

Influência da correção atmosférica 6s na derivação de índices físicos em imagens RapidEye-REIS

Riene Filgueiras de Oliveira¹

Tales Camargos Abrantes¹

Pâmela Aude Pithan¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - PPGSR
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale
91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil
{rienefilgueiras, abrantales}@hotmail.com; pamelapithann@gmail.com

Resumo. As ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para o monitoramento de áreas agrícolas e do meio ambiente. Devido às alterações sofridas pelos efeitos atmosféricos nas imagens dos sensores remotos orbitais, torna-se fundamental para uma interpretação confiável das imagens de satélite a realização da correção dos efeitos atmosféricos. Para isso foram desenvolvidas técnicas como o Modelo de Transferência Radiativa 6S, que calcula a reflectância aparente e corrige para os efeitos da atmosfera, obtendo assim a reflectância da superfície. Esse método se aplica a imagens multiespectrais com efetiva utilização nas imagens RapidEye-REIS. Dessa forma, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do uso da correção atmosférica 6S para classes de alvos distintos, na derivação de índices físicos em imagens RapidEye-REIS, a área de estudo do presente trabalho compreende os limites da cena RapidEye-REIS – 20180526_141401_2130924 – localizada no município de Sonora, Mato Grosso do Sul (MS). Foram derivados os índices NDVI, SAVI, NDWI e o NDRE aplicados às imagens em NDs (sem correção), e às imagens TOA e BOA, resultantes de um pré-processamento. As diferenças resultantes entre os índices foram avaliadas em cinco classes de alvos distintos: Agricultura, Água, Área Urbana, Vegetação Densa e Solo Exposto, dando base para comparar as respostas obtidas para cada imagem de entrada. O modelo de correção atmosférica 6S não atendeu às necessidades de pré-processamento digital de imagens RapidEye-REIS para geração de índices físicos, apresentando diferenças significativas em relação às imagens TOA.

Palavras-chave: sensoriamento remoto. geotecnologia. NDVI. pantanal.

Abstract. The tools of Geotechnology (Remote Sensing and GIS - Geographic Information System) provide an important subsidy for the monitoring of agricultural areas and the environment. Due to changes in atmospheric effects in the images of remote orbital sensors, it is essential for a reliable interpretation of satellite images to perform the correction of atmospheric effects. For this, techniques such as the Radiation Transfer Model 6S were developed, which calculates the apparent reflectance and corrects for the effects of the atmosphere, thus obtaining the surface reflectance. This method applies to multispectral images with effective use in RapidEye-REIS images. The objective of this work was to evaluate the influence of the use of the 6S atmospheric correction for distinct target classes in the derivation of physical indices in RapidEye-REIS images. The study area of the present work comprises the limits of the RapidEye-REIS scene - 20180526_141401_2130924 - located in the municipality of Sonora - MS. The NDVI, SAVI, NDWI and NDRE indices were applied to the images in NDs (without correction), and to the TOA and BOA images, resulting from a pre-processing. The resulting differences between the indices were evaluated in five different target classes: Agriculture, Water, Urban Area, Dense Vegetation and Moisture Soil, giving a basis to compare the responses obtained for each input image. The 6S atmospheric correction model did not meet the needs of digital preprocessing of RapidEye-REIS images for generating physical indexes, presenting significant differences in relation to TOA images.

Keywords: remote sensing. geotechnology. NDVI. pantanal.

1. Introdução

As preocupações com a sustentabilidade agroambiental vêm se tornando cada vez mais atual e crescente, o que carece de informações precisas para o monitoramento de áreas agrícolas e do meio ambiente. Nesse contexto, as ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para este tipo de demanda.

Dentro do Sensoriamento Remoto (SR), a utilização de índices espectrais vêm ganhando destaque no estudo de cobertura vegetal. Tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (NIR) do espectro eletromagnético, em que resulta em um valor adimensional (JENSEN, 2009). Segundo Boratto e Gomide (2013), os índices de vegetação baseiam-se no comportamento oposto da reflectância da vegetação na região do visível, ou seja, quanto maior a densidade vegetal, menor é a reflectância em função da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes e quanto maior a densidade vegetal, maior a reflectância devido ao espalhamento nas diferentes camadas das folhas. Em contraste, nuvens, água e neve têm uma reflectância maior no visível do que no infravermelho próximo, atingindo valores negativos. Afloramentos rochosos e solos expostos apresentam resposta similar nas duas bandas e o resultado para o índice é próximo de zero (Lillesand et al., 2004).

As regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo são afetadas diretamente pelos efeitos atmosféricos de espalhamento, provocados pelos aerossóis atmosféricos e absorção ocasionada pelo vapor d'água e ozônio. Conforme Menezes e Almeida (2012), imagens de Sensores Remotos Orbitais que captam a energia da Radiação Eletromagnética medida pelo sensor, podem diferir da radiância real do alvo, sendo fundamental para uma interpretação confiável das imagens de satélite remover os efeitos que a atmosfera introduz. Desta forma, a correção atmosférica apresenta-se como um processo essencial para atenuar esses efeitos indesejados.

Diversas técnicas de processamento opcionais de correção atmosférica foram desenvolvidas. De acordo com Antunes et al. (2012) com a abordagem fundamentada na transferência radiativa através da atmosfera que considera as características atmosféricas no momento de obtenção da imagem para o cálculo dos fluxos necessários para a obtenção da reflectância da superfície (BOA; sigla do inglês *Bottom of Atmosphere*), a metodologia é considerada fisicamente consistente. O Modelo de Transferência Radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*), desenvolvido por Vermote et al. (1997), simula a radiância que chega nos sensores remotos entre 0,25 μm a 4,00 μm , permitindo

representar a reflectância da superfície para diferentes alvos. Esse método se aplica a imagens multiespectrais com efetiva utilização nas imagens RapidEye-REIS, que é um sistema com cinco satélites independentes com sensores idênticos, localizados na mesma órbita.

Os principais alvos como água, vegetação e solo têm suas propriedades espectrais bem conhecidas, o que permite comparar índices biofísicos gerados através de dados de satélite com e sem correção atmosférica com a literatura. Esta avaliação permitirá uma melhor escolha entre os diversos índices disponíveis na literatura, dependendo do alvo em que se deseja trabalhar, além de avaliar a necessidade de tal correção atmosférica no uso de índices biofísicos.

2. Objetivo

O trabalho teve como objetivo avaliar a influência do uso da correção atmosférica 6S para classes de alvos distintos, na derivação de índices físicos em imagens RapidEye-REIS.

3. Material e Métodos

3.1. Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho compreende os limites da cena RapidEye-REIS – 20180526_141401_2130924 – localizada no município de Sonora, Mato Grosso do Sul (MS), que abrange o Parque Estadual da Serra de Sonora, vizinha ao Bioma Pantanal (**Figura 1**). O município de Sonora localiza-se na região centro-norte do MS, na mesorregião do Alto Taquari, nas coordenadas geográficas 17° 34' 37" de latitude sul e de 54° 45' 28" de longitude oeste. Sua área total é de 4.075 km² e sua população de cerca de 15.000 habitantes, segundo IBGE, (2010).

O Parque Estadual da Serra de Sonora foi criado em 2001 com o objetivo de compensar a instalação da usina hidrelétrica Ponte de Pedra localizada no Rio Correntes, na divisa dos Estados de Mato Grosso e MS. Em contiguidade ao Parque, existe o Monumento Natural Municipal Serra do Pantanal destinado à proteção de mais de 5 mil hectares, resultando em um importante corredor ecológico entre o Cerrado e Pantanal (IMASUL, 2018). O Pantanal está situado numa região de transição climática, sofrendo atuação de diversas massas de ar, o que implica em contrastes térmicos acentuados, tanto espacial quanto temporalmente.

A classificação climática do município de Sonora é da tipologia “Aw”, segundo critérios de Köppen (ALVARES, 2013): clima tropical, com inverno seco (de maio a outubro, sendo que julho é o mês mais seco), apresentando estação chuvosa no verão (de novembro a abril).

Em geral, a precipitação média anual supera os 1.400 mm. Ao contrário da temperatura, cuja média anual é de 23,7°C; a precipitação apresenta uma grande sazonalidade, concentrando-se nos meses de primavera e verão (outubro a março), que é a estação chuvosa. Curtos períodos de seca, chamados de veranicos, podem ocorrer em meio a esta estação. No período de maio a setembro os índices pluviométricos mensais reduzem-se bastante, podendo chegar à zero.

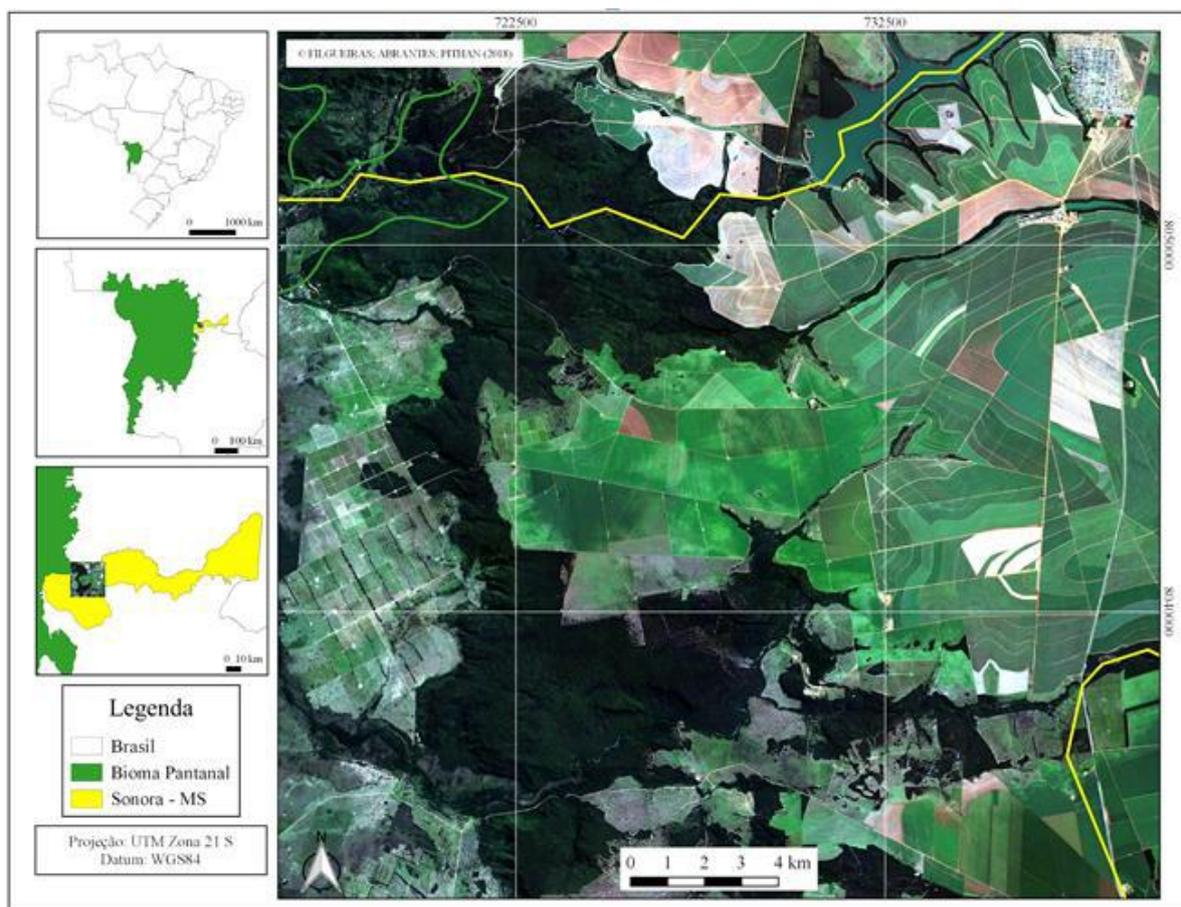


Figura 1 – Mapa da área de estudo da cena RapidEye-REIS, localizada no município de Sonora, Mato Grosso do Sul.

3.2. Aquisição de Dados

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando-se imagens RapidEye-REIS Ortho - Level 3A, datadas de 26 de maio de 2018. Esses dados foram cedidos pela empresa Planet Labs Inc., distribuidora oficial das imagens RapidEye-REIS, que disponibiliza acesso a pesquisadores, professores e outros profissionais vinculados a algum órgão das três esferas do poder constitucional no Brasil, mediante cadastro via e-mail institucional.

O RapidEye-REIS é constituído por uma constelação de cinco satélites, com 7 anos de vida útil, situado numa órbita a 630 km da superfície terrestre. Suas imagens são ortorretificadas cobrindo uma extensão de 625 km², com resolução espacial de 5 metros e a radiométrica de 16 bits. Seu sensor REIS possui cinco bandas espectrais: Azul (440 - 510 nm), Verde (520 - 590 nm), Vermelho (630 - 685 nm), Borda do Vermelho (*Red Edge*) (690 - 730 nm) e Infravermelho Próximo (IVP) (760 - 850 nm). O Datum horizontal é o WGS 84 e a projeção cartográfica é a *Universal Transversa de Mercator* (UTM) (BLACKBRIDGE, 2014). Cada uma das bandas do sensor são representadas por matrizes de dados armazenados na forma de Números Digitais (ND) que representam valores proporcionais aos da radiância no topo da atmosfera (TOA).

3.3. Processamento de Imagens Digitais (PDI)

Todas as etapas de PDI, de pré e processamento, foram executadas no ambiente do *software* livre QGIS Las Palmas, versão 2.18. Inicialmente, os NDs foram convertidos para TOA utilizando-se o *plugin* Geodsud Reflectance TOA. Em seguida, os dados foram convertidos para reflectância de superfície (BOA) por meio da correção dos efeitos atmosféricos de

absorção de gases e aerossóis, bem como do espalhamento oriundo da interação da radiação eletromagnética com os componentes da atmosfera (LATORRE et al., 2002), utilizando-se o algoritmo Modelo de Transferência Radiativa 6S, implementado no *software* livre GRASS GIS, que também pode ser executado na forma de provedor no ambiente QGIS.

O modelo calcula a reflectância aparente (obtida no sensor) e corrige para os efeitos da atmosfera, obtendo assim a reflectância da superfície. Nesse modelo, os seguintes parâmetros são necessários na entrada dos dados: i) latitude, longitude, data e hora de coleta da imagem; ii) tipo de modelo de atmosfera gasosa (espalhamento *Rayleigh*); iii) tipo de modelo de aerossóis (espalhamento *Mie*); iv) visibilidade horizontal (concentração de aerossóis, em km); e v) banda espectral que se deseja corrigir (**Tabela 1**). Utilizou-se altitude média do terreno equivalente a 0.442 km; modelo atmosférico tropical; modelo de aerossol rural, com parâmetros estipulados por Kaufman e Tanré (1992). Todos os demais parâmetros adicionais ficaram no padrão.

Tabela 1 – Parâmetro ajustados no 6S para correção atmosférica.

Parâmetro	Ajuste
Condições Geométricas	RapidEye (13)
Mês	05
Dia	26
Hora (decimal)	14.2467
Longitude	-54.9695
Latitude (decimal)	-17.5676
Modelo Atmosférico	Tropical
Modelo de Aerossóis	Rural
Visibilidade (Km)	10
Altitude Média (Km)	-0.442
Local do Sensor	A bordo do satélite (-1000)
Banda Espectral	88 - 92

A refletância da superfície obtida entre valores de 0 a 1 foi multiplicada por 10.000 para o armazenamento em imagens de 16 bits, de modo a aproveitar melhor a capacidade radiométrica do sensor de 12 bits dentro do espaço de níveis de cinza disponíveis na imagem de 16 bits.

Na etapa de processamento, foram derivados os índices *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil-adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) e o *Red Edge Vegetation Index* (NDRE) (**Tabela 2**), aplicados às imagens em NDs (sem correção), e às imagens TOA e BOA, resultantes da etapa de pré-processamento.

Finalmente, foram avaliados as diferenças resultantes entre os índices derivados a partir dos DNs, TOA e BOA em cinco classes de alvos distintos: Agricultura, Água, Área Urbana, Vegetação Densa e Solo Exposto. Tanto o aspecto visual das imagens (níveis de cinza) quanto

os valores plotados nos histogramas deram base para comparar as respostas obtidas para cada imagem de entrada.

Tabela 2 – Sumário de índices físicos utilizados.

Índice Físico	Equação	Referências
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$	Rouse et al. (1973)
<i>Soil-adjusted Vegetation Index</i>	$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} (1 + L)$	Huete (1988)
<i>Normalized Difference Water Index</i>	$NDWI = \frac{\rho_G - \rho_{NIR}}{\rho_G + \rho_{NIR}}$	McFeeters (1996)
Índice de Vegetação <i>Red Edge</i>	$NDRE = \frac{\rho_{RE} - \rho_R}{\rho_{RE} + \rho_R}$	Barnes et al. (2000); Eitel et al. (2011)

ρ_{NIR} é a reflectância no IVP; ρ_{RE} é a reflectância no Red Edge; ρ_G é a reflectância no Verde; ρ_R a reflectância no Vermelho, e L é o coeficiente empírico de ajuste para solos.

4. Resultados e Discussão

Os resultados de média (\bar{X}) e desvio padrão (σ) das classes avaliadas por meio dos respectivos índices físicos, NDVI, NDRE, NDWI e SAVI, derivados do RapidEye-REIS, estão sumarizados na **Tabela 3**. Observando os dados deste trabalho, é possível dizer que houve diferenças significativas entre os resultados gerados a partir de dados com e sem correção atmosférica.

Os índices derivados das imagens ND e TOA apresentaram maiores semelhanças, no entanto vale destacar algumas nuances que distinguem a reflectância TOA dos ND. Em contrapartida, pode-se observar que a imagem BOA, que foi submetida ao modelo de correção atmosférica 6S, apresentou maior divergência comparativamente às demais.

Na imagem BOA os valores se apresentam majoritariamente acima do esperado para cada classe, o que significa dizer que a reflectância BOA, de forma geral, foi maior para os alvos analisados.

A classe Água foi a que apresentou menores variâncias em relação aos índices utilizados para cada imagem. Porém para os índices derivados da imagem BOA, foram obtidos valores discrepantes (entre 0.45 e 0.66) quando comparado com a média encontrada em literatura para água com sedimentos em suspensão, que deveria ser o mais próximo de 0. Assim, pode ser dada maior credibilidade aos valores gerados a partir da imagem TOA, questionando a necessidade de correção atmosférica para obtenção de dados espectrais de superfície quando se trabalha com água, corroborando com o estudo de Carvalho e Baptista (2015).

A correção atmosférica 6S também mostrou-se insatisfatória com relação às classes vegetativas. Foi verificado uma superestimação dos valores das médias da classe Agricultura em relação à Vegetação Densa derivados da imagem BOA, evidenciando uma resposta inconsistente com o que se espera de uma vegetação nativa em relação a uma vegetação agrícola em seu máximo vigor vegetativo de acordo com Wardlow et al. (2007), sendo este demonstrado

pelos resultados gerados a partir das imagens ND e TOA, aduzindo a questão da confiabilidade das imagens TOA.

O NDVI produziu médias de valores superiores e discordantes nas imagens BOA em relação às demais imagens. Este fato corrobora a característica de saturação do NDVI para estudo de vegetação densa (GU et al., 2013; MUTANGA e SKIDMORE, 2004), tornando-se menos sensível a altos valores de índice de área foliar (IAF) (CHEN et al., 2006).

Foi observado certo padrão na distribuição das médias das classes nos índices, com exceção ao SAVI, quanto às conversões radiométricas, sendo que as maiores médias foram obtidas para BOA, TOA e ND, respectivamente. O SAVI, além disso, retornou valores sem validade física para as classes Agricultura (1,248) e Vegetação (1,291) quando se aplicou a correção atmosférica 6S, uma vez que este índice deveria variar num limiar entre -1 e 1, os resultados podem ser observados na **Figura 2**.

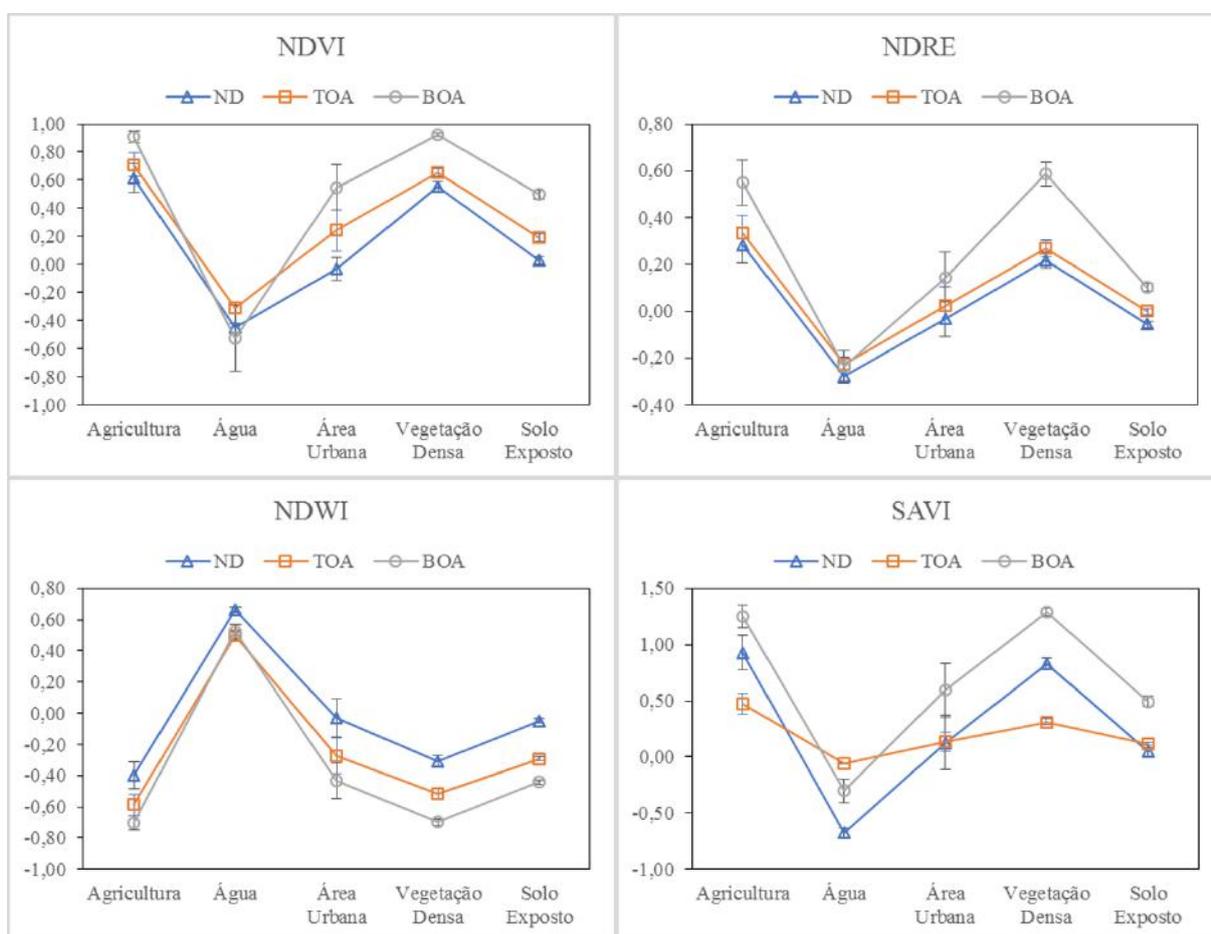


Figura 2 – Gráficos derivados dos índices das imagens ND, TOA e BOA para as classes analisadas.

Tabela 3 – Média (\bar{X}) e desvio padrão (σ) das classes avaliadas por meio dos respectivos índices físicos, NDVI, NDRE, NDWI, NDRE, NDWI e SAVI, derivados do RapidEye-REIS.

	Alvos	Índices												
		NDVI		NDRE		NDWI		SAVI						
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	
Imagem de Entrada	Reflectância da superfície (BOA)	Agricultura	0.907	0.043	0.549	0.096	-0.704	0.047	1.248	0.101				
		Área Urbana	0.548	0.162	0.145	0.108	-0.431	0.116	0.592	0.240				
		Água	-0.526	0.235	-0.237	0.068	0.522	0.047	-0.302	0.106				
		Vegetação Densa	0.925	0.012	0.586	0.050	-0.699	0.020	1.291	0.032				
		Solo Exposto	0.496	0.034	0.102	0.017	-0.443	0.016	0.495	0.045				
		Agricultura	0.707	0.085	0.333	0.076	-0.707	0.085	0.469	0.092				
Imagem de Entrada	Refletância ao topo da atmosfera (TOA)	Área Urbana	0.241	0.148	0.024	0.079	-0.275	0.113	0.133	0.083				
		Água	-0.311	0.034	-0.227	0.030	0.498	0.026	-0.060	0.007				
		Vegetação Densa	0.655	0.026	0.269	0.034	-0.516	0.030	0.312	0.029				
		Solo Exposto	0.190	0.028	-0.001	0.014	-0.292	0.015	0.114	0.016				
		Agricultura	0.617	0.104	0.282	0.078	-0.400	0.086	0.926	0.156				
		Área Urbana	-0.032	0.079	-0.032	0.079	-0.033	0.122	0.129	0.239				
Imagem de Entrada	Números Digitais	Água	-0.451	0.030	-0.279	0.029	0.663	0.019	-0.676	0.046				
		Vegetação Densa	0.552	0.032	0.216	0.035	-0.309	0.036	0.828	0.048				
		Solo Exposto	0.029	0.029	-0.057	0.014	-0.048	0.017	0.043	0.043				

5. Conclusões e Sugestões

Através da análise dos resultados, pode-se dizer que o modelo de correção atmosférica 6S não atendeu às necessidades de pré-processamento digital de imagens RapidEye-REIS para derivação de índices físicos, apresentando diferenças em relação às imagens TOA. Deve-se, posteriormente, incentivar testes para as potencialidades dos dados RapidEye-REIS e dos métodos de redução de radiância para refletância.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Centro Estadual de Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CPSRM) e a empresa Planet Labs Inc. pela concessão da imagem utilizada no estudo.

7. Referências

- Alvares, C. A. Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; de Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- Antunes, M. A. H., Debiasi, P., da Costa, A. R.; Gleriani, J. M. Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/4, 2012. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/458/472>>. Acesso em: 09 jun. 2018.
- Barnes, E. M.; Clarke, T. R.; Richards, S. E. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In: **Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture**. Bloomington. MN, USA., 2000. v. 1619, p. 16–19.
- Blackbridge. Ortho Product (Level 3A). 2014. Disponível em: <<http://blackbridge.com/rapideye/products/ortho.htm>>. Acesso em: 05 Julho 2018.
- Boratto, I. M.; Gomide, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. n.16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7345-7352. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/956305/1/Aplicacaoindices.pdf>>. Acesso em: 10 Jun. 2018.
- Carvalho, A. A.; Baptista, G. M. M. Influência da correção atmosférica na conversão dos dados de radiância para reflectância para o cálculo do EVI em imagem RapidEye. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 67 v. 7, 2015.
- Chen, P. Y.; Fedosejevs, G.; Tiscareño-López, M.; Arnold, J. G. Assessment of MODIS-EVI, MODIS-NDVI and VEGETATION-NDVI composite data using agricultural measurements: an example at corn fields in western Mexico. **Environment Monit. Assess**, n. 119, p. 69–82, 2006.
- Eitel, J. U.; Vierling, L. A.; Litvak, M. E.; Long, D. S.; Schulthess, U.; Ager, A. A.; Krofcheck, D. J.; Stoscheck, L. Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3640–3646, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.002>>. Acesso em: 22 Jun. 2018.
- Gu, Y.; Wylie, B. K.; Howard, D. M.; Phuyal, K. P.; Ji, L. NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 1–6, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.041>> Acesso em: 14 Jun. 2018.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama: Sonora, Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/sonora/panorama>>. Acesso em: 23 Jun. 2018.
- IMASUL. **Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul**. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br>>. Acesso em: 6 Jul. 2018.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

- Kaufman, Y. J.; Tanré, D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, 1992.
- Latorre, M.; Júnior, O. A. C.; Carvalho, A. P. F.; Shimabukuro, Y. E. Correção Atmosférica: conceitos e fundamentos. **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W.; Chipman, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, Inc. New York – USA. 5 ed. 763 p. 2004.
- Mcfeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.
- Meneses, P. R.; Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. v. 1. 266p .
- Mutanga, O.; Skimore, A. K. Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 19, p. 3999–4014, 2004.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.
- Vermote, E. F.; Tanré, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette, J. J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. **IEEE Trans. Geosc. and Remote Sens.** v. 35, n. 3, p. 675- 686, 1997.
- Wardlow, B. D.; Egbert, S. L.; Kastens, J. H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p. 290- 310, 2007.