

Caracterização espectral de fragmentos florestais com imagens Worldview-2 em função da elevação

Fábio Marcelo Breunig¹
Lênio Soares Galvão²

¹ Universidade Federal de Santa Maria – DEF-FW / UFSM
Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386 km 40 - 98400-000 – Frederico Westphalen - RS, Brasil
fabio-breunig@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@dsr.inpe.br

Abstract. Discrimination of forest species and/or canopy structure is important based on spectral reflectance. In this paper, we present a spectral reflectance characterization of some forest fragments having primary and secondary native species from inspecting a Worldview-2 8-band image acquired on July 26, 2013. We also study variations in deciduousness in the fragments with elevation data. The site is located in the Frederico Westphalen municipality, Rio Grande do Sul State, South Brazil. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) global digital elevation model (GDEM) was used. The image was atmospherically corrected using the Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) code. It was masked to eliminate the non-forest areas. The average reflectance spectra of four forest fragments having different size (large, medium, small and Faguense) were obtained. To evaluate the spectral response as a function of elevation, the ASTER GDEM was sliced. To estimate the shadow, green vegetation and non-photosynthetic vegetation (NPV), the linear spectral unmixing model was applied to the Worldview-2 image. The results showed two groups of spectral response. The Faguense forest presented lower reflectance in the NIR band and higher in the red one than the other fragments. This result can indicate more presence of deciduous species, as also deduced from higher NPV fraction values obtained from the linear unmixing model in the Faguense forest. This behavior seems to be related to local topographic conditions because the Faguense forest is located at lower altitudes (420-450m) than the other fragments (510-570m). Further studies based on time series and field inspection for species identification are necessary to confirm this hypothesis.

Palavras-chave: remote sensing, reflectance, Worldview-2, native forest, sensoriamento remoto, reflectância, floresta nativa.

1. Introdução

A intervenção humana em ambientes florestais demanda ações sustentáveis e de conservação da biodiversidade (Franklin, 2001). O sensoriamento remoto, aliado a sistemas de informações geográficas (SIGs), tem contribuído para o monitoramento e a modelagem de ambientes florestais, seja através do uso de medidas espectrais ou de imagens multiespectrais e hiperespectrais. Esses estudos têm possibilitado a estimativa de parâmetros estruturais da vegetação (índice de área foliar – IAF, biomassa verde das folhas), bioquímicos do dossel (pigmentos como clorofila a e b e conteúdo de água do dossel) e o acompanhamento fisiológico da vegetação (estresse hídrico) (Curran, 1989; Martin et al., 1997; Datt, 1999; Barry et al., 2009; Govender et al., 2009; Roberts et al., 2011; Cheng et al., 2012; Aguirre-Salado et al., 2012). Considerando o amplo campo das aplicações do sensoriamento remoto nos estudos florestais, pode-se destacar o mapeamento de tipologias, a identificação de espécies, o estudo da variabilidade fenológica da vegetação e o monitoramento do desmatamento e da degradação florestal (Franklin, 2001; Huete et al., 2002; Omar, 2010; Wulder et al., 2012).

Cada uma das aplicações mencionadas pressupõe o uso de sensores com níveis de resolução espacial e espectral distintos. Uma das primeiras etapas consiste na caracterização espectral de alvos de referência. Para uma adequada avaliação das espécies presentes em fragmentos florestais, imagens multiespectrais ou hiperespectrais com alta resolução espacial

são necessárias. Neste contexto, o satélite Worldview-2 pode contribuir significativamente por apresentar uma resolução espacial de 0,5 m a 2 m e uma resolução espectral de oito bandas, distribuídas nas faixas do visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP). Imagens de alta resolução espacial podem fornecer informações sobre a estrutura, o tamanho e tipo de dossel (Hesketh e Sánchez-Azofeifa, 2012).

O satélite Worldview-2, lançado no dia 8 de outubro de 2009 pelo veículo Delta 7920, opera a uma altitude de aproximadamente 770 km, percorrendo uma órbita descendente sol-síncrona. O horário de passagem local é aproximadamente 10h30min da manhã. As imagens podem ser adquiridas em diversos níveis de processamento e nos modos monoscópicos e estereoscópicos. Entre os produtos gerados, destacam-se os produtos PAN (Pancromática – resolução espacial de 50 cm), MS 4 bandas (bandas multiespectrais R, G, B e IR – resolução espacial de 2 m), Multiespectral de 8 bandas (bandas multiespectrais – todas as 8 bandas – resolução espacial de 2 m), produtos combinados (Pansharpened) e os produtos Bundle (PAN + Multiespectral de 8 bandas). As imagens podem ser adquiridas ao nadir ou com apontamento lateral, de forma a reduzir o tempo de revisita de cena (GlobalGeo, 2014; Digital Globe, 2013).

Com o lançamento do satélite Worldview-2, uma nova gama de imagens multiespectrais com alta resolução espacial passou a ser disponibilizada para a comunidade. A grande maioria das aplicações dessas imagens estão restritas aos mapeamentos cartográficos, considerando a qualidade da correção geométrica dessas imagens. Poucos estudos têm sido conduzidos no sentido de aplicar as imagens do Worldview-2 na caracterização espectral de espécies, estimativas de IAF e de pigmentos (Omar, 2010; Mutanga et al., 2012).

A floresta localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Frederico Westphalen, no norte do RS, é um campo experimental adequado para avaliar as múltiplas possibilidades de aplicação de imagens multiespectrais de alta resolução espacial. A área é de fácil acesso, tem bom estado de conservação da floresta, tamanho adequado (80 ha) e possui parcelas permanentes com inventário florestal e com possibilidade de um bom controle de campo. Esse tipo de controle é fundamental para a correta interpretação das imagens Worldview-2.

Combinando dados multiespectrais de alta resolução espacial do Worldview-2 (8-bandas) e informações de campo preliminares, o estudo tem como objetivo fazer a caracterização espectral de fragmentos florestais de uma Floresta Estacional Decidual Submontana do sul do Brasil em função da elevação.

2. Metodologia de Trabalho

Na Figura 1 são apresentadas as principais etapas executadas no trabalho. O estudo foi conduzido na floresta localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no município de Frederico Westphalen, no noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 2). A área de estudo, com aproximadamente 80 ha, apresenta clima do tipo Cfa (classificação de Köppen), denominado subtropical, com temperaturas médias do mês mais quente (janeiro) superiores a 22° C e no mês mais frio (julho) oscilando entre -3° C e 18° C. A precipitação anual é de aproximadamente 1.665 mm, bem distribuída ao longo do ano (SEMA, 2005; Breunig et al., 2013). O relevo da região é plano nas áreas mais elevadas e tem maior declividade nas áreas próximas aos rios. A altitude média é de 490 m. A vegetação natural típica no *campus* pertence à Floresta Estacional Decidual Submontana (SEMA, 2005).

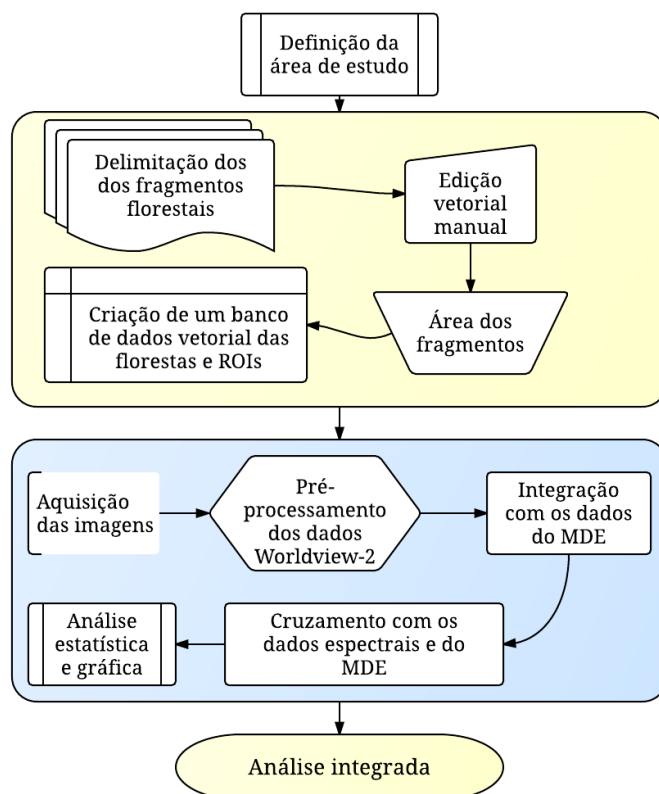


Figura 1. Fluxograma ilustrando as principais etapas para a execução do trabalho.

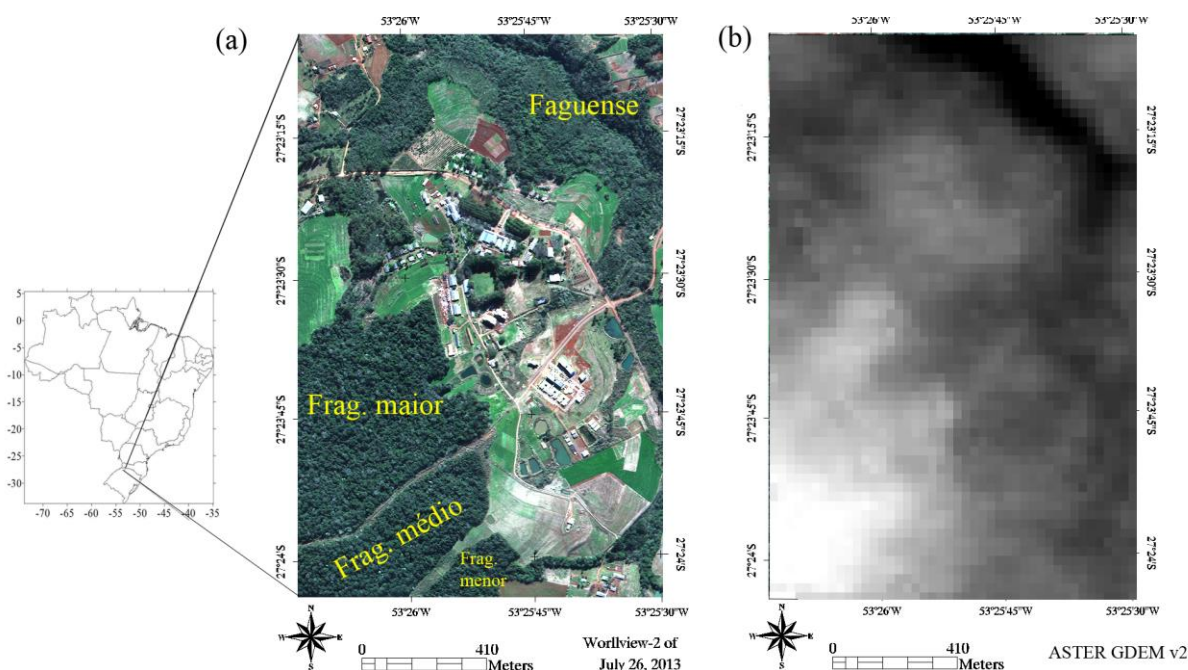


Figura 2. Localização da área de estudo no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. (a) imagem referente a uma composição cor verdadeira do Worldview-2 de 26 de julho de 2013 e, (b) modelo digital de elevação do ASTER GDEM v2 da área de estudo, onde os tons de cinza claros representam as maiores elevações e os escuros as áreas mais baixas.

Foi adquirida uma cena do satélite Worldview-2 do produto multiespectral com 8 bandas e os produtos combinados (Pansharpened) para a data de 26 de julho de 2013, abrangendo o período em que as espécies decíduas perdem as folhas (inverno). A imagem foi adquirida próximo ao nadir.

Os produtos originais foram transformados para radiância e reflectância utilizando a função de resposta dos filtros (bandas) e os fatores de calibração absoluta fornecidos nos metadados das imagens. Os dados foram corrigidos dos efeitos atmosféricos através da aplicação do Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH[®]), implementado no aplicativo ENVI[®] (Exelis[®], 2014).

Dados de elevação relativos foram obtidos do modelo Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) global digital elevation model (GDEM, version 2) na resolução espacial de 30 metros (Hook e Ramachandran, 1999). Os dados espectrais foram sobrepostos ao modelo de elevação e analisados.

Para avaliação da dependência espectral em função das características da elevação, foi utilizado o ASTER GDEM relativo. Baseado em uma avaliação empírica, os dados de elevação foram fatiados em quatro níveis: 420-450 m; 450-480 m; 480-510 m; e 510-570 m. Para cada intervalo de altitude, foram extraídos os dados espectrais a partir de um grupo amostral de 500 pixels, aleatoriamente selecionados. Não foram extraídos pixels das classes de 450-480 m e 480-510 m porque essas áreas não se referem a cobertura florestal.

Para a análise, foram extraídas amostras de espectros de sombra, vegetação verde e vegetação seca (não fotossinteticamente ativa – NPV, representada por folhas secas, galhos, ramos, etc.). A partir dessas amostras, foi executado o modelo linear de mistura espectral com três componentes. As frações do modelo de mistura foram sobrepostas ao relevo e analisadas.

Para amparar a discussão dos resultados, um grupo de engenheiros florestais foi consultado para avaliar a robustez das informações obtidas e uma inspeção de campo preliminar foi feita.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 3 são apresentados os espectros médios de reflectância de superfície com as oito bandas do Worldview-2 dos quatro fragmentos florestais indicados na Figura 2a. Como a imagem Worldview-2 foi adquirida no período de inverno, as áreas são marcadas por diferentes densidades de espécies decíduas. Com base nos espectros, verifica-se que o fragmento florestal Faguense apresenta uma menor reflectância na região do infravermelho próximo e borda vermelha e uma maior reflectância no vermelho, quando comparado com os demais espectros médios. Essa característica pode estar associada a maior perda de folhas das espécies desse fragmento ou a presença de diferentes espécies arbóreas. Ao observar com mais detalhe a Figura 2a, verifica-se que, na composição cor verdadeira, a floresta Faguense apresenta tons mais claros em relação aos outros fragmentos.

Ao avaliar as características em função da elevação, verifica-se que o fragmento florestal Faguense está localizado em uma faixa de altitude mais baixa, com alta declividade (Figura 2b). A altitude relativa na área de estudo vai de 427 a 566 metros, o que implica em uma amplitude altimétrica de 139 metros. Os fragmentos localizados na área mais elevada (altitude entre 510 e 570 metros), apresentam espectros de reflectância muito semelhantes entre si (Figura 4). Por outro lado, a floresta da Faguense apresenta menor reflectância no infravermelho próximo e maior reflectância no vermelho (menor absorção por clorofila), possivelmente devido a presença de mais espécies decíduas. No inverno, componentes secos do dossel, como galhos/ramos/folhas, promovem o aumento da reflectância principalmente na banda do vermelho (centrada em 660 nm). Entre as espécies decíduas encontradas na área citam-se o açoita cavalo (*Luehea divaricata* Mart.; Família Malvaceae), a amoreira (*Morus sp*; Família Moráceas) e o timbó (*Ateleia glazioviana* Baill.; Família Fabaceae (Leguminosae - Papilionoideae)).

Em uma inspeção visual em campo, foi constatada a presença de grandes áreas de floresta secundária, com espécies precursoras, na área da floresta Faguense. Esse aspecto difere dos

três fragmentos da floresta localizada em áreas mais elevadas, onde apenas as espécies de maior valor comercial foram suprimidas a mais de três décadas.

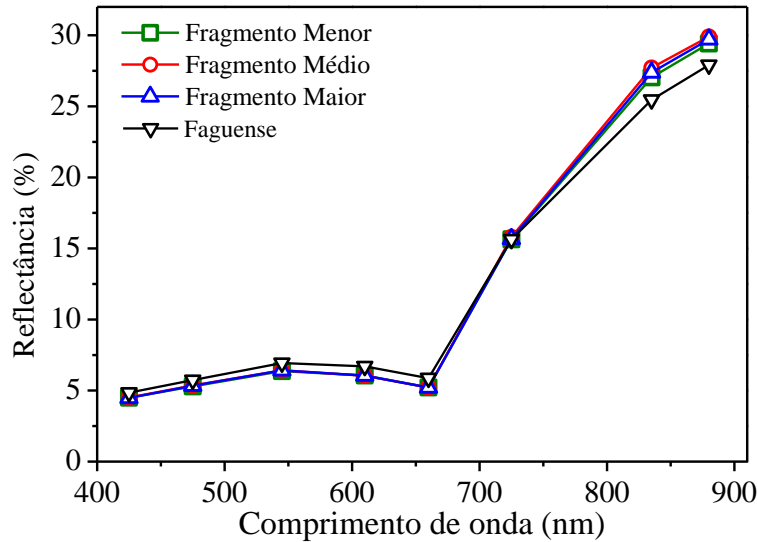


Figura 3. Espectros médios de reflectância de superfície extraídos da imagem Worldview-2 de 26 de julho de 2013, para os quatro fragmentos florestais indicadas na Figura 2.

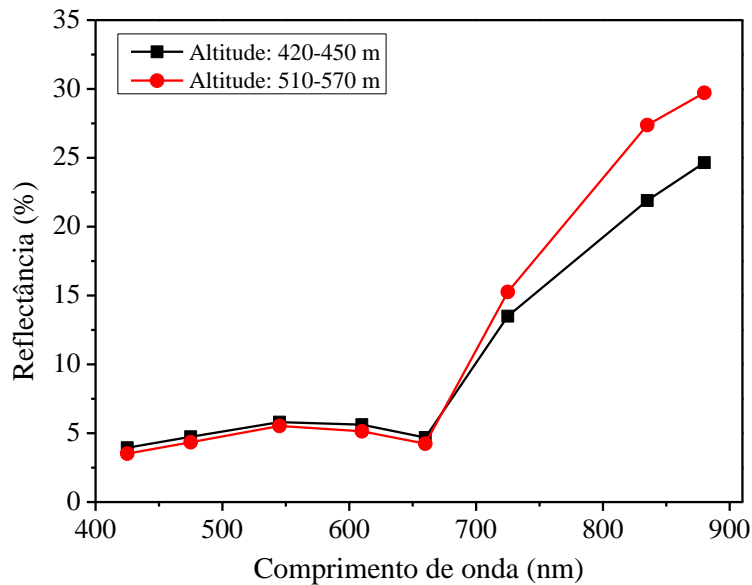


Figura 4. Variação da reflectância de superfície do Worldview-2 de pixels extraídos em distintas faixas de altitudes dentro da área de estudo. Apenas áreas de floresta foram consideradas.

Na composição cor-verdadeira apresentada na Figura 5a é possível verificar apenas a área florestal, ressaltando as diferenças dentro desse alvo. Com base nessa composição e com amparo de uma inspeção de campo preliminar, foram selecionados alguns espectros típicos de vegetação sempre verde, sombra e vegetação decidual (espécies que perdem folhas no inverno). A partir desses espectros, o modelo linear de mistura espectral mostrou grandes diferenças entre os fragmentos localizados na área mais elevada e o fragmento Faguense.

A inspeção detalhada da Figura 5b mostra a presença de espécies decíduais esparsas nos fragmentos mais elevados (fragmento maior, médio e menor – Figura 2a), conforme indicam os tons de vermelho na Figura 5b. Quando o fragmento Faguense é observado, verifica-se a

presença de uma grande quantidade de matéria seca ou com reflectância semelhante a esse alvo.

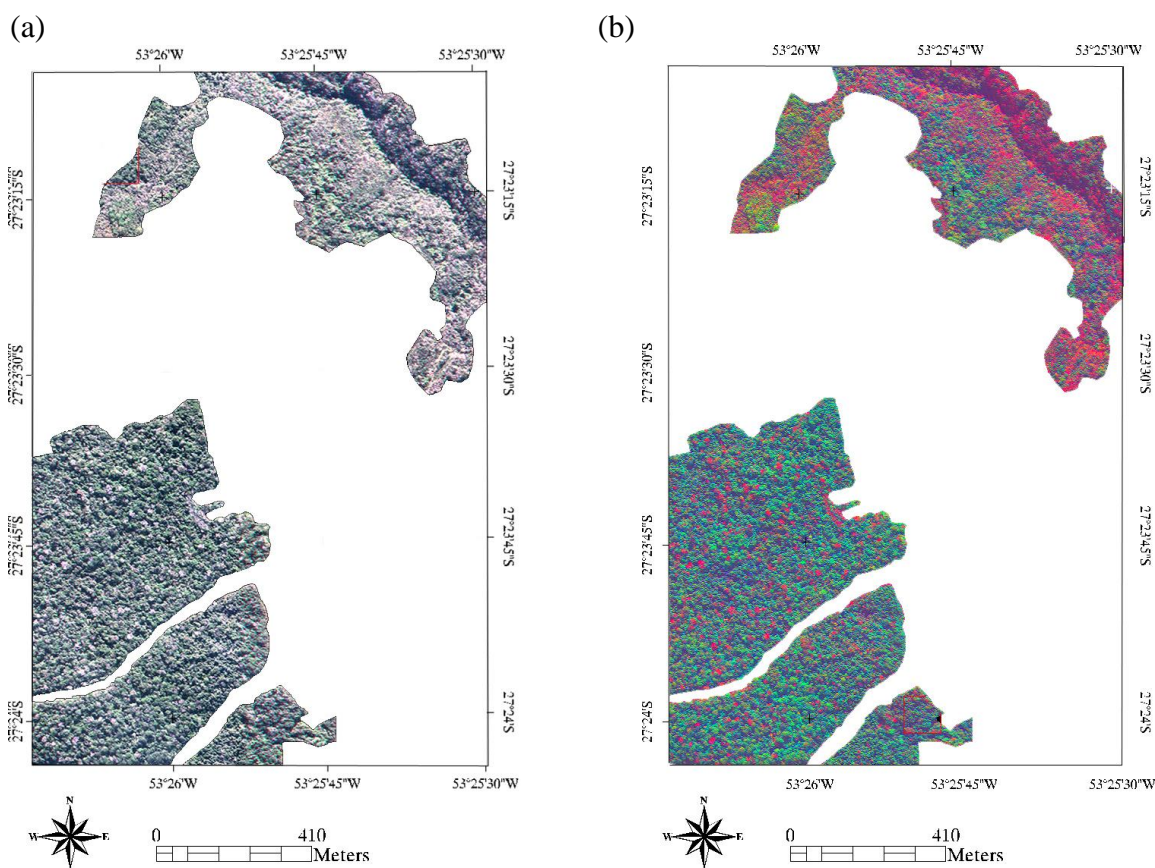


Figura 5. Recorte das áreas florestais em estudo representando (a) uma composição colorida do tipo cor verdadeira de 26 de julho de 2013 com contraste linear a 2% e, (b) composição colorida com as frações sombra, vegetação verde e vegetação seca (BGR) do modelo linear de mistura espectral da mesma data.

Quando as frações do modelo linear de mistura espectral são avaliadas em função da topografia local, as diferenças espectrais identificadas na Figura 4 ficam evidentes (Figura 6 e 7). Nos fragmentos mais elevados não é possível identificar claramente o condicionamento das feições do relevo sobre a vegetação (Figura 6a). Entretanto, a Figura 6b demonstra o forte controle que a altitude e declividade (entre outras) exercem sobre a vegetação e consequentemente, sobre o padrão de reflectância do Worldview-2.

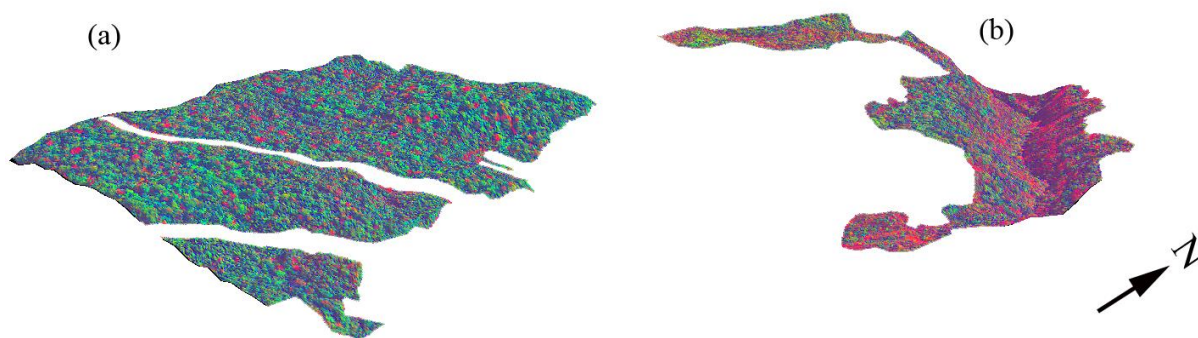


Figura 6. Recorte das áreas florestais em estudo representando (a) uma composição colorida com as frações sombra, vegetação verde e vegetação seca (BGR) do modelo linear de mistura

espectral para os fragmentos localizados acima de 510 m e (b) para os fragmentos florestais localizadas na faixa de altitude de 420 as 450 m. Os dados foram projetados sobre o MDE do ASTER GDEM v2.

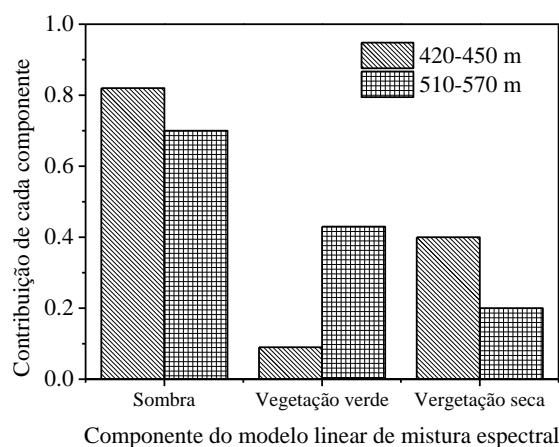


Figura 7. Variação da contribuição de cada fração do modelo linear de mistura espectral para as distintas faixas de altitude e tipos de cobertura do solo.

4. Conclusões

Os resultados mostraram que existe uma grande diferença na resposta espectral da floresta considerando o fragmento florestal Faguense e os fragmentos de floresta primária localizados em áreas mais elevadas. Em geral, no fragmento da Faguense, a reflectância da banda do vermelho é maior e a do infravermelho próximo e borda vermelha é menor, quando comparada com a reflectância dos fragmentos de áreas mais elevadas.

O modelo linear de mistura espectral e a inspeção preliminar de campo indicaram uma maior presença de espécies decíduas no fragmento Faguense. Entretanto, novos estudos com validação por espécies e com exploração de imagens de alta resolução espacial de outras datas são necessários para confirmar esta hipótese.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo n° 478085/2013-3) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processo n° 2013/03908-3) pelo apoio financeiro. A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pelo apoio logístico.

Referências Bibliográficas

- Aguirre-Salado, C. A.; Treviño-Garza, E. J.; Aguirre-Calderón, O. A. *et al.* Construction of aboveground biomass models with remote sensing technology in the intertropical zone in Mexico. **Journal of Geographical Sciences**, v. 22, n. 4, p. 669-680, 8 jun 2012.
- Barry, K. M.; Newnham, G. J.; Stone, C. Estimation of chlorophyll content in Eucalyptus globulus foliage with the leaf reflectance model PROSPECT. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6-7, p. 1209-1213, jun 2009.
- Breunig, F. M.; Balbinot, R.; Vendruscolo, R.; Spohr, R. B. Situação ambiental do campus da UFSM de Frederico Westphalen, RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7241-7248. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GBP3>>. Acesso em: 04 oct. 2014.

Cheng, Y.-B.; Middleton, E. M.; Zhang, Q. et al. The photochemical reflectance index from directional cornfield reflectances: Observations and simulations. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 444-453, set 2012.
Curran, P. J. Remote sensing of foliar chemistry. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, n. 3, p. 271-278, dez 1989.

Datt, B. A New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests using Eucalyptus Leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 154, n. 1, p. 30-36, jan 1999.
DIGITAL GLOBE. Worldview-2. 2012. Disponível em: < www.digitalglobe.com >. Acesso em novembro de 2013.

Exelis Visual Information Solutions – EXCELIS®. ENVI® - Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH). Boulder, USA. 2014.

Franklin, S. E. Remote sensing for sustainable forest management. London: Lewis Publishers, 2001. 407p.
Globalgeo. GlobalGeo Geotecnologias: WorldView-2. 2013. Disponível em:
<<http://www.globalgeo.com.br/satelite/worldview-2/>> Acesso em 19 de maio de 2014.

Govender, M.; Dye, P. J.; Weiersbye, I. M.; Witkowski, E. T. F.; Ahmed, F. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. **Water SA (online)**, v. 35, n. 5, p. 741-752, 2009.

Hesketh, M.; Sánchez-Azofeifa, G.A. The effect of seasonal spectral variation on species classification in the Panamanian tropical forest. **Remote Sensing of Environment**. 2012;118:73–82. Disponível em:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425711004007>. Acesso em July 13, 2012.

Hook, M.A.S.; Ramachandran, B. **ASTER User Handbook Version 2**. Pasadena: JPL/EROS Data Center/NASA, 1999. Disponível em:
<http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_documents/aster_user_guide_v2.pdf>. Acesso em: 24.mar. 2014.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, nov 2002.

Martin, M. E.; Aber, J. D. High spectral resolution remote sensing of forest canopy lignin, nitrogen, and ecosystem processes. **Ecological Applications**, v. 7, n. 2, p. 431-443, maio 1997.

Mutanga, O.; Adam, E.; Cho, M. A. High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 18, p. 399-406, ago 2012.

Omar, H. Commercial timber tree species identification using multispectral Worldview-2 data. **Digital Globe: 8 - bands research challenge**, v. 1, p. 1-20, 2010.

Roberts, D.A., Roth, K.L., Perroy, R. L. Hyperspectral vegetation indices. In: THENKABAIL, P.S., LYON, J.G., HUETE, A. (Ed.). **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011. p. 309–327.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) - RS. O Plano de Manejo do Parque Estadual do Turvo - RS. Porto Alegre: SEMA, 2005. Disponível em: < www.sema.rs.gov.br/upload/Plano_manejo_PETurvo.pdf >. Acesso em 16 out. 2010.

Wulder, M. A.; White, J. C.; Coggins, S. *et al.* Digital high spatial resolution aerial imagery to support forest health monitoring: the mountain pine beetle context. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 6, n. 1, p. 062527, 2012.