

## Correlação entre distintos índices espectrais de vegetação e focos de calor no bioma Cerrado

Guilherme Augusto Verola Mataveli<sup>1</sup>  
Maria Elisa Siqueira Silva<sup>1</sup>  
Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Bruno Silva Oliveira<sup>2</sup>  
Gabriel Bertani<sup>2</sup>  
Paula Resende Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/Departamento de Geografia  
Caixa Postal 72042 - 05508-000 – São Paulo - SP, Brasil  
{mataveli, elisasiq, gabrielpereira}@usp.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/Divisão de Sensoriamento Remoto  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{bruno.so, gabrielb}@dsr.inpe.br; paula.santos@inpe.br

**Abstract.** Wildfires are common in most of the vegetated areas of the world, playing an important role in the ecosystems and in climate. The tropical savannas are the most frequently burned ecosystems due to the vegetation characteristics. In the Cerrado biome (Brazil), besides being a natural occurrence, fire is an important tool in the land-use and land-cover change process occurring since the 1970s. Considering the dimension of fires and the study area, remote sensing is the most effective source of data for studying fire patterns in the Cerrado, highlighting the MODIS sensors, which since 2000 provide data about the surface and atmosphere dynamics. Furthermore, one of the most important variables for the occurrence of fires is the vegetation condition, being vegetation indexes derived from MODIS, such as NDVI, VCI, EVI and NDWI, effective for providing information about this variable. However, the performance of these indexes varies according to the vegetation analyzed, once fire characteristics depends on the vegetation type. In the context, this study aims to analyze the correlation between active fires and the previous cited vegetation indexes estimated from MODIS in order to estimate which index better represent the susceptibility of vegetation to the occurrence of fires in the Cerrado. Results show that active fires are concentrated during dry season (May to September) in the north and midwest of the biome, and are correlated with the vegetation indexes, which all showed the same temporal pattern. VCI was the better correlated index with active fires in the Cerrado ( $r = -0,817$ ).

**Palavras-chave:** remote sensing, MODIS, fires, Cerrado, sensoriamento remoto, MODIS, queimadas, Cerrado.

### 1. Introdução

As queimadas são um fenômeno natural recorrente em grande parte da superfície vegetada do planeta (Hantson et al., 2013) que gera impactos sobre o homem e o meio ambiente, como a perda da biodiversidade e mudanças no uso e cobertura da terra (Ichoku et al., 2012), perdas econômicas e sociais (Veraverbeke et al., 2014), e problemas respiratórios, diminuição da qualidade do ar e alteração do clima devido à grande quantidade de gases traços e aerossóis associados à queima de biomassa (Vadrevu et al., 2014). Globalmente, cerca de dois terços das queimadas ocorrem nas savanas tropicais e mais de 3.500 teragramas de biomassa são queimadas anualmente em queimadas antrópicas, sendo as mesmas empregadas principalmente para a abertura de novas áreas agrícolas e para o manuseio de pastagens e controle de pragas (Lauk e Erb, 2009). No bioma Cerrado, savana que apresenta a maior biodiversidade no mundo e segundo maior bioma sul-americano, as características da vegetação tornam a ocorrência das queimadas naturais comum, em especial durante a estação seca, quando a vegetação predominante de gramíneas apresenta baixo teor de umidade e se torna altamente inflamável (Ramos Neto e Pivello, 2000). Além disso, o bioma vem sofrendo grandes perdas na sua vegetação natural desde a década de 1970 devido à expansão da

fronteira agrícola (Fearnside, 2001), sendo o fogo uma importante ferramenta no processo de mudança no uso e cobertura da terra.

Considerando a dimensão das queimadas e da área de estudo, o sensoriamento remoto orbital é a principal fonte de dados para analisar e compreender a dinâmica das queimadas no Cerrado, já que o uso de dados provenientes de sensores orbitais permite observar grande parte da superfície terrestre diária e repetidamente, aumentando a eficiência da detecção de focos de calor (Hantson et al., 2013; Shvetsov e Ponomarev, 2015). Dentre os sensores orbitais disponíveis para a análise das queimadas destaca-se o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), o primeiro da nova geração de sensores orbitais de resolução moderada que fornece desde o ano 2000 produtos voltados para a detecção de focos de calor, amplamente utilizados para caracterizar e compreender os impactos das queimadas e da queima de biomassa (Justice et al., 2002; Hantson et al., 2013; Giglio et al., 2016).

De acordo com Chéret e Denux (2010), uma das variáveis mais influentes para a ocorrência das queimadas é a condição da vegetação, sendo que o sensoriamento remoto é capaz de fornecer informações relevantes sobre essa variável. Thenkabail et al. (2004) analisaram as condições da vegetação no sudoeste asiático e demonstraram a eficiência do uso de índices de vegetação derivados de sensores orbitais para avaliá-las, sendo que os mesmos possuem como grandes vantagens serem facilmente estimados e não requererem dados oriundos de estações meteorológicas, podendo prover estimativas das condições da vegetação em tempo quase real. No entanto, existem vários índices de vegetação que estimam as condições da vegetação, como o *Normalized Vegetation Index* (NDVI), o *Vegetation Condition Index* (VCI), o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), e, ainda, o desempenho de tais índices para analisar a ocorrência das queimadas depende do tipo de vegetação, pois elas variam muito em termos de tamanho, intensidade, processo de ignição, taxa de propagação, duração, sazonalidade, recorrência e características de emissão de acordo com o tipo de ecossistema, a localização, o clima predominante e as características do combustível (Ichoku et al., 2012), sendo que não existe em literatura um estudo comparativo do desempenho de tais índices para o bioma Cerrado.

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a correlação entre os índices de vegetação NDVI, VCI, EVI e NDWI derivados do sensor MODIS e a ocorrência dos focos de calor detectados pelos sensores MODIS no bioma Cerrado no período de 2002 a 2015 a fim de determinar qual desses índices melhor representa a susceptibilidade da vegetação do bioma à ocorrência de queimadas na área de estudo.

## 2. Área de Estudo

O bioma Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e abrange aproximadamente 24% do território brasileiro (IBGE, 2010) em 11 diferentes Unidades da Federação. Sua vegetação é caracterizada por possuir formações vegetais que variam de campos abertos até florestas densas e pode ser estruturada em cinco tipos principais: o Cerradão (formações florestais com dossel mais ou menos fechado); Cerrado *sensu stricto* (fisionomia densa de árvores e arbustos com até 12 metros de altura, dominado por um estrato herbáceo-graminoso); Campo Cerrado (vegetação arbóreo-arbustiva com presença de árvores que podem alcançar de 2 a 3 metros); Campo Sujo (composto basicamente por vegetação herbáceo-arbustiva); e Campo Limpo (vegetação predominantemente herbácea com presença muito pequena de arbustos) (Coutinho, 1990). Atualmente, estima-se que 54% do Cerrado é constituído por áreas naturais, 30% por áreas de pastagem, 12% por culturas agrícolas e 4% por outros usos (INPE, 2015).

## 3. Metodologia do Trabalho

### 3.1 Índices de vegetação

O NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), corresponde à razão entre a diferença e a soma da reflectância nas bandas no infravermelho próximo (IVP) e no vermelho (V) (Equação 1). Este índice é sensível a mudanças na biomassa vegetal, como mudanças sazonais e interanuais na atividade da vegetação, e varia no intervalo de -1 a 1, onde os maiores valores correspondem a áreas de maior vigor vegetativo.

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1)$$

O EVI (Equação 2) corresponde a uma modificação NDVI que reduz a influência do substrato abaixo do dossel e os efeitos atmosféricos sobre o sinal detectado (Huete et al., 1997). O índice contém um fator de ajuste para a interferência do solo (L) e os coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho (C1) e do azul (C2). Enquanto que o NDVI é mais sensível a clorofila, o EVI é mais suscetível a variações na estrutura do dossel, como o tipo e a arquitetura do dossel e a fisionomia vegetal (Huete et al., 1997).

$$EVI = G * \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + C_1 * \rho_V - C_2 * A + L} \quad (2)$$

Proposto por Kogan (1995) para o monitoramento da seca e para avaliar o impacto do clima sobre a vegetação, o VCI é gerado a partir da ponderação do NDVI mensal (NDVI<sub>j</sub>) em relação a valores extremos, onde NDVI<sub>max</sub> e NDVI<sub>min</sub> correspondem aos valores mínimos e máximos de NDVI para todo o período em estudo (Equação 3).

$$VCI = \frac{(NDVI_j - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} + NDVI_{min})} \quad (3)$$

O NDWI é dado pela razão entre a diferença e a soma da reflectância nas bandas no IVP e no Infravermelho Médio (IVM) (Equação 4), e permite analisar mudanças no conteúdo de umidade interno a vegetação, tendo em vista que a resposta da vegetação aos comprimentos de onda do IVM está relacionada ao conteúdo de água presente no dossel vegetal (Gao, 1996).

$$NDWI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{IVM}}{\rho_{IVP} + \rho_{IVM}} \quad (4)$$

## 3.2 Produtos utilizados

### 3.2.1 MOD14 e MYD14

Os produtos de fogo ativo do sensor MODIS (MOD14 e MYD14 derivados, respectivamente, do sensor MODIS a bordo do Terra e do Aqua) identificam anomalias termais em *pixels* com resolução espacial nominal de 1 km com o uso de um algoritmo contextual que detecta as anomalias a partir das informações contidas nas bandas do infravermelho médio e do infravermelho termal e descarta falsas detecções a partir da temperatura de brilho em relação aos *pixels* adjacentes (Giglio et al., 2016). O horário de passagem do MODIS sobre um ponto da superfície terrestre varia de acordo com a plataforma; enquanto a plataforma Terra cruza o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min, a plataforma Aqua, em sua órbita ascendente, cruza o Equador às 13h30min e 01h30min, possibilitando, desta forma, 4 detecções diárias dos produtos de fogo ativo para um determinado ponto da superfície terrestre (Justice et al., 2002). O MOD14 e MYD14 foram utilizados para determinar o total mensal de focos de calor detectados no bioma Cerrado no período 2002-2015.

### 3.2.2 MOD13A3

O produto MOD13A3 fornece estimativas mensais globais dos índices de vegetação NDVI e EVI com resolução espacial de 1 km a partir das composições de 16 dias de um determinado mês, empregando uma média temporal ponderada se o *pixel* não possui nuvem,

ou um valor máximo no caso de nuvens (Justice et al., 2002). O MOD13A3 foi utilizado para estimar o NDVI, o EVI e o VCI médio mensal no bioma Cerrado no período 2002-2015.

### 3.2.3 MOD09A1

O produto MOD09A1 fornece estimativas da reflectância de superfície em composições de 8 dias para as bandas 1 a 7 do MODIS com resolução espacial de 500 metros, sendo que a escolha do melhor *pixel* na janela de 8 dias considera fatores como o ângulo de visada, a ausência de nuvens ou sombra e a quantidade de aerossóis (Justice et al., 2002). O produto MOD09A1 foi utilizado para estimar o NDWI médio mensal para o bioma Cerrado no período 2002-2015, uma vez que o NDWI ou a banda do IVM, necessária para estimar o NDWI, não são fornecidos pelo MOD13A3.

### 3.3 Processamento dos Dados

Considerando os objetivos estabelecidos, os produtos de fogo ativo derivados do sensor MODIS, que são globais e não divididos em *tiles*, foram inicialmente convertidos do formato original *Hierarchical Data Format* (HDF) para o formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), contendo as mesmas informações dos arquivos originais. Em seguida, os focos de calor foram agrupados por mês a fim de determinar o total mensal de focos e recortados para o bioma Cerrado com o limite do bioma estabelecido pelo IBGE (2010). Para analisar a distribuição espacial, todos os focos de calor ocorridos no Cerrado foram agrupados em uma grade regular de 4 km e foi calculada a média anual de focos de calor nesse período para cada ponto da grade regular. Em relação aos índices de vegetação, em um primeiro momento foram adquiridos os *tiles* h12v10, h12v11, h13v09, h13v10, e h13v11 dos produtos MOD13A3 e MOD09A1, que compreendem a área do bioma Cerrado. O NDVI e o EVI mensais foram extraídos do produto MOD13A3 (*layers* 1 e 2, respectivamente); já o VCI mensal foi estimado a partir do NDVI derivado do produto MOD13A3, sendo que as máscaras do NDVI mínimo e máximo necessárias para a aplicação da Equação 3 consideraram toda a série temporal do produto MOD13A3 no período 2002-2015. Como o NDWI não é fornecido diretamente, o mesmo foi estimado a partir das bandas do IVP e do IVM do produto MOD09A1 (*layers* 2 e 5, respectivamente). A partir da média das composições de 8 dias do MOD09A1 foi estimada a reflectância mensal das bandas necessárias para estimar o NDWI mensal (Equação 4). Por fim, todos os índices de vegetação foram recortados com o limite do bioma Cerrado estabelecido pelo IBGE (2010) e foram estimadas as médias mensais dos 4 índices para o período 2002-2015. A análise estatística da correlação entre os focos de calor e os índices de vegetação foi realizada através do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), sendo que a significância do  $r$  foi testada a partir do teste t-Student a 5%.

## 4. Resultados e Discussão

No período 2002-2015 foram detectados 1.902.182 focos de calor pelo MODIS no bioma Cerrado, sendo que deste total cerca de 72% ocorreram durante a estação seca (maio a setembro) e 28% durante a estação chuvosa (outubro a abril). A maior média mensal de focos de calor foi encontrada em setembro (47.670), enquanto a menor média ocorreu em fevereiro (1.022). De acordo com Coutinho (1990), no Cerrado as queimadas geralmente se iniciam no mês de maio, com a entrada do período seco, quando a vegetação está mais vulnerável ao fogo devido a fatores como baixa umidade e ausência de chuvas, atingindo seu ápice em setembro; durante o período chuvoso a ocorrência de queimadas é menor e concentrada no início da estação chuvosa (outubro), quando o estresse hídrico da vegetação devido aos seguidos meses de seca é maior e a ocorrência de raios é elevada. De Araújo et al. (2012) analisaram a ocorrência de focos de calor nos biomas brasileiros no período 2002-2010 e



encontraram a maior concentração no bioma Amazônia, seguido pelo Cerrado; no entanto, ao analisarem a área queimada, concluíram que cerca de 73% da área queimada estimada pelo produto MCD45A1, derivado do MODIS, ocorreu no bioma Cerrado, mesmo sendo a área do Cerrado correspondente à metade da área da Amazônia. Apesar de ser o bioma brasileiro mais adaptado às queimadas, onde parte das espécies endêmicas e a reciclagem do solo dependem do fogo, o intenso uso do fogo para a abertura de áreas agrícolas leva a sérios problemas ambientais como a perda de espécies da fauna e da flora, perda de nutrientes do solo, compactação do solo e erosão (Certini et al., 2005). Especialmente, os focos de calor se concentraram na região norte e centro-oeste do bioma, onde foram encontrados os valores mais altos da média anual de focos de calor, de até 272 focos (Figura 1).

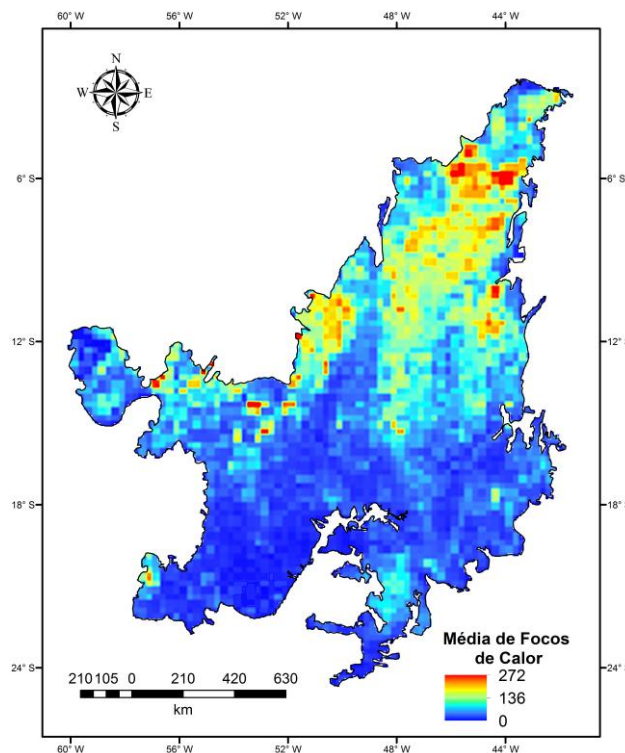


Figura 1. Média anual de focos de calor ocorridos no Cerrado no período 2002-2015.

Desde 2002, a fronteira agrícola no Cerrado se expandiu da região central do bioma em direção ao norte; como a ocupação na região sul do bioma é mais antiga, o uso da terra é mais estabelecido e são poucos os remanescentes naturais do Cerrado, o que explica a baixa concentração de focos de calor no sul, já que o principal uso do fogo no bioma é para a conversão de áreas naturais em outros usos da terra. O norte é a atual área de expansão da fronteira agrícola no Cerrado, especialmente na região leste dos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, na região oeste do estado da Bahia e na região do MATOPIBA (divisa entre os estados citados anteriormente). De acordo com o INPE (2015), os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia ainda apresentam, respectivamente, 67%, 72%, 72% e 83% da sua área de Cerrado coberta por vegetação natural.

Em relação às condições da vegetação, a estimativa do valor médio mensal dos índices de vegetação NDVI, VCI, EVI e NDWI no período 2002-2015 é apresentada na Figura 2. Nota-se que todos os índices apresentaram comportamento semelhante ao longo dos anos, apresentando maiores valores médios mensais durante a estação chuvosa e menores valores médios mensais durante a seca, o que evidencia a correlação negativa entre as condições da vegetação e a ocorrência das queimadas.

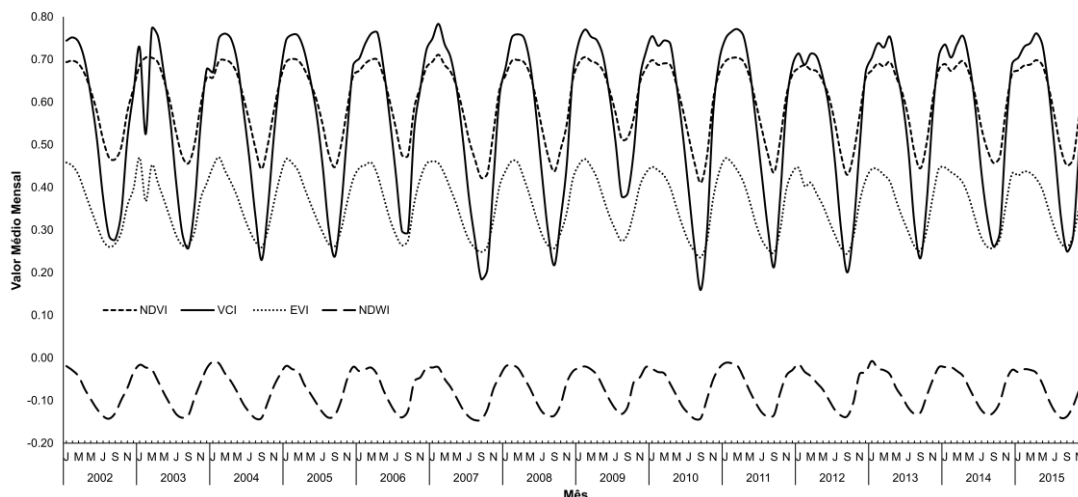


Figura 2. Valor médio mensal do NDVI, VCI, EVI e NDWI no Cerrado entre 2002 e 2015.

O NDVI, VCI, EVI e NDWI médios mensais na estação seca foram, respectivamente, 0,55, 0,44, 0,30 e -0,12, enquanto que na estação chuvosa os valores médios respectivos foram mais altos, 0,64, 0,64, 0,40 e -0,04. Ichoku et al. (2016) analisaram a correlação entre a queima de biomassa, o uso da terra e o ciclo hidrológico no norte da África subsaariana, onde também predominam as savanas, e também encontraram correlação negativa entre os indicadores do ciclo hidrológico, como a precipitação e os índices de vegetação, e as queimadas. Ainda, deve-se destacar o papel de distintas variáveis climáticas na ocorrência das queimadas, como a precipitação (Ichoku et al., 2016), a umidade do solo (Bartsch et al. 2009) e a temperatura da superfície (Akther e Hassan, 2011). Van der Werf et al. (2008) também apontam, no caso das savanas, o manejo da terra como um fator determinante na ocorrência de queimadas. De acordo com os autores, as queimadas de origem antrópica nas savanas podem se concentrar mais ao fim da estação seca, o que é feito com a finalidade de se aumentar a eficácia da remoção da vegetação rasteira ou de resíduos agrícolas, ou no início da estação chuvosa para limitar a erosão do e a perda de nutrientes. A dispersão e os valores de correlação linear entre os distintos índices de vegetação utilizados e o total mensal de focos de calor no Cerrado são apresentados na Figura 3.

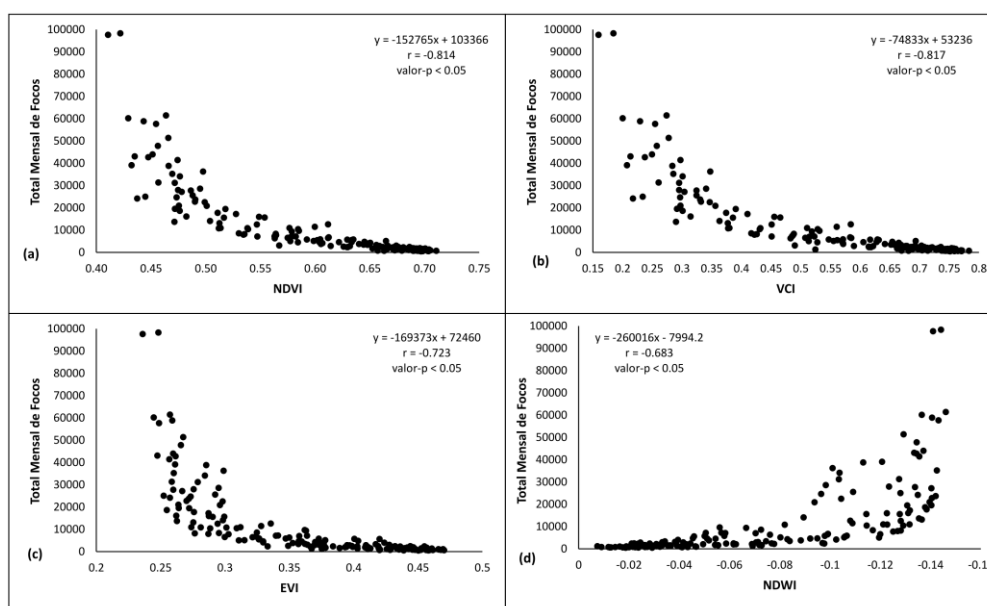


Figura 3. Dispersão entre os índices de vegetação (a) NDVI, (b) VCI, (c) EVI e (d) NDWI e o total mensal de focos de calor no bioma Cerrado entre 2002 e 2015.

Todas as correlações foram consideradas significativas de acordo com teste t-Student a 5%. Os resultados encontrados mostram que o VCI foi o índice que melhor se correlacionou com a ocorrência de focos de calor no Cerrado ( $r = -0,817$ ), seguido pelo NDVI ( $r = -0,814$ ), pelo EVI ( $r = -0,723$ ) e pelo NDWI ( $r = -0,683$ ). Chéret e Denux (2010) analisaram o risco de fogo no sul da França e também encontraram melhores resultados com o índice VCI em relação ao NDVI, o que indica que a normalização do NDVI pelos valores mínimo e máximo para o cálculo do VCI é uma forma eficiente de eliminar valores extremos e obter melhor correlação com a ocorrência de queimadas. A correlação entre o EVI e o NDWI e os focos de calor também apresentaram valores altos, o que indica que eles podem apresentar altas correlações com os focos de calor em outros tipos de vegetação. Esses resultados mostram a necessidade de se avaliar o desempenho desses índices espectrais e de outros presentes na literatura em outros biomas também impactados pelas queimadas. Ainda, como a estimativa do NDWI foi realizada a partir da média das composições de 8 dias do MOD09A1, sua correlação com os focos de calor pode ser aumentada caso seja feita a escolha do melhor *pixel* no intervalo correspondente a um mês, como é feito no MOD13A3.

## 5. Conclusões

O uso de dados provenientes do sensor MODIS foi eficaz para analisar a associação entre os focos de calor e os índices de vegetação NDVI, VCI, EVI e NDWI no Cerrado. Os focos de calor se concentraram nas regiões centro-oeste e norte do bioma Cerrado, durante os meses de maio a setembro, período correspondente à estação seca do ano. Os menores valores médios mensais dos índices de vegetação ocorreram durante a estação seca, o que evidencia a correlação linear negativa entre a ocorrência das queimadas e as condições da vegetação. O VCI foi o índice de vegetação mais bem correlacionado com a ocorrência de focos de calor no Cerrado ( $r = -0,817$ ) e, dentre os índices analisados, é o mais indicado para a análise da susceptibilidade da vegetação à ocorrência de queimadas no bioma Cerrado. Apesar disso, os demais índices analisados apresentaram altos valores de correlação, o que indica que eles podem apresentar alta correlação com a ocorrência de focos de calor em outros biomas. Por fim, sugere-se a análise integrada das condições de vegetação com outras variáveis ambientais para melhor compreender o risco de fogo no Cerrado, como a precipitação e a umidade do solo e, especialmente, o manejo da terra, já que, de acordo com resultados presentes em literatura para outras áreas de savana, essa última variável é determinante para a ocorrência das queimadas na área de estudo.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos (Processo 162898/2015-0), à FAPEMIG (Processo APQ-01698-14) e à CAPES (Processo 6123/2015-05).

## Referências Bibliográficas

- Akhter, M.S.; Hassan, Q.K. Remote sensing-based assessment of fire danger conditions over boreal forest. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 4, n. 4, p. 992-999, 2011.
- Bartsch, A.; Balzter, H.; George, C. The influence of regional surface soil moisture anomalies on forest fires in Siberia observed from satellites. **Environmental Research Letters**, v. 7, p. 1-9, 2011
- Certini, G. Effects of fire on properties of forest soils: A review. **Oecologia**. V. 143, n.1, p. 1-10, 2005.
- Chéret, V.; Denux, J.P. Mapping wildfire danger at regional scale with an index model integrating coarse spatial resolution remote sensing data. **Journal of Geophysical Research Biogeosciences**, v. 112, n. G2, p. 1-11, 2007.
- Coutinho, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G. (Org.) **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990. cap. 6, p. 82-105.

De Araújo, F.M.; Ferreira, L.G.; Arantes, A.E. Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: An analysis based on satellite data for the 2002–2010 period. **Remote Sensing**, v. 4, n. 7, p. 1929-1946, 2012.

Fearnside, P.M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, p. 23-28, 2000.

Gao, B.C. NDWI: A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

Giglio, L.; Schroeder, W.; Justice, C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 178, p. 31-41, 2016.

Hantson, S.; Padilla, M.; Corti, D.; Chuvieco, E. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. **Remote Sensing of Environment**, v.131, n.1, p. 152-159, 2013.

Huete, A.R.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59, p.440-451, 1997.

Instituto brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Biomas Brasileiros. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 26 ago. 2016.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Projeto TerraClass Cerrado: Mapeamento do uso e cobertura da terra no Cerrado. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

Ichoku, C.; Kahn, R.; Chin, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, v.111, p. 1-28, 2012.

Ichoku, C.; Ellison, L.T.; Willmot, K.E.; Matsui, T.; Dezfuli, A.K.; Gatebe, C.K.; et al. Biomass burning, land-cover change, and the hydrological cycle in Northern sub-Saharan Africa. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 9, p. 1-13, 2016.

Justice, C.O.; Giglio, L.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.T.; Roy, D. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 2, p. 244–262, 2002.

Kogan, F.N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, n. 5, p. 655-668, 1995.

Lauk, C.; Erb, K.H. Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: Global patterns and processes. **Ecological Economics**, v.69, n.2, p. 301-309, 2009.

Ramos Neto, M.B.; Pivello, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: Rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, p. 675-684, 2000.

Rouse, J.W.; Haas, H.R. Schell, J.A. Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. In: **Earth Resources Technology Satellite Symposium**. Proceedings. Washington, p.309-317, 1973.

Shvetsov, E.G.; Ponomarev, E.I. Estimating the influence of external environmental factors on fire radiative power using satellite imagery. **Contemporary Problems in Ecology**, v. 8, p. 337-343, 2015.

Thenkabail, P.S.; Gamage, M.S.D.N.; Smakhtin, V.U. **The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia**. Colombo: International Water Management Institute. 34 p.

Vadrevu, K.P.; Lasko, K.; Giglio, L.; Justice, C. Analysis of southeast asian pollution episode during june 2013 using satellite remote sensing datasets. **Environmental Pollution**, v. 195, p. 245-256, 2014.

Van der Werf, G.; Randerson, J.T.; Giglio, L.; Gobron, N.; Dolman, A.J. Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, p. 1-13, 2008.

Veraverbeke, S.; Stavros, E.N.; Hook, S.J. Assessing fire severity using imaging data from the AVIRIS and comparison with multispectral capabilities. **Remote Sensing of Environment**, v. 154, p. 153-163, 2014.