

Amostragens em imagens de sensoriamento remoto para a determinação da correlação entre características dendrométricas e dados espectrais

Aliny Aparecida dos Reis¹
Marcel Régis Raimundo¹
Iasmim Louriene Gouveia Silva¹
Anderson Pedro Bernardina Batista¹
Juliana Maria Ferreira de Sousa Diniz¹
José Marcio de Mello¹
Fausto Weimar Acerbi Junior¹

¹Universidade Federal de Lavras - UFLA
Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras - MG, Brasil
alinyreis@hotmail.com, marcelufla@gmail.com, iasmimlouriene@gmail.com,
anderson_pedro22@yahoo.com.br, juju-dinizsvm@hotmail.com,
{josemarcio, fausto}@dcf.ufla.br

Abstract. Most studies that involve correlations between the spectral and the wood's volume data do not consider the effect of the sampling window size. The aim of this study was to evaluate the effect of the sampling window size on the spectral data and analyze the correlations between the spectral and the wood's volume data in a Cerrado Sensu Stricto fragment. The spectral data were collected from an image in the satellite Landsat 5 TM. The reflectance values of the pixels in TM1, TM2, TM3, TM4 and TM5 bands and in the NDVI and SR vegetation indices were collected considering three sizes of sampling window: 1 pixel, 3 x 1 pixels and 3 x 3 pixels. A completely randomized design was considered in the experiment evaluation. To determine the relationship between the spectral and the volume data the Pearson's correlation coefficient was used. No significant effect of the sampling windows was observed in the reflectance values in TM1, TM2, TM3, TM4 and TM5 bands nor in the NDVI and SR vegetation indices. The correlation coefficients for the 1 pixel window were slightly higher than the values obtained for the window 3 x 1 pixels and 3 x 3 pixels. Thus, the spectral information considered in the analysis were extracted from the 1 pixel window. The best correlation value was observed between the volume and the reflectance TM4 band.

Palavras-chave: NDVI, volume, sampling window, NDVI, volume, janela de amostragem.

1. Introdução

Nas imagens de sensoriamento remoto, as florestas podem ser caracterizadas pelas suas reflectâncias em cada uma das bandas espectrais ou através de índices de vegetação (Berra et al., 2012). As características de reflectância dos dosséis florestais podem ser associadas a características dendrométricas para identificar produtividade, estoque de biomassa e outras variáveis de interesse da vegetação (Tomppo et al., 2008).

Diversos estudos comprovaram a existência de correlação linear entre a reflectância dos dosséis florestais e características dendrométricas (Foody; Boy; Cutler, 2003; Thenkabail et al., 2003; Lu et al., 2004; Mäkelä; Pekkarinen, 2004; Watzlawick; Kirchner; Sanquetta, 2009; Canavesi et al., 2009; Berra et al., 2012). Para a determinação dessa correlação as informações obtidas pelo inventário florestal realizado em campo são associadas às informações de reflectância obtidas nas imagens nas mesmas coordenadas geográficas das unidades amostrais do inventário.

No entanto, as informações de reflectância podem ser extraídas das imagens a partir de diferentes tamanhos de janela de amostragem dos *pixels*, onde o *pixel* central dessa janela corresponde ao centroide da unidade amostral (Almeida et al., 2014). Este processo de amostragem é de extrema importância, pois, é através dele que o comportamento espectral da floresta é representado pela unidade amostral.

A maioria dos estudos que envolvem correlação entre dados espectrais e variáveis dendrométricas não considera o efeito do tamanho da janela de amostragem. Nesse sentido, o

objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tamanho da janela de amostragem sobre os dados espectrais e analisar as correlações destes com a variável dendrométrica volume em um fragmento de Cerrado *Sensu Stricto*.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde a um fragmento de Cerrado *Sensu Stricto* localizado no município de Cônego Marinho, região norte do estado de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são 14°55'40"S, 44°37'00" W e altitude de 723 metros, e uma área aproximada de 302,35 ha.

O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é Aw, tropical úmido com inverno seco, e temperatura média anual em torno de 22,9°C. A precipitação anual média é de 1.022 mm e o tipo de solo predominante da região é o Gleissolo (Scolforo; Mello; Oliveira, 2008).

Os dados do inventário florestal foram obtidos a partir de uma amostragem sistemática composta por 41 unidades amostrais retangulares de 1000 m², sendo que nestas foram medidas a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) e a altura total de todas as árvores com circunferência mínima de 15,7 cm. Todas as unidades amostrais foram georreferenciadas e as estimativas de volume de madeira foram obtidas aplicando-se as equações volumétricas geradas por fitofisionomia desenvolvidas por Rufini et al. (2010).

Os dados espectrais foram obtidos a partir de uma imagem do satélite Landsat 5 TM na data de passagem de 10/08/2010, correspondente com a coleta dos dados em campo, na órbita 219 ponto 070, com resolução espacial de 30 m, nas bandas TM1 (0,45 – 0,52 µm), TM2 (0,52 – 0,60 µm), TM3 (0,63 – 0,69 µm), TM4 (0,76 – 0,90 µm) e TM5 (1,55 – 1,75 µm), correspondente as regiões espectrais do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente.

As imagens foram corrigidas geometricamente e para que fosse possível associar os dados inventariados com a reflectância da imagem orbital, realizou-se a conversão dos números digitais dos *pixels* para radiância/reflectância, segundo a metodologia descrita por Gürtler et al. (2005). Complementarmente, foram calculados os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), apresentado na Equação (1), e SR (*Simple Ratio*), obtido a partir da divisão da reflectância referente à região do infravermelho próximo (TM4) pela região do vermelho (TM3).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

Em que: IVP = região espectral do infravermelho próximo (TM4); V = região espectral do vermelho (TM3).

Os valores de reflectância dos *pixels* nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e nos índices NDVI e SR foram coletados considerando-se três tamanhos de janela de amostragem: 1 *pixel*, 3 x 1 *pixels* e 3 x 3 *pixels*, determinados a partir do centroide e do limite da parcela, conforme esquematizado na Figura 1. Na janela de 1 *pixel* atribuiu-se o valor do *pixel* central correspondente a coordenada geográfica do centroide da parcela. Na janela de 3 x 1 *pixels* e 3 x 3 *pixels* atribuiu-se o valor médio dos *pixels* pertencentes a janela de 3 e 9 *pixels*, respectivamente.

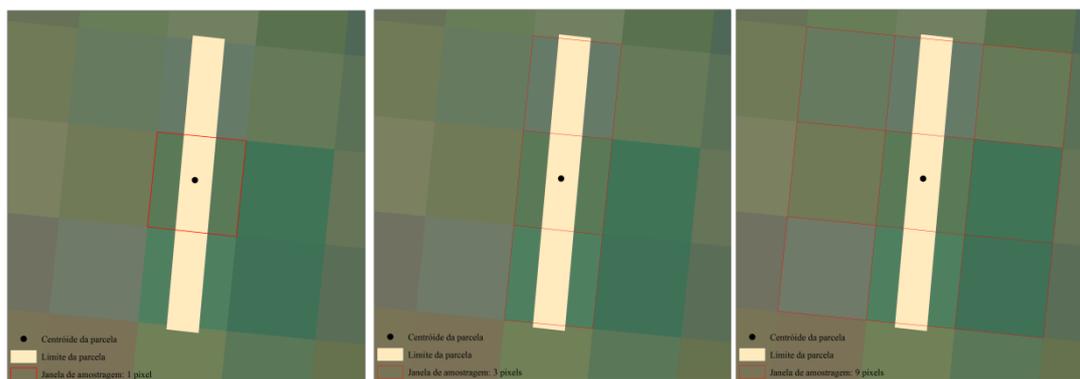


Figura 1. Diferentes janelas de amostragens.

Foram realizadas análises de variância univariadas (anovas) para os dados espectrais (bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e índices NDVI e SR). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (janelas de amostragens) e quarenta e uma repetições (número de unidades amostrais), conforme modelo estatístico ilustrado na Equação 2. Para a comparação múltipla utilizou-se o teste de Tukey em nível de 5% de significância.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (2)$$

Em que: Y_{ij} é a observação da i -ésima janela de amostragem ($i = 1, 2$ e 3) na j -ésima repetição ($j = 1, 2, 3, \dots, 41$); μ é uma constante inerente a todas as observações; t_i é o efeito da i -ésima janela de amostragem ($i = 1, 2$ e 3); e_{ij} é o erro experimental associado à observação Y_{ij} , independente e identicamente distribuído de uma Normal com média zero e variância comum σ^2 . Utilizou-se para o cálculo das análises de variância o programa R (R Development Core Team, 2014).

Para a determinação da relação entre os dados espectrais e o volume de madeira utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (r). O coeficiente de Pearson, bem como os p -valores associados às estatísticas do teste foram obtidos utilizando-se o programa R (R Development Core Team, 2014).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 e na Tabela 2 encontram-se os resumos das análises de variância realizadas para os valores de reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e nos índices NDVI e SR. Observa-se efeito não significativo das diferentes janelas de amostragens nos valores de reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e nos índices NDVI e SR. Os baixos coeficientes de variação encontrados demonstram a elevada precisão do experimento realizado.

Tabela 1. Resumo das análises de variância realizadas para as reflectâncias nas bandas espectrais.

FV	GL	Quadrado Médio				
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
JA	2	$1,17 \times 10^{-5ns}$	$2,02 \times 10^{-5ns}$	$2,39 \times 10^{-5ns}$	$9,27 \times 10^{-5ns}$	$2,88 \times 10^{-4ns}$
Erro	120	$1,00 \times 10^{-5}$	$2,58 \times 10^{-5}$	$5,41 \times 10^{-5}$	$1,88 \times 10^{-4}$	$1,95 \times 10^{-4}$
	CVe	0,02	0,06	0,16	0,08	0,18

JA: Janela de Amostragem; FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 = reflectância nas bandas do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente; *: significativo a 5% pelo Teste F; ns: não significativo a 5% pelo Teste F.

Tabela 2. Resumo das análises de variância realizadas para os índices de vegetação.

FV	GL	Quadrado Médio	
		NDVI	SR
JA	2	0,000367 ^{ns}	0,27112 ^{ns}
Erro	120	0,001235	0,78154
	CVe	0,16	11,16

JA: Janela de Amostragem; FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*; SR= *Simple Ratio*; *: significativo a 5% pelo Teste F; ^{ns}: não significativo a 5% pelo Teste F.

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios de reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e nos índices NDVI e SR. Observando os valores médios de reflectância é possível perceber o comportamento espectral típico das florestas, com respostas baixas na região do visível (TM1, TM2 e TM3), aumentando no infravermelho próximo (TM4).

Tabela 3. Valores médios dos dados espectrais.

Janela de Amostragem	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	NDVI	SR
1 <i>pixel</i>	0,037	0,039	0,033	0,225	0,162	0,747	7,085
3 x 1 <i>pixels</i>	0,038	0,040	0,034	0,228	0,167	0,741	6,923
3 x 3 <i>pixels</i>	0,038	0,039	0,034	0,227	0,166	0,744	6,994
Média	0,037	0,039	0,034	0,227	0,165	0,744	7,001

Em que: TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 = reflectância nas bandas do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente; NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*; SR= *Simple Ratio*; ^{ns}não significativo a 5% e *significativo a 5%.

Os valores dos coeficientes de Pearson entre os dados de reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e nos índices NDVI e SR e o volume de madeira estão apresentados na Tabela 4. Os coeficientes de correlação estatisticamente significativos para a janela de 1 *pixel* foram ligeiramente superiores aos valores obtidos para a janela de 3 x 1 *pixels* e 3 x 3 *pixels* (Tabela 4). Desse modo, as informações espectrais consideradas neste estudo foram as extraídas da janela de 1 *pixel*, assim são consideradas informações do *pixel* central da parcela de inventário.

Tabela 4. Coeficientes de Pearson (r) entre o volume de madeira e os dados espectrais considerando as diferentes janelas de amostragem.

Janela de Amostragem	Variável	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	NDVI	SR
1 <i>pixel</i>	Volume (m ³ /ha)	-0,241 ^{ns}	-0,437*	-0,334*	-0,638*	-0,501*	0,187 ^{ns}	0,180 ^{ns}
3 x 1 <i>pixels</i>		-0,280 ^{ns}	-0,387 ^{ns}	-0,281*	-0,592*	-0,478*	0,182 ^{ns}	0,225 ^{ns}
3 x 3 <i>pixels</i>		-0,301 ^{ns}	-0,418*	-0,331*	-0,638*	-0,470*	0,208 ^{ns}	0,264 ^{ns}

Em que: TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 = reflectância nas bandas do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente; NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*; SR= *Simple Ratio*; ^{ns}não significativo a 5% e *significativo a 5%.

Almeida et al. (2014) encontraram maiores valores estatisticamente significativos de correlação entre o volume de madeira da vegetação da Caatinga e as reflectâncias nas bandas TM1, TM2, TM3 e TM5 e os índices NDVI e SR de imagens TM/Landsat utilizando a janela de 3 x 3 *pixels* em comparação com a janela de 1 *pixel*. Neste estudo, os maiores valores significativos de correlação foram encontrados utilizando-se a janela de 1 *pixel* para as reflectâncias nas bandas TM2, TM3, TM4 e TM5. Os valores de correlação entre o volume e

a reflectância na banda TM1 e os índices NDVI e SR foram maiores quando se utilizou a janela de 3 x 3 *pixels*, no entanto, esses valores de correlação foram não significativos.

Pinheiro, Durigan e Santos (2008) utilizaram dados do sensor TM/Landsat na estimativa de biomassa aérea do cerrado *sensu stricto* e encontraram correlações negativas para as bandas do visível (TM1, TM2 e TM3) e positiva para a banda do infravermelho próximo (TM4) para ambas as fitofisionomias. Analisando o índice NDVI e SR, os autores encontraram correlações positivas de 0,32 e 0,33, respectivamente.

Berra et al. (2012) estudaram a correlação entre volume de madeira de plantios de *Eucalyptus* sp. com dados espectrais obtidos em imagens TM/Landsat 5, encontrando uma correlação negativa entre as bandas do visível (TM1, TM2 e TM3) e o volume de madeira, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo. No entanto, esses autores encontraram uma correlação positiva entre o volume de madeira e a banda TM4, e altos valores de correlação com os índices NDVI ($r=0,79$) e SR ($r=0,82$), diferindo dos resultados encontrados nesse estudo.

Estes resultados evidenciam que o padrão de crescimento e conformação das copas afetam os valores de correlações entre dados espectrais e características dendrométricas. No cerrado, ao contrário do que se observa em plantios de eucalipto, o crescimento e a conformação das copas são irregulares e desuniformes, fato este que pode ter provocado a baixa correlação entre volume e os dados espectrais encontrados neste estudo. Segundo Li et al. (2014) a estrutura do dossel, o índice de área foliar, e a reflexão do fundo do dossel são os principais fatores que regulam as mudanças da reflectância das florestas nas imagens de sensoriamento remoto, sendo estas características de cada fitofisionomia em cada região de ocorrência.

Watzlawick, Kirchner e Sanquetta (2009) encontraram correlações negativas entre biomassa e carbono orgânico e as bandas TM1, TM2, TM3 e TM4 e os índices NDVI e SR, sendo que a melhor correlação encontrada foi de -0,80 entre a biomassa e a banda TM4, corroborando com a melhor correlação encontrada nesse estudo. Lu et al. (2004) afirmam que a estrutura da vegetação apresenta maior influência sobre a correlação entre os parâmetros da população e os valores de reflectância do que a fisionomia ou a quantidade de biomassa de cada região.

4. Conclusões

As diferentes janelas de amostragens apresentaram efeito não significativo nos valores de reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 e nos índices NDVI e SR.

Os coeficientes de correlação de Pearson para a janela de 1 *pixel* foram ligeiramente superiores aos valores obtidos para a janela de 3 x 3 *pixels*.

As informações espectrais extraídas a partir da janela de 1 *pixel* podem ser utilizadas em estudos de correlações entre dados dendrométricos e dados espectrais para um fragmento de Cerrado *Sensu Stricto* localizado na região Norte do Estado de Minas Gerais, visto que apresentou maior valor absoluto, bem como pela maior facilidade de extração nas imagens de sensoriamento remoto em comparação às outras janelas de amostragem.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Referências

Almeida, A. Q.; Mello, A. A.; Dória Neto, A. L.; Ferraz, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.4, p.306-315, abr. 2014

Berra, E. F.; Brandelero, E.; Pereira, C. S.; Sebem, R.; Goergem, L. C. G.; Benedetti, A. C. P.; Lippert, D. B. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 853-864, 2012.

Canavesi, V.; Ponzoni, F. J.; Valeriano, M. M. Estimativa de volume de madeira em plantios de *Eucalyptus spp.* utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 539-549, maio/jun. 2010.

Foody, G. M.; Boy, D. S.; Cutler, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 463-474, 2003.

Gürtler, S.; Epiphano, J. C. N.; Luiz, A. J. B.; Formaggio, A. R. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ LANDSAT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, p. 162- 167, ago. 2005.

Li, D.; Ju, W.; Fan, W.; Gu, Z. Estimating the age of deciduous forests in northeast China with Enhanced Thematic Mapper Plus data acquired in diferente phenological seasons. **Journal of Applied Remote Sensing**, p. 083670: 1-20, v. 8, 2014.

Lu, D.; Mausel, P.; Brondízio, E.; Moran, E. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**, v.198, p. 149-167, 2004.

Mäkelä, H.; Pekkari, A. Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data. **Forest Ecology and Management**, v. 196, p. 245-255, 2004.

Pinheiro, E. S.; Durigan, G.; Santos, J. R. Avaliação de imagens QuickBird para estimativa de fitomassa aérea do cerrado. **Ambiência**, Guarapuava, v.4 – Edição especial, p.69-83, 2008.

R Development Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: < <http://www.R-project.org>>.

Rufini, A. L.; Scolforo, J. R. S.; Oliveira, A. D.; Mello, J. M. Equações volumétricas para o cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2010.

Scolforo, J. R. S.; Mello, J. M. De; Oliveira, A. D. **Inventário florestal de Minas Gerais: Cerrado**, florística, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. Lavras: UFLA, 2008. 216 p.

Thenkabail, P. S.; Hall, J.; Lin, T.; Ashton, M. S.; Harris, D.; Enclona, E. A. Detecting floristic structure and pattern across topographic and moisture gradients in a mixed species Central African forest using IKONOS and Landsat-7 ETM+ images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 4, p. 255-270, 2003.

Tomppo, E.; Olsson, H.; Stahl, G.; Nilsson, M.; Hagner, O.; Katilat al. Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest databases. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 1982-1999, 2008.

Watzlawick, L. F.; Kirchner, F. F.; Sanquetta, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, p.169-181, abr./jun. 2009.