia calibração radiométrica entre bandas e entre datas e as que (b) não requerem tal calibração.

Quando se necessita calibração prévia, é necessário conhecimento não apenas sobre bandas de operação como também sobre as características de operação dos sensores, nas datas em que os mesmos adquirem as imagens.

O uso da análise por componentes principais seletivas de uma ou mais bandas em duas datas diferentes dispensa, em algumas situações, a prévia intercalibração de dados. De acordo com Chavez e MacKinnon (1994) as operações envolvidas na transformação por componentes principais procedem a

uma intercalibração automática de feições de baixa frequência. Estes autores sugerem que, em regiões do semi-árido se utilizem os resultados de detecção da banda TM3. À primeira componente principal estão associados os dados com maior correlação entre datas, que se supõe correspondam a áreas de não-mudança. A segunda componente principal corresponderá então às áreas de mudança. Jiaju (1988) concluiu que os resultados baseados em dados calibrados das bandas TM1, TM2 e TM3 diferem dos resultados baseados em dados não calibrados. Neste trabalho, propõe-se que a utilização conjunta dos resultados das banda TM3 e TM4, ofereça melhores resultados para as regiões do cerrado de topografia pouco acidentada.

2 Materiais e Métodos

Utilizaram-se os seguintes materiais:

- imagens LANDSAT CCT, adquiridas pelo sensor TM 5, das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, a 20 de junho de 1984 e 20 de julho de base 220, ponto 71, quadrante Sul, deslocado de -3 segundos;
- composições coloridas R5G4B3, em papel fotográfico, a escalas 1:100.000 (cena inteira) e 1:50.000 (quadrante Sul deslocado de -3 segundos);
- mapas topográficos, à escala 1:100.000, editados pela DSG, baseados em fotografia aérea adquirida pelo AST-10 da USAF, em 1967, com os índices SE.23-V-A-III, SE.23-V-A-VI SE.23-V-B-I, e SE.23-V-B-II.

O registro é um passo fundamental do pré-processamento. Considera-se que as imagens estejam co-registradas. Recomenda-se que o erro de registro se situe próximo de 1/4 e nunca acima de 1/2 pixel (Coppin e Bauer, 1994), mas aceitam-se resultados de até 1.7 pixels (Green et al., 1994).

O registro Imagem x Mapa foi feito entre a imagem de 1984 e cartas à escala 1:100.000 baseadas

em fotografia aérea de 1966-67. O intervalo de tempo entre a aquisição da fotografia aérea para a elaboração das cartas de referência e a aquisição da imagem é de aproximadamente 18 anos. Ocorreram alterações na paisagem que tornaram difícil a utilização de pontos de controle com as características ideais. Utilizou-se a reamostragem radiométrica do vizinho mais próximo. Escolheu-se um polinômio de mapeamento de segundo grau, que requer um mínimo de 6 pontos de controle. Recomendam-se 2 a 3 vezes este valor (Mather, 1987; Eastman, 1995). Utilizaram-se entre 8 e 12 pontos de controle. Todavia, haverá que considerar que (a) os pontos de controle situam-se nas regiões de interesse para a detecção, (b) incluíram os limites de tal região, e (c) as regiões de interesse são de relevo pouco acentuado. A precisão obtida nos registros situou-se entre 0.141 e 0.307 pixels.

O processamento de detecção enquadra-se num procedimento geral escolhido para a caracterização de mudanças ocorridas de 1984 para 1994.

Para o processo de detecção, foi utilizada a técnica de análise por componentes principais seletivas, como descrito por Jiaju (1988) e Chavez e Mackinnon (1994), utilizando-se as bandas TM3 (do vermelho) e TM4 (do infravermelho próximo). A banda TM4 foi utilizada complementarmente, como forma de distinguir mudanças na vegetação que não foram detectadas com a utilização apenas da banda TM3.

A imagem foi recortada de modo a considerar apenas os pixels imageados nas três datas, uma vez que o fundo e as áreas de sobreposição incompleta influenciam fortemente na transformação por componentes principais. Foram depois utilizados pares de bandas correspondentes em duas datas consecutivas para o cálculo das duas componentes principais. Para tal se utilizou a matriz de variância (dados não padronizados).

Para eliminar as feições de alta frequência preservando as bordas, foi aplicado um filtro de mediana de 3x3 sobre a segunda componente principal de cada uma das bandas a utilizar na detecção. Coppin e Bauer (1994) referem a aplicação de um filtro de moda de 4x4 antes da classificação, cuja aplicação não foi possível, neste caso, devido a limitações do aplicativo.

A definição do limiar de detecção tem sido estudada principalmente para imagens de diferença. Admitindo distribuição normal, os estudos sobre diferenças de bandas podem ser utilizados na segunda componente principal, na detecção de mudanças.

Stauffer e McKinney (1978) estabeleceram que a mudança é representada pelos pixels com níveis de cinza além de 3 desvios padrões. Inicialmente haviam estabelecido 2 desvios padrões, mas esse limiar pareceu superestimar a quantidade de mudanças. Nelson (1982)

encontrou, para a banda MSS7 (correspondente à banda TM4), valores entre 0.45 e 0.65 do desvio padrão, e para a banda MSS5 (correspondente à banda TM3) valores entre 0.35 e 0.60 desvio padrão. Os valores resultantes de modelagem do mesmo autor são, respectivamente 0.55 e 0.60 desvio padrão. Eastman (1995) recomenda valores da ordem de 1 desvio padrão estimado (s).

Na imagem da segunda componente, o desvio padrão corresponde à raiz quadrada do segundo autovalor (λ_2). Foram testados os limiares entre de $0.5\sqrt{\lambda_2}$ e $1.5\sqrt{\lambda_2}$, para a direita e para a esquerda (Fig. 1). Em função de comparação com a análise visual das imagens, foi adotado o limiar de $1\sqrt{\lambda_2}$.

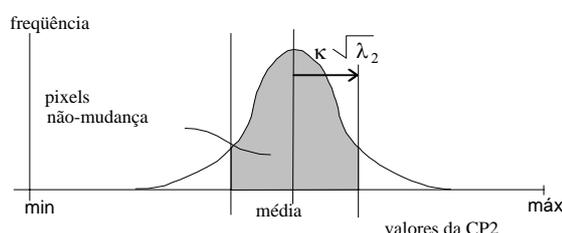


Fig.1 - Limiar de definição de área de não-mudança na segunda componente principal

A análise estatística foi feita com base na interpretação visual das imagens em 218 pontos escolhidos de uma amostra aleatória estratificada (Eastman,1995) para as mudanças ocorridas de 1984 a 1989. Não foi concluída a interpretação visual para as mudanças ocorridas entre 1989 e 1994. Foram calculados os valores da estatística KAPPA, por classes e total, para os três mapeamentos a partir das bandas TM3, TM4 e TM3+TM4.

3 Resultados

Mudanças de 1984 a 1989. Os resultados da análise de principais componentes seletivas da banda TM3 são apresentados na Tabela 1. Tendo em conta os valores de média e autovalor, consideraram-se pixels representativos de não-mudança aqueles cujos valores se situaram no intervalo [4;17).

TABELA 1 - CLASSES DE MUDANÇA DE 1984A 1989: DETECCÃO NA BANDA TM3

Categoria		pixels	Proporção
Nº	Descrição	nº	%
0	não-mudança	545.661	77.4
1,2	mudança*	169314	22.6
TOTAL		704975	100.0

NOTA*: 1=redução de sinal; 2=aumento de sinal.

Os resultados da análise de principais componentes seletivas da banda TM4 são apresentados na Tabela 2. Tendo em conta os valores de média e autovalor,

consideraram-se pixels representativos de não-mudança aqueles cujos valores se situaram no intervalo [-3;5).

TABELA 2 - CLASSES DE MUDANÇA DE 1984 A 1989: DETECCÃO NA BANDA TM4

Categoria		pixels	Proporção
Nº	Descrição	nº	%
0	não-mudança	526841	74.7
1,2	mudança*	178134	25.3
TOTAL		704975	100.0

NOTA*: 1= redução de sinal; 2= aumento de sinal.

Uma vez efetuada a detecção em cada uma das bandas, os seus resultados foram combinados como se apresenta na Tabela 3.

TABELA 3 - CLASSES DE MUDANÇA DE 1984 A 1989: DETECCÃO NAS BANDAS TM3 E TM4

Categoria		pixels	Proporção.
Nº	Descrição	nº	%
0	não-mudança	436832	62.0
1-8	mudança*	268143	38.0
TOTAL		704975	100.0

NOTA*:8 combinações de aumento e redução de sinal nas duas bandas.

Mudanças de 1989 a 1994. Os resultados da análise de principais componentes seletivas da banda TM3 são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - CLASSES DE MUDANÇA DE 1989 A 1994: DETECCÃO NA BANDA TM3

Categoria		pixels	Proporção
Nº	Descrição	nº	%
0	não-mudança	545993	77.4
1,2	mudança*	158982	22.6
TOTAL		704975	100

NOTA*: 1= redução de sinal; 2= aumento de sinal.

Tendo em conta os valores de média e autovalor, consideraram-se pixels representativos de não-mudança aqueles cujos valores se situaram no intervalo [-8;7). Os resultados da análise de principais componentes seletivas da banda TM4 são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 - CLASSES DE MUDANÇA DE 1989 A 1994: DETECCÃO NA BANDA TM4

Categoria		pixels	Proporção
Nº	Descrição	nº	%
0	não-mudança	539652	76.6
1,2	mudança*	165323	23.4
TOTAL		704975	100.0

NOTA *:1=redução de sinal; 2= aumento de sinal.

Tendo em conta os valores de média e autovalor, consideraram-se pixels representativos de não-mudança aqueles cujos valores se situaram no intervalo [10;20). Uma vez efetuada a detecção em cada uma das bandas,

os seus resultados foram combinados como se apresenta na Tabela 6.

TABELA 6 - CLASSES DE MUDANÇA DE 1989 A 1994: DETECCÃO NAS BANDAS TM3 E TM4

Categoria		pixels	Proporção
Nº	Descrição	nº	%
0	não-mudança	439899	62.4
1-8	mudança*	265076	37.6
TOTAL		704975	100.0

NOTA*:8 combinações de aumento e redução de sinal nas duas bandas.

Precisão de mapeamento. Foram calculadas as estatísticas KAPPA total e por classe, para o intervalo entre 1984 e 1989 (Tabela 7).

Note-se, em particular, a variação da estatística KAPPA para a categoria 2 (mudança), no caso de se utilizar a soma das bandas TM3 e TM4. Pode-se observar que a banda TM3 é muito sensível a considerar-se ou não a área de encosta. O erro de omissão da classe de mudança, na banda TM3 foi de 42,86%. Ao se somarem as bandas, o erro de inclusão é de cerca de 36%, o que justifica a criação de uma classe de não-mudança antes de proceder a uma classificação.

Na avaliação da qualidade de mapeamento, utilizaram-se os critérios definidos por Landis e Koch (1977) (Tabela 8).

TABELA 7 - ESTATÍSTICA KAPPA DOS MAPAS DE DETECCÃO COM BANDAS TM3, TM4 E TM3+TM4, COM REFERÊNCIA A INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS DE 1984 E 1989: RESULTADOS PRELIMINARES.

	TM3		TM4		TM3+TM4	
	com enc.	sem enc.*	com enc.	sem enc.*	com enc.	sem enc.*
Valores de KAPPA para:						
Não-mudança	0.66	0.87	0.44	0.48	0.47	0.58
mudança	0.44	0.50	0.32	0.28	0.63	0.54
TOTAL	0.52	0.64	0.37	0.36	0.54	0.61

NOTA*: Quando, tanto na imagem a comparar como na referência se retira uma área de encosta com o auxílio de uma máscara desenhada sobre tela.

TABELA 8 - CONCORDÂNCIA EM FUNÇÃO DA ESTATÍSTICA KAPPA

Valores de KAPPA	Concordância
<0,00	péssima
0,00 - 0,20	má
0,20 - 0,40	razoável
0,40 - 0,60	boa
0,60 - 0,80	muito boa
0,80 - 1,00	excelente

FONTE: Landis e Koch (1977)

As estimativas de proporções marginais verdadeiras de mudança e não-mudança obtidas são cerca de 32% e 68%, e foram calculadas para as matrizes de erro das bandas TM3, TM4 e TM3+TM4.

4 Discussão e Conclusão

Como se pode verificar pelos resultados, o número, de pixels representativos de mudanças classificados através da combinação dos resultados de detecção nas bandas TM3+TM, é cerca de 1,5 vezes maior do que quando calculada por detecção individual de cada uma das bandas (Fig.2). Além disso, a proporção da classe de mudança no mapeamento com a combinação aproxima-se mais da estimativa de proporção “verdadeira” marginal da mesma classe.

A comparação com a análise visual mostra que existe realmente uma subestimação de mudanças quando se trabalha exclusivamente com a banda TM3 em condições de cerrado.

Tendo em conta os resultados obtidos com imagens de 1989 e 1994, em particular quanto a proporções marginais mapeadas para cada classe, espera-se que os resultados obtidos para o período 1984-1989 sejam confirmados para o período 1989-1994.

O procedimento proposto permite reduzir em mais de 2/3 o número de pixels a submeter a estudo de mudança. Em tal estudo, é conveniente que a legenda inclua ainda a classe de não-mudança.

Referências

- Chavez, P.S; MacKinnon, D.J. Automatic detection of vegetation changes in Southwestern United States using remotely sensed images. *Photog. Engin. & Remote Sensing* 60(5):571-583, May, 1991.
- Coppin, P.R.; Bauer, M.E. Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, 32(4):918-927, Jul. 1994.
- Eastman, J.R. *Idrisi for Windows:user's guide*. Worcester, Clark University, 1995. 421 p.
- Green, K.; Kempka, D.; Lackey, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photog. Engin. & Remote Sensing* 60(3):265-271, Mar. 1994.
- Jiaju, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 9(12): 1895-1907, 1988.
- Landis, J.; Koch, G.G. The measurements of observed agreement for categorical data. *Biometrics* 33(3):159-174, Mar. 1977.
- Mather, P.M. *Computer processing of remote sensed images: an introduction*. New York, John Wiley & Sons, 1987. 352p.
- Nelson, R.F. *Detecting forest canopy change using Landsat: final report*. Goddard Space Flight Centre, Greenbelt, Maryland, NASA, 1982. 81 p.
- Stauffer, M.L.; McKinney, R.L. *Landsat image differencing as an automated land cover change detection technique (interim report)*. Goddard Space Flight Centre, Greenbelt, Maryland, NASA, 1978. (NASA CR-170476).

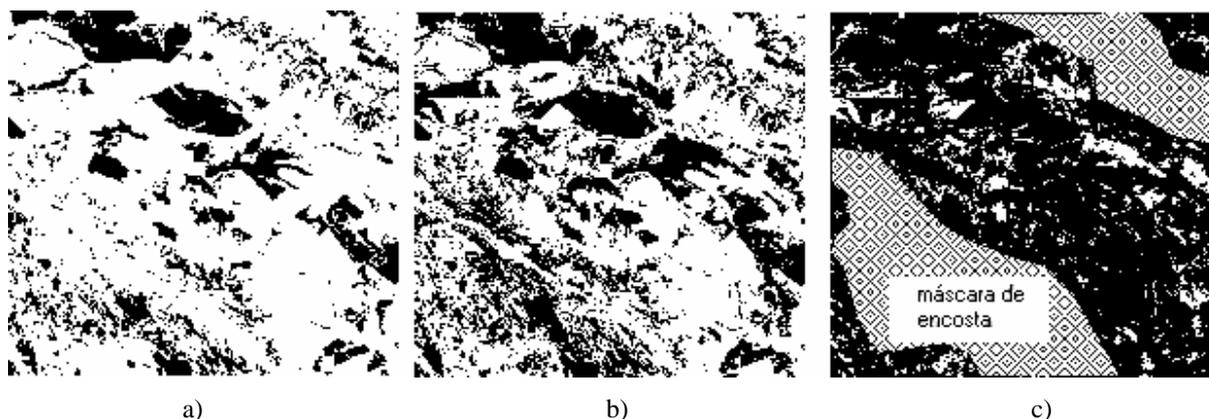


Fig. 2.- Mapeamento de mudanças ocorridas entre 1984 e 1989, utilizando a segunda componente principal seletiva das bandas TM3 e TM4: a) utilizando apenas a banda TM3; b) utilizando a soma da detecção nas bandas TM3 e TM4. As áreas a preto indicam as regiões onde ocorreram mudanças. c) diferença entre b) e a), com indicação da máscara da área de encosta utilizada para este trabalho.