



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise do Grau de Severidade de Áreas Queimadas na Estação Ecológica de Águas Emendadas por Meio de Dados do Landsat 8¹

Sheila Lopes da Silva², Gustavo Macedo de Mello Baptista³

¹Trabalho de Conclusão de Curso do primeiro autor, no Curso de Ciências Biológicas do Centro Universitário do Distrito Federal; ²Acadêmica em Ciências Biológicas no Centro Universitário do Distrito Federal. E-mail: sheilalopes.sls@gmail.com; ³Prof. do Instituto de Geociências e Centro de Estudos Avançados Multidisciplinares, Universidade de Brasília-UnB.

Artigo recebido em 20/11/2014 e aceito em 27/07/2015

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar e quantificar a biomassa perdida e o grau de severidade da área queimada da Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESEC-AE), utilizando cenas do satélite Landsat 8. Também foi testada a potencialidade radiométrica do seu novo sensor OLI (*Operational Land Imager*), para a compreensão desse tipo de estudo. Foram calculados os índices espectrais NBR (*Normalized Burn Ratio*) para realçar as áreas queimadas e a sua severidade, dNBR (*Differenced Normalized Burn Ratio*) para avaliar a extensão e a severidade da área queimada por meio da relação entre NBR antes da queimada e depois do evento e RdNBR (*Relative Differenced Normalized Burn Ratio*) que, por ser relativo, avaliou de forma mais precisa a severidade da área queimada. O índice relativo RdNBR mostrou ser mais preciso para análise de severidade de queimadas do que o dNBR, pois não subestimou as áreas queimadas, bem como não apresentou nenhuma restrição quanto à sua aplicação para áreas com cobertura vegetal de menor densidade. Constatou-se que os meses que apresentam maiores índices pluviométricos não se mostram como período adequado para a análise da rebrota, superestimando o resultado. Os resultados do RdNBR das cenas de pré-fogo e das de pós-fogo mostrou que a área queimada da ESEC-AE apresenta um bom nível de rebrota para a recuperação da área afetada.

Palavras-chave: índices espectrais, rebrota, sensoriamento remoto.

Analysis of the Severity Level of Burned Areas in the Estação Ecológica de Águas Emendadas Through Landsat 8 Data

ABSTRACT

The aim of this study is to estimate and quantify the lost biomass and the severity of the burn area in a Estação Ecológica das Águas Emendadas (ESEC-AE), by means Landsat 8 scenes. We also tested radiometric capability of your new OLI sensor (*Operational Land Imager*), to understand this type of study. Spectral indices NBR (*Normalized Burn Ratio*) were calculated to highlight the burned areas and their severity, dNBR (*Differenced Normalized Burn Ratio*) to assess the extent and severity of the burn area by means of the relationship between pre-fire NBR and after event and RdNBR (*Relative Differenced Normalized Burn Ratio*) which, being relative, evaluated more accurately the severity of the burn area. The index for RdNBR proved to be more accurate analysis of severity of fires than the dNBR, do underestimated the burned areas and showed no restraint in its application to areas with less dense vegetation cover. It was found that the months that have higher rainfall does not show as suitable for the analysis of the regrowth period, overestimating the result. The RdNBR results for the pre-fire and post-fire burn area showed that the ESEC-AE has a good level of regrowth for the recovery of the affected area.

Keywords: spectral indices, regrowth, remote sensing.

* E-mail para correspondência: gmbaptista@unb.br. (Baptista, G.M. de M.).

Introdução

Os incêndios florestais podem ocorrer, acidentalmente, devido a eventos naturais, como

os que são provocados pela queda de raios e, intencionalmente, provocados pelas ações antrópicas (Medeiros e Fiedler, 2004). A Estação Ecológica de Águas Emendadas - ESEC-AE é uma Unidade de Conservação com 10.547 ha, cuja vegetação característica é o Cerrado (SEMARH, 2004).

No Cerrado, predominantemente, a temperatura média anual fica em torno de 22°C - 23°C, com inverno seco. A precipitação média anual fica entre 1.200 e 1.800 mm, sendo a estação chuvosa concentrada nos meses de outubro a março. É característico também desse bioma o acúmulo anual de biomassa seca acima do solo. Esses fatores somados criam condições favoráveis para a ocorrência de queimadas, tornando elas frequentes (Coutinho, 2002). Embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, quando não manejado adequadamente, pode ocasionar perda de uma grande biodiversidade. Pois o Cerrado possui a mais rica flora dentre as savanas do mundo (<7.000 espécies), com alto nível de endemismo. Apresentando também uma alta riqueza em espécies de anfíbios, peixes, aves, répteis e insetos (Klink e Machado, 2005).

A ESEC-AE possui grande importância no panorama ecológico e hidrográfico brasileiro, pois nela nascem duas das principais bacias hidrográficas do país, ao norte a bacia do Tocantins e ao sul, a bacia do Paraná-Prata (Carvalho, 2008). Mudanças na cobertura vegetal alteram a hidrologia e afetam a dinâmica e os estoques de carbono no ecossistema (Klink e Machado, 2005).

O sensoriamento remoto é definido como uma ferramenta que permite o recebimento de informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno, sem que haja contato direto com esses elementos (Lillesand e Kiefer, 1987). Utilizando dados de sensoriamento remoto é possível compreender o comportamento de diversos componentes do ciclo do carbono em diferentes paisagens naturais e antrópicas do Cerrado, analisando como os eventos de queimadas afetam os componentes dos sistemas naturais e, avaliar como esses se reestabelecem. Supõe-se, portanto, que fazendo uso dessas informações e por meio de índices espectrais é possível avaliar o grau de severidade das áreas atingidas pela queimada.

Quanto maior a atividade fotossintética maiores serão as feições de absorção nas faixas do espectro relativos às regiões do azul e do vermelho e mais expressivos serão os valores. A medida que ocorre a diminuição da vegetação, as feições de absorção do azul e do vermelho vão desaparecendo, isso pode ser verificado a partir da

aplicação de índices espectrais (Baptista, 2004; Pedroza da Silva e Baptista, 2015).

O satélite Landsat 8 (lançado para a Missão de Continuidade de Dados Landsat-LDMC, em 11 de fevereiro de 2013), possui dois instrumentos imageadores: OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal InfraRed sensor*). Eles fornecem uma cobertura sazonal da massa terrestre global, apresentando resolução espacial de 30 metros para o visível, NIR e SWIR; 100 metros para a térmica; e 15 metros para a pancromática. O instrumento OLI se destaca por meio de duas novas bandas espectrais, uma adaptada para detecção de nuvens de alta altitude (*cirrus clouds*) e outra para observações da atmosfera e da zona costeira (*coastal/aerosol*).

O sensor TIRS faz a medição da temperatura da superfície da Terra em duas bandas térmicas, por meio de uma nova tecnologia aplicada à física quântica para detectar calor. Essa característica o torna uma ótima ferramenta para gestão do consumo de água. Com a utilização por esse sensor de *Quantum Well Infrared Photodetectors* (QWIPs), é possível detectar longos comprimentos de onda de luz emitida pela Terra cuja intensidade depende da temperatura da superfície, os quais denominam-se *Thermal Infrared*, e não podem ser percebidos pela visão humana. O QWIPs TIRS é sensível a duas bandas de comprimento de onda infravermelhos térmicos, tornando possível separar a temperatura da superfície da Terra da temperatura da atmosfera (NASA, 2013).

Estes sensores oferecem uma melhor relação sinal ruído (SNR), apresentando dados de 12 bits, o que corresponde a 4.096 níveis de cinza (NC), em comparação aos instrumentos anteriores da série Landsat que apresentavam 256 NC ou 8 bits. Isso pode significar uma melhor caracterização das condições e estado da cobertura do solo. As imagens do Landsat 8 são entregues como imagens de 16 bits (USGS, 2014).

A classificação da severidade das queimadas possibilita entender diretamente os efeitos da perturbação principalmente sobre a sobrevivência e a estrutura da vegetação dominante (Brown e Smith, 2000).

Para investigar essa severidade foram desenvolvidos os índices espectrais NBR (*Normalized Burn Ratio* – índices de queimada por razão normalizada) que objetiva realçar as áreas queimadas (Key e Benson, 2006), o dNBR (*Differenced Normalized Burn Ratio* – índice diferenciado de queimada por razão normalizada) para avaliar a extensão e a severidade da área queimada por meio da relação entre NBR antes da queimada e depois do evento, bem como após a

rebrotas (Roy et al., 2006) e RdNBR (*Relative Differenced Normalized Burn Ratio* – índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada) (Miller e Thode, 2007).

O objetivo desse estudo foi determinar o grau de severidade da área queimada no ano de 2013 na ESEC-AE, bem como determinar sua rebrota, por meio do uso de cenas do sensor OLI do satélite Landsat 8.

Material e Métodos

Este estudo foi realizado na Unidade de Conservação ESEC-AE, localizada na porção nordeste do Distrito Federal. O clima é o tropical de savana (Aw de Köppen) (Maia e Baptista, 2008). Foram utilizadas cenas do satélite Landsat 8 para o ano de 2013 e 2014, disponibilizadas pelo USGS no site earthexplorer.usgs.gov.

Para a análise da severidade da área queimada e rebrota, foram obtidas as cenas de: pré-fogo (antes da ocorrência da queimada, datada de 29 de julho de 2013); pós-fogo (depois da ocorrência do evento, datada de 15 de setembro de 2013); e duas de rebrota (período posterior, objetivando a análise da rebrota e a influência da sazonalidade, datadas de 5 de janeiro e 29 de maio de 2014).

O pré-processamento e processamento dos dados foram realizados no software ENVI 4.8. As imagens obtidas foram convertidas de números digitais para reflectância no topo da atmosfera planetária (*TOA planetary reflectance*) utilizando a equação 1:

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A\rho \quad (1)$$

onde: $\rho\lambda'$ = reflectância planetária TOA, sem correção do ângulo solar; $M\rho$ = fator multiplicativo para cada banda obtido nos metadados; $A\rho$ = fator aditivo para cada banda também obtidos nos metadados; e Q_{cal} = valor digital quantizado e calibrado de cada pixel (DN ou número digital).

Após a conversão radiométrica das imagens, foi realizado o registro das cenas pelo método imagem-imagem e foram determinados os seguintes índices espectrais:

O NBR, em imagens antes e depois da queimada, por meio da equação 2:

$$NBR = \frac{(R_5 - R_7)}{(R_5 + R_7)} \times 1000 \quad (2)$$

onde R_5 é equivalente à reflectância relativa à banda 5 e, R_7 é equivalente à reflectância relativa a banda 7 do Landsat 8; o dNBR, relação entre NBR antes da queimada e após o evento, por meio da equação 3:

$$dNBR = NBR_{pré-fogo} - NBR_{pós-fogo} \quad (3)$$

O RdNBR, objetivando estimar os diferentes graus de severidade de queimada, por meio da equação 4:

$$RdNBR = \left(\frac{NBR_{pré-fogo} - NBR_{pós-fogo}}{\sqrt{ABS\left(\left(\frac{NBR_{pré-fogo}}{1000}\right)\right)}} \right) \quad (4)$$

Foi realizada, também, a aplicação dos índices para imagens pós-queimada visando avaliar a rebrota das áreas afetadas (Equações 5 e 6).

$$dNBR = NBR_{pós-fogo} - NBR_{rebrotas} \quad (5)$$

$$RdNBR = \left(\frac{NBR_{pós-fogo} - NBR_{rebrotas}}{\sqrt{ABS\left(\left(\frac{NBR_{pós-fogo}}{1000}\right)\right)}} \right) \quad (6)$$

Resultados e Discussão

As Figuras 1 e 2, respectivamente, apresentam o resultado do índice dNBR das cenas de 29 de julho de 2013 e 15 de setembro do mesmo ano, comparado com o RdNBR calculado para as mesmas cenas. A Tabela 1 apresenta a escala de níveis de severidade do dNBR e RdNBR.

Tabela 1. Escala de níveis de severidade do dNBR e RdNBR. Fonte: Teobaldo e Baptista (2013).

Nível de severidade	Legenda do mapa	Extensão
Alta rebrota		-500 a -250
Baixa rebrota		-250 a -100
Não queimada		-100 a +100
Baixa severidade		+100 a +270
Severidade moderada baixa		+270 a +440

Severidade moderada alta

Alta severidade



+440 a + 660

+660 a +1300



Figura 1. Severidade da queimada da ESEC-AE com as cenas do Landsat 8 de 29 de julho de 2013 (pré-fogo) e 15 de setembro de 2013 (pós-fogo), por meio do dNBR.

A queimada da ESEC-AE na Figura 1, conforme legenda, foi identificada como de baixa severidade, utilizando o índice espectral dNBR. Contudo, o índice RdNBR apresentou severidade moderada alta para a área queimada (Figura 2). Por meio da análise desses resultados, nota-se que o índice dNBR subestimou a área afetada pela queimada. Em alguns casos ele omitiu a severidade dessas áreas.

Constatou-se também que ele apresentou restrições para determinar áreas com cobertura

vegetal menos densa e superestimou o resultado para as áreas não queimadas. O RdNBR, comparativamente, apresentou um melhor resultado e, por ser relativizado, foi mais preciso ao avaliar a severidade da área queimada. Esses resultados corroboram com o proposto por Miller e Thode (2007) que, ao relativizarem o índice dNBR, encontraram maior precisão, principalmente para queimada de alta severidade.

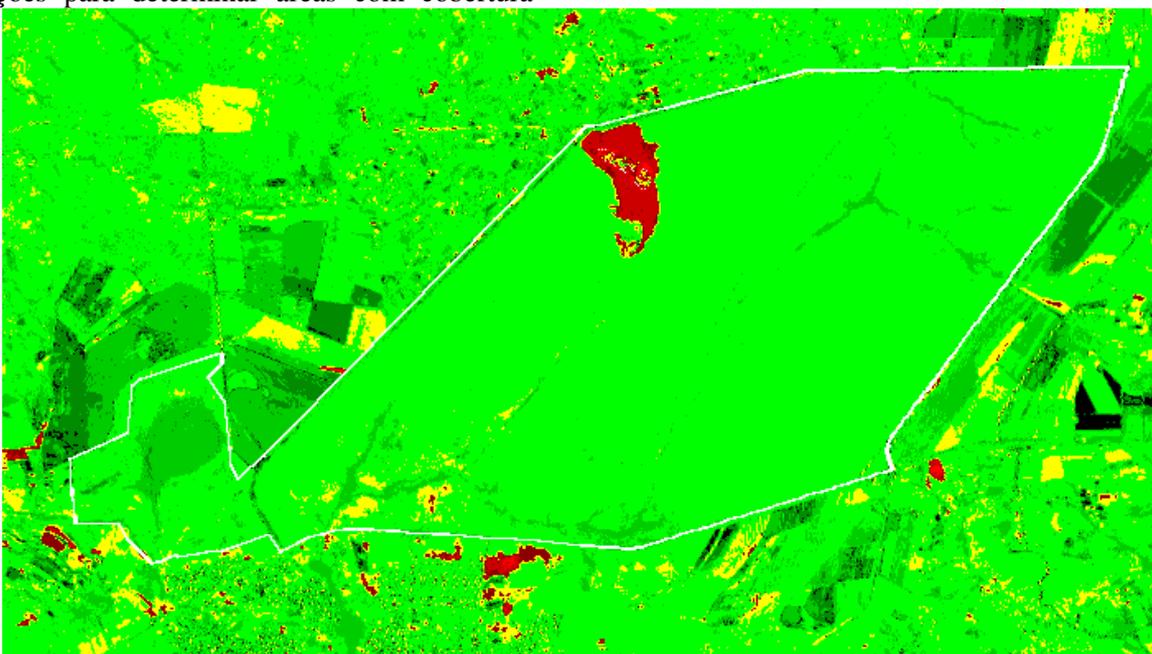


Figura 2. Severidade da queimada da ESEC-AE com as cenas do Landsat 8 de 29 de julho de 2013 (pré-fogo) e 15 de setembro de 2013 (pós-fogo), por meio do RdNBR.

Destaca-se também que o RdNBR apresenta ser mais exato para determinar as queimadas de alta severidade em paisagens heterogêneas. A utilização de um índice relativo ao invés de um absoluto também permite uma definição mais consistente da severidade, permitindo uma comparação mais direta das queimadas por todo o espaço e tempo, importante para análises em nível de paisagem (Miller e Thode, 2007).

As Figuras 3 e 4, respectivamente, apresentam o resultado comparativo dos índices dNBR e RdNBR das cenas de 15 de setembro de 2013 (pós-fogo) e 05 de janeiro de 2014 (rebrotada), ambas de período posterior a ocorrência da queimada na ESEC-AE, objetivando avaliar a recuperação da área afetada e estimar a rebrota.



Figura 3. Severidade da queimada na ESEC-AE com as cenas do Landsat 8 de 15 de setembro de 2013 (pós-fogo) e 05 de janeiro de 2014 (rebrotada), por meio do dNBR.

O índice dNBR, na Figura 3, determinou a área queimada como de alta rebrota. Nesse caso, o RdNBR apresentou o mesmo resultado (Figura 4).

No entanto, notou-se que a cena utilizada para analisar a rebrota (05/jan/14), corresponde no Distrito Federal a um período de alta pluviosidade e temperaturas elevadas, o que faz com que a vegetação esteja mais vigorosa do que no período de seca, principalmente o estrato herbáceo que tem água como fator limitante e que seca no período de estiagem.

Assim o resultado do índice dNBR destacou alta rebrota para área que havia sido queimada, enquanto que o RdNBR considerou a rebrota da queimada e a retomada do verdor da vegetação herbácea quando do período chuvoso. Para verificar essa hipótese obteve-se outra cena de um período não chuvoso, datada de 29 de maio de 2014.

Foram, portanto, determinados os índices dNBR e RdNBR entre as cenas de 15 de setembro

de 2013 (pós-fogo) e 29 de maio de 2014 (rebrotada), objetivando estimar a rebrota minimizando os efeitos da sazonalidade. Os resultados são apresentados nas figuras 5 e 6, respectivamente.

Analisando as Figuras 5 e 6, constata-se que o resultado para a área que havia sido queimada foi igualmente de alta rebrota. No entanto, ela foi menos superestimada, destacando a rebrota da área que foi queimada após a cena de 29 de julho de 2013, comparando com o resultado desse índice utilizando uma cena de período chuvoso (Figuras 3 e 4).

A partir disso, constata-se que a área afetada pela queimada na ESEC-AE tem se reestabelecido de forma eficiente para a manutenção do equilíbrio do sistema, demonstrando uma boa recuperação. Também se constata que o RdNBR, apresentou-se melhor para avaliar a rebrota.

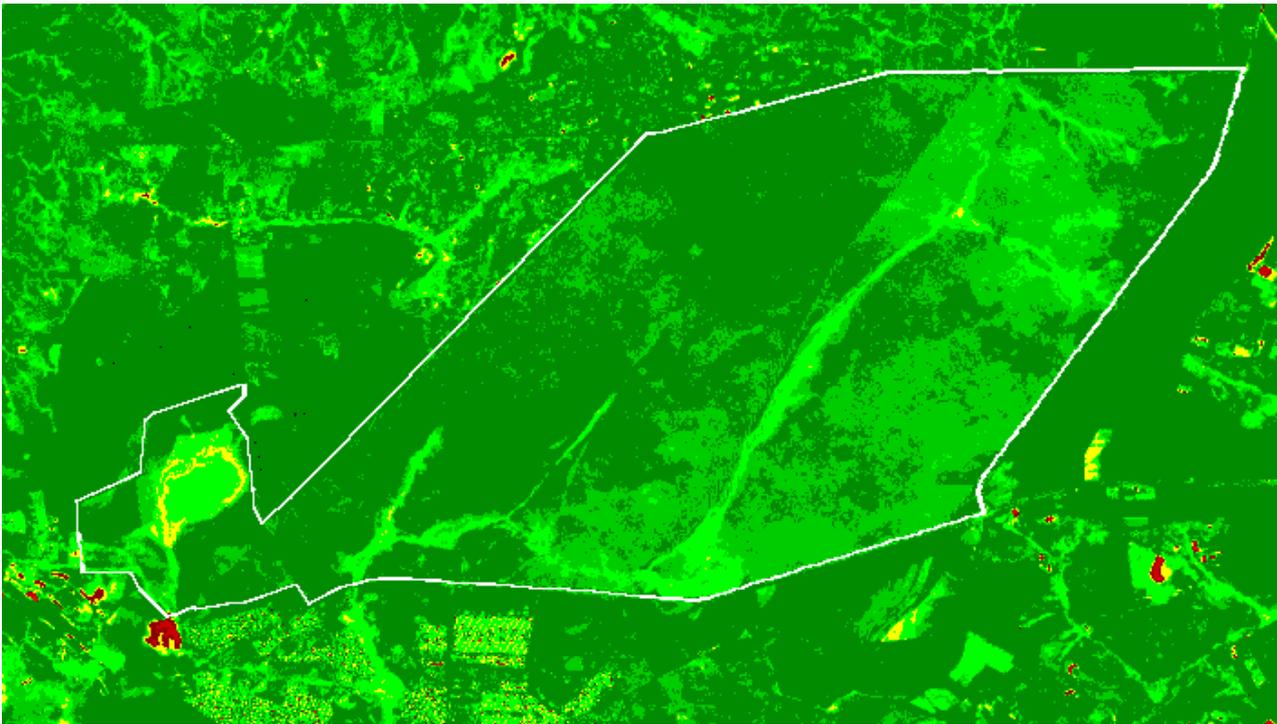


Figura 4. Severidade da queimada na ESEC-AE com as cenas do Landsat 8 de 15 de setembro de 2013 (pós-fogo) e 05 de janeiro de 2014 (rebrotas), por meio do RdNBR.

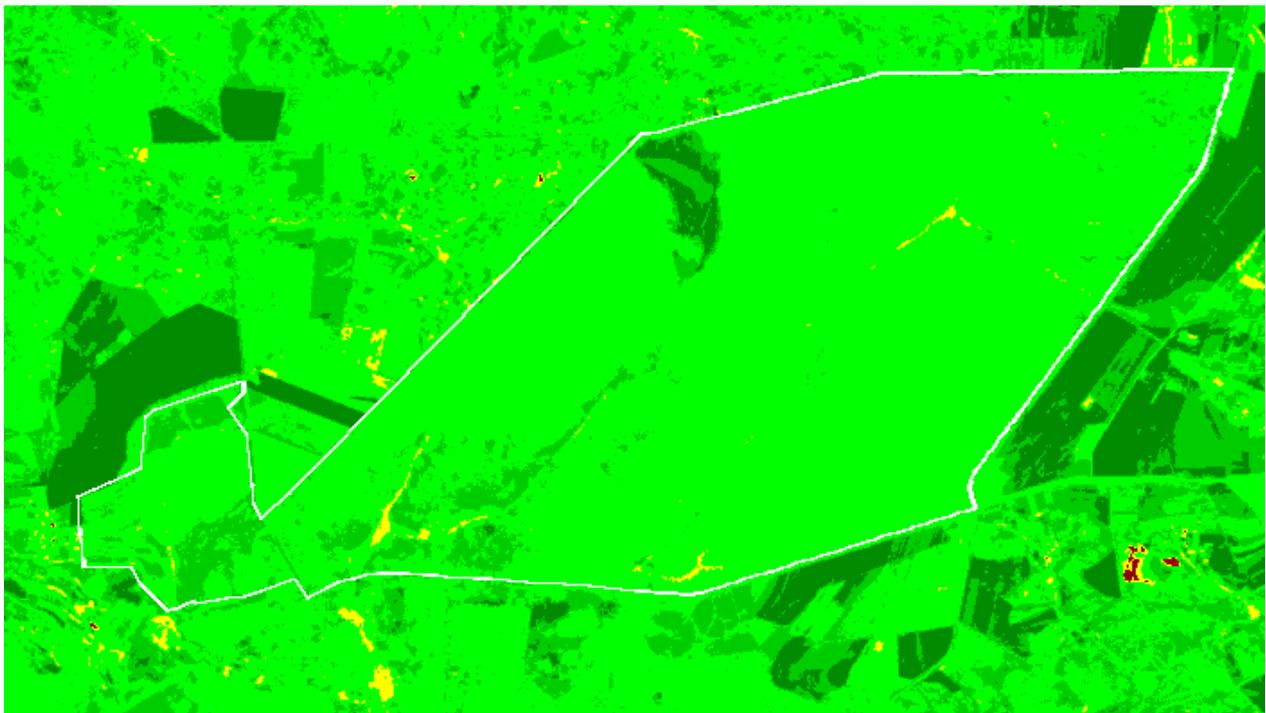


Figura 5. Severidade da queimada na ESEC-AE com as cenas do Landsat 8 de 15 de setembro de 2013 (pós-fogo) e 29 de maio de 2014 (rebrotas), por meio do dNBR.

O RdNBR mostrou ser melhor para avaliar a rebrota e determinar a severidade das queimadas. Como citado por Miller e Thode (2007), mapear com precisão a dimensão espacial e extensão da severidade de queimadas é importante para obter a recuperação da área afetada e para compreender os padrões gerais gerados pelo fogo na paisagem. Sendo que a minimização dos erros de classificação dessas áreas de alta severidade é

importante, uma vez que elas apresentam resposta ao crescimento da vegetação mais lento para algumas espécies, maior potencial de erosão, problemas de espécies invasoras, mudanças nos componentes do habitat das espécies pertencentes a este ecossistema e etc, de modo que exigem maior atenção para o reestabelecimento da área atingida pela queimada.

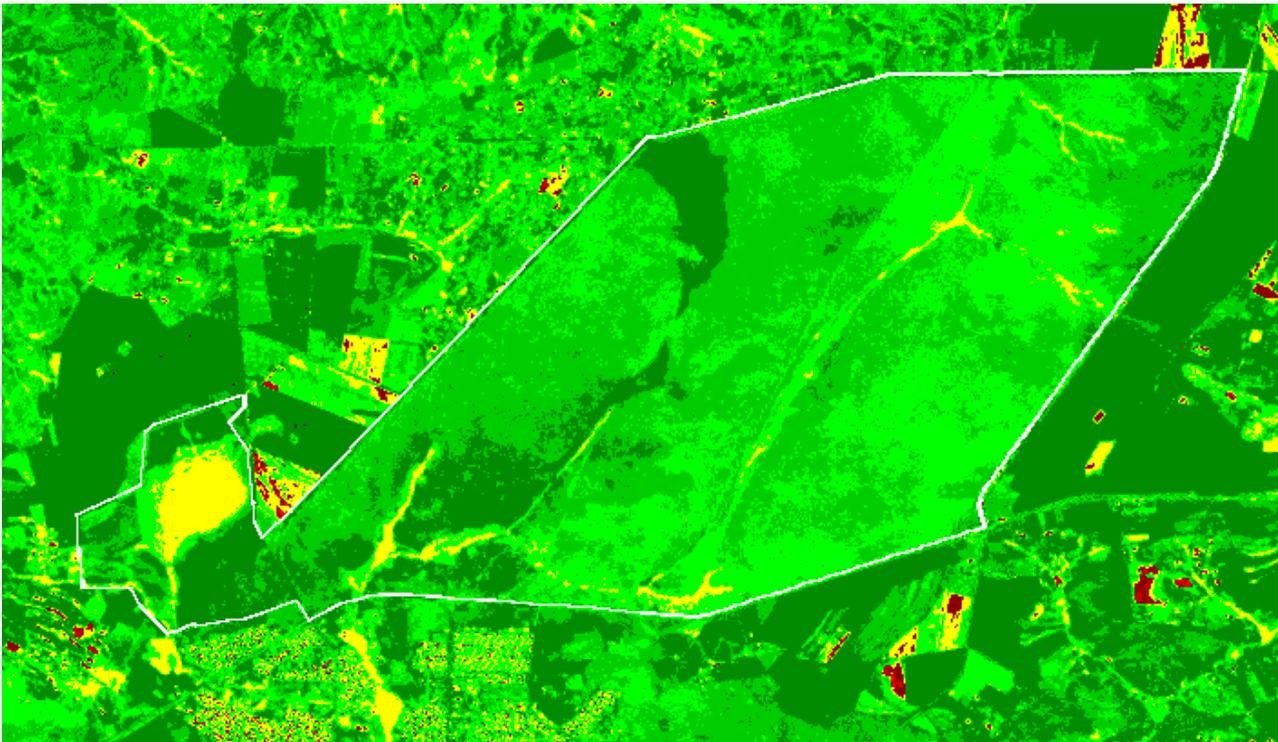


Figura 6. Severidade da queimada na ESEC-AE com as cenas do Landsat 8 de 15 de setembro de 2013 (pós-fogo) e 29 de maio de 2014 (rebrotas), por meio do RdNBR.

Conclusões

O índice relativo RdNBR mostrou ser mais preciso para análise de severidade de queimadas, considerando que não subestimou as áreas queimadas, bem como não apresentou nenhuma restrição quanto à sua aplicação para áreas com cobertura vegetal de menor densidade e/ou heterogênea.

Em contrapartida, o índice dNBR não foi considerado eficiente nos resultados determinados neste estudo. Sua aplicação caracterizou respostas subestimadas para avaliar a queimada e rebrotas, além de identificar inadequadamente regiões menos arborizadas.

Destaca-se que os meses que apresentam maiores índices pluviométricos não se mostraram como períodos adequados para a análise da rebrota, pois ela se mistura com a retomada de vigor da vegetação após a volta das chuvas. E isso mascara o que é rebrota de área queimada em relação ao verdor da vegetação herbácea.

Os resultados do RdNBR das cenas de pré-fogo e das de pós-fogo demonstram que a área queimada da ESEC-AE apresenta um bom nível de rebrota para a recuperação da área atingida pelo evento.

Novos estudos devem ser incentivados para melhorar a compreensão de áreas queimadas, bem como de sua regeneração, por meio de dados do Landsat 8.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa no âmbito do Programa de Iniciação Científica.

Referências

- Baptista, G.M.M., 2004. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. *Geografia* 29, 189-202.
- Brown, J.K., Smith, J.K., 2000. Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on flora. General Technical Report, RMRS-GTR-42.-v. 2. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Carvalho, R.D., 2008. Meio Físico-Localização da Unidade. In: Fonseca, F.O. (Ed.). *Águas Emendadas*. Brasília, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente-SEDUMA 95-100.
- Coutinho, L.M., 2002. O bioma do cerrado. In: Klein, A.L. (org.). *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. São Paulo: Editora UNESP; Imprensa oficial do Estado 77-91.
- Key, C.H., Benson, N.C., 1999. The Normalized Burn Ratio: a Landsat TM radiometric index for burn severity. Disponível: <http://nrmsc.usgs.gov/research/nbr.htm>.

- Klink, C.A., Machado, R.B., 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1, 147-155.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 2^a Ed. Toronto: John Wiley & Sons, Inc.
- Maia, J.M.F., Baptista, G.M.M., 2008. Clima. In: Fonseca, F.O. (ed.). *Águas Emendadas*. Brasília, SEDUMA - Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente 101-109.
- Medeiros, M.B., Fiedler, N.C., 2004. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal* 14, 157-168.
- Miller, J.D., Thode, A.E., 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment* 109, 66-80.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration., 2013. Landsat Data Continuity Mission: continuously observing your world. Disponível: http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html. Acesso: 02 set. de 2014.
- Pedroza da Silva, S.C., Baptista, G.M.M., 2015. Análises Espectrais da Vegetação com Dados Hyperion e sua Relação com a Concentração e o Fluxo de CO₂ em Diferentes Ambientes na Amazônia Brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas* 21, 354-370. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000200020>.
- Roy, D.P., Boschetti L., Trigg, S.N., 2006. Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the Performance of the Normalized Burn Ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3, 112-116.
- SEMARH. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos., 2004. *Águas Emendadas - o paraíso do Cerrado*. Distrito Federal, Estado de Infra-estrutura e Obras.
- Teobaldo, D., Baptista, G.M.M., 2013. Quantificação do Grau de Severidade de Queimada em Unidades de Conservação no Distrito Federal por meio dos Índices Espectrais dNBR e RdNBR. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 6534-6540.
- USGS. United States Geological Survey. Landsat Project Description. Disponível: http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php. Acesso: 02 set. de 2014.