

## Avaliação da acurácia em produtos OLI/Landsat 8 em lagos amazônicos: Correção Atmosférica

Vitor Souza Martins<sup>1</sup>  
Lino Augusto Sander de Carvalho<sup>1</sup>  
Claudio Clemente Faria Barbosa<sup>1</sup>  
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{vitor.s.martins1;lino.sander}@gmail.com; {evlyn;claudio.barbosa}@inpe.br

**Abstract.** Atmospheric correction is a crucial procedure to derive physical parameters from satellite images. Since water reflectance is typically low, inland water studies require an efficient removal of the atmospheric signal for consistent estimates of water-leaving reflectance. In this paper, we contribute to the quality assessment of atmospheric correction approaches applied to Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) scene. Three approaches were assessed over Amazon floodplain aquatic systems: 6SV model using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) atmospheric products, Acolite model and Landsat surface product of LASRC (Landsat Surface Reflectance Code). In general, the results show that satellite surface reflectance agrees well with field measurements for all approaches, with the correlation coefficients (R) ranging from 0.491 at blue bands to 0.907 at red bands. For comparison, the corrected data using MODIS products as input in 6SV model has a better agreement than Acolite model, and quite similar to that of LASRC code. Therefore, new MODIS product shows reliability as input data to support radiative transfer models. The results also show a fair agreement between Acolite and LASRC with in situ data. In particular, Acolite model present the benefits of pixel-by-pixel correction and image-based approach to overcome limitations imposed over regions without atmospheric information. For LASRC approach, high quality of surface reflectance dataset contributes to Landsat time series analysis and routinely monitoring of water dynamics. Therefore, all approaches presented satisfactory correlations with in situ data. Finally, required accuracy level for surface data relies on the specificities of each application, for example, detection of sediment plumes requires less attention with inaccuracies from atmospheric correction than the quantification of chlorophyll-a concentrations.

**Palavras-chave:** atmospheric correction, Landsat 8 OLI and Amazon inland water.

### 1. Introdução

A região amazônica possui uma atmosfera complexa devido à alta frequência de nuvens, à alta concentração de vapor d'água e à variação sazonal das cargas de aerossol provenientes de queimadas (Hilker et al., 2015). A aplicação do sensoriamento remoto orbital na modelagem dos constituintes da água, como sólidos em suspensão, fitoplâncton e matéria orgânica dissolvida, depende da qualidade dos dados de reflectância de superfície (IOCCG, 2010). Portanto, a acurácia da correção atmosférica se torna uma etapa crucial para garantir a consistência de análises temporais e do monitoramento dos parâmetros biogeoquímicos (Palmer et al., 2015).

O princípio fundamental da correção atmosférica é a remoção dos efeitos da atenuação da radiação solar causados pelos constituintes atmosféricos, como espalhamento molecular e aerossóis, e pela absorção da radiação por gases como ozônio, oxigênio e vapor d'água (Fraser e Kaufman, 1985). Nesse contexto, os métodos de correção atmosférica são divididos em duas categorias: (i) métodos empíricos e (ii) modelos de transferência radiativa da atmosfera (MTR). A abordagem (i) obtém da própria imagem as informações necessárias para a correção atmosférica e não requer dados auxiliares. Liang et al., (2001) realizaram uma descrição sucinta de métodos empíricos para correção atmosférica, como *Histogram Matching*, *Dark Object Subtraction*, *Contrast Reduction Method*. No entanto, essas abordagens são usualmente aplicadas a alvos terrestres, e existe uma inclinação para desenvolvimento de métodos adequados para aplicações em águas, como o modelo Acolite (Vanhellemont e Ruddick, 2014). A abordagem (ii) é mais complexa e busca analisar os

fenômenos físico-ópticos da transferência radiativa na atmosfera, por exemplo, o modelo 6SV (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum* vector version) (VERMOTE et al., 1997). Os MTRs exigem a caracterização da atmosfera no momento da passagem do satélite, e para isso, existem duas alternativas: medições com fotômetros solares (Holben et al., 1998) ou produtos orbitais (Remer et al., 2005). Devido à escassez de estações operacionais que forneçam medidas de propriedades ópticas da atmosfera, a aplicação dos produtos MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) se tornou uma alternativa viável para dar suporte à caracterização atmosférica em locais sem medições.

Os métodos de correção atmosférica são constantemente avaliados e não existe consenso sobre o melhor modelo, visto que a qualidade dos produtos variam amplamente em função das condições atmosféricas, tipo de alvo, disponibilidade de dados auxiliares e familiaridade com o modelo. A inexistência de estudos que avaliem a qualidade do produto de reflectância de superfície OLI em águas na Amazônia justifica esse estudo, principalmente, pelo desafio que representa a inerente complexidade e dinâmica dos constituintes atmosféricos na Amazônia. O intuito desse estudo é avaliar dois métodos de correção atmosférica (modelo 6SV e ACOLITE) e o produto de reflectância de superfície do Landsat 8 OLI comparado com medidas in situ concomitantes a imagem. Além disso, o estudo demonstra a aplicabilidade do recente produto do MODIS como dado de entrada no modelo 6SV.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na planície do Lago Grande de Curuai (LGC), localizada nas coordenadas (1°30" S; 55°43" W), a noroeste da cidade de Santarém/Pará e a 850 km do oceano Atlântico (Figura 1). A planície possui uma área de aproximadamente 3.500 km<sup>2</sup> e uma flutuação no nível da água de até 7 metros. Essa variação de cota ocorre com o pulso de cheia do rio Amazonas e caracteriza quatro estados de inundação: cheia, vazante, baixa e enchente (Barbosa, 2005). Nesse sentido, o comportamento hidrodinâmico no LGC é influenciado em 77% pela vazão do rio Amazonas e os demais 23% são devido à precipitação (9%), escoamento superficial (10%) e águas subterrâneas (4%) (Bonnet et al., 2008). A planície possui mais de 20 lagos e recebe em diferentes proporções: águas brancas e claras (Barbosa, 2005).

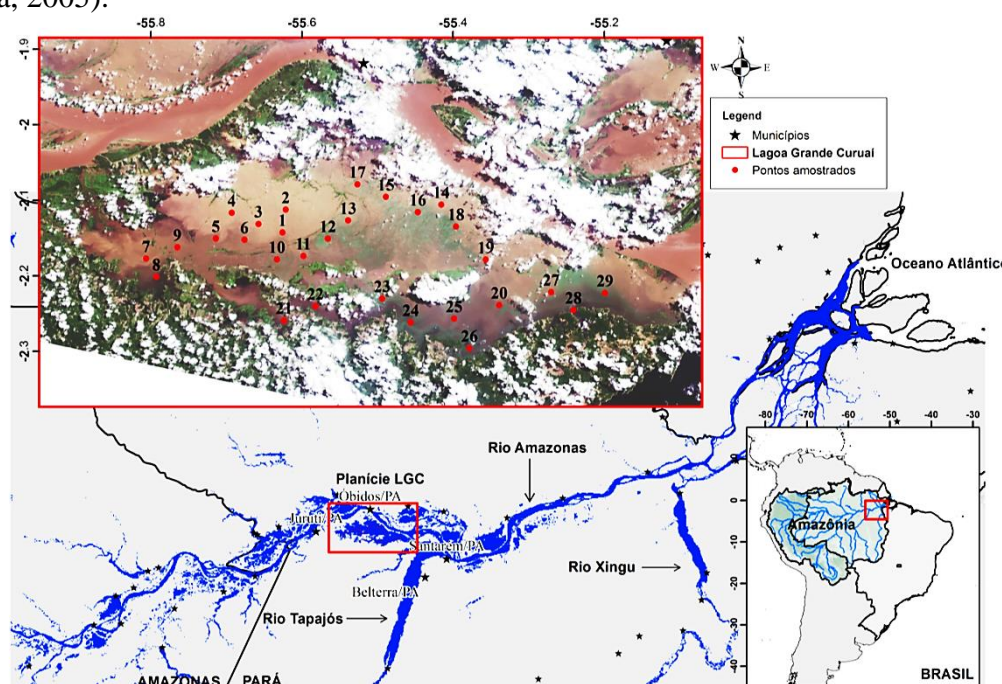


Figura 1. Localização da área de estudo e estações amostrais.

No contexto da correção atmosférica, a estação da AERONET em Belterra/PA (-54°95' O e -02°65' S), a 85 km da planície de Curuaí, permite observar a variação marcante da profundidade óptica de aerossol (AOD) entre o primeiro (~ 0,06 - 0,15) e o segundo semestre (0,15 - 0,4), enquanto o vapor d'água se mantém estável durante o ano (~ 4,5 g/cm<sup>2</sup>). Artaxo et al. (2006) descreveram que a variação da composição físico-química da atmosfera na época de seca é devido à emissão por queimadas florestais.

## 2.2. Dados coletados in situ

As medições in situ foram realizadas entre 11 a 18 de agosto de 2013 com coletas radiométricas e limnológicas (TSS, Chl-a e CDOM) em 29 estações amostrais (Sander de Carvalho, 2016). As medidas radiométricas foram obtidas com três radiômetros hiperspectrais (TriOS RAMSES) seguindo o protocolo sugerido por Mueller (2003). A configuração dos sensores foi distinta entre as medidas de radiância ( $mw/m^2.sr.nm$ ) da água ( $L_w^{+0}(\lambda)$ ), do céu ( $L_{sky}^{+0}(\lambda)$ ) e da irradiância ( $mw/m^2.nm$ ) descendente ( $E_d^{+0}(\lambda)$ ). Os sensores  $L_w$  e  $L_{sky}$  foram posicionados, respectivamente, com ângulo zenital ( $\theta_s$ ) de 45° e 135° em relação ao nadir e ambos com o ângulo azimutal ( $\Delta\phi_s$ ) de ~110° em relação ao Sol. O processamento dos dados radiométricos foi dividido em três etapas: (i) Interpolação linear para 1 nm (originalmente coletado ~ 3 nm), (ii) normalização da iluminação solar e (iii) seleção do espectro mediano por ponto. As medições de  $L_w$ ,  $L_{sky}$  e  $E_d$  foram sincronizadas e coletadas simultaneamente visando estimar a refletância de superfície conforme a equação (1):

$$\rho_w(\theta_s, \Delta\phi_s, \lambda) = \pi \frac{L_w^{+0}(\theta_s, \Delta\phi_s, \lambda) - \rho_{sky}(\theta_s, \Delta\phi_s, \theta_0, W).L_{sky}^{+0}(\theta'_s, \Delta\phi_s, \lambda)}{E_d^{+0}(\lambda)} \quad (1)$$

Onde,  $\rho_{sky}$  é o fator de reflectância na interface ar-água conforme definido por Mobley (2015) em função das geometrias dos sensores ( $\theta_s, \Delta\phi_s$ ), do ângulo zenital solar ( $\theta_0$ ) e da velocidade do vento  $W$  (m/s). A comparação entre as reflectâncias de campo e da imagem corrigida exige a ponderação pelas funções de resposta espectral do sensor OLI (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>). A Figura 2 mostra os espectros de campo processados, as bandas do OLI simuladas e as concentrações do TSS inorgânico nas estações amostrais.

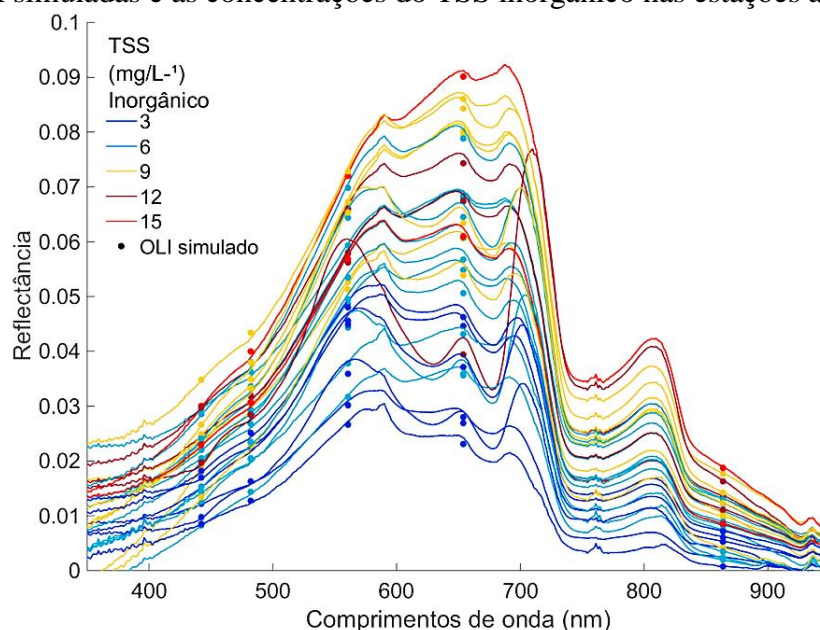


Figura 2. Curvas radiométricas e simulação com a resposta filtro do sensor OLI para as 29 estações amostrais.



### 2.3. OLI/Landsat 8

O programa Landsat representa a série de maior longevidade de observações da terra em escala global (Roy et al., 2014). O Landsat 8 carrega dois sensores, o Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS), gerando 500 cenas por dia. O sensor OLI é um instrumento push-broom, coletando em linha com +- 7000 detectores na direção e sentido da trajetória (*cross-track*) (Barsi et al., 2011). Essa arquitetura aumenta a estabilidade da coleta e melhora a relação sinal-ruído (*Signal-Noise ratio* – SNR). Além disso, o sensor OLI possui nove bandas espectrais com o diferencial de incluir uma banda no azul (443 nm), para estimativa da carga de aerossol, e uma banda em 1370 nm, para detecção de cirrus. Assim, a alta razão sinal-ruído (Ex.:  $SNR_{B2} = 355$ ;  $SNR_{B3} = 296$ ;  $SNR_{B4} = 222$ , veja em Tabela 1 Barsi et al., 2011), boa resolução espacial (30 m) e radiométrica (12 bits) configuram a aplicabilidade do sensor OLI em águas continentais.

A imagem OLI selecionada no dia 15 de agosto de 2013 com órbita/ponto em 228/061 recobre a área de estudo. O pré-processamento da imagem incluiu a geração das máscaras de água e nuvem, e conversão radiométrica para reflectância no topo da atmosfera (TOA) através dos coeficientes radiométricos disponíveis no metadado da imagem. Além da obtenção da imagem bruta, obteve-se o produto reflectância de superfície OLI processado pelo algoritmo LASRC (*Provisional landsat 8 surface reflectance code*). O LASRC é um algoritmo de correção atmosférica, baseado no modelo do 6SV, aplicado em escala global para as imagens OLI. O algoritmo busca disponibilizar um produto em reflectância de superfície com qualidade e consistência para análises em séries temporal e estudos terrestres em geral (Vermont et al., 2016). Portanto, avaliou-se a qualidade desse produto comparando-o com os dados radiométricos coletados in situ.

### 2.4. Métodos de correção atmosférica

#### 2.4.1. Modelo 6SV

O modelo 6SV é um MTR consagrado em correção atmosférica de imagens de sensores orbitais (VERMOTE et al., 1997). O modelo é atualmente aplicado na estimativa da reflectância de superfície dos dados do MODIS, ETM+ e OLI (Vermont et al., 2016). A intercomparação do modelo 6SV com outros MTRs demonstrou uma diferença dos resultados inferior a 1% (Kotchenova et al., 2006). Portanto, optou-se por avaliar a correção atmosférica pelo modelo 6SV devido à consolidação de suas aplicações para multi-sensores e em escala global. Os parâmetros gerados pelo modelo 6SV são usados no cálculo da reflectância de superfície, conforme a equação 2 (Vermont et al., 1997):

$$\rho_{sup} = \frac{A * \rho_{TOA} + B}{1 + \gamma(A * \rho_{TOA} + B)} \quad (2)$$

Onde,  $A = 1/\alpha\beta$ ,  $B = -\rho_{atm}/\beta$ ,  $\alpha$  é a transmitância global dos gases,  $\beta$  é a transmitância total do espalhamento,  $\rho_{atm}$  é a reflectância intrínseca atmosfera e  $\gamma$  é o albedo esférico. Esses parâmetros são constantes gerados internamente pelo modelo conforme as características do sensor e condições atmosféricas. Assim, adaptou-se o modelo 6SV com as funções de filtro do sensor OLI para simulação dos coeficientes da equação 2. Os parâmetros atmosféricos de entrada no modelo foram: tipo de aerossol (queima de biomassa) e profundidade óptica de aerossol em 550 nm (0.21); concentração de vapor d'água (3.78 g/cm<sup>2</sup>) e de ozônio (0.294 cm-atm). As cargas de AOD e vapor d'água foram obtidas através do novo produto MODIS, denominado MAIAC (*Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction*), dentro da borda de 5 km do LGC. O MAIAC é um algoritmo do MODIS baseado em série temporal para obtenção da reflectância de superfície, máscara de nuvem/sombra, estimativa de AOD em 470 e 550 nm e concentração de vapor d'água

(Lyapustin et al., 2011). O produto do MAIAC promete superar as limitações impostas por limiares empíricos dos algoritmos anteriores e derivar produtos atmosféricos de alta resolução (1 km). O produto foi obtido para o sensor Aqua no tile h02v01, pois não havia valores válidos para o produto Terra sobre a área de estudo. A concentração do ozônio foi obtida do produto MOD08 (D3) disponibilizado pelo LAADS (<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/>).

### 2.4.2. Modelo ACOLITE

O modelo ACOLITE (*Atmospheric Correction for OLI 'lite'*) foi desenvolvido pelo *Royal Belgian Institute of Natural Sciences* (RBINS) visando a correção atmosférica de imagens do sensor OLI para estudos em águas oceânicas e continentais (Vanhellemont e Ruddick, 2014). O ACOLITE realiza a correção dos efeitos de espalhamento molecular (Rayleigh) e aerossol sobre a água. Em águas turvas, o espalhamento do aerossol é quantificado nas bandas do SWIR 1 e 2 (1609 e 2201 nm), em que a reflectância da água é igual zero, e extrapolado para as bandas do VNIR com base no tipo de partícula ( $\epsilon$ ) obtido pixel a pixel. O modelo permite ajustar parâmetros da correção, como tipo de aerossol (fixo na cena, variável pixel a pixel ou pré-definido), fatores de ganho da calibração radiométrica e aplicação das bandas do NIR ou SWIR para estimativa do espalhamento do aerossol. Nesse estudo aplicou-se a correção atmosférica utilizando as bandas do SWIR, devido às altas concentrações de sólidos em suspensão na planície, com a estimativa do tipo de aerossol pixel a pixel e sem fatores de ganho na calibração radiométrica.

## 3. Resultados e Discussão

Os coeficientes do 6SV descrevem os processos de transferência radiativa na atmosfera (Tabela 1) e foram aplicados para conversão da imagem em reflectância de superfície (Eq. 1). O espalhamento por aerossol e Rayleigh possui um decaimento exponencial e a transmitância total pelo espalhamento ( $\beta$ ) aumenta da banda do azul até o NIR. A absorção por gases possui menor efeito na transmitância atmosférica, com valores entre 0.929 até 0.998, pois bandas OLI estão localizadas em faixas espectrais para minimizar os efeitos de absorção da radiação solar pelo oxigênio, dióxido de carbono e vapor d'água.

A Figura 3 mostra os resultados das reflectâncias de superfície obtidas pelos modelos 6SV, Acolite e pelo produto LASRC comparados com as medições radiométricas de campo. Em geral, os produtos de superfície obtiveram boa correlação ( $R > 0.7$ ) com os dados de campo e baixo RMSE ( $< 0.008$ ) para todas as bandas espectrais. Além disso, os produtos apresentaram semelhanças em forma e magnitude com os espectros simulados de campo, o que demonstra a eficiência dessas abordagens na remoção do espalhamento atmosférico, principalmente na região do azul.

A aplicação do modelo 6SV com dados atmosféricos do MAIAC produziram bons resultados para as bandas do vermelho e verde, com coeficiente angular da reta e R maiores que 0.9 (Figura 3). A acurácia do produto 6SV nas bandas do vermelho e verde favorece, por exemplo, os estudos com a modelagem de sólidos em suspensão utilizando dados orbitais (Lobo et al., 2015). Hu et al.(2014) avaliaram o desempenho do modelo 6SV em imagens TM

Tabela 1. Parâmetros atmosféricos gerados pelo modelo 6SV.

Bandas (nm)	B1 (0.43 – 0.45)	B2 (0.45-0.51)	B3 (0.53-0.59)	B4 (0.64-0.67)	B5 (0.85-0.88)
Trans. global gases ( $\alpha$ )	0.998	0.989	0.929	0.942	0.996
Trans. total espalh. ( $\beta$ )	0.698	0.753	0.833	0.884	0.937
Reflec. Intrínseca atmosf. ( $\rho_{atm}$ )	0.108	0.081	0.045	0.028	0.014
Albedo esférico ( $\gamma$ )	0.213	0.178	0.126	0.090	0.048
Coeficiente A	1.436	1.344	1.294	1.200	1.072
Coeficiente B	-0.155	-0.108	-0.054	-0.032	-0.015

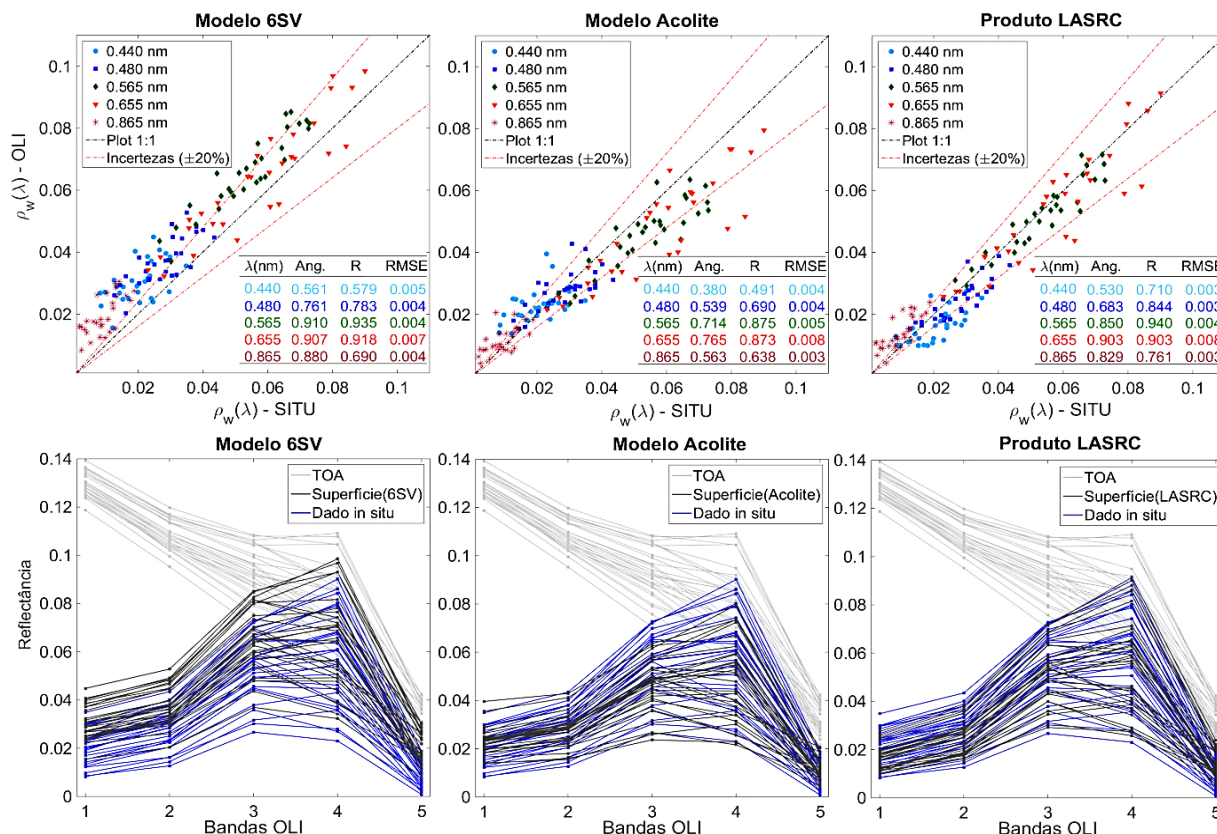


Figura 3. Comparação dos produtos de reflectância de superfície pelos modelos 6SV, Acolite e produto LASRC. Tabela: Coeficiente angular da reta (Ang.), coeficiente de correlação (R), e erro quadrático médio (RMSE).

entre 2004 e 2007 aplicando os produtos atmosféricos do MODIS e obtiveram bons resultados com uma variação do R entre 0,818 - 0,925 e do RMSE entre 0,013 e 0,059 para as bandas. Portanto, os resultados para o Lago Grande do Curuai corroboram com a validação da acurácia e qualidade dos produtos obtidos por MTRs usando produtos orbitais. Em particular, o MAIAC apresenta uma nova perspectiva de fonte de dados com alta resolução espacial, o que aumenta a quantidade de dados válidos e beneficia os estudos em regiões com alta frequência de nuvens como na Amazônia.

O modelo Acolite também obteve as maiores correlações com os dados de campo para as bandas do verde e vermelho, apesar de terem sido inferiores aos resultados do modelo 6SV. É uma alternativa viável para estudos em águas continentais pela simplicidade na aplicação, rápido processamento e por não depende de dados externos visto que extrai as informações da própria imagem. Em águas túrbidas, o modelo utiliza a reflectância nas bandas do SWIR para estimar o tipo e a reflectância do aerossol, assim, a boa relação sinal-ruído e alta resolução radiométrica (12 bits) do sensor OLI beneficiam a abordagem do modelo e permitem atingir boa qualidade no produto de superfície. BARNES et al., (2015) reforçam a aplicabilidade do modelo Acolite ao aplicar o produto de reflectância de superfície na identificação da pluma de sedimentos causados por dragagem em região costeira.

O produto de superfície do LASRC obteve correlações similares ao do modelo 6SV com dados de entrada do MAIAC. O algoritmo LASRC integra a abordagem física do modelo 6SV com informações extraídas da imagem e de fontes climáticas (Vermote et al., 2016). Devido à complexidade das estimativas do aerossol, o algoritmo deriva os valores de AOD em áreas de vegetação densa e escura a partir da relação espectral entre as bandas do visível com SWIR (Kaufman et al., 1997). Portanto, a presença da floresta densa favorece a boa estimativa de cargas de aerossol e, consecutivamente, impacta em melhores resultados para o produto

LASRC. A disponibilização desse produto com qualidade viabiliza estudos temporais e em escala global, além de simplificar uma etapa indispensável para o acesso às informações espectrais dos alvos. Além da remoção dos efeitos da atmosfera, ressalta-se que os efeitos de reflexão especular e de alvos adjacentes casualmente afetam a qualidade da reflectância da água, sendo necessário um pós-processamento das imagens para aumentar a acurácia desse produto de superfície.

#### 4. Conclusões

A intensidade dos efeitos atmosféricos varia com as bandas espectrais, geometrias de aquisição e iluminação, tipo e concentração dos constituintes atmosféricos. A avaliação dos modelos de correção atmosférica e do produto de superfície LASRF demonstrou boa correlação com os dados de campo em todas as abordagens, onde os resultados do coeficiente de correlação variam entre 0.491 – 0.940 e o RMSE de 0.3 – 0.008 conforme a banda espectral e modelo. Os resultados do modelo 6SV com os produtos de AOD e vapor d'água do MAIAC demonstraram a aplicabilidade desse novo produto do MODIS para correção atmosférica em águas continentais. O modelo Acolite obteve resultados satisfatórios e com a vantagem de não requer de dados auxiliares para aplicação. O produto de superfície LASRC é uma alternativa para estudos temporais e remove do processamento uma etapa indispensável para acessar informações da superfície. No entanto, cabe ressaltar que os resultados da correção atmosférica são sensíveis às interações entre superfície e atmosfera caso a caso, por isso, a remoção dos efeitos atmosféricos não é trivial e os erros variam para uma mesma abordagem. Por fim, uma acurada correção atmosférica favorece a consistência das análises temporais e é fundamental para geração de produtos qualitativos via sensoriamento remoto.

#### 5. Agradecimentos

O autor agradece a CAPES pela bolsa de mestrado, a FAPESP pelo financiamento do projeto nº 2011/23594-8 para coleta de dados. Agradecemos também o apoio do projeto MSA-BNDES (1022114003005) e a PPG-SERE/INPE pelo apoio e incentivo.

#### 6. Referências Bibliográficas

- Artaxo, P.; Oliveira, P. H.; Lara, L. L.; Pauliquevis, T. M.; Rizzo, L. V.; Junior, C. P.; Correia, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 168-22, 2006.
- Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuaí/Rio Amazonas**. 2005. 281 p. (INPE-14614-TDI/1193). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
- Barnes, B. B.; Hu, C.; Kovach, C.; Silverstein, R. N. Sediment plumes induced by the Port of Miami dredging: Analysis and interpretation using Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, 170, 328-339. 2015.
- Barsi, J. A.; Markham, B. L.; Pedelty, J. A. The operational land imager: spectral response and spectral uniformity. In: SPIE optical engineering+ applications. **International Society for Optics and Photonics**. 2011.
- Bonnet, M. P.; Barroux, G.; Martinez, J. M.; Seyler, F.; Moreira-Turcq, P.; Cochonneau, G.; Roux, E. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuaí). **Journal of Hydrology**, v. 349, n. 1, p. 18-30, 2008.
- Fraser, R. S.; Kaufman, Y. J. Relative importance of aerosol scattering and absorption in remote sensing. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 23, n. 5, p. 625-633, 1985.
- Hilker, T.; Lyapustin, A. I.; Tucker, C. J.; Sellers, P. J.; Hall, F. G.; Wang, Y. Remote sensing of tropical ecosystems: Atmospheric correction and cloud masking matter. **Remote Sensing of Environment**, v. 127, p. 370-384, 2012.



Holben, B. N.; Eck, T. F.; Slutsker, I.; Tanre, D.; Buis, J. P.; Setzer, A.; Lavenu, F. AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. **Remote sensing of environment**, v. 66, n. 1, p. 1-16, 1998.

Hu, Y.; Liu, L.; Liu, L.; Peng, D.; Jiao, Q.; Zhang, H. A Landsat-5 atmospheric correction based on MODIS atmosphere products and 6S model. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, 7(5), 1609-1615, 2014.

IOCCG. Atmospheric correction for remotely-sensed ocean-colour products. **Reports and Monographs of the International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG)**, 2010.

Kaufman, Y. J.; Wald, A. E.; Remer, L. A.; Gao, B. C.; Li, R. R.; Flynn, L. The MODIS 2.1- $\mu\text{m}$  channel-correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. **IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 35(5), 1286-1298, 1997.

Kotchenova, S. Y.; Vermote, E. F.; Matarrese, R.; Klemm Jr, F. J. Validation of a vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of satellite data. Part I: Path radiance. **Applied optics**, v. 45, n. 26, p. 6762-6774, 2006.

Liang, S.; Fang, H.; Chen, M.. Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery. I. Methods. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 11, p. 2490-2498, 2001.

Lobo, F. L.; Costa, M. P.; Novo, E. M.. Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. **Remote Sensing of Environment**, 157, 170-184, 2015.

Lyapustin, A.; Wang, Y.; Laszlo, I.; Kahn, R.; Korokin, S.; Remer, L.; Reid, J. S. Multiangle implementation of atmospheric correction (MAIAC): 2. Aerosol algorithm. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, n. D3, 2011.

Mobley, C. D. Polarized reflectance and transmittance properties of windblown sea surfaces. **Applied optics**, v. 54, n. 15, p. 4828-4849, 2015.

Mueller, J. L. In-water radiometric profile measurements and data analysis protocols. **Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation**, Revision, v. 4, p. 7-20, 2003.

Palmer, S. C. J.; Kutser, T.; Hunter, P. D. Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 1-8, 2015.

Roy, D. P.; Wulder, M. A.; Loveland, T. R.; Woodcock, C. E.; Allen, R. G.; Anderson, M. C.; Scambos, T. A. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014.

Remer, L. A.; Kaufman, Y. J.; Tanré, D.; Mattoo, S.; Chu, D. A.; Martins, J. V.; Eck, T. F. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 62, n. 4, p. 947-973, 2005.

Sander de Carvalho, L. A. **Bio-optical characterization of Amazon floodplain lakes and evaluation of the retrieval of optically active constituent using remote sensing**. 2016. 201 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.08.16.27-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008.

Vanhellemont, Q.; Ruddick, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 105-115, 2014.

Vermote, E.; Justice, C.; Claverie, M.; Franch, B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, 2016.

Vermote, E. F.; Tanré, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcette, J. J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.