

# Monitoramento de Plantações de *Eucalyptus* spp no Vale do Rio Doce Através de Imagens TM/Landsat 5

Vicente Paulo Soares<sup>1</sup>

Roger M. Hoffer<sup>2</sup>

Ricardo Seixas Brites<sup>1</sup>

Carlos Antonio Álvares Soares Ribeiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa  
Departamento de Engenharia Florestal  
36570.000 - Viçosa, MG, Brasil

<sup>2</sup>Colorado State University  
Departmente of Forest Sciences  
Fort Collins, CO 80523 - USA

**Abstract.** Six bands of Landsat TM data obtained in 1989 and 1992 were used for monitoring changes in *Eucalyptus* forest plantations located in the Vale do Rio Doce, State of Minas Gerais, Brazil. The data sets were digitally registered, geometrically rectified 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 effective to evaluate changes in *Eucalyptus* forest plantations.

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

## 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, repetitividade e a natureza multispectral das observações as quais são remotamente coletadas como valores numéricos e conseqüentemente plausíveis de serem analisadas 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 de mudanças (Wickware, 1981). Dentro desta ótica, vários algoritmos de detecção de mudanças tem sido desenvolvidos com o uso de imagens digitais. Entre as várias técnicas, tem-se destacado a técnica da razão entre bandas devido a sua simplicidade de implementação e eficiência e tem sido usada por vários autores (Vogelmann e Rock, 1986; Nelson, 1983; Hoffer e Lee, 1990, etc.) O objetivo deste trabalho foi o de avaliar mudanças em plantações de eucaliptos 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) e se localiza no Vale do Rio Doce, MG. Esta região é dominada por plantações de eucaliptos que são utilizados para a produção de carvão vegetal.

Foi utilizado neste estudo dois conjuntos de imagens TM/Landsat obtidos em 1989 e 1992. A banda correspondente ao infravermelho termal (banda 6) foi excluída das análises, sendo usadas as tres bandas do visível, a banda do infravermelho próximo e as duas bandas do infravermelho médio. As duas imagens foram submetidas aos processos padrões de pré-processamento os quais incluíram 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 valores de brilho e, conseqüentemente, fossem reduzidos os efeitos causados pela atmosfera, principalmente sobre as bandas do visível.

Os dados de referência utilizados neste estudo incluíram fotografias aéreas 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 mostrando as áreas plantadas e cortadas com suas respectivas idades, possibilitando, assim, a determinação das idades dos povoamentos em cada passagem do satélite.

Na análise de detecção de mudanças foram utilizadas 26 classes de idade (em meses) de plantações de eucaliptos. Eucaliptos com idades inferiores a 12 meses foram designados eucaliptos jovens, enquanto aqueles com idades superiores a 12 meses e inferiores a 100 meses foram designados como eucaliptos maduros. Esta nomenclatura foi baseada no fato de que eucaliptos atingem um fechamento de copas quase completo após 12 meses de idade. Áreas que não mudaram durante os dois períodos incluem lagoas, rio, solos expostos e eucaliptos. Baseado nas suas similaridades espectrais, as 26 classes de idades de eucaliptos foram combinadas em 4 classes de mudanças e uma de não-mudança, conforme Quadro 1.

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 valores de pixels da imagem de 1992 pelos correspondentes valores de pixels da imagem de 1989. A equação para o cálculo da razão entre bandas é dada a seguir:

$$R_{ijk} = (V_{b_{ijk},1992} / V_{b_{ijk},1989}) * 60$$

onde:

$R_{ijk}$  = valor do pixel alterado pela divisão

$V_{b_{ijk},1989}$  = valor de brilho na imagem de 1989

$V_{b_{ijk},1992}$  = valor de brilho na imagem de 1992

60 = constante

i = 1... número de linha

j = 1... número de colunas

k = banda

Os valores dos pixels resultantes da divisão foram multiplicados por uma constante de 60 com o propósito de realçá-los e, conseqüentemente, 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 baseada 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 na visualização em tela de monitor. A avaliação quantitativa foi baseada na exatidão total, a qual é calculada a partir de uma matriz de erros. Para os cálculos 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. Os 170 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

Figura 1 mostra as seis imagens transformadas pela razão entre bandas. Nesta imagens, os tons de cinza representam áreas onde não ocorreram mudanças significativas entre os dois períodos, enquanto que os tons claros e escuros representam áreas de mudanças.

A análise visual destas imagens mostra que elas se encontram um pouco salpicadas, especialmente as bandas do visível. Das seis imagens transformadas, a banda 4 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 classe de corte-raso/eucalipto maduro. Uma das possíveis razões da banda 4 ter sido menos eficiente é o fato de que as áreas consideradas de corte-raso não se encontravam completamente isentas de vegetação, o que causou uma certa confusão espectral nas classes de mudanças acima citadas. No geral, parece claro que as imagens transformadas correspondentes às bandas 5 e 7 foram, visualmente, superiores às demais bandas para identificar classes de mudanças em plantações de eucaliptos.

Conforme mencionado anteriormente, uma avaliação quantitativa foi também feita nas seis imagens transformadas. Para tal, calculou-se a média dos valores digitais dos pixels dentro de cada um dos 85 polígonos de treinamento para as imagens de 1989 e 1992 e em seguida foram agrupados dentro das respectivas classes de mudança e não-mudança.

Quatro classes de mudanças e uma de não-mudança foram utilizadas nas análises. As classes de mudanças definidas foram: Corte-raso/eucalipto maduro, eucalipto jovem/eucalipto maduro, eucalipto maduro/corte-raso e eucalipto maduro/eucalipto jovem. A classe de não-mudança inclui as classes de eucalipto maduro/eucalipto maduro, lagoa/lagoa, rio/rio e solo exposto/solo exposto. Os valores digitais médios de cada classe em cada banda da imagem de 1992 foram divididos pelos correspondentes valores da imagem de 1989 e multiplicados pela constante de 60. Assim, valores próximos de 60 são indicativos de nenhuma mudança.

Após a divisão, os valores digitais médios de cada classe para as seis bandas transformadas foram plotadas em gráficos e analisados. O gráfico da imagem

transformada correspondente à banda 2 é mostrada na figura 2. Pela análise desta figura, nota-se que os valores digitais médios para a classe de não-mudança se encontram localizados na zona de não-mudança (valores próximos de 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 transformada.

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 mudanças. Os limiares foram definidos com base na análise visual da distribuição dos valores digitais mostrados nos gráficos e seus valores se encontram no quadro 2. 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 e os resultados são mostrados no quadro 3. Verifica-se neste quadro que as exatidões totais para as 5 bandas foram muito próximas, com a banda 2 apresentando uma ligeira superioridade em relação às demais bandas. No geral as exatidões estiveram em torno de 83,0%, as quais mostram que todas as bandas foram relativamente eficientes para detectar mudanças nos plantios de eucaliptos. 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.

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 baseado 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

Quadro 1 - Categorias utilizadas no estudo de detecção de mudanças

de testes. Os limiares e a matriz de erros são mostrados no quadro 4. A exatidão de 81,2% pode ser considerada relativamente alta, embora a banda 4 tenha sido usada para separar somente duas classes amplas, de mudança e de não-mudança. Pelo fato desta banda ter sido ineficiente para discriminar classes individuais de mudanças, ela pode ser considerada inferior às demais bandas para detectar mudanças nesta área específica de estudo.

#### 4. Conclusões

As seguintes conclusões podem ser delineadas deste estudo:

- a análise quantitativa mostrou uma eficiência relativamente boa para todas as bandas analisadas. Porém, deve-se ressaltar que a banda 4 discriminou apenas duas classes amplas, uma de mudança e outra 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. Citações

Hoffer, R. M.; Lee, K. S. Change Detection of Forest Cover Using Satellite Radar Data. In: Third Forest Service Remote Sensing Applications Conference. *Proceedings*, 1990, pp.349-355.

Lodwick, G. D. Measuring Ecological Changes in Multitemporal Landsat Data Using Principal Components. In: Thirteenth International Symposium on Remote sensing of Environment, Ann Arbor, April 23-27, 1979. *Proceedings*, Ann Arbor, 1979, pp. 1131-1141.

Nelson, R. F. Detecting Forest Canopy Change Due to Insect Activity Using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(9), pp. 1303-1314, 1983.

Vogelmann, J. E.; Rock, B. N. Assessing Forest Decline in Coniferous Forests of Vermont Using NS-001 Thematic Mapper Simulator Data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, pp. 1303-1321, 1986.

Wickware, G. M. Change Detection in the Peace-Athabasca Delta Using Digital Landsat Data. *Remote Sensing of Environment*, 11, pp. 9-25, 1981.

Descrição de Mudanças

	Ano (1989)	Idade (meses)	Ano (1992)	Idade (meses)
Houve Mudanças	corte-raso	0	eucalipto maduro	34-38
	eucalipto jovem	5-9	eucalipto maduro	43-47
	eucalipto maduro	91	corte-raso	0
	eucalipto maduro	66	eucalipto jovem	8
Sem Mudanças	eucalipto maduro	13-62	eucalipto maduro	51-100
	lagoa	-	lagoa	-
	solo exposto	-	solo exposto	-
	rio	-	rio	-

Quadro 2 - Limiars definidos para cada classe nas cinco imagens transformadas

Classes	Limiars/Banda				
	1	2	3	5	7
CM	<25	<25	<25	<25	<25
JM	25<50	25<50	25<50	25<50	25<50
NM	50<100	50<100	50<100	50<100	50<90
MJ	100<175	100<200	100<120	100<120	>140
MC	>175	>200	>120	>120	>140

Quadro 3 - Exatidões totais para cada classe nas cinco imagens transformadas

Classes	Exatidão (%)					
	Número de Polígonos	1	2	Número de Bandas 3	5	7
CM	8	87,5	87,5	75,0	75,0	75,0
JM	15	93,3	73,3	80,0	80,0	73,3
NM	55	76,4	81,8	81,8	85,4	89,1
MJ	4	100,0	100,0	50,0	100,0	100,0
MC	3	66,7	33,3	100,0	66,7	33,3

CM - corte-raso/eucalipto maduro

JM - eucalipto jovem/eucalipto maduro

NM - nenhuma mudança

MJ - eucalipto maduro/eucalipto jovem

MC - eucalipto maduro/corte-raso

Quadro 4 - Limiars e exatidões totais para a imagem transformada da banda 4.



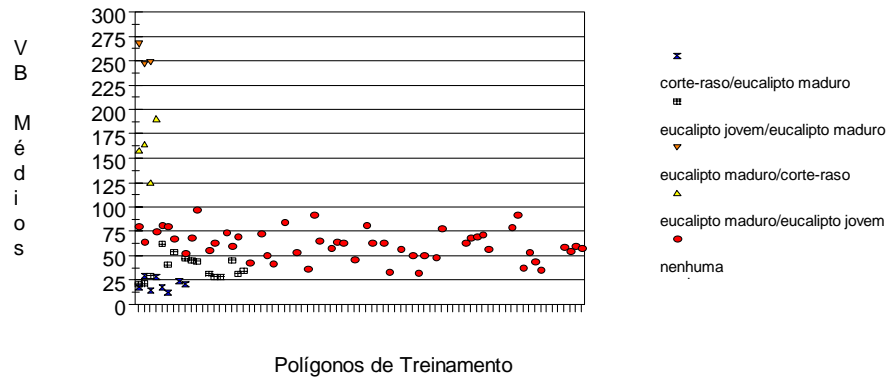


Figura 2 - Valores médios de brilho obtidos da imagem transformada para a banda 2