

## Análise da ocorrência do fogo em áreas protegidas da Caatinga e Cerrado<sup>1</sup>

Jocilene Dantas Barros<sup>1</sup>, Gustavo Felipe Balué Arcoverde<sup>2</sup>, Evandro Albiach Branco<sup>3</sup>, Manoel Ferreira Cardoso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadora-bolsista do LADIS/INPE, [jocilene.barros@inpe.br](mailto:jocilene.barros@inpe.br)

<sup>2</sup> pesquisador do LADIS/INPE, [gustavo.arcoverde@inpe.br](mailto:gustavo.arcoverde@inpe.br)

<sup>3</sup> Pesquisador do LADIS/INPE, [evandro.albiach@inpe.br](mailto:evandro.albiach@inpe.br)

<sup>4</sup> pesquisador do INPE, [manoel.cardoso@inpe.br](mailto:manoel.cardoso@inpe.br)

GT 25: Sustentabilidade para o semiárido brasileiro sob a perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

### Resumo

As queimadas impõem restrições ao atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável sobre saúde e vida terrestre, pois contribuem na poluição do ar e na degradação ambiental. Este estudo analisa a distribuição de focos de calor em áreas do Cerrado e Caatinga, e a influência das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPIs) nessa distribuição. Foram selecionadas áreas dentro dos biomas considerando dados de uso e cobertura da terra e limites de UCPIs e gerados mapas para verificar a distribuição espacial do fogo nessas áreas. Verificou-se que os focos de calor ocorrem nos dois biomas, mas se concentram principalmente no Cerrado onde há expansão

---

<sup>1</sup> Ao CNPq pelo financiamento da bolsa PCI da primeira autora. À FAPESP pelo fomento do projeto de pesquisa "Transição para sustentabilidade e o nexos água-agricultura-energia: explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas Cerrado e Caatinga", processo 17/22269-2, no qual esta pesquisa está relacionada.

agropecuária. Na Caatinga eles foram mais dispersos, mas ocorreram em algumas áreas fortemente degradadas, o que pode acentuar o processo de desertificação em curso no semiárido. A concentração do fogo fora dos limites das UCPIs reforça o papel dessas áreas protegidas em prevenir o avanço das queimadas.

Palavras-chave: Queimadas; Degradação da terra; Biomas.

### Analysis of fire occurrence in protected areas of the Caatinga and Cerrado

#### Abstract

Fires impose restrictions on meeting the Sustainable Development Goals about health and terrestrial life, as they contribute to air pollution and environmental degradation. This study analyzes the distribution of fire pixels in areas of the Cerrado and Caatinga, and the influence of Strictly Protected Area (SPAs) on this distribution. Areas within the biomes were selected considering data on land use, land cover, and SPAs boundaries, and maps were generated to verify the spatial distribution of fire in these areas. It was found that fires occur in both biomes, but are mainly concentrated in the Cerrado, where there is agricultural expansion. In the Caatinga, they were more dispersed but occurred in some heavily degraded areas, which may accentuate the process of desertification underway in the semiarid region. The concentration of fire mostly outside the limits of the SPAs reinforces the role of these protected areas in preventing the spread of fires.

Keywords: Fires; Land degradation; Biomes.

### Análisis de ocurrencia de incendios en áreas protegidas de la Caatinga y Cerrado

#### Resumen



Los incendios imponen restricciones al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible sobre la salud y la vida terrestre, ya que contribuyen a la contaminación del aire y la degradación del medio ambiente. Este estudio analiza la distribución de hotspots en áreas del Cerrado y Caatinga, y la influencia de las Áreas de Protección Estricta (APEs) en esta distribución. Las áreas dentro de los biomas se seleccionaron considerando datos sobre el uso del suelo, la cobertura del suelo y los límites de la APEs, y se generaron mapas para verificar la distribución espacial del fuego en estas áreas. Se encontró que los puntos calientes ocurren en ambos biomas, pero se concentran principalmente en el Cerrado, donde hay expansión agrícola. En la Caatinga estuvieron más dispersos, pero ocurrieron en algunas áreas muy degradadas, lo que puede acentuar el proceso de desertificación en curso en la región semiárida. La concentración de fuego fuera de los límites de las APEs refuerza el papel de estas áreas protegidas en la prevención de la propagación de incendios.

Palabras clave: Incendios; Degradación de la tierra; Biomas.

## Introdução

O uso do fogo no Brasil é uma prática amplamente utilizada para a implantação e manejo de culturas agrícolas de pequeno a grande porte, criação e manutenção de pasto para gado (PIROMAL et al., 2008). O fogo fora de controle gera impactos para o meio ambiente, como a redução do carbono acima do solo e no solo e perda da biodiversidade (ABREU et al., 2017). Ele também diminui a qualidade do ar, o que afeta a saúde humana (BRASIL, 2011), gerando problemas respiratórios que podem levar à morte e impactando negativamente os serviços de saúde pública (CONCEIÇÃO et al., 2020). As queimadas decorrem da precariedade de políticas públicas e mudanças no uso da terra (IBAMA, 2002) e a longo prazo o fogo pode ser altamente prejudicial à terra, podendo culminar em processos de desertificação (SILVA JUNIOR et al., 2018).

Dentre todos os seis biomas brasileiros, o Cerrado é aquele que possui maior percentual de áreas queimadas, correspondendo a 73% de todas as áreas



queimadas em todos os biomas, e a Caatinga fica em último lugar, com 2% das áreas queimadas, considerando dados de 2002 a 2010 de Araújo, Ferreira e Arantes (2012). O MATOPIBA, região de fronteira agrícola brasileira que abrange os parcialmente os estados de Maranhão, Piauí e Bahia, e totalmente o estado do Tocantins, também contribui nesse aspecto, pois foi responsável por 58% da área queimada do bioma Cerrado nos últimos 18 anos (SILVA et al., 2020).

Em relação à Caatinga, apesar da menor proporção de áreas queimadas, essa presença é preocupante por ser um dos fatores que contribuem para a desertificação na região semiárida brasileira (VIEIRA et al., 2015). Em longos períodos de seca, o meio ambiente é muito impactado pelo aumento de queimadas, “o que acelera ainda mais o processo de desertificação/degradação ambiental” (CGEE, 2016, p. 172). No semiárido brasileiro, que abrange quase todo o bioma Caatinga, as queimadas expõem o solo a processos erosivos e são uma das práticas agrícolas inadequadas que levam à perda da produtividade da terra (CGEE, 2016).

Estudos mostram que a atividade agrícola e a proximidade com cidades impactam a conservação de áreas protegidas (GARCIA; FERREIRA; LEITE, 2011; PFAFF et al., 2015) e que as atividades agropecuárias estão associadas às queimadas (IBAMA, 2002; SILVA JUNIOR et al., 2018). Áreas naturais sem qualquer proteção ambiental e próximas a estas áreas em expansão são, particularmente, mais ameaçadas. No contexto deste trabalho, as áreas protegidas estão diretamente ligadas às Unidades de Conservação (UCs), que são territórios protegidos pela legislação brasileira visando a conservação ou preservação dos ecossistemas e que estão inseridas dentro do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). As UCs são divididas em dois grupos, as Unidades de Proteção Integral nas quais o objetivo é preservar a natureza, tendo apenas um uso indireto; e Unidades de Uso Sustentável, em que há uma compatibilização entre a conservação da natureza e o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2020).

A ocorrência descontrolada de queimadas afeta negativamente a sustentabilidade, impondo restrições ao atendimento das metas dos ODS 3 -

Saúde e Bem-estar e o ODS 15 - Vida Terrestre, que tratam sobre a poluição do ar e a degradação da terra.

Este trabalho analisou a distribuição de focos de calor detectados por sensoriamento remoto em áreas com potencial de ocorrência de fogo em conjunto com a influência da proximidade das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPIs) nos biomas Cerrado e Caatinga, presentes na bacia do Parnaíba e São Francisco, com transposições. Espera-se que este estudo contribua para um melhor entendimento do papel das áreas protegidas em frear o avanço das queimadas; na utilização do geoprocessamento para avaliação espacial do fogo em biomas brasileiros; e na discussão sobre o controle de queimadas no contexto da busca pelas metas dos ODS relacionados à saúde e vida terrestre.

### **Fogo nos biomas, áreas protegidas e os ODS**

As queimadas e incêndios florestais são entendidos, respectivamente, como “prática agropastoril ou florestal em que o fogo é utilizado de forma controlada” e “fogo fora de controle em qualquer tipo de vegetação, seja em plantações, pastos ou áreas de cerrado” (INPE, 2021), sendo queimada o termo mais popular. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é uma unidade de referência no monitoramento de queimadas/incêndios florestais usando imagens de satélites, fornecendo dados diários e públicos em sua plataforma desde 01 de junho de 1998 (INPE, 2021). Os dados relativos à ocorrência do fogo são designados como focos de calor, que representam a identificação de fogo ativo dentro de um pixel de imagens produzidas pela detecção de calor na superfície, não distinguindo entre queimada e incêndio florestal. Assim, um foco de calor é atribuído a cada detecção de temperatura sobre a superfície terrestre que está acima de um valor normal para aquele tipo de superfície (INPE, 2021).

Os biomas representam grandes sistemas ecológicos compostos de áreas com “dimensões normalmente superiores a um milhão de quilômetros quadrados em que o clima, a fisionomia da vegetação, o solo e a altitude são

semelhantes ou aparentados” (IBGE, 2021, p. 1).

Os biomas Cerrado e Caatinga representam juntos 33,8% (IBGE, 2021) da área total dos biomas brasileiros. Estes dois biomas têm como uma de suas características a vegetação savânica. Na Caatinga é uma savana semiárida, xerofítica e decídua, adaptada a longos períodos de estiagem e que apresenta diferentes fitofisionomias que refletem as condições hídricas do solo. No Cerrado ela é mesofítica, mais úmida, possuindo também diferentes fitofisionomias, como campo limpo, campo sujo e cerradão (COUTINHO, 2016).

Em termos de bacias hidrográficas, destacam-se as regiões hidrográficas do rio São Francisco e do Parnaíba, pois estão localizadas entre os biomas Cerrado e Caatinga (NEXUS CCST, 2019). As regiões hidrográficas são espaços territoriais compreendidos por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias “contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos” (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003).

Na Caatinga o uso do fogo está associado às práticas agrícolas tradicionais que envolvem corte e queima da vegetação (MAMEDE; ARAÚJO, 2008). O fogo é um dos elementos importantes na ecologia do Cerrado, sendo a vegetação evolutivamente adaptada a ele, porém atividades antrópicas vêm contribuindo para o aumento da frequência dos eventos de queima (COUTINHO, 2016), não permitindo que o solo e a vegetação se reestabeçam.

Cabe ressaltar que nas UCs é permitido o emprego da queima controlada visando o manejo conservacionista da vegetação nativa, previsto na Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Lei nº 12.561, de 25 de maio de 2012) evitando os “riscos de grandes incêndios associados ao acúmulo de biomassa resultante da ausência ou supressão do fogo” (DIAS, 2016, p. 13).

Alguns estudos buscam entender a influência das áreas protegidas na distribuição do fogo nos biomas Cerrado e Caatinga. Ferraz Neto et al. (2011) analisaram a dinâmica de focos de calor nos anos 1998, 2003 e 2006 na Área de Proteção Ambiental (APA) da Chapada do Araripe em Pernambuco e na área de amortecimento da APA, e eles verificaram que em todos os anos a ocorrência do fogo foi maior na área de amortecimento do que no interior da APA.

Argibay, Sparacino e Espindola (2020) verificaram como o clima influencia o regime de fogo em um mosaico de áreas protegidas e entorno, em uma área de transição Cerrado/Caatinga no Piauí. Considerando dados de 1999 a 2017 eles verificaram que a maioria das áreas queimadas ocorreram durante a estação seca média, localizada entre o início e final da estação seca, e que “as áreas protegidas parecem contribuir para a redução das ocorrências de incêndios na região” (ARGIBAY; SPARACINO; ESPINDOLA, 2020, p. 8).

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável surgiram em 2015 a partir de um pacto global e visam “acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas possam desfrutar de paz e de prosperidade” (NAÇÕES UNIDAS, 2021, p. 1). O tema queimadas está relacionado de forma mais direta com os ODS 3 - Saúde e Bem-estar e o ODS 15 - Vida Terrestre. A meta 3.9 do ODS 3 busca “até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo” e a meta 15.3 do ODS 5 quer “até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo” (NAÇÕES UNIDAS, 2021, p. 1).

A ocorrência descontrolada de queimadas prejudica a saúde humana por meio da poluição atmosférica e contribui para a degradação do solo, prejudicando a segurança alimentar e a biodiversidade. O monitoramento dessas ocorrências e a análise de sua distribuição espacial são importantes na busca pelo desenvolvimento sustentável.

## **Materiais e métodos**

### Definição de áreas de análise

A análise da distribuição das queimadas ou incêndios florestais foi realizada em áreas específicas nos biomas Cerrado e Caatinga, e que estivessem localizadas nas bacias hidrográficas do rio São Francisco e

Parnaíba. Estas áreas foram consideradas como potenciais à ocorrência do fogo segundo a premissa de que áreas com maior proximidade à antropização e ao mesmo tempo às coberturas naturais são mais suscetíveis às queimadas ou aos incêndios florestais. Associada a esta premissa foi analisado o papel da proximidade às Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPIs). Para tanto, foram realizados processamentos em Sistema de Informação Geográfica - SIG, considerando os seguintes temas: (i) uso e cobertura da terra e (ii) áreas com Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPIs).

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos no site do Projeto Mapbiomas tendo como ano de referência 2018, o último ano disponível para a coleção 4.1, e os limites das UCPIs em *shapefile* no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2020). As camadas foram reprojadas para o sistema de coordenadas planas, projeção Policônica, no datum SIRGAS 2000. Todos os processamentos de dados espaciais foram feitos no software QGIS versão 3.10 e 3.16 com integração com o GRASS GIS. Os dados tabulares foram manipulados com o LibreOffice Calc.

Para a definição das áreas de análise considerou-se como área de abrangência o conjunto de municípios que fazem parte das regiões hidrográficas do rio Parnaíba e do rio São Francisco com transposições e que contêm, total ou parcialmente, os biomas Caatinga e Cerrado (Figura 1). Estes biomas, por um lado, possuem grandes áreas em processo de desertificação com pouca conservação natural, e por outro, na porção norte-oeste, abrigam uma área de fronteira agrícola junto a áreas relativamente conservadas, a região do MATOPIBA (EMBRAPA, 2020). As bacias com transposições e os biomas foram selecionados inicialmente por formarem duas das escalas de estudo de um projeto maior no qual este trabalho está relacionado, o projeto temático “NEXUS: Transição para a sustentabilidade e o nexu agricultura-energia-água: explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas cerrado e caatinga”, liderado pela DIIAV/CGCT/INPE, com fomento da Fapesp (NEXUS CCST, 2019).

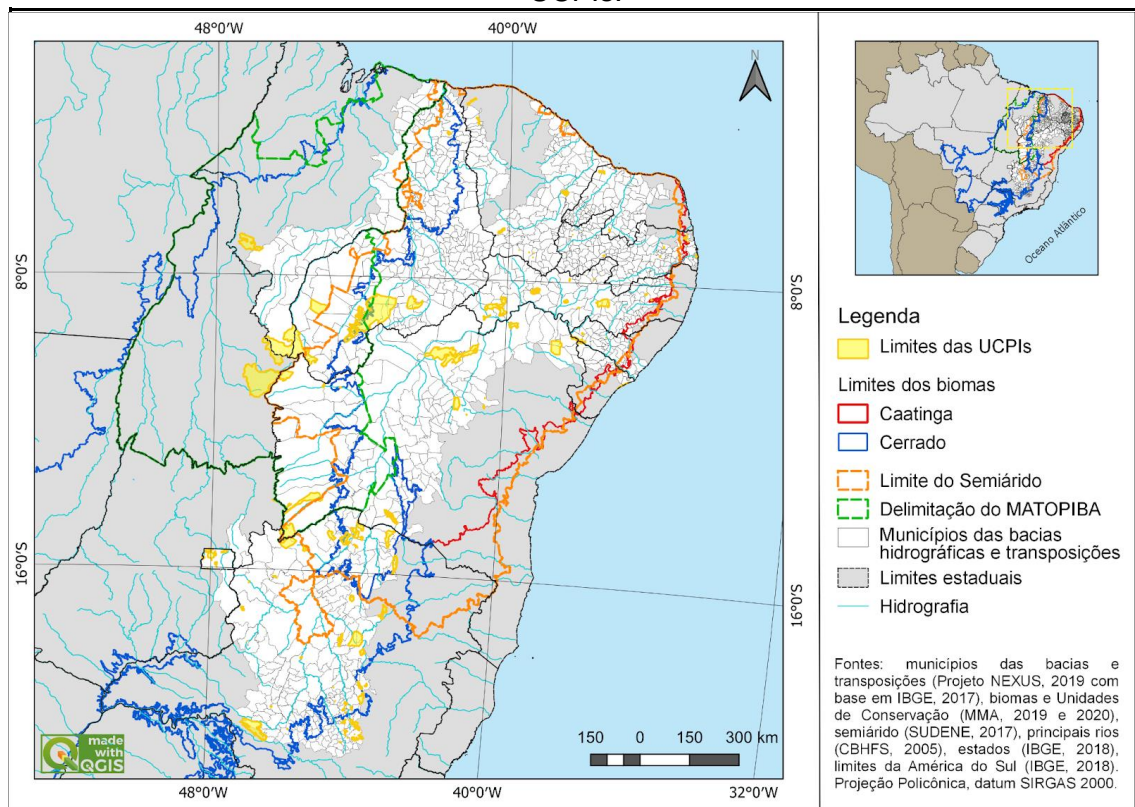
Em relação às áreas protegidas, optou-se por selecionar apenas as Unidades de Conservação do tipo Proteção Integral (Figura 1) por serem o grupo



em que é permitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais (BRASIL, 2000), com interferência humana mínima em relação às Unidades de Conservação de Uso Sustentável. Foram identificadas 136 UCPIs que tocam, mesmo que parcialmente, o conjunto de municípios citados acima.

Na Figura 1 também estão representados os limites da região do MATOPIBA, região de fronteira agrícola com ocorrência de queimadas, e a delimitação do Semiárido, por ser uma área suscetível à desertificação e com áreas fortemente degradadas (CGEE, 2016).

Figura 1 - Municípios que integram as bacias hidrográficas, limites dos biomas e UCPIs.



Fonte: elaboração própria (2021).

Considerando a premissa e os temas incluídos acima, o processamento em SIG gerou rasters de distância, considerando os seguintes critérios de proximidade:

- Proximidade com áreas de alta antropização, ou seja, áreas urbanizadas ou de agricultura, denominadas de “Classe AgrUrb+”;

- Proximidade com áreas consideradas naturais, “Classe Nat+;
- Proximidade ou distanciamento com UCPIs, as classes UC+ e UC-, respectivamente.

A proximidade com áreas naturais e de atividades agrícolas e urbanas permite que sejam selecionadas áreas com potencial de ocorrência do fogo, variando apenas a proximidade ou distanciamento com UCPIs, o que possibilita a comparação entre as áreas.

Para a identificação das áreas potenciais de fogo, conforme os critérios de proximidade supracitados, empregou-se a geração de grade regular de 20 x 20 km de extensão para extração de informação. Foi gerada uma grade para os municípios com interseção com o bioma Cerrado e outra com o bioma Caatinga.

Para o tema de uso e cobertura da terra, foram consideradas como áreas naturais as seguintes classes de cobertura da terra:

- Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Área Úmida Natural não Florestal, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso e Outra Formação Natural não Florestal.

E como representantes das áreas mais antropizadas, foram selecionadas as seguintes classes de uso da terra:

- Cultura Anual e Perene, Cultura Semi-Perene e Infraestrutura Urbana.

Após a obtenção das classes, foi gerado um raster de distância para as classes UCPIs, naturais e agricultura + infraestrutura urbana utilizando a ferramenta `r.grow.distance` do GRASS no QGIS, gerando três rasters de resolução espacial de 1 km. Foi considerada toda a área de abrangência no cômputo das distâncias, gerando um valor médio de distância em cada pixel levando em consideração todas as áreas da classe em questão. As grades de 20 x 20 km, supracitadas, foram alimentadas por tais rasters de distância, considerando o valor médio destes em cada quadrícula da grade por meio da ferramenta Estatísticas Zonais.

Para a identificação das áreas de análise, as informações contidas na grade foram analisadas da seguinte forma: (i) exportação para formato tabular

da grade; (ii) normalização dos valores entre 0 e 100 dos temas “UCPIs”, classes “Nat” e “AgrUrb” para as grades de cada bioma, no sentido inverso - menor distância maior valor; (iii) ranqueamento dos valores normalizados, para a identificação dos valores mais próximos a 100, no caso das classes, e mais próximos a 0 e 100, para o tema UCPIs, e; (iv) seleção das áreas de interesse deste estudo a partir de percentis e concatenação em planilha. Foram realizadas todas as possíveis combinações de distanciamento e proximidade com UCPIs, classes Nat e AgrUrb, levando em consideração que, ao final, deveriam existir os seguintes grupos de interesse:

- Grupo 1: grades com maior proximidade à classe Natural (Nat+), maior proximidade à classe que une Agricultura+Urbano (AgrUrb+) e maior proximidade à classe “UCPI” (UC+);

- Grupo 2: grades com maior proximidade à classe Natural (Nat+), maior proximidade à classe que une Agricultura+Urbano (AgrUrb+) e menor proximidade à classe “UCPI” (UC-).

Para obter no máximo 30 células (grades) como AgrUrb+Nat+UC+ ou AgrUrb+Nat+UC- para cada bioma, diminuindo assim a área de estudo, foram realizados testes até chegar nos seguintes limiares:

- Para o Cerrado, limiar de proximidade o percentil de 33%, e de distanciamento (só para o caso de UC) o percentil de 66%;

- Para o Caatinga, limiar de proximidade o percentil de 25%, e de distanciamento (só para o caso de UC) o percentil de 75%.

Os procedimentos realizados para elaboração do mapa das áreas de análise envolveram a importação da planilha para o QGIS, seleção das grades que continham apenas as combinações “AgrUrb+Nat+UC+” ou “AgrUrb+Nat+UC-” e a geração de buffers considerando as duas combinações citadas visando a obtenção de aglomerados de influência de um fenômeno regional semelhante. Para tanto, foram feitos testes de geração de buffers com 10, 20, 30 e 40 km ao redor das grades, mas apenas com 40 km as grades próximas foram agrupadas, formando aglomerados. Estas áreas de influência (buffers) representam as áreas de análise da distribuição dos focos de calor.

## Análise dos focos de calor

Os dados de focos de calor foram extraídos do site BDQueimadas do INPE (2018), selecionando apenas as detecções feitas pelo satélite de referência AQUA\_M-T (sensor MODIS). Estes focos são a identificação do fogo ativo em imagens baseadas na temperatura da superfície e podem representar tanto queimadas, quanto incêndios florestais, pois não há distinção entre eles pelo satélite. Para compatibilizar com os dados de uso e cobertura da terra, do ano de 2018, foram considerados os focos de calor também do ano de 2018. Por fim, foi feita a contagem de focos de calor e geração de um mapa de densidade de kernel (com 40 km de raio) para o ano de 2018, dentro das áreas de influência, para verificar o comportamento do fogo em cada uma delas.

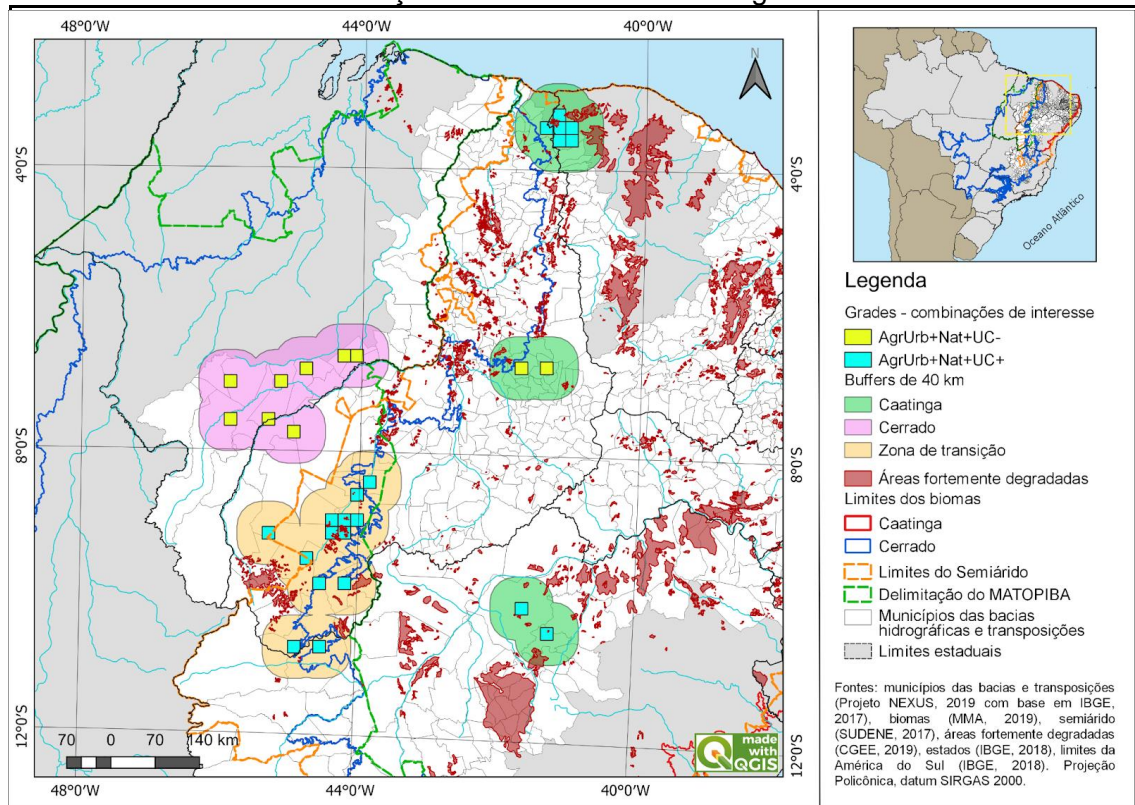
## Resultados e discussão

As áreas de análise selecionadas para avaliação da distribuição das queimadas ou incêndios florestais (focos de calor) podem ser visualizadas no mapa (Figura 2). Observa-se que existem cinco grandes áreas, três áreas no bioma Caatinga, uma no bioma Cerrado e uma na transição entre os dois biomas. São áreas que mesmo tendo forte presença de classes naturais, também possuem atividades humanas que geram pressões sobre o ambiente.

Os quadrados (grades) em amarelo representam áreas com proximidade de áreas naturais, de agricultura e de infraestrutura urbana e menor proximidade às UCPIs, as grades em azul possuem proximidade com as primeiras duas classes e também com as UCPIs, os buffers de 40 km são as zonas de influência das grades e representam as áreas de análise selecionadas para verificar a distribuição dos focos de calor.

Com exceção do buffer do Cerrado na cor rosa, todas as demais buffers estão totalmente ou parcialmente incluídos na área suscetível à desertificação que abrange o semiárido brasileiro e todos possuem algumas áreas em seu interior fortemente degradadas em processo de desertificação (CGEE, 2016), áreas estas também espacializadas na Figura 2.

Figura 2 – Mapa das áreas de análise selecionadas considerando a maior ou menor distância às UCPIs, proximidade com áreas naturais e antropizadas e localização de áreas fortemente degradadas.



Fonte: elaboração própria (2021).

Sobrepondo as zonas de influência com dados do Mapbiomas observou-se que a classe natural que mais se destaca é a Formação Savânica. E considerando os usos humanos, o destaque vai para as Pastagens e Agricultura, atividades associadas às queimadas (IBAMA, 2002; SILVA JUNIOR et al., 2018) e que causam pressões nas áreas protegidas (GARCIA; FERREIRA; LEITE, 2011).

As grades com combinações de interesse representadas na Figura 2 também são próximas às áreas urbanas, com maior concentração de pessoas, tornando-as mais suscetíveis à poluição do ar provocada pela queima da vegetação. A meta 3.9 do ODS 3 - Saúde e Bem-estar visa a redução de mortes e doenças por poluição do ar, dentre outros aspectos. Tomar medidas para reduzir as queimadas e fiscalizar as atividades agropecuárias é importante para ajudar a alcançar esse ODS, pois impactam diretamente a saúde da população.

No ano de 2018 foram contabilizados 6.102 focos de calor em toda a área

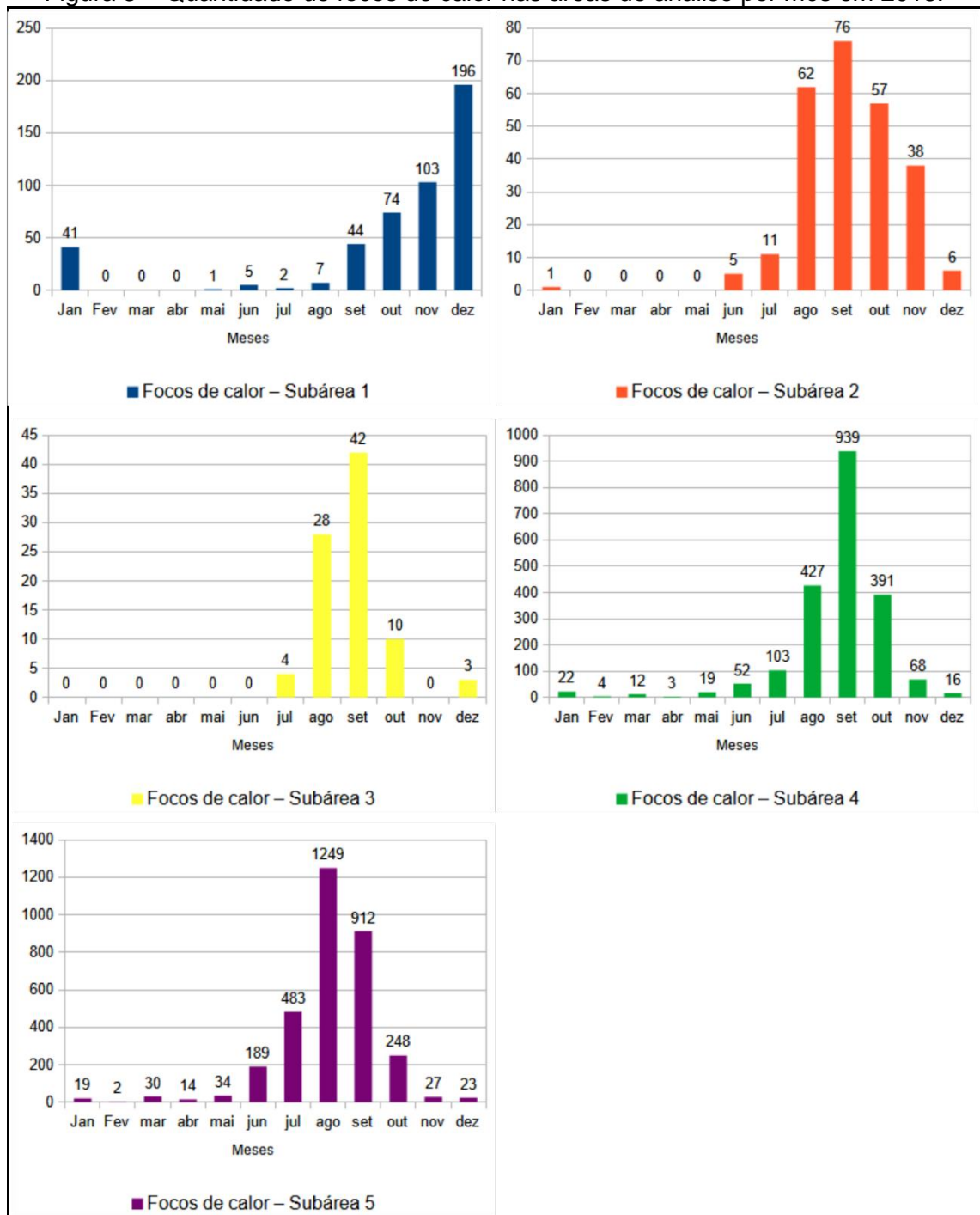
de análise (buffers), com maior concentração nos meses de julho a outubro, meses em que a quantidade é maior que a média anual de 508,5 focos. Considerando as Subáreas isoladamente (Figuras 3 e 4) verifica-se que a Subárea 1, localizada no bioma Caatinga e mais próxima da zona costeira, foi a que mais se diferenciou das demais, aumentando a quantidade de focos no segundo semestre, mas com seu máximo em dezembro. Nas demais Subáreas o comportamento é parecido, com maior concentração de focos no segundo semestre e picos nos meses de agosto e setembro. As Subáreas 4 e 5 se destacam por possuírem uma maior quantidade de focos em relação às demais.

A partir da contagem de pontos de focos de calor do ano de 2018 nos buffers (Figura 4), verificou-se que as áreas de maior proximidade com UCPIs dentro do bioma Caatinga somaram 560 focos (Subárea 1 e 3) e com menor proximidade com UCPIs, 256 focos (Subárea 2).

No Cerrado a área com maior distância às UCPIs contabilizou 3.230 focos (Subárea 5). Na zona de transição entre o Cerrado e Caatinga (Subárea 4 da Figura 4), abrangendo uma área no sudoeste do Piauí e uma pequena parte no noroeste da Bahia, apesar da proximidade com UCPIs, foram contabilizados 2.056 focos. Essas áreas de transição e do Cerrado se sobrepõem com algumas regiões dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia incluídas no MATOPIBA, que de acordo com Silva et al. (2020) é a região que concentra quase 60% das queimadas no Cerrado.

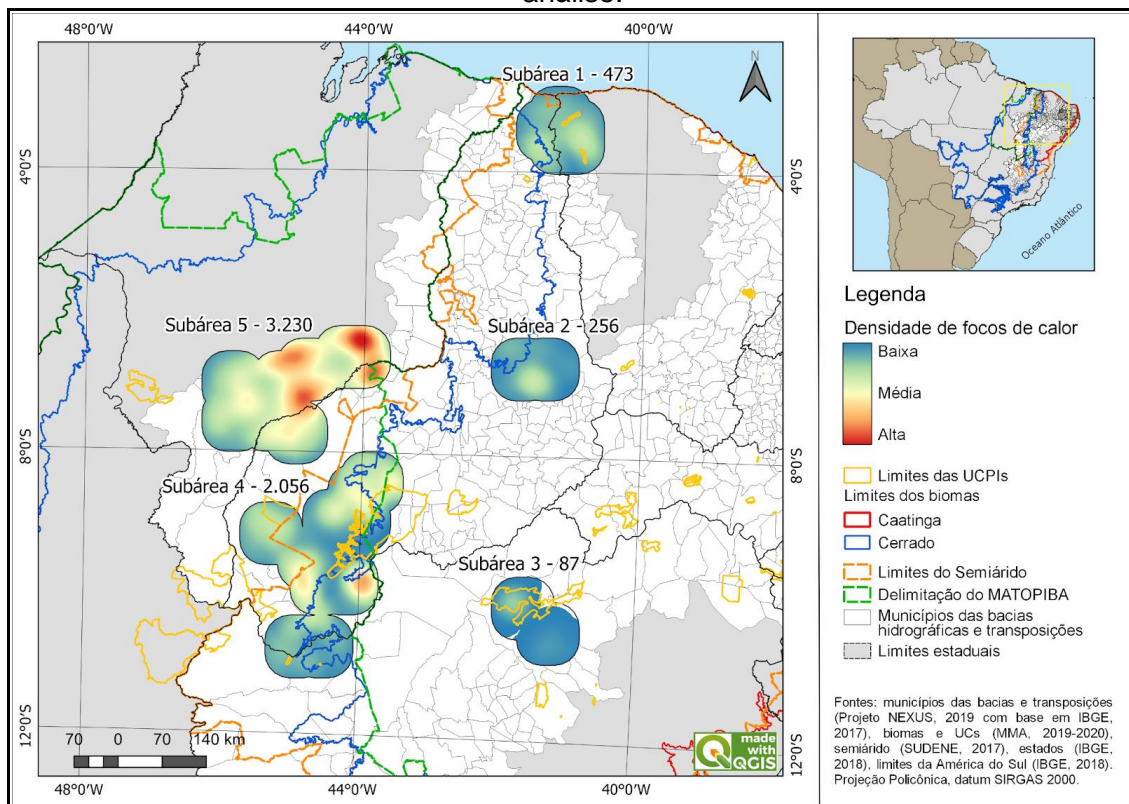
Considerando a densidade de focos de calor é possível perceber que a alta concentração de focos (cor vermelha na Figura 4) ocorre no bioma Cerrado onde há proximidade com áreas naturais e antropizadas, mas um maior distanciamento com as UCPIs. Também ocorre na transição dos biomas em que há uma proximidade com UCPIs. Na Caatinga a densidade de focos de calor varia de baixa a média. Algumas UCPIs estão dentro ou tocam parcialmente as áreas de análise e coincidem com áreas de baixa a média densidade de focos de calor (Figura 4).

Figura 3 – Quantidade de focos de calor nas áreas de análise por mês em 2018.



Fonte: baseado em INPE (2018).

Figura 4 - Densidade de focos de calor e número de focos de calor nas áreas de análise.



Fonte: elaboração própria (2021).

De maneira geral percebe-se que os focos de calor ocorrem tanto em áreas mais distantes das UCPIs, quanto em áreas mais próximas a elas, e a sua frequência é maior no bioma Cerrado. Também foi possível perceber que a concentração de focos não coincide com as áreas internas da UCPIs, mostrando que as UCs podem servir também de barreira no avanço das atividades que geram queimadas e incêndios florestais, assim como afirmam Ferraz Neto et al. (2011) e Argibay, Sparacino e Espindola (2020).

É importante ressaltar que a presença de queimadas descontroladas em áreas próximas às UCPIs prejudica seu objetivo principal que é preservar essas áreas de grande relevância ambiental (BRASIL, 2000).

A utilização sem controle do fogo em atividades agropecuárias pode gerar sérias consequências para o solo e para a biota, contribuindo em processos de desertificação (VIEIRA et al., 2015; CGEE, 2016) ou intensificando-os, especialmente no semiárido nordestino que já é suscetível a esse fenômeno. Para que a meta 15.5 sobre a redução da degradação dos habitats e da perda



da biodiversidade do ODS 15 - Vida Terrestre seja atingida, é necessário reunir esforços do poder público no combate ao fogo ilegal e de práticas mais sustentáveis por parte do setor agropecuário e da população que vive da terra em geral.

### **Considerações finais**

Este trabalho analisou a distribuição de focos de calor em áreas do Cerrado e Caatinga, e a influência das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPIs) nessa distribuição, no ano de 2018. Verificou-se uma maior ocorrência de queimadas nas áreas incluídas no bioma Cerrado e que coincidem com regiões de expansão agropecuária do MATOPIBA. Na Caatinga os focos de calor tiveram menor expressividade e se distribuíram de maneira mais dispersa do que no Cerrado. Também foi possível verificar que algumas áreas fortemente degradadas se sobrepõem às áreas com ocorrência de queimadas, o que é preocupante pois as queimadas podem acentuar ainda mais esse processo de desertificação em curso no semiárido nordestino.

Em relação às Unidades de Conservação de Proteção Integral, foi possível perceber que as áreas distantes e próximas a elas possuem ocorrência de queimadas, porém a maior concentração ocorre em regiões fora dos limites das unidades de conservação, reforçando o papel dessas áreas protegidas em prevenir o avanço das queimadas, além da sua função imediata de proteção da biodiversidade.

A metodologia baseada em análise espacial com SIG permitiu que fossem selecionadas áreas similares em termos de uso e cobertura da terra e com potencial de ocorrência de fogo, permitindo a comparação entre as áreas. São áreas que mesmo tendo forte presença de classes naturais, também possuem atividades humanas que geram pressões sobre o ambiente, sendo as queimadas particularmente associadas à agricultura. O cálculo das distâncias às UCPIs permitiu ter uma visão do papel delas em conjunto na ocorrência do fogo, complementando a verificação da ocorrência de queimadas dentro e fora de

cada área protegida.

A ocorrência descontrolada de queimadas afeta negativamente a sustentabilidade, trazendo prejuízos à saúde da população por meio da poluição atmosférica e ao solo e biodiversidade, pois contribui para a degradação dos ecossistemas. Reforça-se a importância do estudo das queimadas/incêndios florestais e seu controle no contexto da busca pelas metas dos ODS relacionados à saúde e vida terrestre.

### Agradecimentos

O presente estudo tem apoio do Projeto "Transição para sustentabilidade e o nexo água-agricultura-energia: explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas Cerrado e Caatinga" (Processo 2017/22269-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo / FAPESP). Um agradecimento também ao CNPq pelo fomento da bolsa PCI da primeira autora.

### Referências

ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. 1-7, 2017.

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. **Remote Sensing**, v. 4, n. 7, 1929-1946, 2012. <https://doi.org/10.3390/rs4071929>

ARGIBAY, D. S.; SPARACINO, J. ESPINDOLA, G. M. A long-term assessment of fire regimes in a Brazilian ecotone between seasonally dry tropical forests and savannah. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 1-13, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde ambiental**: guia básico para construção de indicadores / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Brasília, 2000.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. CGEE: Brasília, 2016.

CONCEIÇÃO, D. S.; VANCCIN, P. D. A.; BATISTA, A. K. R.; VIANA, V. S. S.; ALCANTARA, A. S. S.; ELERES, V. M.; RIBEIRO, R. S.; ROCHA, A. M. O impacto das queimadas na saúde pública. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 59498-59502, ago. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/15202/12542>. Acesso em: 27 jul. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003**. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

COUTINHO, L. M. **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

DIAS, B. F. S. Apresentação para **Biomass Brasileiros**, de Leopoldo M. Coutinho. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

EMBRAPA. **Sobre o MATOPIBA**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>. Acesso em: 01 ago. 2020.

FERRAZ NETO, S.; VIEIRA, R. M. S. P.; ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; CANAVESI, V.; SESTINI, M. F. Análise da dinâmica dos focos de calor em áreas degradadas da Caatinga. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia. **Anais ...** João Pessoa: SBMET, 2011.

GARCIA, F. N.; FERREIRA, L. G.; LEITE, J. F. Áreas Protegidas no Bioma Cerrado: fragmentos vegetacionais sob forte pressão. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, **Anais ...** Curitiba: INPE, 2011.

IBAMA. **GEO BRASIL 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. 2002.

IBGE. **Brasil em síntese**. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 29 jul. 2021.

INPE. Programa Queimadas. **Banco de dados de Queimadas**. 2018. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 15 jun. 2021.

\_\_\_\_\_. **Perguntas frequentes**. 2021. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>. Acesso em: 24 nov. 2020.

MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid**

*Environments*, v. 72, n 4, p. 458-470, 2008.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Download de dados geográficos. **Limites das Unidades de Conservação.** Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm#>. Acesso em: 14 abr. 2020.

NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 27 jul. 2021.

NEXUS CCST. **Projeto Transição para sustentabilidade e o nexso água-agricultura-energia:** explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas Cerrado e Caatinga. Disponível em: [http://nexus.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2019/10/CCST\\_FAPESP\\_Projeto\\_2017\\_final.pdf](http://nexus.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2019/10/CCST_FAPESP_Projeto_2017_final.pdf). Acesso em: 11 set 2019.

PFAFF, A.; ROBALINO, J.; HERRERA, D; SANDOVAL, C. Protected areas' impacts on Brazilian Amazon deforestation: examining conservation – development interactions to inform planning. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2015.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77-84, 2008.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: 27 abr. 2020.

SILVA JUNIOR, C. H.; ANDERSON, L.; ARAGÃO, L. E.; RODRIGUES, B. Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, 35, 1-14, 2018.

SILVA, P. S.; RODRIGUES, J. A.; SANTOS, F. L. M.; PEREIRA, A. A.; NOGUEIRA, J.; CAMARA, C. C.; LIBONATI, R. Drivers of burned area patterns in Cerrado: the case of Matopiba region. In: **2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)**, p. 542-547, 2020.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA, M. S. B.; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast, **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015.