

Detecção de áreas queimadas e severidade a partir do índice espectral Δ NBR

Thais Michele Rosan¹
Enner Alcântara¹

¹ Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900– Presidente Prudente – SP
tmrgeo@gmail.com
enner@fct.unesp.br

Abstract. The use of fire is a recurrent practice in areas where deforestation is expanding, mainly for cleaning grazing areas and agriculture maintenance. The frequent episodes of drought in the Amazon region during the last three decades caused an increase of susceptibility of vegetation and it has contributed for the increase of fires. These fires cause several changes in the ecosystem, changing biosphere-atmosphere components. Thus, remote sensing become an essential tool for monitoring and analyzing the impacts of fires, as it provides temporal and spatial coverage of fire events in areas of difficult access. Therefore, this work aims to assess the potential of Δ NBR index in detecting burned areas and the fire severity in two scenes of the OLI sensor aboard Landsat-8, for the June and August of 2013. To minimize atmospheric effects in sensor data acquisition, we used the QUAC (Quick Atmospheric Correction) algorithm. Moreover, to detect the variations of burned areas and fire severity, we applied the radiometric normalization in Landsat-8 data. The results demonstrated that the Δ NBR index presented an optimal distinction between areas affected by fire, with high severity, areas not burned and areas with vegetation regrowth. Accordingly, the Δ NBR index presented an excellent agreement on delimiting burned areas.

Palavras-chave: NBR index, fire severity, mapping, remote sensing, índice NBR, severidade de queimadas, mapeamento, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Nas últimas três décadas houve um aumento da frequência e intensidade de episódios de secas extremas na região amazônica (Marengo et al., 2011); esses episódios extremos contribuem para a degradação da vegetação, tornando-a mais susceptível ao fogo (Saatchi et al., 2013). Estudos demonstram que esses eventos de estiagens extremas, associados à prática de queimadas para o manejo de áreas de pastagens, têm contribuído para o aumento das queimadas em áreas da Amazônia (Lima, 2013; Aragão et al., 2007).

As queimadas provocam diversos impactos no ecossistema, como perda da biodiversidade e alterações nos ciclos biogeoquímicos e na atmosfera (Moraes et al., 2005). Desse modo a detecção das cicatrizes de queimadas e a mensuração da severidade do fogo são informações importantes para a compreensão do efeito do fogo no ecossistema, como a recuperação e sucessão da vegetação.

De modo geral, severidade de queimadas é definida como o grau de intensidade do fogo e seu impacto no ecossistema. Um panorama geral da severidade do fogo pode ser obtido por meio do sensoriamento remoto, uma vez que, após a queima há uma série de mudanças na resposta espectral da superfície afetada. Em áreas queimadas, por exemplo, há a diminuição da clorofila na vegetação, resultando em um aumento da reflectância no espectro visível e diminuição na região do infravermelho-próximo. Com a diminuição da umidade no dossel da vegetação e do solo, há um aumento da reflectância na região do infravermelho-médio (Loboda et al., 2007).

Grande parte do mapeamento das cicatrizes de queimadas no Brasil tem sido realizada a partir da análise da fração sombra derivada do modelo linear de mistura espectral (Aderson et al., 2005, Lima, 2013). Entretanto, estudos têm demonstrado grande potencial da utilização

do índice espectral NBR (Índice de Queimada Normalizada) para a detecção das cicatrizes de queimadas e avaliação da severidade do fogo, uma vez que na composição do índice são utilizadas as regiões do espectro eletromagnético que sofrem alterações após a queima. Cardozo et al. (2011) e Escuin et al. (2008) avaliaram os índices NBR e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para o mapeamento de queimadas e concluíram que o NBR é mais sensível para a detecção de queimadas e severidade do fogo do que o NDVI.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial do NBR em detectar áreas queimadas e a severidade do fogo em duas cenas do sensor OLI do Landsat-8, referente aos meses de Junho e Agosto de 2013.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é composta por um recorte da cena 226/68 do sensor OLI a bordo do Landsat-8, coordenadas geográficas 10°43'47" 12°16'20" de latitude sul e 55°39'12" e 53°42'48" de longitude oeste, conforme figura 1. Este recorte compreende o município de Cláudia-MT, área de estudo do processo FAPESP n° 2013/12159-4 e municípios limítrofes.

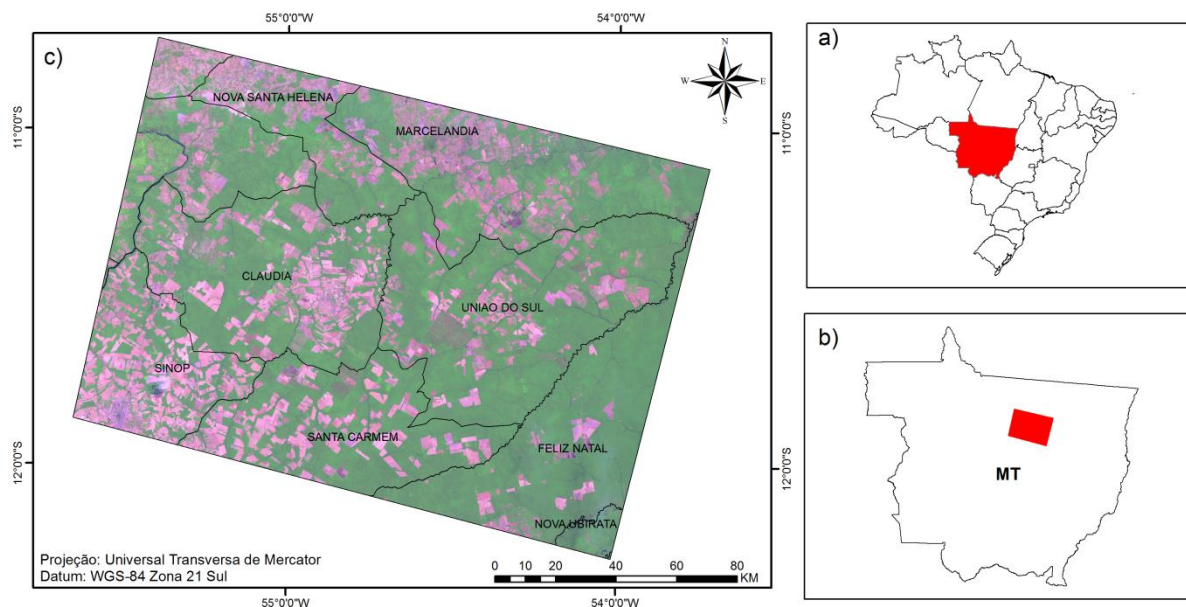


Figura 1. Localização da área de estudo. (a) localização do estado Mato Grosso, (b) localização do recorte da área de estudo e (c) área de estudo, composição colorida (6)R(5)G(4)B. Imagem do sensor OLI/Landsat-8, órbita/ponto 226/68 de 18 de Agosto de 2013.

De acordo com o IBGE (2012) esta área compreende em uma zona de tensão ecológica entre dois ou mais tipos de vegetação, composta, principalmente, por Florestas Ombrófilas e Florestas Estacionais Sempre Verdes, com algumas manchas de contato entre Savanas e Florestas Estacionais.

Essa região se caracteriza pela alta taxa de conversão da vegetação em detrimento da expansão da produção de soja e pecuária desde o final da década de 70, quando houve a ocupação da região por companhias privadas de colonização, como a SINOP S/A e implantação de uma rede de rodovias, como a BR-163.

De modo geral, todas as regiões do estado do Mato Grosso possuem alto risco para a ocorrência de queimadas, em virtude dos tipos de vegetação presentes no estado (Anderson, 2004). Porém, com a abertura de rodovias, essas queimadas são intensificadas pela ação antrópica degradando a cobertura vegetal.

2.2. Metodologia de Trabalho

Para a execução do trabalho foram utilizadas duas imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat-8, com 30 metros de resolução espacial. As imagens referem-se à órbita/ponto 226/68, nas datas de 14/06/2013 e 17/08/2013 (pré e pós-fogo).

A transformação radiométrica das imagens de níveis digitais para radiância e reflectância foi realizada de acordo com as informações disponibilizadas pela USGS (*U.S. Geological Survey*), disponível em <http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>.

As imagens foram co-registradas utilizando uma cena ortorretificada obtida via *Land Cover Facility* (LCF) disponível em <<http://www.glc.f.umd.edu/>>. O registro foi realizado por meio do modelo polinomial de 1º grau com reamostragem dos níveis de cinza da imagem, corrigida pelo interpolador do vizinho mais próximo, para preservar os valores radiométricos das imagens, com erro médio quadrático abaixo de 0,2.

A metodologia proposta por Bernstein et al (2012) foi adotada para a correção atmosférica da imagem de 14 de Junho de 2013, por meio do algoritmo QUAC (Quick Atmospheric Correction) disponível no aplicativo ENVI. Após a correção atmosférica, a imagem de agosto foi normalizada tendo como referência a imagem de Junho. A normalização da imagem de agosto foi realizada segundo a metodologia proposta por Canty e Nielsen (2008) por meio do método IR-MAD (Iteratively Re-weighted Multivariate Alteration Detection) e a rotina em IDL (Interactive Data Language) implementada no aplicativo IDL/ENVI.

Após o pré-processamento das imagens, prosseguiu-se com a elaboração do índice NBR para cada cena e o Δ NBR de Junho/Agosto. O mapeamento das áreas queimadas por meio do NBR foi desenvolvido a partir do conhecimento do comportamento da resposta espectral de áreas queimadas nas regiões do infravermelho-próximo (ρ_{NIR}) e infravermelho-médio (ρ_{MIR}) por Koutsias e Karteris (1998); e a análise multitemporal por meio da diferença entre o NBR pré e pós-fogo (Δ NBR; Key e Benson, 1999). Uma vez que, após um evento de queimada o comportamento espectral da vegetação nessas regiões sofre alterações. O índice NBR é dado pela equação 1:

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad (1)$$

A mensuração da severidade do fogo é dada pela diferença entre o NBR pré-fogo e NBR pós-fogo (Δ NBR), calculado pela equação 2:

$$\Delta NBR = NBR_{pré-fogo} - NBR_{pós-fogo} \quad (2)$$

A classificação da severidade do fogo foi adaptada de acordo com os valores propostos por Key e Benson (1999) presentes na tabela 1. Para tanto os valores de Δ NBR foram multiplicados por 10^3 .

Tabela 1. Níveis de Severidade e variações dos valores do Δ NBR

Nível de Severidade	Variação do Δ NBR
Alta Regeneração	-500 - -251
Baixa Regeneração	-250 - -101
Não queimado	-100 - +99
Baixa Severidade	+100 - +269
Baixa Moderada Severidade	+270 - +439
Alta Moderada Severidade	+440 - +659
Alta Severidade	+660 - +1350
Anomalia	>+1350

Para verificar se o mapeamento do Δ NBR das áreas queimadas se mostrou eficiente, escolhemos uma área teste com queimada evidente. O Δ NBR foi classificado por meio do algoritmo SVM (Support Vector Machine), uma técnica computacional de aprendizado para problemas de reconhecimento de padrão, embasada pela teoria de aprendizado estatístico desenvolvido por Vapnik (1995). Para minimizar a confusão entre áreas queimadas e áreas úmidas, utilizamos o índice NDWI (Normalized Difference Water Index) proposto por Gao (1996) como uma máscara. Além disso, foi realizada uma edição matricial para minimizar alguns erros de classificação.

Por fim, foi realizado o cálculo do índice *kappa* (Congalton, 1991) para avaliar o potencial do Δ NBR em delimitar áreas queimadas. Para tanto, utilizamos a imagem editada como verdade de campo. Na figura 2 estão resumidos os procedimentos adotados neste trabalho.

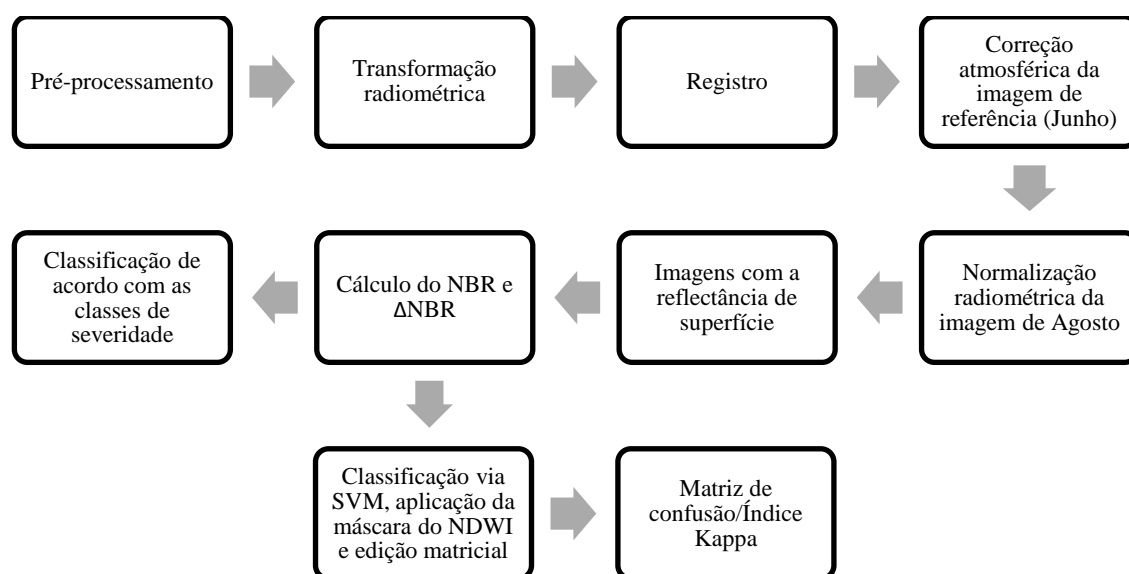


Figura 2. Procedimentos metodológicos desenvolvidos durante o trabalho.

3. Resultados

A figura 3 mostra a variação do Δ NBR de Junho e Agosto para a área de estudo em 2013. Os tons alaranjados representam áreas com ocorrência de queimadas mais severas e os tons brancos áreas que não teve ocorrência de queimadas. Os tons de verde indicam o crescimento da vegetação, principalmente em áreas de cultivos ou áreas de rebrota da

vegetação. Já os tons mais amarelados indicam áreas de severidade baixa, que podem ser explicada por áreas de solo exposto após a colheita e/ou áreas queimadas e expostas há muito tempo.

Em algumas áreas os valores de ΔNBR passaram de 1350 e foram consideradas como anomalia, que podem ser causadas tanto por efeitos da atmosfera, como nuvens, ou outros fatores não relacionados com mudanças reais na cobertura da terra.

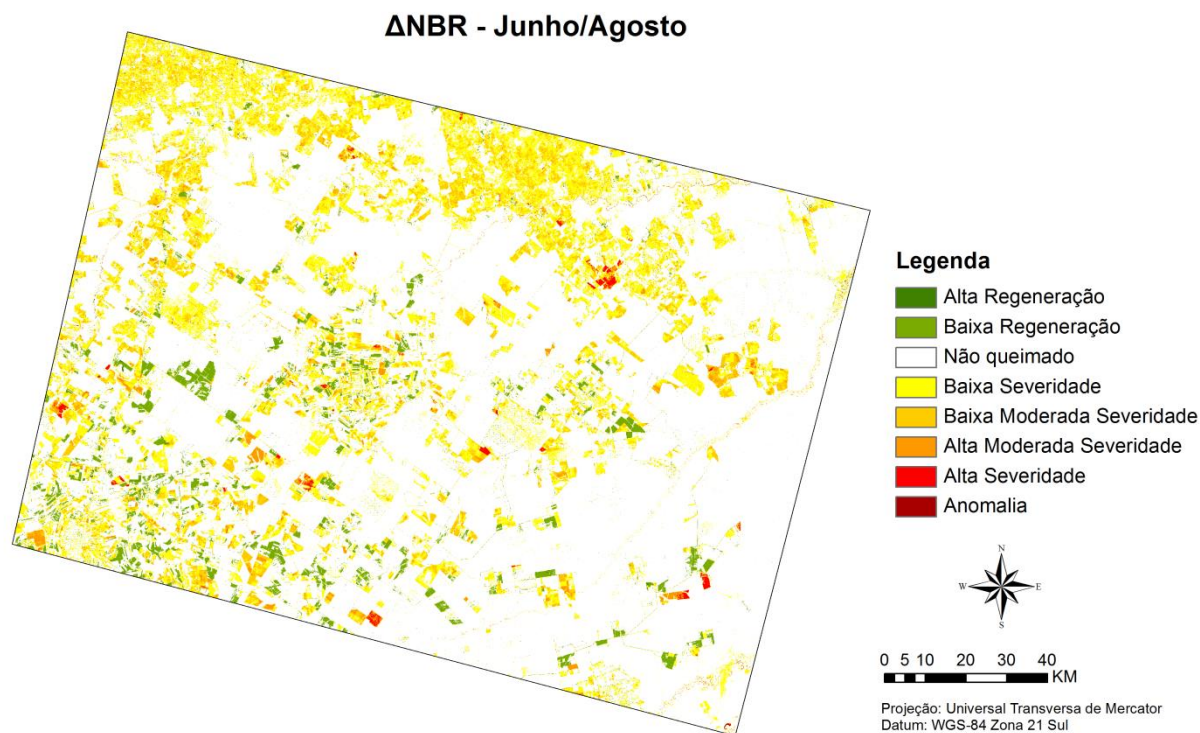


Figura 3. Índice ΔNBR de Junho e Agosto de 2013 para a área de estudo.

Na figura 4 foi destacada uma área com queimada evidente para a análise do potencial do NBR em detectar áreas queimadas. A figura 4 (a) e (b) são, respectivamente, a composição colorida (6)R(5)G(4)B da imagem do sensor OLI e o NBR de Junho de 2013. Nesta cena pode-se observar que não havia nenhuma queimada, apenas algumas áreas expostas e vegetação em diferentes níveis de vigor vegetativo, com o NBR variando entre 1 e um pouco abaixo de 0.

Já na figura 4 (c) e (d) estão representadas a composição colorida (6)R(5)G(4)B da imagem do sensor OLI e o NBR de Agosto de 2013. As áreas queimadas se destacam nessas figuras, com coloração de roxo escuro na composição colorida e valores próximo ou igual a -1 no NBR, representado pela cor preta.

A figura 4 (e) mostra a variação do ΔNBR entre Junho e Agosto. Nesta figura destacam-se as áreas que foram detectadas pelo NBR de Agosto com valores próximo e/ou igual a -1, sendo considerada como alta severidade e alta moderada severidade pelo ΔNBR , correspondendo às áreas afetadas por queimadas. As áreas de solo exposto tanto em Junho como em Agosto foram classificadas como baixa severidade pelo ΔNBR .

Em relação à capacidade do índice ΔNBR em delimitar as áreas queimadas o resultado foi excelente. Na figura 5 está representada a área classificada como queimada sem edição (a) e após a edição e utilização do NDWI como uma máscara (b). A imagem editada foi utilizada

como verdade de campo para avaliar a capacidade do Δ NBR em delimitar áreas queimadas. O resultado do índice *kappa* foi de 0.99, ou seja, apresentou uma ótima concordância. Os erros de classificação foram detectados principalmente em áreas com alto teor de umidade, pois apresentam confusão espectral com áreas queimadas. Entretanto, esses erros foram minimizados com a aplicação do NDWI como uma máscara e com a edição matricial.

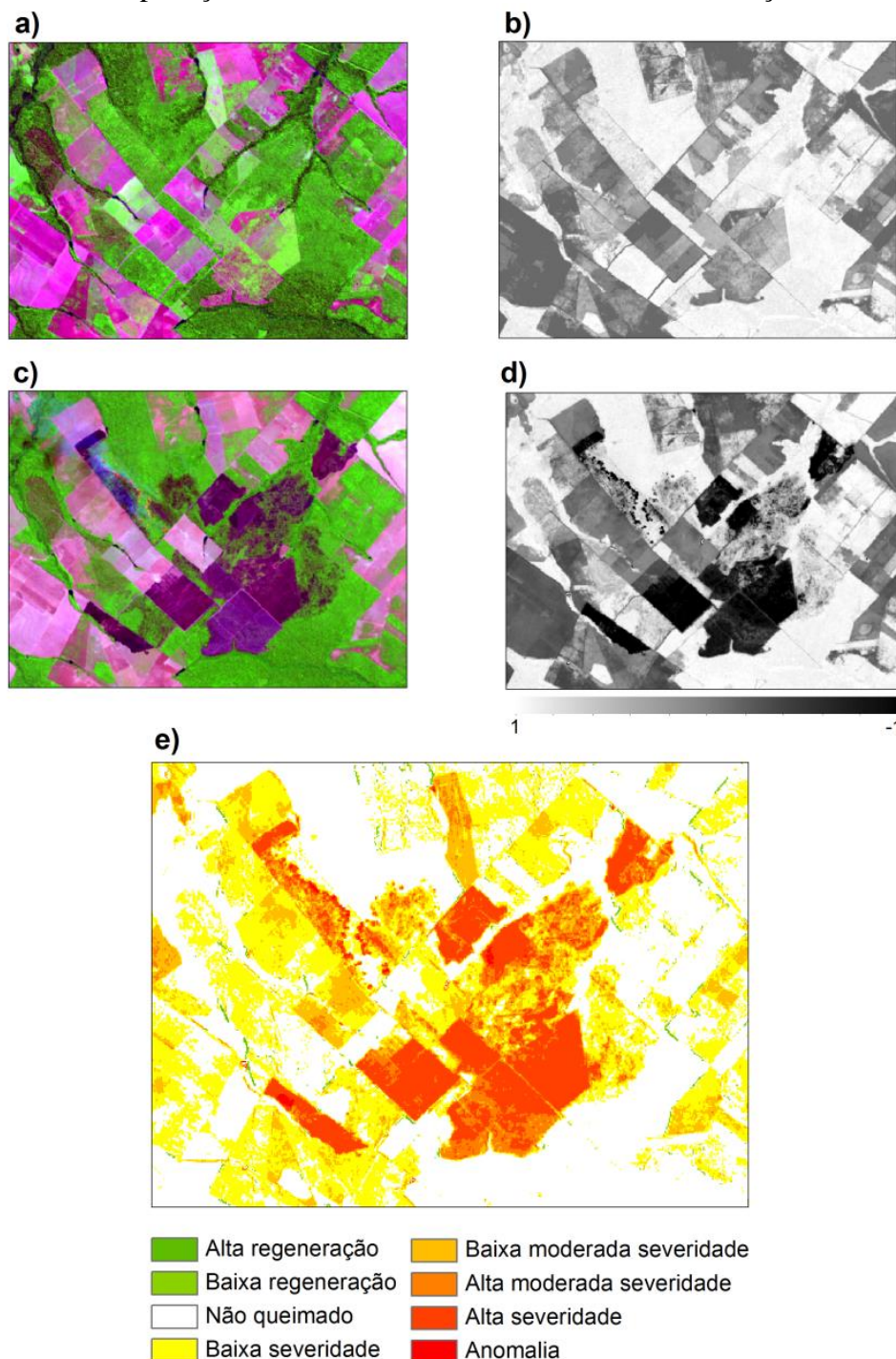


Figura 4. Imagens OLI/Landsat de um recorte da área de estudo, composição colorida 6(R)5(G)4(B) para os meses de Junho (a) e Agosto (c); índice NBR de Junho (b) e Agosto (d) e Δ NBR de Junho/Agosto (e).

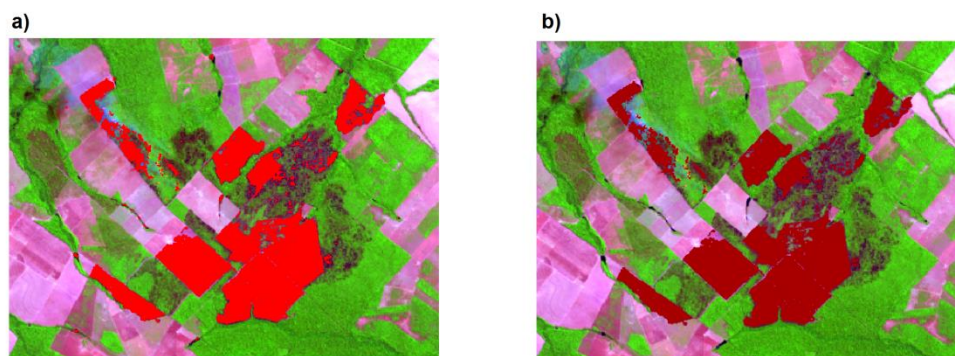


Figura 5. Composição colorida 6(R)5(G)4(B) delimitação da área queimada sem edição (a) e após edição (b).

4. Considerações Finais

A detecção de cicatrizes de queimadas e severidade do fogo são informações importantes que auxiliam na compreensão de como os eventos de queimadas afetam o ecossistema. Desse modo, a proposta deste trabalho foi avaliar o potencial do índice espectral Δ NBR em detectar áreas queimadas e a severidade do fogo.

Diante dos resultados apresentados conclui-se que o Δ NBR apresentou um ótimo resultado na detecção de áreas queimadas e severidade do fogo. O resultado do índice *kappa* foi excelente. Apesar de algumas confusões com áreas úmidas, estas foram minimizadas após a aplicação do NDWI e edição matricial.

Portanto, o índice espectral Δ NBR pode ser considerado uma ferramenta com grande potencial para o mapeamento de queimadas e indicativo da severidade das queimadas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo financiamento do estudo (Processo Nº 2013/12159-4).

Referências

- Anderson, L. O. **Classificação e Monitoramento da Cobertura Vegetal do Mato Grosso Utilizando dados Multitemporais do sensor MODIS**. 2004. 247p. (INPE-12290-TDI/986). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
- Anderson, L. O.; Aragão, L. E. O. C.; Lima, A.; Shimabukuro, Y. E. 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, 2005.
- Aragão, L. E. O. C.; Malhi, Y.; Roman-Cuesta, R. M.; Saatchi, S.; Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, L07701, 2007.
- Bernstein, L. S.; Jin, X.; Gregor, B.; Adler-Golden, S.M. The Quick Atmospheric Correction (QUAC) Code: Algorithm Description and Recent Upgrades. **SPIE Optical Engineering**. V. 51(11), p.111719-1 - 111719-11, 2012.
- Canty, M. J.; Nielsen, A. A. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. **Remote Sensing of Environment** v. 112, p.1025–1036, 2008.
- Cardozo, F. S.; Martins, F. S. R.; Pereira, L. O.; Sato, L. Y.; Moura, Y. M.; Pereira, G.; Shimabukuro, Y. E. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. In: Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 7950-7957. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44>>. Acesso em: 07 de Agosto de 2014.

Congalton, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**. v. 37 p.35-46, 1991.

Escuin, S.; Navarro, R.; Fernández, P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29 n.4, p.1053-1073, 2008.

Gao, B.C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, pp. 257–266, 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. 2012.

Key, C. H.; Benson, N. **Measuring and Remote Sensing of burn severity: the CBI and NBR**. 1999. Disponível em <http://nrmsc.usgs.gov/files/norock/products/SEVER36_im_copy6.pdf> Acesso em: 25 de Agosto de 2014.

Koutsias, N.; Karteris, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

Lima, A. **Influência da cobertura da terra na extensão e configuração espacial de áreas queimadas em anos de seca extrema na Amazônia Oriental**. São José dos Campos. 2013. 82p. (INPE-17259-TDI/2084) Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

Loboda, T.; O'Neal, K. J.; Csiszar, I. Regionally adaptable dNBR based algorithm for burned area mapping from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. V. 109, p.429-442, 2007.

Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Alves, L. M.; Soares, W. R.; Rodriguez, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, L12703, 2011.

Moraes, E. C.; Franchito, S. H.; Brahmananda Rao, V. Evaluation of surface air temperature change due to the greenhouse gases increase with a statistical-dynamical model. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. D24109, p. 1-8, 2005.

Saatchi, S.; Asefi-Najafabady, S.; Malhi, Y.; Aragão, L. E. O. C.; Anderson, L. O.; Myeni, R. B.; Nemani, R. Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v.110 n. 2 p.565-570, 2013.

Vapnik, V. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York: Springer-Verlag, 1995.