

Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital

Michel Eustáquio D. Chaves ^{1*}, Frederico Cássio M. Martins ², Guilherme Augusto V. Mataveli ¹,
Katyane V. da Conceição ³, Kelly de O. Barros ⁴, João Vitor R. Guerrero ⁵

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, Brasil. (Autor correspondente: michel.chaves@inpe.br).

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFSUDESTE-MG) – Campus Barbacena, Departamento de Ensino, Brasil.

³Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE), Departamento de Geoprocessamento, Brasil.

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) - Campus Campo Novo do Parecis, Departamento 1 – Núcleo de Agricultura, Brasil

⁵Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Ciências Ambientais, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 21/02/2021 – Revisado em: 05/03/2021 – Aceito em: 14/04/2021

RESUMO

No Brasil, as queimadas estão associadas à expansão agrícola e ao manejo de pastagens para a pecuária, desencadeando impactos socioambientais, mesmo em áreas naturais protegidas por leis. Este estudo avaliou a distribuição espaço-temporal dos focos de calor detectados pelos produtos de anomalias termais/fogo MOD14 e MYD14 derivados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) nas porções de Cerrado e Caatinga em Minas Gerais, entre os anos de 2005 e 2015. Os totais mensais foram avaliados, agrupados em uma grade regular de 0,25° e interpolados pelo método Convolução cúbica, visando apresentar espacialmente as informações pontuais de forma contínua. Os resultados indicaram que a área de maior concentração de focos está localizada na transição dos biomas, região repleta de Unidades de Conservação. Houve maior incidência em períodos secos (de maio até outubro), com variação interanual gradativa dentro e fora das Unidades de Conservação. Os resultados constituem uma prova de conceito de como é possível utilizar dados gratuitos de sensoriamento remoto para fomentar o planejamento e a tomada de decisão para antecipar ações de combate do fogo, bem como provocar políticas públicas para evitar desastres ambientais.

Palavras-chave: Anomalias termais, MODIS, Queimadas, Unidades de Conservação.

Fire foci in the Cerrado and Caatinga of Minas Gerais identified by orbital sensor

ABSTRACT

In Brazil, fires are associated with agricultural expansion and the management of pastures for livestock, causing socio-environmental impacts, even in natural protected areas. This study evaluated the spatio-temporal distribution of the fire foci detected by the MOD14 and MYD14 thermal/fire anomalies products derived from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor in the Cerrado and Caatinga of Minas Gerais, between the years 2005 and 2015. The monthly totals were evaluated, grouped in a regular 0.25° grid, and interpolated by the Cubic Convolution method, aiming to present spatially the point information in a continuous way. The results indicated that the area with the highest concentration of fire foci is located in the transition of the biomes, a region with several Conservation Units. There was a higher incidence in dry periods (from May to October), with gradual interannual variation inside and outside the Conservation Units. These results constitute a proof of concept of how it is possible to use free remote sensing data to foster the planning and decision-making to anticipate actions to fight the fire, as well as motivate public policies to avoid environmental disasters.

Keywords: Thermal anomalies, MODIS, Fires, Conservation Units.

Chaves, M., Martins, F., Mataveli, G., Conceição, K., Barros, K., Guerrero, J. (2021). Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.2, n.1, p.42-54.



1. Introdução

Importante agente modelador de ecossistemas e fonte de mudanças no uso e cobertura da terra, o fogo é utilizado, de forma recorrente, como instrumento de manejo em grande parte da superfície vegetada do planeta (Eckman et al., 2008; Ichoku et al., 2012). No Brasil, sua aplicação é, comumente, voltada para o desbravamento e a limpeza de áreas para a expansão de fronteiras de ocupação compostas por lavouras e pastagens, a restauração da produtividade de pastagens consolidadas, o controle de pragas e a limpeza de terrenos (Piromal et al., 2008). O uso desenfreado do fogo para tais propósitos tem causado problemas ambientais em diferentes biomas brasileiros, com preocupação especial, em anos recentes, na Amazônia e no Pantanal (da Silva Júnior, 2020). Todavia, o problema é comum no Cerrado e na Caatinga, biomas nos quais a ação do fogo é potencializada pelos tipos de vegetação e as condições edafoclimáticas (Soares-Filho et al., 2014). O Cerrado, segundo maior bioma em extensão da América do Sul, é considerado área prioritária para conservação, devido à sua biodiversidade e à quantidade de espécies endêmicas (Myers et al., 2000). Por sua vez, o bioma Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, sendo considerado o bioma semiárido mundial com maior biodiversidade (MMA, 2020a). Em ambos, diversas espécies correm risco de extinção antes mesmo de serem identificadas (Strassburg, 2017).

Dada a relevância ecológica e a propensão de ambos à combustão, a constatação de que o avanço de atividades antrópicas tem sido pautado no uso do fogo demonstra a necessidade de diagnósticos espaciais de focos de calor e do monitoramento em larga-escala de seus padrões temporais, a fim de subsidiar atuações territoriais precisas e antecipadas que evitem o alastre de incêndios florestais e queimadas descontroladas, bem como transformar as perspectivas conservacionistas em ações práticas (de Oliveira et al., 2020, Guerrero et al., 2020a, 2020b). Um exemplo atual dessa demanda pode ser observado no Estado de Minas Gerais, que possui 57% de seu território localizado sob domínio do Cerrado e 3,48% sob domínio da Caatinga (MMA, 2020b). Com frequência, sistemas operacionais de detecção de focos de calor, como o da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), apontam acúmulo nestas regiões, até mesmo no interior de áreas naturais protegidas por lei, como Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral ou de Desenvolvimento Sustentável (Giglio et al., 2016, INPE, 2021a, 2021b).

Diante da extensão e do dinamismo de tal fenômeno, bem como da incipiente forma de obtenção de dados históricos *in situ* sobre focos de calor ativos, fundamenta-se o uso de geotecnologias como instrumentos de auxílio no combate aos focos de calor em biomas vulneráveis e, conseqüentemente, no planejamento territorial sustentável (Mataveli et al., 2021). Os numerosos progressos tecnológicos vivenciados nas últimas décadas elevaram a capacidade humana de adquirir informações que possam ser utilizadas para avaliar fenômenos oriundos de causas ambientais e/ou antrópicas que afetem a superfície terrestre (Chaves et al., 2020, Conceição, Mataveli e Chaves, 2020, Picoli et al., 2020). A ação do fogo é uma delas. Produtos de anomalias termais/fogo derivados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) fornecem, diariamente, a localização espacial dos focos de calor detectados, contendo a geolocalização e a correção dos efeitos atmosféricos, tais como nuvens e aerossóis, entre outros (Wolfe et al., 2002). Dados provenientes deste sensor possuem vasta aplicação no abastecimento de sistemas operacionais de detecção de focos de calor, que contam com rigoroso processo de auditoria das detecções de focos de calor com intuito de evitar falsas detecções. Dificilmente, um foco de calor detectado não está relacionado a um incêndio ou queimada, que podem gerar um ou vários focos de calor, dependendo da extensão da linha de fogo.

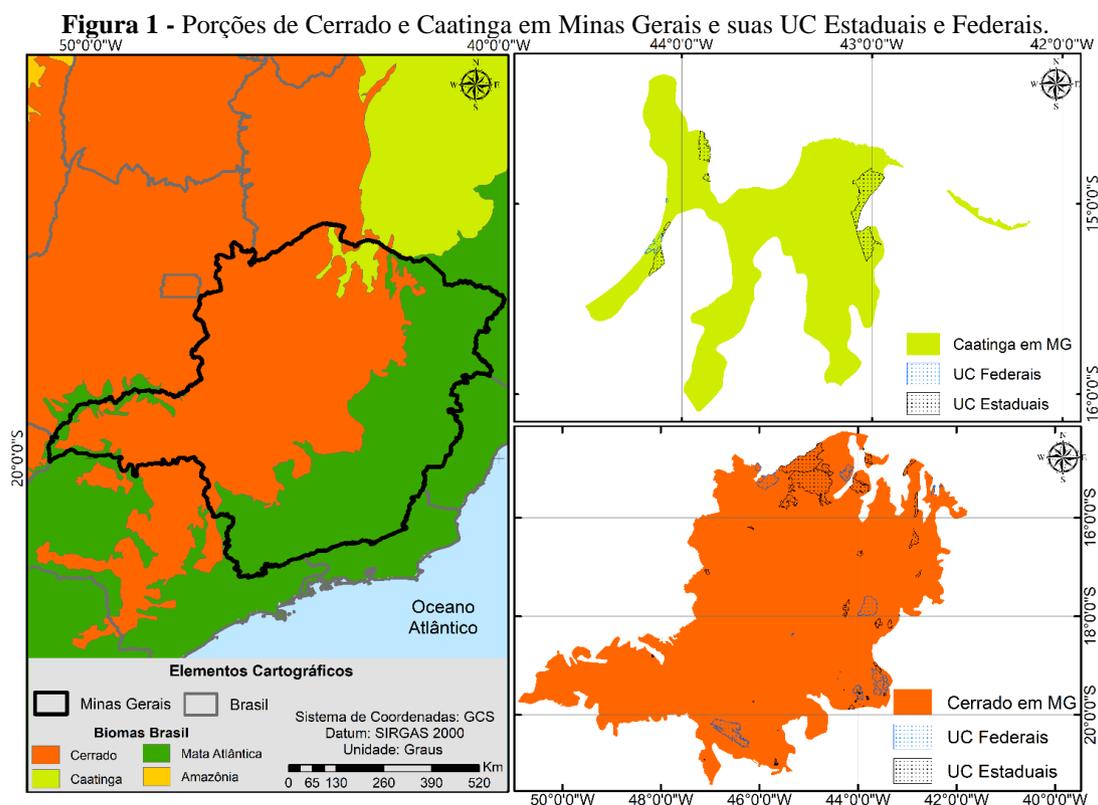
Neste contexto, este estudo avaliou a distribuição espacial e temporal dos focos de calor detectados por produtos de anomalias termais/fogo do sensor MODIS nas áreas de Cerrado e da Caatinga do Estado de Minas Gerais, entre os anos de 2005 e 2015, período em que secas e extensas queimadas provocaram alterações na paisagem estadual, inclusive, em UC. O objetivo é apresentar um diagnóstico do problema, com foco na sazonalidade temporal e nas condições climáticas, bem como oferecer uma prova de conceito de uma

metodologia rápida, eficaz e pouco onerosa para subsidiar estratégias de gestão territorial relacionadas à coibição do alastre de focos de calor e seu avanço para o interior de áreas naturais protegidas.

2. Material e Método

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende às porções dos biomas Cerrado e Caatinga no Estado de Minas Gerais, Brasil. Em Minas Gerais, o Cerrado ocupa uma área de 368.411 km², com 11 UC Federais e 45 Estaduais, que perfazem 19.511,27 km² de área. Por sua vez, a Caatinga ocupa uma área de 11.913 km², com uma UC Federal e quatro Estaduais, que abrangem 589,45 km² de área (Figura 1).



O clima tropical sazonal predominante na região apresenta duas estações bem definidas: seca, entre maio e setembro, e chuvosa, entre outubro e abril. A média anual de precipitação é de 1.500 mm no Cerrado e varia entre 600 e 800 mm na Caatinga. As médias de temperatura variam em torno de 23°C. Tais condições favorecem a manutenção e a propagação do fogo, principalmente no período seco (MMA, 2011). As queimadas antrópicas costumam ocorrer em julho ou agosto, época na qual a maioria dos agricultores queima os restos da colheita e prepara suas terras para novos plantios, ou quando os pecuaristas, deliberadamente, queimam o pasto nativo para promover a rebrota das gramíneas dessecadas para fornecer folhas frescas ao gado nessa época de escassez (Pivello, 2011). Sem controle, se tornam incêndios florestais. Em contrapartida, as queimadas naturais ocorrem, em maior escala, no início da estação chuvosa, majoritariamente, em setembro, devido à maior quantidade de raios que ativam a biomassa herbácea que se encontra no auge do seu dessecamento, com folhas

e ramos transformados em material inflamável (MMA, 2011). Os incêndios florestais se enquadram no mesmo padrão temporal, sendo categorizados como fogo que avança fora de controle, em área rural.

2.2 Dados orbitais MOD14 e MYD14

Dados provenientes do sensor MODIS possuem vasta aplicação em análises sobre o território brasileiro, especialmente relacionadas ao uso e cobertura da terra e à processos inerentes, como a expansão da agricultura e o avanço de frentes de desmatamento (Chaves et al., 2018, Chaves; Alves, 2019). Dados orbitais referentes aos produtos de anomalias termais/fogo do sensor MODIS, MOD14 e MYD14, também são aplicados com frequência, por possuírem características interessantes para analisar a dinâmica de focos de calor em todo o território nacional. Os dados MOD14 e MYD14 utilizados neste trabalho foram extraídos gratuitamente da plataforma de acesso ao banco de dados *Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System - LAADS Web* (NASA, 2016), que pode ser acessada pelo endereço eletrônico <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>. Os produtos MOD14 e MYD14 permitem identificar anomalias termais em pixels com resolução espacial de 1 km por meio de um algoritmo contextual que detecta irregularidades a partir das informações contidas nas bandas dos canais infravermelho médio e termal e descarta falsas detecções a partir da temperatura de brilho em relação aos pixels adjacentes (Giglio et al., 2016). Com alto grau de confiabilidade, este algoritmo considera que as áreas acometidas por focos de calor representam a ocorrência de queimadas e/ou incêndios florestais. Para a análise, foram extraídos dados para o período entre 2005 e 2015, escolhido por representar uma década na qual Minas Gerais apresentou queimadas acima de 20 km² em, pelo menos, quatro anos (Cardozo et al., 2018), fator que acarretou mudanças na paisagem (Mataveli et al., 2018).

2.3 Processamento dos dados dos produtos MOD14 e MYD14

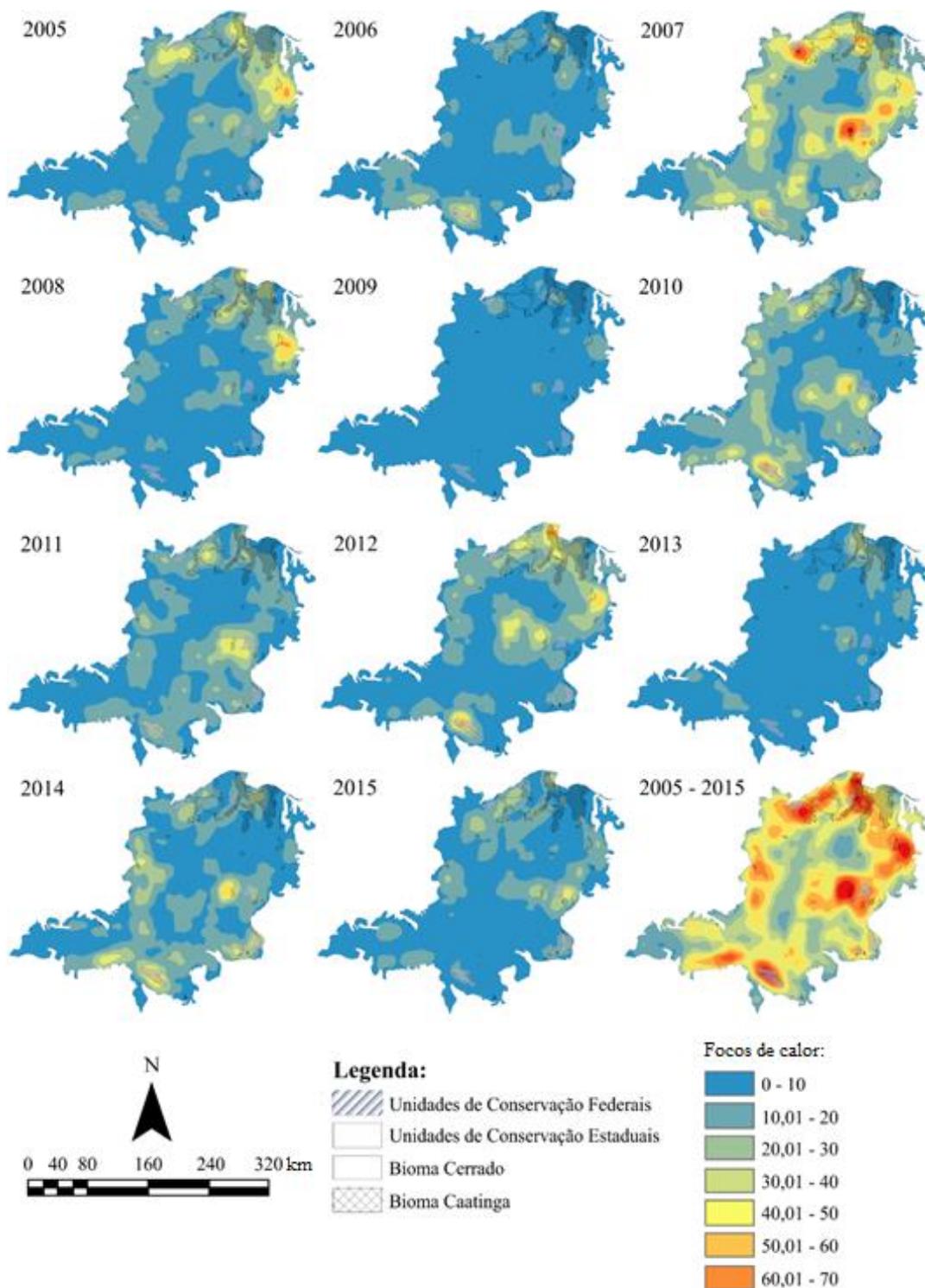
As etapas de processamento dos dados tiveram como referência a metodologia descrita por Mataveli e Chaves (2014), utilizada para avaliar a distribuição de focos de calor detectados pelo MODIS em outras regiões do Estado de Minas Gerais. A primeira etapa consistiu em organizar os dados extraídos da plataforma LAADS Web em ordem cronológica, visando avaliar variabilidade de ocorrência. Posteriormente, os dados foram convertidos do formato *Hierarchical Data Format* versão 4 (HDF-4), para o *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII). A análise dos focos de calor detectados na área de estudo considerou a distribuição espaço-temporal calculada a partir dos totais mensais obtidos. Eles foram agrupados em uma grade regular de 0,25° e divididos em nove classes, de acordo com a análise dos histogramas, com a última classe variando de 80 focos até o número máximo de focos encontrado em determinado ponto da grade regular, para cada ano. Em cada ponto da grade foi totalizado o número de focos registrados, anualmente, entre 2005 e 2015, o que permitiu analisar a variabilidade espaço-temporal dos focos de calor detectados pelos produtos MODIS e identificar as áreas mais propensas às queimadas. Em seguida, os totais de focos de calor por pontos da grade foram interpolados por meio do interpolador Convolução Cúbica, para gerar mapas de superfície contínua.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise Espacial

O padrão de distribuição espacial de focos de calor obtido a partir da análise espacial dos totais anuais referentes aos focos de calor nos biomas Cerrado e Caatinga, entre 2005 e 2015, apresenta maior concentração de focos nas regiões Norte e Noroeste de Minas Gerais (Figura 2). A área de maior concentração de focos é, justamente, a faixa de transição entre os dois biomas. Em face à sua rica biodiversidade, esta região apresenta várias UC (Pereira et al., 2013). Da mesma forma, o restante da região Norte, a região Oeste (em direção ao Triângulo Mineiro) e a região Central, todas com predomínio de Cerrado, apresentaram acúmulo de focos.

Figura 2 - Mapas anuais e acumulado da distribuição dos focos de calor detectados pelo sensor MODIS nos biomas Cerrado e Caatinga de Minas Gerais entre 2005 e 2015.



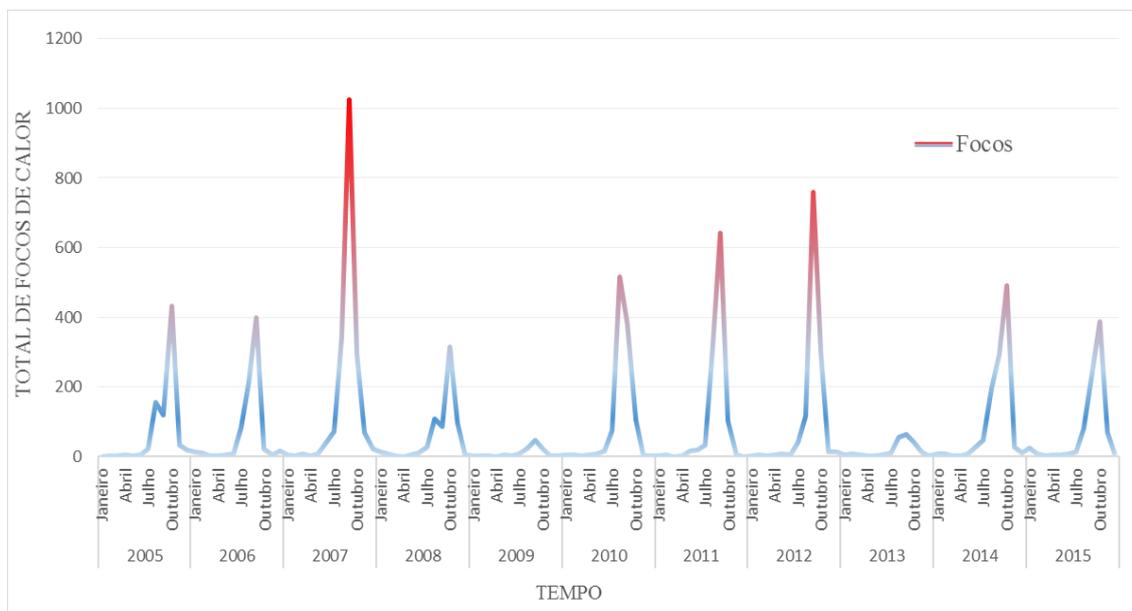
Estas regiões são importantes áreas de expansão da fronteira agropecuária e da urbanização sobre o Cerrado mineiro, atividades diretamente correlacionadas ao aumento da queima de biomassa (Piromal et al., 2008). Os registros de focos de calor mapeados apresentam relação direta com os índices pluviométricos. O menor acúmulo de focos no período avaliado ocorreu em 2009, o que pode estar relacionado à precipitação mais elevada neste ano (INPE, 2021a). O inverso também ocorre. Nos anos de 2005, 2012 e, principalmente, 2007, anos com maior acúmulo de focos de calor, a região Norte mineira enfrentou graves períodos de seca, com totais de precipitação inferiores à metade da média histórica (INPE, 2021a). A susceptibilidade de ocorrência de focos de calor também está ligada às características da vegetação. Por ser xeromorfa, com estrato herbáceo farto, ter gradiente estrutural esparsa (Ribeiro; Walter, 1998, IBGE, 2012), sofrer direta insolação na maior parte do ano e absorver o elevado grau antropização atual, a vegetação do Cerrado é propensa à ação do fogo. Na Caatinga, estepe tropical cuja cobertura vegetal caducifólia e xerófila nativa vem sendo substituída por pastagens e cultivos (Andrade-Lima, 1981, Giulietti et al., 2003), o cenário é semelhante. Além disso, ações antrópicas, tais como queimadas provocadas por produtores rurais para induzir a rebrota do capim – prática tradicional de manejo na região, não raro saem de controle e espalham-se por grandes áreas, atingindo áreas naturais protegidas, muitas vezes circundadas por produção agropecuária e silvícola (Mistry; Bizerril, 2011; IBGE 2012).

O uso indiscriminado de fogo dentro de UC pode alterar e destruir a flora e a fauna, com consequente comprometimento dos recursos naturais. Em muitos casos, a eficácia do controle é limitada pela dificuldade de acesso aos locais atingidos e pela falta de recursos e infraestrutura básica para combate ao fogo (Costa et al., 2009). Segundo dados de 2015 do Banco de Dados de Queimadas – BD Queimadas (INPE, 2021a), o total de focos de calor detectado em UC do Cerrado cresceu 57,63% no primeiro semestre de 2015, comparado ao mesmo período de 2014, o que é igual a 4.423 focos de calor em UC Federais e Estaduais no Cerrado. Em geral, o total de focos detectados nas UC dos dois biomas indica deficiências na gestão quanto ao controle do fogo, fator que pode estar ligado à falta de recursos nos órgãos de fiscalização para a implementação de programas de prevenção de incêndios florestais, a designação de brigadistas e a compra de aeronaves, entre outros fatores. Tal situação suscita o debate sobre programas de conservação ambiental de adesão voluntária ao redor de áreas naturais protegidas, que tem obtido resultados relevantes em outras regiões dotadas de relevância ecossistêmica (Mataveli et al., 2018).

3.2 Análise Temporal

A análise temporal indicou a variação interanual do registro dos focos de calor detectados nos biomas, englobando as UC. Embora os registros indiquem que os focos tenham ocorrido de diferentes formas ao longo dos anos, é possível detectar um padrão quanto à época do ano com maior incidência de queimadas. Invariavelmente, no período entre os meses de maio e outubro, que correspondem ao período seco e à fase de transição para o período chuvoso em grande parte da região avaliada, foram registrados maiores números de focos de calor nas UC (Figura 3).

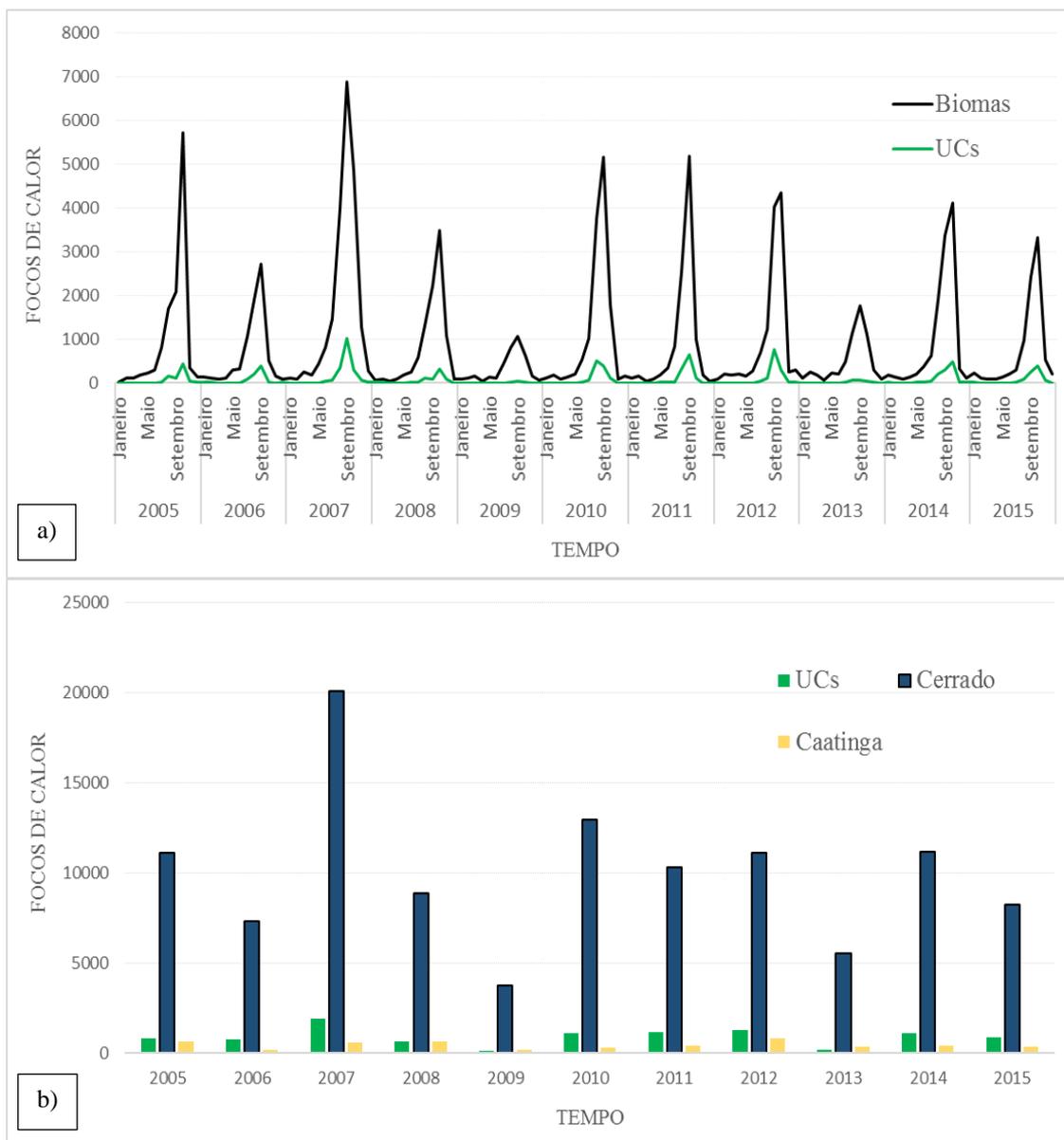
Figura 3 - Série temporal correspondente ao total de focos de calor detectados pelo sensor MODIS apenas em UC entre janeiro de 2005 e dezembro de 2015.



O maior volume ocorreu em 2007 (1892 focos), enquanto o menor volume ocorreu em 2009 (121). Nos anos de 2005 (795), 2006 (777) e 2008 (673) foram registrados menos de 800 focos. No restante, os registros foram acima de 800 focos, com destaque para o triênio 2010, 2011, 2012, que apresentou registros acima de 1000 focos: 1126, 1139 e 1268, respectivamente. Este padrão voltou a se repetir em 2014, com 1125. Após 2009, apenas em 2013 o volume detectado foi baixo (213). Os resultados demonstram a influência direta da sazonalidade climática no registro de focos de calor. O acúmulo de focos de calor ocorreu, mais fortemente, nos meses de agosto, setembro e outubro, fim do período seco, onde a vegetação está exaurida de líquido e mais susceptível à combustão. Por outro lado, o acúmulo de focos foi menor nos meses nos quais choveu com regularidade (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) e nos seguintes (abril e maio), devido ao estoque de água armazenado na vegetação.

Esse padrão também é apontado por Van der Werf et al. (2008) e Mistry (1998), que acrescentam o manejo da terra como determinante para a ocorrência das queimadas, especificando que as antrópicas se concentram ao fim da estação seca, visando aumentar a eficácia da remoção da vegetação, ou no início da estação chuvosa para limitar a erosão e a perda de nutrientes. Como a ocorrência de raios é baixa nesta época, pode-se inferir que a maioria das queimadas registradas são de origem antrópica. O cenário se repete, em maior escala, na avaliação dos registros detectados no total de ambos os biomas; com o total de focos detectados em UC representando 8,63% do total computado para o período 2005-2015 (Figura 4a-b).

Figura 4 - a) Série temporal do total de focos de calor detectados na parte mineira dos biomas e nas UC, e b) Total de focos de calor detectados nos biomas e nas UC.

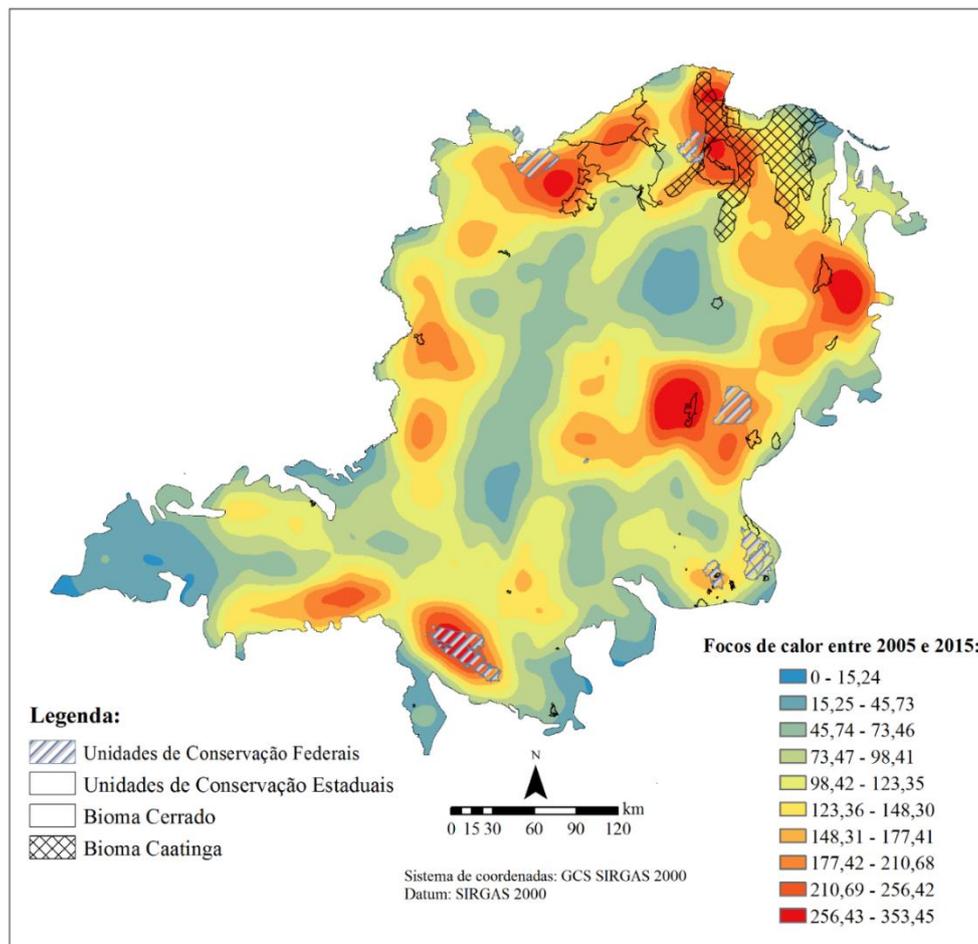


Os focos de calor detectados em UC tornam imprescindíveis a intensificação de ações de combate ao uso indiscriminado do fogo, danoso à vegetação e à biodiversidade, em geral. A maior susceptibilidade da vegetação à queima o período de transição entre o seco e o chuvoso período devido à saturação pela falta de água faz com que esta faixa temporal seja considerada de alerta para as UC, visando a intensificação do combate ao fogo. Araújo et al. (2012) analisaram a ocorrência de focos de calor e da área queimada nos biomas brasileiros com o uso de dados do MODIS no período 2002-2010 e 73% da área queimada estimada pelo produto MCD45A1 ocorreu no bioma Cerrado, mesmo sendo a área do Cerrado correspondente à metade da

área do bioma Amazônia. Apesar de ser o bioma brasileiro mais adaptado às queimadas, no qual parte das espécies endêmicas e a reciclagem do solo dependem do fogo, o intenso uso do fogo para a abertura de áreas agrícolas e em atividades agropecuárias no Cerrado 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 (Pivello et al., 2011). Avaliando a distribuição dos focos de calor em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS, Mataveli et al. (2015) obtiveram maior e menor volume para estes mesmos anos. De acordo com Coelho et al. (2015), o período 2005-2015 está inserido em um período maior de redução da precipitação nas regiões Central e Sudeste do Brasil, e tem sido considerado como um período seco em estudos de larga escala.

A combustão no Cerrado torna imprescindível a intensificação de ações de combate ao uso indiscriminado do fogo. Seu uso como instrumento de manejo no início da estação seca pode reduzir a área e a severidade do alastre, sem causar interferências consideráveis no processo de restauração da vegetação (Price et al., 2012). De acordo com a análise, as UC mais afetadas com focos de calor durante o período se concentraram na faixa de transição entre os biomas, as UC na região central e o Parque Nacional da Serra da Canastra, na porção sul do Cerrado mineiro (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição em classes da distribuição espacial da variação dos focos de calor detectados entre 2005 e 2015 na área de estudo.



4. Conclusão

Os produtos derivados do sensor MODIS foram úteis para identificar e quantificar os focos de calor, tornando possível avaliar a distribuição espaço-temporal do fenômeno entre 2005 e 2015. Os focos de calor se concentraram na estação seca (maio até setembro), e, perigosamente, na faixa de transição entre os biomas e em UC. A quantidade de focos de calor em UC (8,63%) indica que é preciso melhorar o controle de queimadas, especialmente, na zona de transição entre os biomas avaliados. Como a tomada de decisões envolvendo eventos relacionados a fenômenos climáticos passa pelo monitoramento, o ferramental utilizado mostrou-se útil e com potencial para subsidiar o planejamento de ações de prevenção de incêndios florestais nas UC e demais áreas protegidas. As análises feitas podem ser combinadas com mapas de uso do solo, hidrologia e infraestrutura, por exemplo, aumentando o leque de possibilidades para o uso do SIG na gestão e no planejamento. Esta operacionalização pode contribuir para a redução de gastos com a recuperação pós eventos degradantes.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Campus Barbacena e às agências de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, processo 88887.351470/2019-00 (MEDC), e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2019/25701-8 (GAVM).

6. Referências

Andrade-Lima, D. A. (1981). The Caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, 4(1), 149- 153.

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

BRASIL. (2012). **Lei Federal no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acessado em: Dez. 2020.

Cardozo, F. da S., Pereira, G., Mataveli, G. A. V., Ramos, R. de C., Silva, L. R. S. da, & Faria, B. C. de (2018). Análise espacial das queimadas e seus impactos em Minas Gerais para o ano de 2014. **Caminhos de Geografia**, 19(66), 35-54.

Chaves, M. E. D., Alves, M. de C., Oliveira, M. S. de, & Sáfyadi, T. (2018). A Geostatistical approach for modeling soybean crop area and yield based on census and remote sensing data. **Remote Sensing**, 10(5), 680.

Chaves, M. E. D., & Alves, M. de C. (2019). Recent applications of the MODIS sensor for soybean crop monitoring and deforestation detection in Mato Grosso, Brazil. **CAB Reviews**, 14(007), 1-9.

Chaves, M. E. D., Picoli, M. C. A., Sanches, I. D. (2020). Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review. **Remote Sensing**, 12(18), 3062.

Conceição, K. V. da, Chaves, M. E. D., & Mataveli, G. A. V. (2020). Land Use and Land Cover Mapping in a Priority Municipality for Deforestation Control Actions in the Amazon using GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, 72(4), 574-587.

Costa, E. P., Fiedler, N. C., Medeiros, M. B., & Wanderley, F. B. (2009). Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação - estudo de caso na estação ecológica de águas emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, 19(2), 195-206.

da Silva Junior, C. A., Teodoro, P. E., Delgado, R. C., Teodoro, L. P. R., Lima, M., de Andréa Pantaleão, A., Baio, F. H. R., Azevedo, G. B. de, Azevedo, G. T. de O. S., Capristo-Silva, G. F., Arvor, D., & Facco, C. U. (2020). Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil. **Scientific Reports**, 10(1), 1-14.

de Oliveira, G., Chen, J. M., Mataveli, G. A. V., Chaves, M. E. D., Seixas, H. T., Cardozo, F. D. S., Shimabukuro, Y. E., He, L., Stark, S. C., & Santos, C. A. (2020). Rapid Recent Deforestation Incursion in a Vulnerable Indigenous Land in the Brazilian Amazon and Fire-Driven Emissions of Fine Particulate Aerosol Pollutants. **Forests**, 11(8), 829.

Eckman, T. C., Roberts, D. A., & Still, C. J. (2008). Using multiple endmember spectral mixture analysis to retrieve subpixel fire properties from MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 112(10), 3773-3783.

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

Giulietti, A. M., Bocage Neta, A. L., Castro, A. A. J. F., Gamarra-Rojas, C. F. L., Sampaio, E. V. S. B., Virgínio, J. F., Queiroz, L. C. de, Figueiredo, M. A., Rodal, M. de J. N., Barbosa, M. R. de V., & Harley, R. M. (2003). Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: Silva, J. M. C.; Tabarelli, M.; Fonseca, M. T.; Lins, L. V. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, 382 p.

Guerrero, J. V., Escobar-Silva, E. V., Chaves, M. E., Mataveli, G. A., Bourscheidt, V., de Oliveira, G., Picoli, M. C. A., Shimabukuro, Y. E., & Moschini, L. E. (2020a). Assessing Land Use and Land Cover Changes in the Direct Influence Zone of the Braço Norte Hydropower Complex, Brazilian Amazonia. **Forests**, 11(9), 988.

Guerrero, J. V. R., Moschini, L. E., Chaves, M. E. D., Mataveli, G. A. V., Morato, R. G., & Kawakubo, F. S. (2020b). Abordagem GEOBIA para a análise da dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal no município de Brotas-SP, Brasil. **GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, (26), 21-41.

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

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira – Sistemas Fitogeográficos, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2ª ed. Revista e Ampliada. Rio de Janeiro, 271 p.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2021a). **BD Queimadas** - Banco de Dados de Queimadas. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 21/01/2021.

INPE - Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. (2021b). **Portal do Monitoramento de queimadas e incêndios**. Disponível em: <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 20/01/2021.

Mataveli, G. A. V., & Chaves, M. E. D. (2014) Análise da distribuição espacial dos focos de queimada no Estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. **Anais do I Simpósio Mineiro de Geografia**, Alfenas, MG, Brasil, p. 1657-1669.

Mataveli, G. A. V., Guerrero, J. V. R., Chaves, M. E. D., Justino, R. C., Kawakubo, F. S., & Morato, R. G. (2018). O Programa Conservador das Águas e sua Relação com o Uso da Terra em Extrema-MG. **Revista do Departamento de Geografia**, 36, 130-140.

Mataveli, G. A. V., Silva, M. E. S., Pereira, G., da Silva Cardozo, F., Kawakubo, F. S., Bertani, G., Costa, J. C., Ramos, R. de C., & Silva, V. V. da. (2018). Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 18(1), 125.

Mataveli, G. A., Pereira, G., Chaves, M. E., Cardozo, F. D. S., Stark, S. C., Shimabukuro, Y. E., Aragão, L. E. O. e C. de, Oliveira, G., & Chen, J. M. (2021). Deforestation and land use and land cover changes in protected areas of the Brazilian Cerrado: impacts on the fire-driven emissions of fine particulate aerosols pollutants. **Remote Sensing Letters**, 12(1), 79-92.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2011). **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: Cerrado**. Brasília: MMA, 200 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2020a). **Caatinga: Contexto, Características e Estratégias de Conservação**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/item/191.html>. Acesso em: 18/12/2020.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2020b). **O bioma Cerrado**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 18/12/2020.

Mistry, J. (1998). Fire in the Cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. **Progress in Physical Geography**, 22(4), 425-448.

Mistry, J., & Bizerril, M. (2011). Por Que é Importante Entender as Inter Relações entre Pessoas, Fogo e Áreas Protegidas? **Revista Biodiversidade Brasileira**, 1(2), 40-49.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(24), 853-858.

National Aeronautics and Space Administration. **LAADS Web**. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution Center. Disponível em: (<<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/>>). Acesso em: 18/02/2021.

Pereira, A. A., Barros, D. A., Junior, F. W. A., Pereira, J. A. A., & Reis, A. A. (2013). Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, 41(100), 445-455.

- Picoli, M. C., Simoes, R., Chaves, M., Santos, L. A., Sanchez, A., Soares, A., Ferreira, K., & Queiroz, G. R. (2020). CBERS data cube: a powerful technology for mapping and monitoring Brazilian biomes. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 3, 533-539.
- Piromal, R. A. S., Riveira-Lombardi, R. J., Shimabururo, Y.E., Formaggio, A. R., & Krug, T. (2008). Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, 38(1), 77-84.
- Pivello, V. (2011). The use of fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, 7(1), 25-39.
- Price, O. F., Russell-Smith, J., & Watt, F. (2012). The influence of prescribed fire on the extent of wildfire in savanna landscapes of western Arnhem Land, Australia. **International Journal of Wildland Fire**, 21(3), 297-305.
- Ribeiro, J. F., & Walter, T. M. B. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Brasília: Embrapa, p. 89-152.
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, 344(6182), 363-364.
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A. E., Oliveira Filho, F. J. B., Scaramuzza, C. A. M., Scarano, F. R., Soares-Filho, B., & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, 1, 1-3.
- Van der Werf, G., Randerson, J. T., Giglio, L., Gobron, N., & Dolman, A. J. (2008). Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. **Global Biogeochemical Cycles**, 22(3), 1-13.
- Wolfe, R. E., Nishihama, M., Fleig, A. J., Kuyper, J. A., Roy, D. P., Storey, J. C., & Patt, F. S. (2002). Achieving Sub-Pixel geolocation accuracy in Support of MODIS Land Science. **Remote Sensing of Environment**, 83(1-2), 31-49.