AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DA COBERTURA EM ÁREAS REFLORESTADAS USANDO RAZÃO DE BANDAS DE IMAGENS DE SATÉLITE.

Vicente Paulo Soares[1], Ricardo Seixas Brites[1], Carlos Antônio Alvares Soares Ribeiro[1]

RESUMO - Seis bandas do sensor TM/Landsat-5, obtidas em 1989 e 1992, foram utilizadas para avaliar mudanças em plantações de eucaliptos e outras coberturas terrestres localizadas no Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais. Os conjuntos de dados foram corrigidos geometricamente, georreferenciados, registrados e reamostrados a uma rede de 30 metros. A técnica da razão entre bandas foi usada neste estudo e os resultados, avaliados qualitativa e quantitativamente, indicaram que todas as seis imagens transformadas pela razão entre bandas foram efetivas na avaliação de mudanças das coberturas terrestres presentes na área de estudo.

Palavras-chave: Landsat TM, eucalipto, detecção de mudanças, razão entre bandas

UTILIZATION OF IMAGE RATIOING TECHNIQUE TO EVALUATE CHANGES IN EUCALYPTUS FOREST PLANTATIONS AND OTHER COVER TYPES.

ABSTRACT - Six bands of Landsat TM data obtained in 1989 and 1992 were used for monitoring changes in *Eucalyptus* forest plantations and other cover types located in the Vale do Rio Doce, State of Minas Gerais, Brazil. The data sets were digitally registered, geometrically retified and resampled to a 30 meter grid. The image ratioing change detection technique was used in this study and the results were evaluated both qualitatively and quantitatively. Results indicated that all six transformed image ratioing were efective to evaluate changes in *Eucalyptus* forest plantations and other cover types.

Keywords: Landsat TM, *Eucalyptus* spp, change detection, band ratioing.

---

[1]Departamento de Engenharia Florestal, UFV - CP. - 36570-000 - Viçosa, MG.

1 INTRODUÇÃO

As imagens obtidas por sensores a bordo de satélites orbitais tem demonstrado um grande potencial para monitorar ou detectar mudanças na cobertura florestal sobre grandes áreas geográficas. Entre os sensores remotos utilizados destaca-se o Landsat TM, devido à sua visão sinótica, bem como sua boa resolução temporal, espectral e radiométrica, sendo as observações armazenadas digitalmente em formato numérico e, consequentemente, plausíveis de serem analizadas usando modernas técnicas computacionais (Lodwick, 1979).

Embora a detecção de mudanças possa envolver uma simples comparação visual entre duas imagens, muitos dos estudos tem requerido uma abordagem quantitativa mais detalhada para as análises destas mudanças (Wickware, 1981). Vários algoritmos de detecção de mudanças têm sido desenvolvidos, sendo que a técnica da razão de bandas tem se destacado devido à sua simplicidade de implementação e eficiência (Muchoney e Haack, 1994). Vogelmann e Rock (1986), estudando danos causados em florestas de *Pinus* nas montanhas de Vermont, USA, encontraram que a razão de bandas permitiu quantificar os níveis deste danos. Hoffer e Lee (1990) usaram três técnicas de detecção de mudanças: razão entre bandas, diferença entre bandas e análise por componentes principais. Os autores reportam que as três técnicas permitiram a discriminação de diferentes grupos de cobertura florestal, não havendo diferenças significativas entre as técnicas testadas.

O objetivo desse trabalho foi o de avaliar mudanças na cobertura terrestre, com predomínio de plantações de eucaliptos em duas datas diferentes, usando a técnica da razão entre bandas de imagens TM/Landsat.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A região utilizada neste estudo pertence à Companhia Agroflorestal Santa Bárbara (CAF), localizada no Vale do Rio Doce, MG, entre as coordenadas S $19^{0}50^{'}$ / W $42^{0}30^{'}$ e S $20^{0}00^{'}$ / W $42^{0}45^{'}$, onde observa-se o predomínio de plantações de eucaliptos, que são utilizados para a produção de energia e móveis.

Foram utilizados neste estudo dois conjuntos de imagens TM/Landsat, obtidos em 15 de junho de 1989 e 10 de setembro de 1992. A banda correspondente ao infravermelho termal (TM 6) foi excluída das análises, sendo usadas as três bandas do visível (TM1, TM2 e TM3), a

banda do infravermelho próximo (TM4) e as duas do infravermelho médio (TM5 e TM7). A Tabela 1 apresenta as principais aplicações dos canais do sensor TM/Landsat. Os dois conjuntos de imagens foram submetidos a processos padronizados de pré-processamento, que incluiram correção geométrica e registro. Quando se trabalha com dados multi-temporais, é importante que se consiga um bom geo-referenciamento das imagens, pois os pixels correspondentes às mesmas localizações terrestres são comparados uns com os outros. Em seguida as imagens foram submetidas a um processo de equalização de histogramas, de forma que ambas as imagens pudessem ter a mesma amplitude de distribuição dos tons de cinza, reduzindo os efeitos causados pela atmosfera, principalmente nas bandas TM1, TM2 e TM3.

TABELA 1: Principais aplicações do sensor TM/Landsat

Canal	Faixa Espectral (μm)	Principais Aplicações
1	0,45-0,52	Mapeamento de águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação, diferenciação entre vegetação coníferas e decíduas
2	0,52-0,60	Reflectância de vegetação verde sadia
3	0,63-0,69	Absorção da clorofila, diferenciação de espécies vegetais
4	0,76-0,90	Levantamento de biomassa, delineamento de corpos d'água
5	1,55-1,75	Medidas de umidade da vegetação, diferenciação entre nuvens e neve
6	10,4-12,5	Mapeamento de estresse térmico em plantas, outros mapeamentos térmicos
7	2,08-2,35	Mapeamento hidrotermal

Adaptado de Novo (1992)

Os dados de referência utilizados neste estudo incluíram fotografias aéreas em preto e branco na escala de 1:20.000, obtidas em outubro de 1989; cartas topográficas do IBGE na escala de 1:100.000; mapas dos plantios de eucaliptos e dados cadastrais identificando as áreas plantadas e cortadas com suas respectivas idades, possibilitando, assim, a determinação das idades dos povoamentos em cada data das imagens.

Na análise de detecção de mudanças foram utilizadas 26 classes de idades (em meses) de plantações de eucaliptos. Eucaliptos com idades inferiores a 12 meses foram designados de

Eucaliptos Jovens (EJ), enquanto que aqueles com idades superiores a 12 meses foram designados como Eucaliptos Maduros (EM). Esta nomenclatura teve como base o fechamento quase completo das copas após atingirem 12 meses de idade. Áreas que praticamente não mudaram entre os dois períodos analisados incluem solos expostos, rio, lagoas e plantios de eucaliptos. Com base em suas similaridades espectrais, determinadas em um estudo preliminar, as 26 classes de idades foram agrupadas então em quatro classes de mudanças e uma de não-mudança, conforme Tabela 2.

A técnica de detecção de mudanças utilizada neste estudo foi a da razão entre bandas. Seis imagens transformadas, uma para cada banda, foram obtidas pela divisão dos tons de cinza das células de cada banda da imagem de 1992 pelos correspondentes valores de tons de cinza das células de cada banda da imagem de 1989. A equação para o cálculo da razão entre bandas é dada a seguir:

TABELA.2: Coberturas terrestres utilizadas no estudo de detecção de mudanças

Descrição de Mudanças					
	1989		1992		Classes de
	Coberturas	Idade (Mes)	Coberturas	Idade (Mes)	Mudança
Houve Mudanças	Corte-Raso (CR)	0	Eucalipto Maduro (EM)	34-38	CR-EM
	Eucalipto Jovem (EJ)	5-9	Eucalipto Maduro (EM)	43-47	EJ-EM
	Eucalipto Maduro (EM)	91	Corte-Raso (CR)	0	EM-CR
	Eucalipto Maduro (EM)	66	Eucalipto Jovem (EJ)	8	EM-EJ
Sem Mudanças	Eucalipto Maduro	13-62	Eucalipto Maduro	51-100	NM
	Lagoa	-	Lagoa	-	NM
	Solo Exposto	-	Solo Exposto	-	NM
	Rio	-	Rio	-	NM

NM - Nenhuma Mudança

EQ01: $R_{ijk} = (Tc_{ijk,1992} / Tc_{ijk,1989}) * 60$

onde:

R_{ijk} = Razão entre os tons de cinza da célula i, j na banda k

$Tc_{ijk,1989}$ = Tom de cinza da célula i, j na imagem da banda k, na passagem de 1989

$Tc_{ijk,1992}$ = Tom de cinza da célula i, j na imagem da banda k, na passagem de 1992

60 = Constante de contraste

i = 1... número de linhas

j = 1... número de colunas

k = banda

Os valores das células resultantes da divisão foram multiplicados por um valor igual a 60 com o propósito de realçá-los e, consequentemente, facilitar as análises das imagens transformadas. Desta forma, valores próximos de 60 são indicativos de nenhuma mudança.

A eficiência desta técnica de detecção de mudanças foi testada em avaliações qualitativas e quantitativas de todas as seis imagens transformadas. A avaliação qualitativa foi feita a partir da análise visual de imagens impressas em papel fotográfico e da visualização em tela de monitor de vídeo. A avaliação quantitativa foi baseada na exatidão total, que é calculada a partir de uma matriz de erros. Para o cálculo destas matrizes, 170 polígonos foram cuidadosamente selecionados e digitalizados para toda a área de estudo, procurando assegurar a representatividade de todas as coberturas terrestres presentes nas duas imagens. Estes polígonos foram casualmente divididos, sendo a metade deles usados como polígonos de treinamento e a outra metade como polígonos de testes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise qualitativa

A Figura 1 mostra as seis imagens transformadas pela razão entre bandas, onde os tons de cinza representam que não houve mudanças e os tons mais claros e escuros representam as maiores mudanças. A banda TM4 mostrou ser inferior às demais bandas para diferenciar

certas áreas de mudanças, principalmente na porção nordeste da imagem, onde se encontram as classes de mudanças de eucalipto maduro/corte-raso e parte da de corte-raso/eucalipto maduro. Uma das possíveis razões da banda TM4 ter sido menos eficiente seria o fato de que as áreas consideradas de corte-raso não se encontravam completamente isentas de vegetação, o que pode ter elevado a resposta espectral nessa banda, ocasionando confusão. De maneira geral, parece claro que as imagens transformadas correspondentes às bandas TM5 e TM7 foram, visualmente, superiores às demais bandas para identificar classes de mudanças e de não-mudança em plantações de eucaliptos e outras coberturas terrestres. Este fato poderia estar relacionado ao ponto de saturação dos sensores, que são maior no infravermelho que no visível.

3.2.2 Análise quantitativa

Conforme mencionado anteriormente, uma avaliação quantitativa (automática) foi também conduzida nas seis imagens transformadas. Para tal, calculou-se a média dos valores digitais das células dentro de cada um dos 85 polígonos de treinamento para todas as bandas das imagens de 1989 e 1992, e, em seguida, foram agrupados dentro das respectivas classes de mudança e não-mudança. As classes de mudança e de não mudança utilizadas nas análises estão apresentadas na Tabela 2. A variável utilizada foi o valor médio da Razão de Banda R (EQ01), calculado para cada polígono selecionado.

Os valores médios de R para cada polígono referente à Banda TM2 são plotados na Figura 2 e analisados. Pela análise desta figura, nota-se que os valores digitais médios para a classe de não-mudança apresentam valores próximos a 60. As classes de mudanças eucalipto maduro/corte-raso e eucalipto maduro/eucalipto jovem se encontram acima da zona de não-mudança, enquanto que as classes corte-raso/eucalipto maduro e eucalipto jovem/eucalipto maduro se encontram abaixo da zona de não-mudança. Este comportamento também se verificou nas outras imagens transformadas, exceto para a banda TM4, que foi discutida posteriormente.

Além de analisar a tendência de distribuição dos valores digitais nos gráficos, definiu-se pelo estabelecimento de limiares com o objetivo de maximizar a diferenciação entre as classes de mudança e de não-mudança. Os limiares foram definidos com base na análise visual da distribuição dos valores digitais mostrados nos gráficos (seus valores se encontram na Tabela 3). Objetivando avaliar os limiares definidos a partir dos polígonos de treinamento, matrizes de erros foram preparadas, utilizando-se os valores digitais médios obtidos dos polígonos de testes (os resultados são mostrados na Tabela 4). Verifica-se, nesta Tabela , que as exatidões totais para as 5 bandas foram muito próximas, com as bandas 5 e 7 apresentando uma ligeira superioridade em relação às demais bandas. No geral, as exatidões estiveram em torno de 83,0%, o que mostra que todas as bandas foram relativamente eficientes para detectar mudanças nos plantios de

eucaliptos e outras coberturas terrestres. É importante notar que, para as classes onde poucos polígonos foram usados, quando apenas um polígono muda de uma classe para outra, a percentagem de exatidão pode cair de 25,0% a 33,0%. A razão do número diferenciado de polígonos por classe se deveu à sua representatividade na área de estudo.

FIGURA 1: Imagens transformadas pela razão entre bandas das imagens de 1989 e 1992.

FIGURA 2: Valores digitais médios obtidos da imagem transformada para a banda 2.

TABELA 3: Limiares definidos para cada classe nas cinco bandas transformadas.

	Limiares/Banda				
Classes	**TM 1**	**TM2**	**TM3**	**TM5**	**TM7**
CR-EM	<25	<25	<25	<25	<25
EJ-EM	25-50	25-50	25-50	25-50	25-50
NM	50-100	50-100	50-100	50-100	50-90
EM-EJ	100-175	100-200	100-120	100-120	>140
EM-CR	>175	>200	>120	>120	>140

CR-EM - corte-raso/eucalipto maduro
EM - EJ - eucalipto maduro/eucalipto jovem
EJ-EM - eucalipto jovem/eucalipto maduro
EM - CR - eucalipto maduro/corte raso
NM - nenhuma mudança

TABELA 4: Exatidões totais para cada classe nas cinco bandas transformadas

		Exatidões (%)				
Classes	**Polígonos**	**TM1**	**TM2**	**TM3**	**TM5**	**TM7**
CR-EM	8	87,5	87,5	75,0	75,0	75,0
EJ-EM	15	93,3	73,3	80,0	80,0	73,3
NM	55	76,4	81,8	81,8	85,4	89,1
EM-EJ	4	100,0	100,0	50,0	100,0	100,0
EM-CR	3	66,7	33,3	100,7	66,7	33,3
Exatidões Totais		81,2	82,3	80,0	83,5	83,5

CR-EM - corte-raso/eucalipto maduro
EM - EJ - eucalipto maduro/eucalipto jovem
EJ-EM - eucalipto jovem/eucalipto maduro
EM - CR - eucalipto maduro/corte-raso
NM - nenhuma mudança

É interessante observar que a imagem transformada correspondente à banda 4 não foi analisada juntamente com as demais imagens, tendo sido analisada separadamente. A razão para este tratamento diferenciado foi baseada no fato de que as classes corte-raso/eucalipto maduro e eucalipto maduro/corte-raso tiveram seus valores digitais médios invertidos e, portanto, se localizaram nos lados opostos da zona de não-mudança. Consequentemente, houve uma mistura com as classes eucalipto maduro/eucalipto jovem e eucalipto jovem/eucalipto maduro, impossibilitando definir limiares para estas classes de mudanças. Portanto, optou-se por combinar todas as classes individuais de mudanças em uma única classe e foram definidos apenas dois limiares, um para a classe de mudança e outro para a classe de não-mudança. Em seguida, gerou-se a matriz de erros a partir dos polígonos de testes. Os limiares e a matriz de erros são mostrados na Tabela 5. A exatidão de 81,2% pode ser considerada relativamente alta, embora a banda TM4 tenha sido usada para separar somente duas classes amplas, de mudança e de não-mudança. Pelo fato desta banda ter sido menos eficiente para discriminar classes individuais de mudanças, ela pode ser considerada inferior à demais bandas para detectar mudanças em estudos dessa natureza.

A Tabela 6 mostra o teste estatístico ao nível de 99% de probabilidade para cada classe de mudança em relação à classe de não-mudança, para todas as bandas analisadas. Pela análise desta tabela, nota-se que todas as classes de mudanças apresentaram diferenças significativas para a banda TM1, exceto a classe EM-CR. Para a banda TM2, não houve diferença significativa apenas para classe CR-EM, enquanto que para a banda TM3 não houve diferenças significativas para as classes CR-EM e EJ-EM. A banda TM4 apresentou diferença significativa entre a classe de mundaça e a de não-mudança. Deve-se ressaltar que todas as

classes de mudanças nesta banda foram combinadas em apenas uma classe de mudança. Na banda TM5 apenas a classe EJ-EM não apresentou diferença significativa, enquanto na banda TM7 todas as classes de mudanças diferiram estatisticamente da classe de não-mudança, dando a indicação de ser esta a banda que melhor discriminou mudanças nos plantios de eucaliptos e outras coberturas terrestres.

TABELA 5: Limiares e exatidões totais para a imagem transformada da banda TM4

Classes	Limiares	No. de Polígonos	Exatidões (%)
HM	<45 e >80	30	66,7
NM	45 a 80	55	89,1
Exatidão Total			81,2

HM - houve mudança

NM - nenhuma mudança

TABELA 6: Significância dos índices de Exatidão ao nível de 99% de probabilidade pelo teste Z, para todas as classes de mudanças em relação à de não-mudança, considerando-se as bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7.

Classe	**Significância**					
	TM1	**TM2**	**TM3**	**TM4**	**TM5**	**TM7**
CR-EM	*	NS	NS		*	*
EJ-EM	*	*	NS		NS	*
EM-EJ	*	*	*		*	*
EM-CR	NS	*	*		*	*
HM				*		

* - Significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste Z

NS – Não significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste Z

4 CONCLUSÕES

- O presente trabalho analisou o uso da técnica razão de bandas de imagens TM/Landsat para avaliar a mudança da cobertura em áreas reflorestadas localizada no Vale do Rio Doce, MG. Após as análises e discussões, as seguintes conclusões foram inferidas deste estudo:

- A análise quantitativa mostrou uma eficiência relativamente boa para todas as bandas analisadas, com as exatidões totais variando de 80,0% a 83,5%. Porém, deve-se ressaltar que a banda 4 (81,2%) discriminou apenas duas classes amplas, uma de mudança e outra de não-mudança.

- Quando submetidas ao teste estatístico Z, ao nível de 99% de probabilidade, a banda TM7 mostrou ligeira superioridade sobre as demais, uma vez que todas as classes de mudanças apresentaram diferenças significativas em relação à classe de não-mudança.

- A análise qualitativa mostrou uma ligeira superioridade para as bandas 5 e 7, com a banda 4 sendo também a menos eficiente entre todas as bandas examinadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica da razão de bandas de imagens TM/Landsat mostrou ser eficiente na discriminação de várias classes de plantações de eucaliptos com diferentes idades, baseado fundamentalmente na variação da reflectividade espectral das mesmas. Desta forma, acredita-se que as empresas florestais poderão lançar mão desta ferramenta para monitorar, por exemplo, áreas desfolhadas por ataque de pragas e doenças, devido à mudança no comportamento espectral das áreas atacadas em relação às áreas saudáveis. Sabe-se que o combate a formigas representa um custo altíssimo para as empresas. Pesquisas deverão ser conduzidas no sentido de verificar a viabilidade do uso de técnicas de detecção de mudanças na identificação de áreas

afetadas por incêndios, ataque de pragas e doenças, etc., dando subsídios a empresa para um melhor planejamento na recuperação destas áreas afetadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOFFER, R.M.; LEE, K.S. Change detection of forest cover using satellite radar data**. In**: FOREST SERVICE REMOTE SENSING APPLICATIONS CONFERENCE, 3, Tucson, Arizona, 1990. **Proceedings**...Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1990. p. 349-355.

LODWICK, G.D. Measuring ecological changes in multitemporal Landsat data using principal components In**:** INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13, Ann Arbor, 1979. **Proceedings**, Ann Arbor, 1979 p.1131-1141.

MUCHONEY, D.M.; HAACK, B.N. Change detection for monitoring forest defoliation. **International Journal of Remote Sensing**, London v.60, n.10, p.1243-51, 1994.

NELSON, R.F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church VA., v.49, n.9, p.1303-1314, 1983.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto:** princípios e aplicações. 2.ed. São paulo: Edgard Blucher, 1992. 308p.

VOGELMANN, J.E.; ROCK, B.N. Assessing forest decline in Conifeorus forests of vermont using NS-001 Thematic Mapper simulator data. **International Journal of Remote Sensing**, London, 17, p.1303-1321, 1986.

WICKWARE, G.M. Change detection in the Peace-Athabasca Delta using digital Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, New York, n.11, p.9-25, 1981.