

Efeito topográfico sobre dados TM/Landsat e impactos sobre índices de vegetação

Eder Paulo Moreira¹
Márcio de Morisson Valeriano¹
Ieda Del Arco Sanches¹
Antônio Roberto Formaggio¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{eder;valerian;ieda;formag}@dsr.inpe.br

Abstract. When exploring remote sensing data and techniques to study vegetation, spectral vegetation indices are commonly used mainly due to its correlation with biophysical parameters such as biomass and leaf area index. However, their full potentiality can only be evaluated after removing topographic, atmospheric and soil background effects from radiometric data. Concerning the former effect, correction techniques for topography, currently enabled by the recent availability of broad-coverage Digital Elevation Models (DEM), were barely investigated in the context of vegetation indices. Tests on the topographic correction of Landsat 5 TM data, supported by SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) derived data, were applied to evaluate the influence of topographic effect on four vegetation indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Ratio Vegetation Index (RVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). The evaluations were based on observation of mean and standard deviation of vegetation indices and band 4, and regression analyses between these variables and the cosine of the solar incidence angle on terrain surface ($\cos i$). The results indicate that vegetation indices are less sensitive to topographic effect than spectral bands, but a considerable influence of topographic effect on the vegetation indices still remains. The NDVI and RVI were less sensitive to topographic effect than EVI and SAVI. It can be concluded that the topographic correction is required for a deeper reduction of the topographic effect on the vegetation indices.

Key words: topographic effect, vegetation indices, Digital Elevation Model, TM/Landsat, SRTM.

1. Introdução

Os índices de vegetação (IV), calculados com base em dados obtidos por sensoriamento remoto (SR), são amplamente utilizados para estudar a vegetação, devido à sua correlação com variáveis biofísicas, como biomassa, índice de área foliar (IAF) e a atividade fotossintética (Myneni et al., 1995). No entanto, os IV possuem limitações tais como a influência da atmosfera (Myneni e Asrar, 1994), do solo subjacente (Todd e Hoffer, 1998), do ângulo zenital/azimutal solar e de visada do sensor (Galvão et al., 2013) e do relevo (Deng et al., 2007).

A influência do relevo (efeito topográfico) sobre dados espectrais pode ser expressiva em áreas cuja topografia oferece variações de declividade e orientação de vertentes (áreas de topografia irregular). Isto resulta em variações da iluminação solar na superfície, que por sua vez controla os níveis radiométricos obtidos para determinada classe de uso ou cobertura da terra (Holben e Justice, 1980). Assim, uma classe de uso ou cobertura da terra em uma imagem de SR não apresenta a mesma resposta espectral em diferentes declividades e, ou, orientação de vertentes. Deng et al. (2007) verificaram que o efeito topográfico afeta os IV. Esses autores constataram que o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Normalized Difference Infrared Index* (NDII) apresentaram uma correlação (r^2) significativa ($p=0,001$) com variáveis topográficas, como a declividade e o cosseno da orientação de vertente.

O efeito topográfico pode ser corrigido com base no ângulo de incidência solar na superfície (ou $\cos i$ – fator cosseno), obtido com variáveis topográficas e o ângulo zenital e azimutal solar (Veraverbeke et al., 2010; Vanonckelen et al., 2013). Entre os métodos existentes, os chamados métodos semi-empíricos levam ainda em conta parâmetros obtidos com dados espectrais de cada uso ou cobertura da terra. As razões de bandas também têm o

papel de minimizar o efeito topográfico (Holben e Justice, 1981). Da mesma forma, IV em formato de razão de bandas (por exemplo, NDVI) podem contribuir para diminuição desse efeito (Ekstrand, 1996; Matsushita et al., 2007).

No entanto, influência remanescente da topografia sobre os IV foi ainda pouco investigada. Assim, o objetivo do presente estudo é analisar a influência do efeito topográfico sobre quatro IV de grande utilização para estudos de vegetação, calculados a partir de dados Landsat 5 TM: o NDVI (Rouse et al., 1973), o *Ratio Vegetation Index* (RVI) (Pearson e Miller, 1972), o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (Liu e Huete, 1995) e o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (Huete, 1988).

2. Material e Métodos

A área de estudo (Figura 1) localiza-se na parte sul do estado de Minas Gerais, entre os municípios de Alfenas e Machado, numa extensão de 11,5km por 11,5km. As principais culturas agrícolas na região são café, milho e feijão (IBGE, 2014). O relevo da área varia entre o tipo suave ondulado e o ondulado (Embrapa, 2006). A declividade média é de 7,5° e a máxima de 35°. A altitude varia de 765m a 1.030m acima do nível do mar.

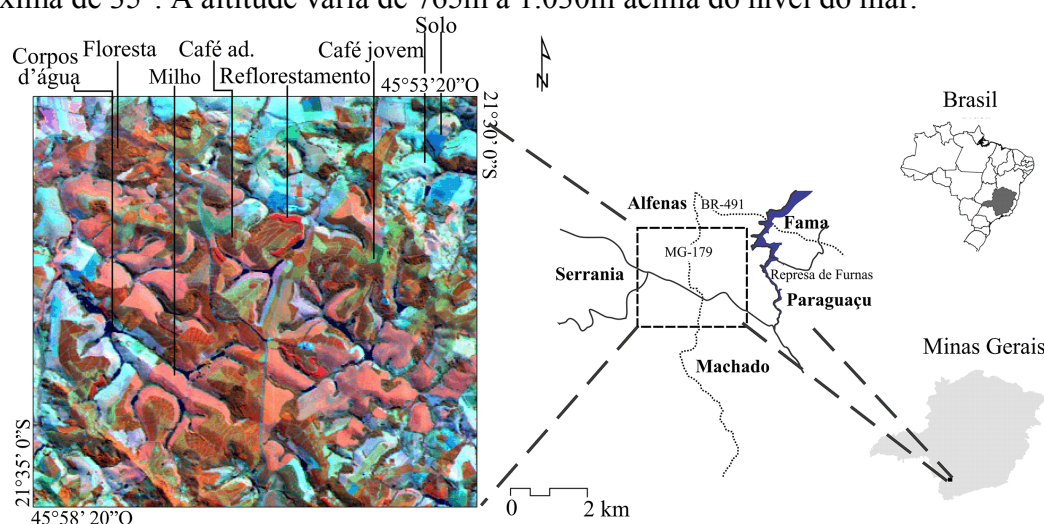


Figura 1. Localização da área de estudo e classes de uso/cobertura presentes.

Foram usadas as bandas espectrais 1 (450-520 nm), 3 (630-690 nm) e 4 (760-900 nm) do Landsat 5 TM, referentes à cena 219/75 (órbita/ponto), com data de imageamento de 8 de junho de 2011, obtida no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). A geometria de iluminação solar no momento da aquisição da imagem corresponde ao ângulo zenital solar de 54,32° e ao ângulo azimutal solar de 37,01°. Os dados topográficos, representados principalmente pela declividade e pela orientação de vertentes (Figura 2 a e b), foram obtidos no Topodata (Brasil, 2008). Também foram usadas outras imagens Landsat 5 TM e imagens de alta resolução do *Google Earth*, adquiridas no ano de 2011, para verificação das classes de uso/cobertura da terra.

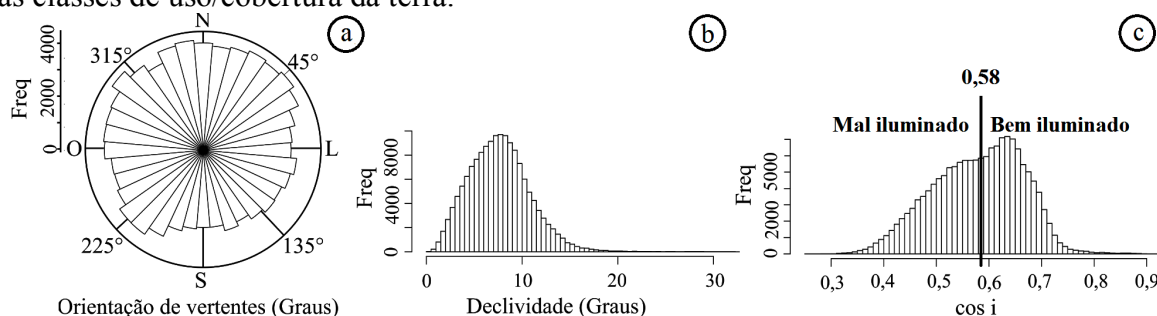


Figura 2. Diagrama de roseta da orientação de vertentes (a) e histogramas da declividade (b) e do fator cosseno (c) da área de estudo.

O fluxograma de trabalho encontra-se esquematizado na Figura 3. Todas as etapas de processamento de dados foram feitas utilizando a linguagem de programação R, versão 3.0 (R Development Core Team, 2013).

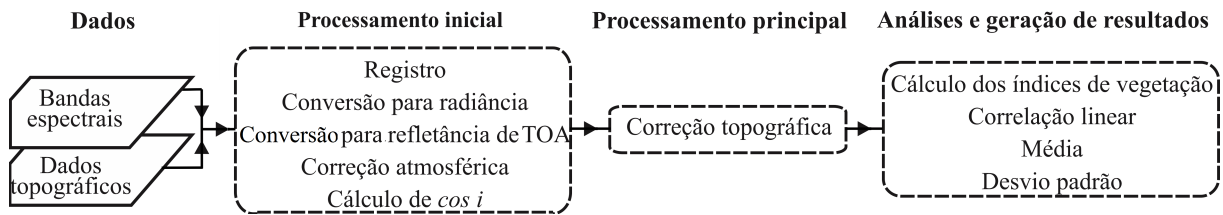


Figura 3. Fluxograma das principais etapas desenvolvidas.

Como fase inicial de processamento, foi realizado o registro e a preparação dos dados em um sistema de informação geográfica (SIG) no sistema de coordenadas geográficas (não-projetado), datum WGS 1984. Os níveis digitais da imagem foram convertidos para radiância e depois para refletância no topo da atmosfera (TOA - *Top of Atmosphere*), conforme Chander et al. (2009). Em seguida, foi realizada a correção atmosférica DOS (*Dark Object Subtraction*), proposta por Chavez (1988), a partir da análise do histograma de frequência das bandas da imagem. Posteriormente, foi calculado o fator cosseno ($\cos i$) respectivo ao momento da aquisição da imagem, que é utilizado para correção do efeito topográfico (Sellers, 1965):

$$\cos i = \cos \theta_s \cos \theta_t + \sin \theta_s \sin \theta_t \cos(\varphi_s - \varphi_t) \quad (1)$$

Onde θ_s é o ângulo zenital solar, θ_t é o ângulo zenital da normal da superfície (declividade), φ_s é o ângulo azimutal solar e φ_t é o ângulo azimutal da normal da superfície (orientação de vertentes).

A correção topográfica foi feita com a aplicação do método de Teillet et al. (1982):

$$\rho_{c\lambda ij} = \rho_{\lambda ij} \left(\frac{\cos \theta_s + c_\lambda}{\cos i + c_\lambda} \right) \quad (2)$$

$$c_\lambda = \left(\frac{b_\lambda}{m_\lambda} \right) \quad (3)$$

Onde $\rho_{c\lambda ij}$ é a refletância corrigida da banda λ e pixel ij , $\rho_{\lambda ij}$ é a refletância original, b_λ e m_λ são parâmetros obtidos da reta da regressão linear representada pela equação:

$$NC_{\lambda ij} = b_\lambda + m_\lambda \cos i \quad (4)$$

A estimativa do parâmetro c_λ foi realizada com base em amostras de cada classe de uso ou cobertura da terra separadamente (Moreira, 2014). As classes utilizadas neste estudo foram as predominantes na área de estudo: café, floresta, milho, e solo. A distribuição dos valores de declividade, orientação de vertentes e $\cos i$ das amostras pode ser visualizada na Figura 4.

Amostras de cada uso/cobertura foram classificadas em a) amostras bem iluminadas e b) amostras mal iluminadas. O critério para separar classes bem e mal iluminadas está ilustrado na Figura 2c. Essa classificação foi realizada com o objetivo de comparar os IV das classes de uso e cobertura nessas duas condições de iluminação.

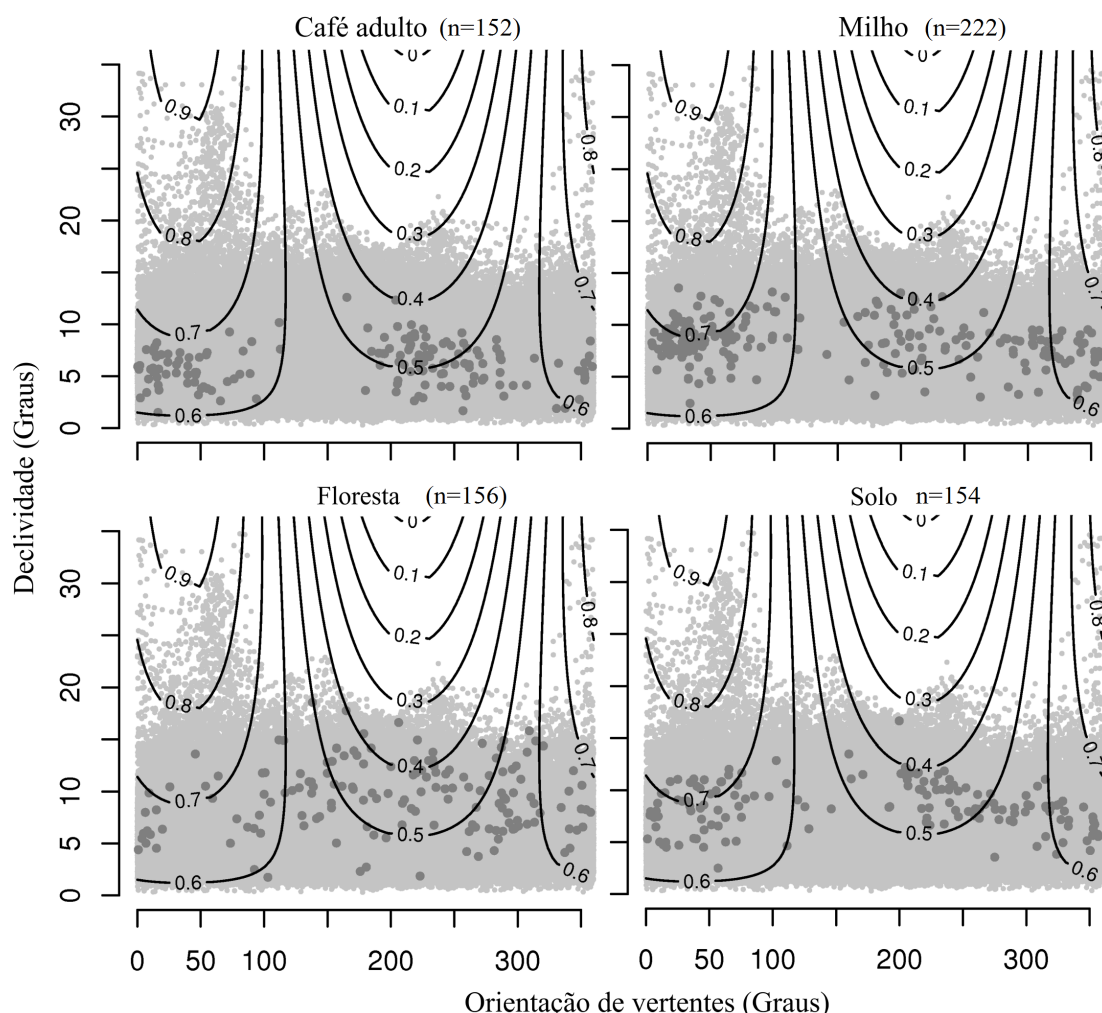


Figura 4. Distribuição das amostras utilizadas para estimar os parâmetros de correção topográfica (cinza escuro) e dos demais *pixels* da área de estudo (cinza claro) em relação aos valores de orientação de vertentes (x), declividade (y) e fator cosseno (isolinhas).

Os IV foram calculados de acordo com as equações apresentadas na Tabela 1, utilizando dados com e sem correção topográfica, para áreas bem e mal iluminadas. Para verificar a influência da topografia nos IV, foram analisadas as médias e desvios-padrão dos índices e da banda 4, e o coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear entre os diferentes IV, a banda 4 e o $\cos i$, antes e após a correção topográfica. Além disso, foi feito o teste-t para verificar a igualdade de médias, antes e após a correção topográfica, em áreas bem e mal iluminadas.

Tabela 1. Índices de vegetação analisados nesse estudo

Índice de vegetação	Referência
$RVI = \frac{B_4}{B_3}$	Pearson e Miller (1972)
$NDVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3}$	Rouse et al. (1973)
$SAVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3 + L} (1 + L)$	Huete (1988)
$EVI = G \frac{B_4 - B_3}{L_2 + B_4 + c_1 \cdot R - c_2 \cdot B_1}$	Liu e Huete (1995)

Onde, B_1 , B_3 e B_4 são as bandas 1, 3 e 4 do Landsat 5 TM, respectivamente; $L = 0,5$; $L_2 = 1$; $G = 2,5$; $c_1 = 6$; e $c_2 = 7,5$.

3. Resultados e Discussão

Dentre as variáveis analisadas, a banda 4 (sem correção topográfica) foi a que teve maior correlação com o fator cosseno, com 58 %, 54 %, 45 % e 35 % da variação dos valores da banda 4 associada ao efeito topográfico nas classes milho, café adulto, floresta e solo, respectivamente. A comparação dos r^2 dos índices de vegetação com os da banda 4, sem correção topográfica, mostrou que, no geral, o efeito topográfico é menor nos IV, numa indicação de que os IV atenuam parcialmente o efeito topográfico, quando comparados aos dados isolados da banda 4. O NDVI e o RVI foram menos influenciados pelo efeito topográfico, em relação ao SAVI e ao EVI (Figura 5). Outros autores também verificaram que o EVI é mais sensível ao efeito topográfico que o NDVI (Matsushita et al., 2007). Somente após a correção topográfica a banda 4 e os índices testados indicaram uma redução completa do efeito topográfico, conforme indicado pelos valores do r^2 entre dados com correção e $\cos i$, nulos para todas as classes de uso/cobertura avaliadas (Figura 5).

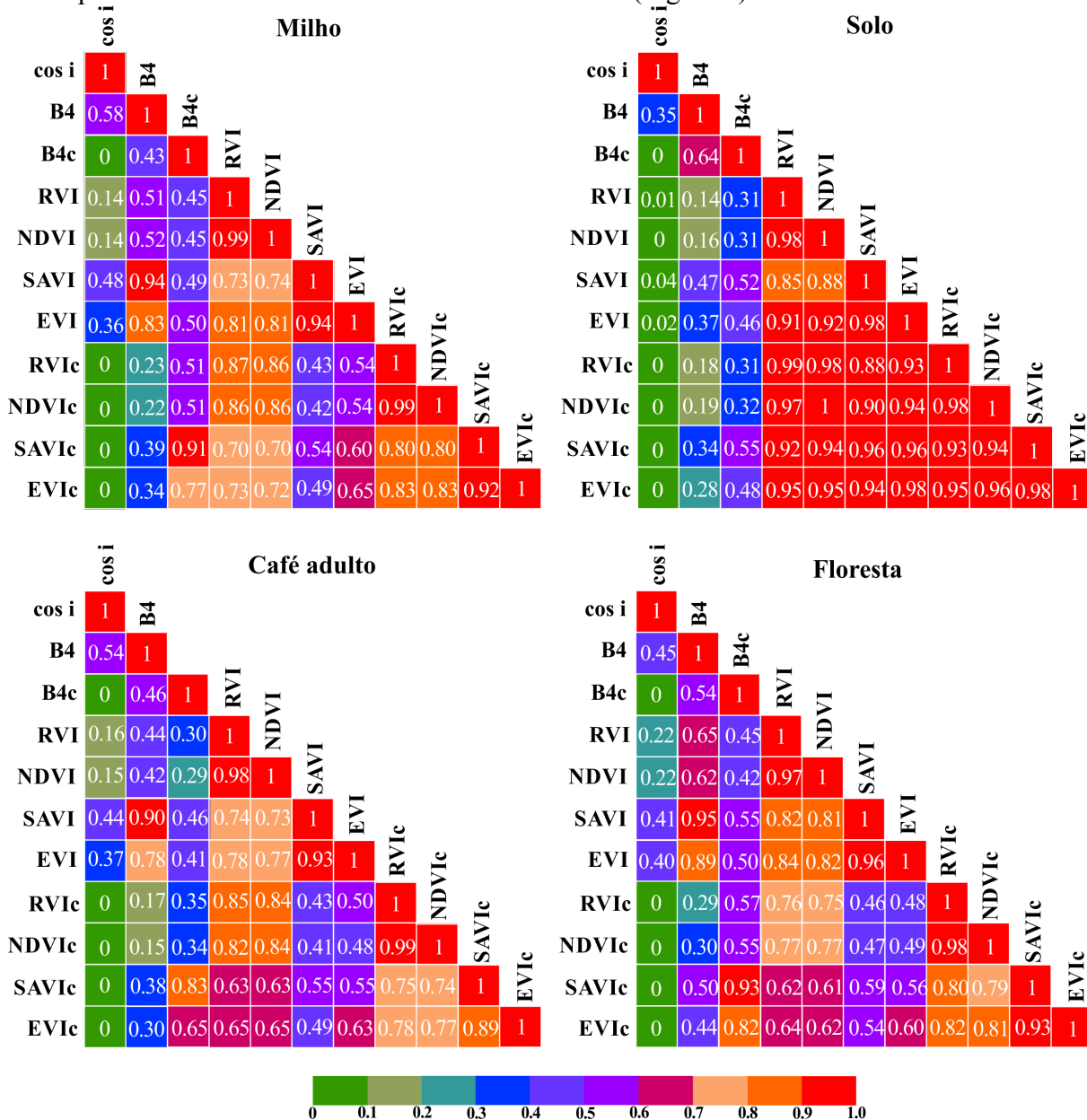


Figura 5. Coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear entre o fator cosseno ($\cos i$) dados da banda 4 (B4) e dos IV testados para cada classe de uso/cobertura da terra. Os dados com correção topográfica estão assinalados com c subscrito.

Pela comparação do desvio padrão da banda 4 e dos índices, antes e após a correção topográfica (Figura 6), pode-se chegar a conclusões semelhantes às obtidas pela análise de regressão. De modo geral, o desvio padrão destes dados em cada classe diminuiu após a correção. As menores diferenças entre o desvio padrão antes e após a correção topográfica foram observadas para o NDVI e RVI, o que é explicado pelo fato desses índices terem sido menos afetados pelo efeito topográfico. Por sua vez, as médias se mantiveram relativamente estáveis, devido a um mecanismo de compensação imposto pela correção (Moreira e Valeriano, 2014), em que os dados são reduzidos nas vertentes mais expostas à iluminação e aumentados nas vertentes menos expostas.

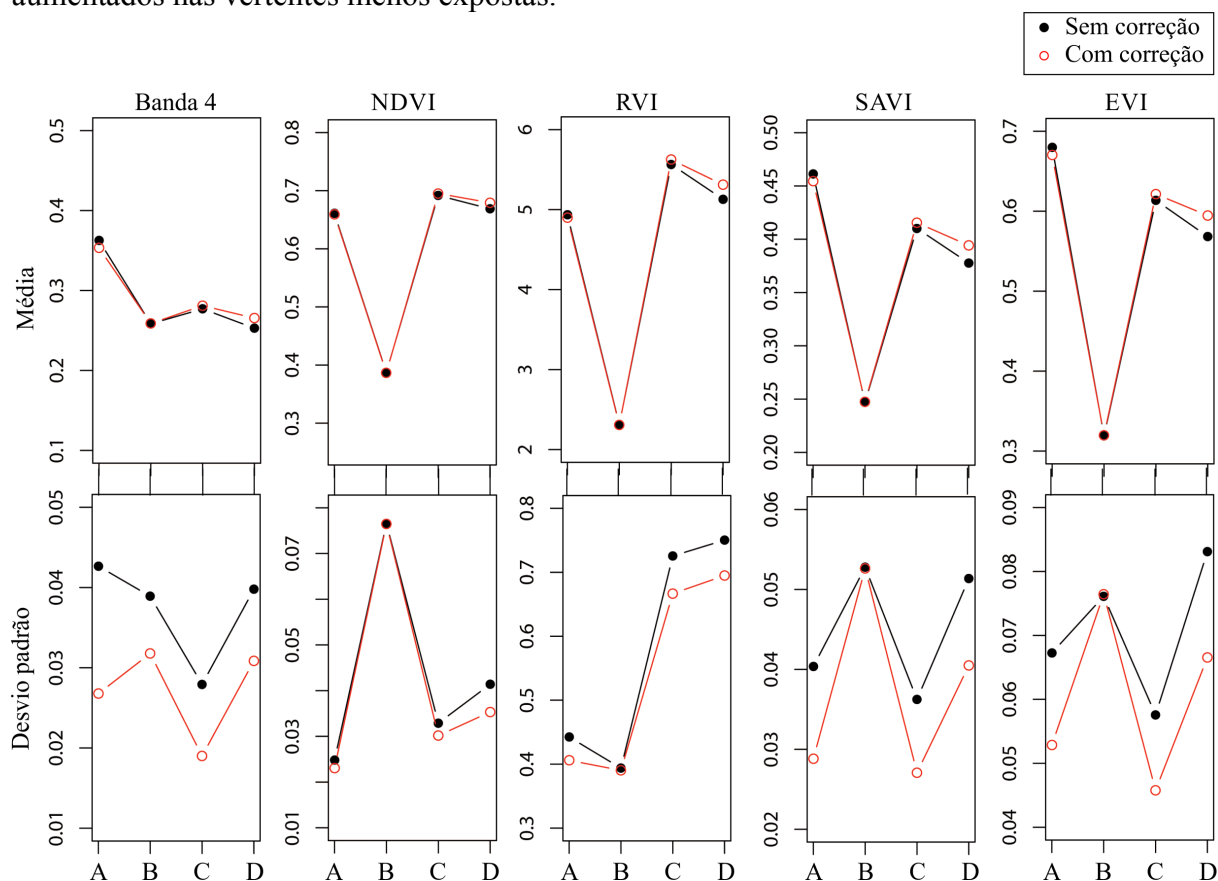


Figura 6. Média e desvio padrão da Banda 4 (B4) e dos índices de vegetação, com e sem correção topográfica. Classes de uso/cobertura: A - Milho; B - Solo; C - Café adulto; e D - Floresta.

As médias da refletância da banda 4 e dos valores dos índices da classe de uso milho mostraram-se estatisticamente diferentes (nível de significância de 0,01), comparando áreas mal iluminadas com as bem iluminadas (Tabela 2). Após a correção do efeito topográfico, as diferenças perderam a significância. Isso indica que o efeito topográfico tem uma influência significativa na variação da refletância na banda 4 e dos valores dos índices de vegetação, mas que pode ser expressivamente reduzida com a técnica de correção aplicada.

As diferenças entre médias de áreas bem e mal iluminadas também foram relatadas no trabalho de Veraverbeke et al. (2010). Os autores verificaram que nas vertentes sul e sudeste (mais iluminadas), o índice *Differenced Normalized Burn Ratio* $((TM4-TM7)/(TM4+TM7))$ apresentava valores mais elevados que nas vertentes norte e noroeste (menos iluminadas). Os resultados do trabalho desses autores também demonstram que a correção do efeito topográfico contribui para diminuir essa diferença.

Tabela 2. Valores médios da banda 4 e dos índices de vegetação (NDVI, RVI, SAVI, EVI) da classe de cobertura milho, em áreas bem ($\cos i > 0,58$) e mal ($\cos i \leq 0,58$) iluminadas, sem correção e com correção topográfica. Valores médios seguidos de letras distintas são estatisticamente diferentes (teste t, $p < 0.01$)

Dados	Iluminação solar	Sem correção	Com correção
Banda 4	Mal iluminada	0,31 ^a	0,35 ^{n.s.}
	Bem iluminada	0,38 ^b	0,35 ^{n.s.}
NDVI	Mal iluminada	0,64 ^a	0,65 ^{n.s.}
	Bem iluminada	0,66 ^b	0,65 ^{n.s.}
RVI	Mal iluminada	4,72 ^a	4,89 ^{n.s.}
	Bem iluminada	5,03 ^b	4,90 ^{n.s.}
SAVI	Mal iluminada	0,42 ^a	0,45 ^{n.s.}
	Bem iluminada	0,47 ^b	0,45 ^{n.s.}
EVI	Mal iluminada	0,62 ^a	0,66 ^{n.s.}
	Bem iluminada	0,70 ^b	0,67 ^{n.s.}

n.s.: não significativo.

4. Conclusões

Os quatro índices de vegetação analisados contribuíram parcialmente para a redução do efeito topográfico observado nos dados da banda 4. O NDVI e o RVI mostraram-se menos sensíveis ao efeito topográfico do que o SAVI e o EVI. A refletância da banda 4 e os valores dos índices de vegetação mostraram-se independentes do efeito topográfico somente com a aplicação da técnica desenvolvida para a correção, o que demonstra a fragilidade conceitual do uso de índices para contornar efeitos do relevo sobre a radiometria observada em imagens orbitais, em contraste com as técnicas específicas para correção topográfica. As perspectivas sustentadas por esta pesquisa apontam, por um lado, a importância de outros estudos similares sob diferentes condições de relevo, latitude e de aquisição, além de testes com outros métodos de correção topográfica. Por outro lado, dado a cobertura e a disponibilidade do MDE usado neste trabalho, os ganhos obtidos com a correção topográfica estão potencialmente ao alcance de todos aqueles que lidam com variáveis radiométricas obtidas por sensores orbitais. E, uma vez que se considerem os dados topográficos estáticos, as mesmas técnicas podem ser aplicadas em dados de pesquisas já feitas, sobretudo para revisar avaliações do potencial de utilização dos dados radiométricos orbitais em áreas sob influência do relevo.

Referências Bibliográficas

- Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>.
- Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.
- Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Deng, Y.; Chen, X.; Chuvieco, E.; Warner, T.; Wilson, J.P. Multi-scale linkages between topographic attributes and vegetation indices in a mountainous landscape. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, p. 122-134, 2007.
- Ekstrand, S. Landsat TM-Based Forest Damage Assessment: Correction for Topographic Effects. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 2, p. 151-161, 1996.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p. ISBN: (978-85-7035-198-2).

Galvão, L.S.; Breunig, F.M.; Santos, J.R.; Moura, Y.M. View-illumination effects on hyperspectral vegetation indices in the Amazonian tropical forest. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 291–300, 2013.

Holben, B.N.; Justice, C.O. The topographic effect on spectral response from nadir-pointing sensors. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, n. 9, p. 1191-1200, 1980.

Holben, B.N.; Justice, C.O. An examination of spectral band rationing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 2, n. 2, p. 115-133, 1981.

Huete, A.R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção agrícola municipal, Tabela 1612** - área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2014.

Liu, H.Q.; Huete, A.R. A feedback based modification of the NDV I to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, p. 457-465, 1995.

Matsushita, B.; Yang, W.; Chen, J. Onda, Y.; Qiu, G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest. **Sensors**, v. 7, p. 2636-2651, 2007.

Moreira, E.P. **Correção radiométrica do efeito de iluminação solar induzido pela topografia**. 2014. 86 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FHCR62>>. Acesso em 23 set. 2014.

Moreira, E.P.; Valeriano, M.M. Application and evaluation of topographic correction methods to improve land cover mapping using object-based classification. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 32, p. 208-217, 2014. doi: 10.1016/j.jag.2014.04.006.

Myneni, R.B.; Asrar, G. The interpretation of spectral vegetation Indexes. **Remote Sensing of Environmental**, v. 47, p. 390-402, 1994.

Myneni, R.B.; Hall, G.; Sellers, P.J.; Marshak, A.L. The interpretation of spectral vegetation Indexes. **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 481-486, 1995.

Pearson, R.L.; Miller, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. In: **Proceedings** of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor, MI, 1972. v. 2, p. 1355-1379.

R Core Team, 2013. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. ISBN (3-900051-07-0).

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. **Proceedings** of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt, USA; NASA SP-351, 1973. p. 3010-3017. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1974NASSP.351..309R>>. Acesso em 23 set. 2014.

Sellers, W.D. **Physical climatology**. Chicago: University of Chicago Press, 1965. 272p. ISBN: (978-0226746999).

Teillet, P.M.; Guindon, B.; Goodenough, D.G. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 84-106, 1982.

Todd, S.W.; Hoffer, R.M. Responses of spectral indices to variations in vegetation cover and soil background. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 9, p. 915-921, 1998.

Vanonckelen, S.; Lhermitte, S.; Rompaey, A.V. The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification accuracy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 24, p. 9-21, 2013. doi: 10.1016/j.jag.2013.02.003.

Veraverbeke, S.; Verstraeten, W.W.; Lhermitte, S.; Goossens, R. Illumination effects on the differenced Normalized Burn Ratio's optimality for assessing fire severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, p. 60-70, 2010. doi: 10.1016/j.jag.2009.10.004.