

Mapeamento de queimadas na Amazônia Legal brasileira utilizando dados MODIS e VIIRS: resultados preliminares

Celso Henrique Leite Silva Junior ¹
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão ¹
Liana Oighenstein Anderson ²
Thales Vaz Penha ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
celso.junior@inpe.br, laragao@dsr.inpe.br, thales.penha@inpe.br

²Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN
Est. Dr. Altino Bondensan, 500 - 12247-016 - São José dos Campos - SP, Brasil
liana.anderson@cemaden.gov.br

Abstract. In the Amazon, fires are normally associated with the management of agricultural areas and conversion of forests into productive lands. The occurrence of fires in Amazonia causes direct impacts on the vegetation, affecting directly carbon emissions, with the disruption of the natural carbon cycle, consequently contributing to global climate change. Several studies aim to understand fire dynamics and correlated processes using remote sensing. The availability of orbital data, generating global fire products and a range of digital image processing techniques allow the comprehensive understanding of fire processes. This study, hence, aims to test the viability of MODIS and VIIRS data for quantifying burned scars in the Brazilian Legal Amazonia, analysing their potential against global mapping products. We found that MODIS data were the most accurate for identifying burned areas, considering processing time and the possibility of implementing this methodology operationally for the monitoring of burned areas in Amazonia.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, k-médias, incêndios florestais, remote sensing, k-means, wildfires.

1. Introdução

Na Amazônia as queimadas são resultado do manejo de culturas agrícolas para conversão de áreas de floresta em lavouras, e na criação e manutenção de pasto para o gado, no controle de plantas invasoras, pragas ou doenças, assim como, para estimular a rebrota da pastagem (Fearnside, 2005; Piromal et al., 2008). A ocorrência dessas queimadas provoca impacto direto na vegetação, favorecendo a mortalidade de árvores, o que altera a estrutura ecológica local (Veenendaal et al., 2015). O material particulado emitido para a atmosfera devido a queima de biomassa altera o regime da precipitação (Artaxo et al., 2014), causando também impacto significativo na qualidade do ar e problemas de saúde respiratória na população (Smith et al., 2014). Essas queimadas possuem um papel central nas emissões de carbono nos trópicos, pois afetam diretamente seu ciclo, perturbando a química atmosférica global através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis, contribuindo com as atuais mudanças climáticas (Anderson et al., 2005).

Neste sentido, o sensoriamento remoto fornece uma série de dados e produtos que auxiliam na identificação, caracterização e estudo dessas queimadas. Os avanços nos mapeamentos de áreas queimadas colaboram com a redução nas incertezas dos atuais modelos de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), aperfeiçoando o processo de tomada de decisões governamentais e um correto gerenciamento de incêndios florestais (Andere et al., 2015). Atualmente, diversos métodos e algoritmos de classificação digital de imagens estão disponíveis em plataformas SIGs (Sistemas de Informação Geográfica). Esses algoritmos buscam o reconhecimento de padrões espectrais para classificar os pixels (Moreira, 2011). Essa disponibilidade de métodos e algoritmos é útil para o desenvolvimento de processos operacionais, que garantam mapeamentos com nível de acurácia aceitáveis, aliado a um baixo custo de tempo e recursos computacionais.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo testar a viabilidade do uso dos dados do sensor MODIS e VIIRS na identificação de cicatrizes de queimadas na Amazônia Legal brasileira, verificando seu potencial em comparação as classificações geradas por modelos automáticos globais de mapeamento.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A Amazônia Legal brasileira apresenta uma área total de 5.200.00 km², que representa 59% do território nacional (Almeida et al., 2016) (Figura 1). É constituída, principalmente, por florestas tropicais primárias, além de áreas de savana pertencentes ao domínio do Cerrado (Carreiras et al., 2006). Para a realização desse estudo foram selecionadas duas áreas piloto, descritas abaixo.

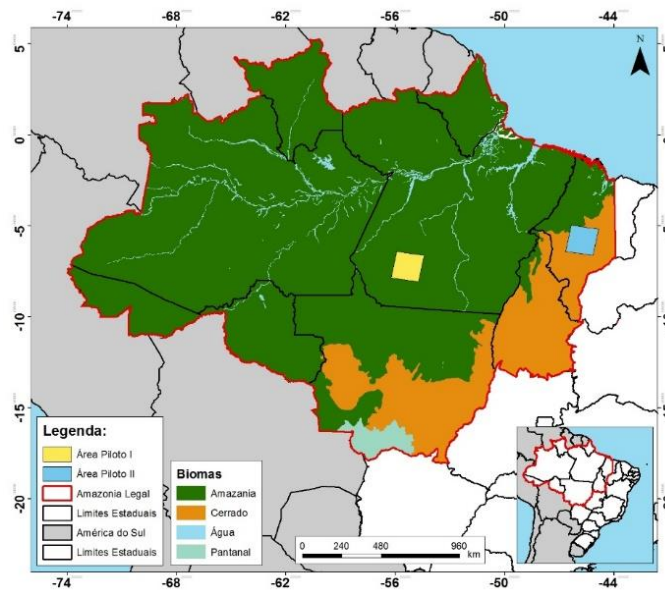


Figura 1. Localização da área de estudo.

Área Piloto I (API) - Essa área corresponde a cena Landsat 227/65 e está localizada ao norte do Município de Novo Progresso - PA, no domínio do Bioma Amazônia. Essa área é conhecida por ser uma fronteira de desmatamento, com ocupação associada aos projetos de colonização governamentais e a constituição de infraestrutura rodoviária, principalmente da BR-163 (Pereira et al., 2010; Pinheiro, 2015). Nessa região o uso do fogo está intimamente relacionado às atividades de desmatamento.

Área Piloto II (AP2) - Essa área corresponde a cena Landsat 221/64 que engloba o município de Grajaú - MA, no domínio do Bioma Cerrado. Essa região experimenta a ocorrência natural de queimadas todos os anos (Caldas, Silva e Silva Junior, 2014) por apresentar fisionomias vegetais típicas do Cerrado, no entanto intensas mudanças foram observadas nas últimas décadas, catalisadas pela abertura de novas fronteiras agrícolas, o que tem alterado o regime das queimadas na região (Brito et al., 2013).

2.2 Base de Dados

Os dados utilizados estão resumidos na tabela 1. Para os dados de superfície de reflectância, foram usadas as bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio. A banda do infravermelho médio referente ao produto MOD09A1 foi reamostrada para uma resolução espacial de 250 m conforme sugere Andere et al. (2015). Nos produtos globais de mapeamento automático MCD45A1 e MCD64A1 foram selecionadas as queimadas acumuladas até a data correspondente às cenas Landsat 8.

Tabela 1. Conjunto de dados utilizados no estudo.

Dados	Resolução espacial	Data (227/65 e 221/64)	Produto	Referências
OLI - Landsat 8	30 metros	12/09/2014 e 17/08/2014	Superfície de reflectância	USGS (2016)
MODIS MOD09Q1 e MOD09A1 (8 dias)	250 e 500 metros	13/09/2014 e 18/08/2014	Superfície de reflectância	Vermote (2016a; b)
VIIRS NPP D8SRFHKM (8 dias)	500 metros	13/09/2014 e 20/08/2014	Superfície de reflectância	Vermote (2015)
MODIS MCD45A1	500 metros	Até 12/09/2014 e 17/08/2014	Área Queimada	Boschetti et al. (2015)
MODIS MCD64A1	500 metros	Até 12/09/2014 e 17/08/2014	Área Queimada	Giglio et al. (2016)
TerraClass	30 metros	2014	Uso e Cobertura da Terra	Almeida et al. (2016)

2.3 Metodologia

2.3.1 Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME

A metodologia empregada no presente estudo baseou-se na metodologia proposta por Anderson et al. (2005) e Shimabukuro et al. (2009). Com base nos dados de reflectância do sensor OLI (*Operational Land Imager*) (Figura 2A) referentes às bandas do vermelho, infravermelho próximo e médio, aplicou-se o MLME, proposto por Shimabukuro e Smith (Shimabukuro e Smith, 1991), e gerou-se uma imagem fração solo, vegetação e sombra, conforme a Equação 1. As amostras para cada fração foram retiradas de “*pixels* puros” diretamente das imagens.

$$r_i = (a * vegetação_i) + (b * solo_i) + (c * sombra_i) + e_i \quad (1)$$

onde r_i é a reflectância registrada em um dado *pixel* na banda i ; “ a ”, “ b ” e “ c ” são as proporções da reflectância referente a vegetação, solo e sombra respectivamente; “ e_i ” é o erro na banda i . Esse método utiliza os mínimos quadrados, o qual estima as proporções de cada fração pela minimização da soma dos quadrados dos erros (Moreira et al., 1998). A fração sombra consegue destacar as cicatrizes de queimadas por apresentar comportamento espectral similar a esse alvo. Em contrapartida, as frações vegetação e solo apresentam resposta baixa em cicatrizes de queimada, possibilitando uma melhor separação na classificação (Andere et al., 2015).

2.3.2 Classificação

Com as três imagens fração (Figura 2B), utilizou-se o classificador K-médias para gerar 10 classes com 10 iterações (Figura 2C), onde cada pixel da imagem foi agrupado ao centro mais próximo segundo a distância euclidiana (Correia et al., 2007), em seguida uma nova média para cada classe foi calculada e os pixels foram sendo realocados. Essa realocação converge para o entorno da concentração dos dados da região. Isso se repete de acordo com o número de iterações escolhidas *a priori*, ou até que não haja mais mudança significativa nas atribuições do pixel (Schowengerdt, 2006). Posteriormente, selecionaram-se somente as classes correspondentes às cicatrizes de queimadas e realizou-se edição manual para diminuir os erros de omissão e comissão devido à confusão espectral com outros alvos, tais como corpos hídricos e sombras de nuvens, por exemplo (Lima et al., 2012). Para melhor avaliação e para efeito de comparação, foram mantidos somente os polígonos com área igual ou superior a 0,390 hectares (aproximadamente 4 *pixels* do mapeamento do sensor OLI). No presente trabalho considerou-se o mapeamento do sensor OLI como a referência (verdade de campo) para a validação dos demais mapeamentos (Figura 2D).

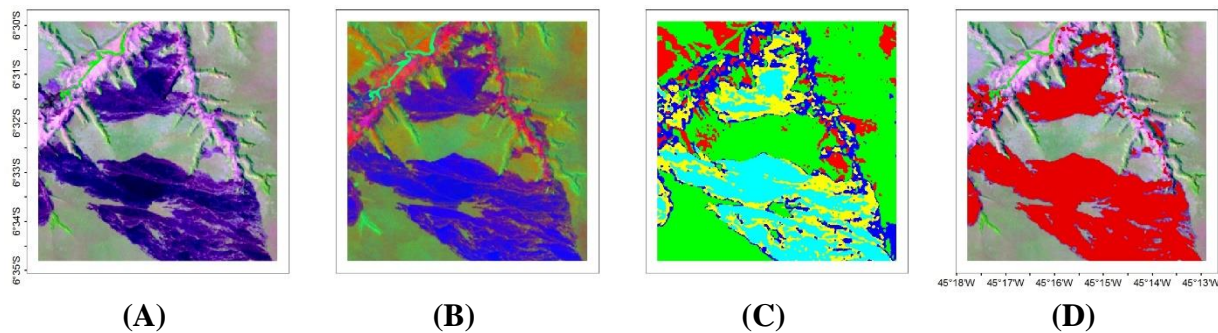


Figura 2. (A) Composição colorida (R - Solo, G - Vegetação e B - Sombra). (B) Composição colorida das frações (R - Vermelho, G - Infravermelho próximo e B - Infravermelho médio). (C) Resultado da classificação K-Means. (D) Cicatrizes de queimadas editadas.

O processo anterior foi executado nas duas áreas piloto, para as imagens de superfície de reflectância provenientes dos produtos VIIRS NPP_D8SRFHKM, MODIS MOD09Q1 e MOD09A1. No entanto, a etapa de edição manual foi desconsiderada para testar o potencial de mapeamento automático, com vista a tornar o processo operacional para a Amazônia, uma vez que, os dois sensores apresentam uma excelente resolução temporal, possibilitando o monitoramento mensal das áreas queimadas, por exemplo (Andere et al., 2015).

2.3.3 Validação dos Mapeamentos

A validação dos dados foi baseada no trabalho de Shimabukuro et al. (2015). Os mapas gerados pelo sensor OLI para as duas áreas piloto foram divididos em 100 células regulares de aproximadamente 20 por 20 km. Em seguida, separaram-se somente as células que continham polígonos de queimadas. De posse dos dados celulares e com seus respectivos valores de área de cicatrizes de queimadas calculados, realizou-se uma regressão linear com o objetivo de verificar se as áreas estimadas pelas células dos demais mapeamentos possuíam alguma relação estatística. Além disso, calcularam-se os coeficientes de determinação (R^2) e os p-valor (*p-value*) de cada validação. As análises anteriores foram realizadas para as queimadas ocorridas em cobertura de floresta e não floresta. Para isso utilizamos a máscara de floresta do mapa de uso e cobertura da terra do TerraClass. Por fim, calcularam-se também os erros de comissão e omissão, bem como, as áreas mapeadas corretamente de todos os mapeamentos em relação à referência (Congalton, 2001) (Figura 3).

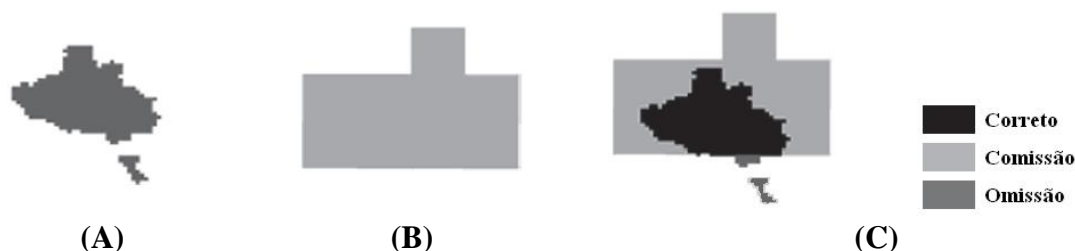


Figura 3. (A) Referência. (B) Mapeamento nos demais sensores. (C) Erros de comissão, omissão e áreas mapeadas corretamente. Adaptado de Oliva e Schroeder (2015)

3. Resultados e Discussão

A figura 4 mostra a comparação entre os mapeamentos utilizando os dados MODIS 250m (Figura 4A), VIIRS 500m (Figura 4B), MCD45A1 500m (Figura 4C) e MCD64A1 500m (Figura 4D). Na AP1 o mapeamento OLI 30m, MODIS 250m, VIIRS 500m, MCD45A1 500m e MCD64A1 500m quantificaram respectivamente 145.193,000 ha, 234.077,000 ha, 183.048,704 ha, 118.110,204 ha e 173.013,594 ha de área queimada, respectivamente. Para a AP2 o

mapeamento utilizando os dados OLI 30m, MODIS 250m, VIIRS 500m, MCD45A1 500m e MCD64A1 500m quantificaram respectivamente 156.755,000 ha, 137.175,399 ha, 104.155,500 ha, 15.318,300 ha e 61.415,903 ha.

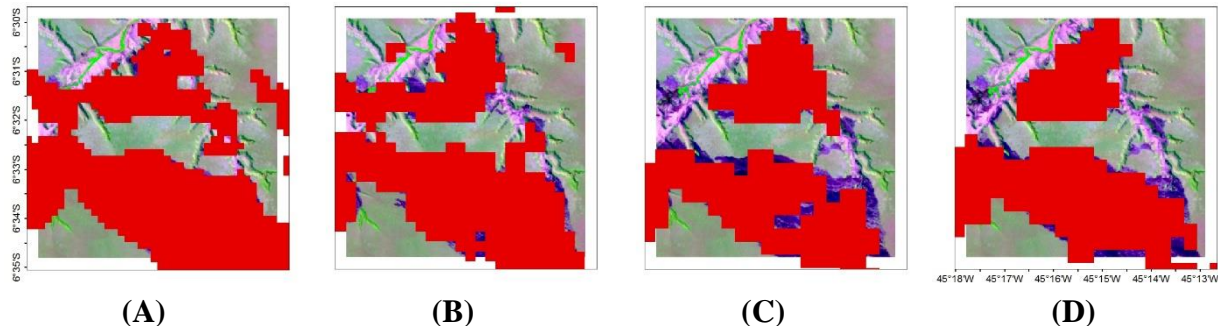


Figura 4. (A) MODIS 250m. (B) VIIRS 500m. (C) MCD45A1. (D) MCD64A1.

Essa variação encontrada entre o total de queimadas mapeadas na referência e os demais mapeamentos corroboram com resultados encontrados por Palomino-Ángel e Anaya-Acevedo (2012), onde atribuíram a essa diferença, a resolução espacial mais grosseira dos mapeamentos analisados em relação a referência. Ou seja, a diferença de tamanho entre os pixels causa a formação de bordas nos mapeamentos de resolução mais grosseira o que aumenta a área mapeada total. Existe ainda a possibilidade de contribuição de áreas que não são queimadas (como sombras formadas pelo relevo e nuvens, além de corpos hídricos) e foram mapeadas como essa classe, e também o não mapeamento de áreas queimadas devido a confusões espectrais, cobertura de nuvens, queimadas de sub-bosque e cicatrizes de curta duração, por exemplo (Andere et al., 2015; Giglio et al., 2009).

Quanto aos erros de omissão nos mapeamentos, destaca-se o produto MCD45A1 que omitiu em relação à referência 47,60% na AP1 (Figura 5A) e 91,45 na AP2 (Figura 5B). Quanto aos erros de comissão destacaram-se o mapeamento MODIS (74,56%) na AP2 e o mapeamento VIIRS (31,80%) na AP1. O mapeamento MODIS apresentou um melhor desempenho dentre todos os mapeamentos analisados, mapeando corretamente 61,80% e 86,66% na AP1 e AP2, respectivamente.

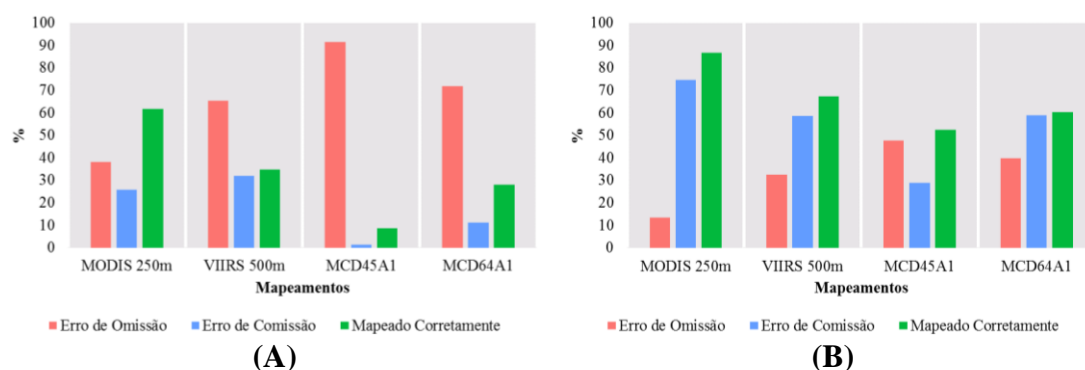


Figura 5. Comparação entre as áreas mapeadas corretamente e erros de omissão e comissão. (A) Área Piloto I. (B) Área Piloto 2.

O mapeamento utilizando os dados VIIRS foram visivelmente superiores quando comparados aos dois produtos globais MODIS de mesma resolução. Isso se deve as melhorias espectrais nas imagens de reflectância VIIRS e a metodologia empregada que distingue melhor as áreas queimadas. Em relação aos produtos MCD45A1 e MCD64A1, Libonati et al (2015) validaram esses produtos para a região do Cerrado e encontraram valores de omissão superiores a 60% nos dois produtos e valores de acerto de até 60%. Esse resultado corrobora com os resultados da AP2,

no entanto, vão de encontro com a validação visual realizada por Araújo e Ferreira Junior (2011) com os dados MCD45A1 no Cerrado brasileiro tendo como base imagens Landsat, onde consideraram esse produto satisfatório e de alta exatidão para discriminar grandes e pequenos incêndios.

Os resultados do produto MCD45A1 da AP1 corroboram com os resultados encontrados por Cardozo et al. (2012) no estado do Acre, onde consideraram o produto de baixa confiança na identificação de queimadas principalmente em áreas de floresta. Já o resultado do produto MCD64A1 é compatível com os resultados encontrados por Shimabukuro et al. (2015) no estado do Mato Grosso, apresentando bom desempenho na identificação de queimadas. Isso demonstra o melhoramento do produto MCD64A1 em relação ao MCD45A1, uma vez que esse será descontinuado dando lugar ao anterior na coleção 6 dos produtos MODIS. Os problemas inerentes a esses produtos globais são atribuídos aos algoritmos que utilizam calibrações globais e não regionais, interferência da profundidade óptica de nuvens e plumas, a falta de dados dos sensores no momento da ocorrência de incêndio e principalmente devido à resolução espacial dos sensores (Libonati et al., 2015; Cardozo, et al., 2012).

A concordância entre os mapeamentos na AP1 e a referência mostraram que o sensor MODIS apresentou os melhores resultados com uma concordância de 91,60% nas áreas com cobertura de floresta e 92,80% em cobertura de não-floresta em relação ao mapa de referência. No entanto, na AP2 as maiores concordâncias foram encontradas no produto MCD64A1 (98,90%) para as áreas de cobertura de floresta e o mapeamento VIIRS (95,40%) para as áreas de não floresta (Tabela 3).

Tabela 3. Concordância entre os mapeamentos e a referência nas duas áreas piloto.

Área	Tipo de Cobertura	R ²			
		MODIS	VIIRS	MCD45A1	MCD64A1
Piloto 1	Floresta	0,916*	0,307*	0,490*	0,720*
	Não-floresta	0,928*	0,685*	0,621*	0,672*
Piloto 2	Floresta	0,971*	0,988*	0,970*	0,989*
	Não-floresta	0,945*	0,954*	0,923*	0,869*

*p-valor < 0,01

Os resultados de concordância corroboram com outros trabalhos semelhantes realizados no bioma amazônico por Shimabukuro et al. (2015) e em áreas de Savana na África do Sul por Tsela et al. (2010) a respeito dos produtos globais. Entre todos os mapeamentos a concordância das áreas mapeadas pela classificação das imagens de superfície de reflectância do sensor MODIS 250m com a referência é destaque nas áreas de cobertura de floresta. Essas áreas são de grande importância do ponto de vista da modelagem das emissões dos gases do efeito estufa, e de grande dificuldade de mapeamento, principalmente quando as queimadas ocorrem no sub-bosque da floresta e que são de difícil identificação (Giglio et al., 2009).

4. Considerações Finais

O classificador automático k-médias demonstrou boa capacidade para mapear as cicatrizes de queimadas, aliando um menor consumo de tempo computacional com bons resultados de classificação.

O uso dos dados MODIS de superfície de reflectância com 250m de resolução espacial aliado ao MLME e ao classificador k-médias, mostrou-se promissor para do ponto de vista da performance computacional, por exigir menos recursos e também por apresentar o melhor balanço entre erros de comissão e omissão quando comparados aos dados VIIRS 500m e demais modelos globais. Esse também apresentou os maiores índices de mapeamento correto com uma boa e significativa concordância com dados de melhor resolução baseados no sensor OLI.

Os dados VIIRS apresentaram a segunda melhor performance quando comparados aos produtos globais de mesma resolução, mostrando o potencial desses dados. Avanços são esperados quando da disponibilidade de produtos de reflectância na resolução original de 375 m.

Por fim, tendo em vista que os dados aqui analisados não foram submetidos a edições manuais para reduzir os erros intrínsecos a eles, acreditasse que com a realização dessas edições a qualidade desses mapeamentos possam melhorar substancialmente. Esse trabalho abre caminho para futuros trabalhos que visem o melhoramento do mapeamento de queimadas na Amazônia Legal brasileira.

5. Agradecimentos

C.H.L.S.J. agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa PCI-DD (processos 314241/2014-0 e 313073/2015-5) no projeto “Mapeamento de Queimadas na Amazônia com Dados MODIS e VIIRS”.

L.E.O.C.A. agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processos 304425/2013-3 e 458022/2013-6).

C.H.L.S.J. e T.V.P agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa no Mestrado em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

6. Referências

Almeida, C. A. de et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 3, p. 291–302, set. 2016.

Andere, L. et al. **Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia.** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais...* João Pessoa: INPE, 2015.

Anderson, L. O. et al. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, v. 35, n. 4, p. 445–456, dez. 2005.

Araújo, F. M. de; Junior, L. G. F. **Validação do produto MODIS MCD45A1 área queimada utilizando imagens LANDSAT TM para o bioma Cerrado.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011.

Boschetti, L. et al. **MODIS Collection 5.1 Burned Area Product - MCD45.** Disponível em: <http://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_Burned_Area_Collection51_User_Guide_3.1.0.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2015.

Brito, D. R. B. et al. **Estudo da alteração do uso e cobertura do solo no centro oeste maranhense entre os anos de 2000 e 2011.** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais...* Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

Caldas, J. M.; Silva, F. B.; Silva Junior, C. H. L. **Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, Estado do Maranhão, Brasil.** XIV Safety, Health and Environment World Congress. *Anais...* Cubatão: COPEC, 2014.

Carreiras, J. M. B. et al. Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. *Remote Sensing of Environment*, v. 101, n. 3, p. 283–298, abr. 2006.

Congalton, R. G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire*, v. 10, n. 4, p. 321, 2001.

Correia, V. R. de M. et al. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, n. 5, p. 1015–1028, maio 2007.

Giglio, L. et al. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n. 2, p. 408–420, 2009.

Giglio, L. et al. **Collection 6 MODIS Burned Area Product User’s Guide.** Disponível em: <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MODIS_C6_BA_User_Guide_1.0.pdf>. Acesso em: 1 out. 2016.

Libonati, R. et al. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 µm MODIS Imagery. *Remote Sensing*, v. 7, n. 12, p. 15782–15803, nov. 2015.

Lima, A. et al. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, v. 34, p. 239–246, maio 2012.

Moreira, M. A. et al. **Modelo de Mistura Espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais**. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos: INPE, 1998.

Oliva, P.; Schroeder, W. Assessment of VIIRS 375m active fire detection product for direct burned area mapping. **Remote Sensing of Environment**, 2015.

Palomino-Angel, S.; Anaya-Acevedo, J. A. Evaluation of the Causes of Error in the Mcd45 Burned-Area Product for the Savannas of Northern South America. **Dyna-Colombia**, v. 79, n. 176, p. 35–44, 2012.

Pereira, D. et al. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010.

Pinheiro, T. F. **Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da Amazônia**. 2015. 180 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. Third ed. Tucson: Elsevier, 2006.

Shimabukuro, Y. E. et al. Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 6, p. 1537–1546, mar. 2009.

Shimabukuro, Y. E. et al. Estimating Burned Area in Mato Grosso, Brazil, Using an Object-Based Classification Method on a Systematic Sample of Medium Resolution Satellite Images. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 4502–4508, set. 2015.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16–20, 1991.

Cardozo, F. da S et al. **Validation of MODIS MCD45A1 product to identify burned areas in Acre State - Amazon forest**. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. **Anais...** IEEE, 2012.

Tsela, P. L. et al. **Validation of the modis burned-area products across different biomes in South Africa**. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). **Anais...** IEEE , 2010.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Code (LASRC) Product**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/documents/provisional_lasrc_product_guide.pdf>. Acesso em: 1 out. 2016.

Veenendaal, E. M. et al. Structural, physiognomic and above-ground biomass variation in savanna–forest transition zones on three continents – how different are co-occurring savanna and forest formations? **Biogeosciences**, v. 12, n. 10, p. 2927–2951, 21 maio 2015.

Vermote, E. F. **MOD09Q1: MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m SIN Grid V006**. Disponível em: <<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD09Q1.006>>. Acesso em: 1 jun. 2016a.

Vermote, E. F. **MOD09A1: MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid V006**. Disponível em: <<https://www.doi.org/10.5067/MODIS/MOD09A1.006>>. Acesso em: 1 jun. 2016b.

Vermote, E. F. et al. **VIIRS-NPP Surface Reflectance User's Guide**. Disponível em: <http://landweb.nascom.nasa.gov/NPP/forPage/VIIRS_NPP_Surf_Refl_UserGuide_v1.1.pdf>. Acesso em: 1 out. 2015.