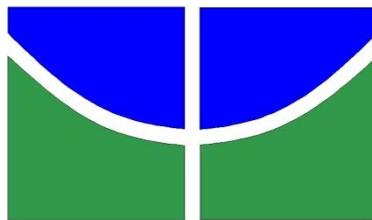




**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FOGO NO BIOMA PANTANAL UTILIZANDO  
DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

FLAVIA KATARINE DA SILVA

BRASÍLIA, DF  
29 de outubro de 2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

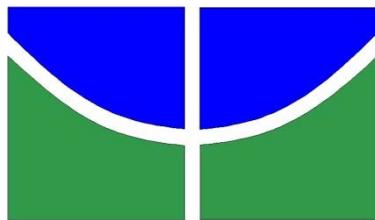
**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FOGO NO BIOMA PANTANAL UTILIZANDO  
DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

FLAVIA KATARINE DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

BRASÍLIA, DF  
29 de outubro de 2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FOGO NO BIOMA PANTANAL UTILIZANDO  
DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Estudante: Flavia Katarine da Silva

Matrícula: 16/0028213

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

---

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira  
Universidade de Brasília – UnB  
Membro da Banca

---

MSc. Diogo Otávio Scalia Pereira  
Universidade de Brasília – UnB  
Membro da Banca

BRASÍLIA, DF  
29 de outubro de 2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

SF589pa

Silva, Flavia Katarine da

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FOGO NO BIOMA PANTANAL UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO / Flavia Katarine da Silva; orientador Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi.

-- Brasília, 2021.

83 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Florestal) –  
Universidade de Brasília, 2021.

1. Cobertura e Uso do Solo. 2. Incêndios Florestais.  
3. Pantanal. 4. Sensoriamento Remoto. I. Matricardi, Eraldo Aparecido Trondoli, orient. II. Título.

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, F. K. (2021). ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FOGO NO BIOMA PANTANAL UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 83 p.

### CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Flavia Katarine da Silva

TÍTULO: *Análise espaço-temporal do fogo no bioma Pantanal utilizando dados de sensoriamento remoto.*

GRAU: Engenharia Florestal ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Flavia Katarine da Silva  
flavia3898katarine@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

Ao meu amor, *Yeshua*, que me sustenta.

Ao colo de Nossa Senhora Aparecida.

Ao meu mentor espiritual, que me guia.

À minha mãe, Ana Rosali, e ao meu pai, Everaldo Joel, por todo amor recebido, que possibilitou a minha caminhada aos meus sonhos.

Às minhas queridas irmãs, Joely Karla e Ana Clara, que são as razões do meu sorriso.

Aos colegas do curso de Engenharia Florestal por compartilharem suas jornadas acadêmicas comigo.

Em especial, às minhas grandes amigas, Ellen Dourado, Lílian de Queiroz e Yasmin Paim, que tornaram a graduação o melhor período da minha vida.

Aos professores, que me ensinaram mais que conteúdos acadêmicos, mas também o respeito à natureza.

Aos meus eternos coorientadores, André Luiz Costa Moreira e Eduardo Toledo de Amorim, por todo tempo, conhecimentos e conselhos a mim doados.

Aos admiráveis Engenheiros Florestais, que são peritos do Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal, por compartilharem seus conhecimentos e experiências comigo.

Ao Dr. Reginaldo Sérgio Pereira, pela audiência e avaliação.

Ao MSc. Diogo Otávio Scalia Pereira, por ser uma das minhas grandes inspirações profissionais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi, pela disponibilidade em me auxiliar de forma tão carinhosa e profissional neste trabalho.

E à Universidade de Brasília e ao Departamento de Engenharia Florestal.

*“Maktub”  
Paulo Coelho*

## RESUMO

### ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO FOGO NO BIOMA PANTANAL UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Os principais responsáveis pelo aumento das áreas queimadas no Pantanal são os incêndios florestais de origens antrópicas (acidental ou criminoso). A conversão da vegetação nativa para pastagem, utilizando o fogo como ferramenta de manejo, potencializa a degradação dos ecossistemas pantaneiros, além de intensificar as condições de ignição do fogo na vegetação. Outro agravante à ocorrência de queimas é o acúmulo de biomassa seca, que durante a estação de estiagem favorece a propagação do fogo de forma acelerada. A partir desta problemática, o objetivo geral do presente estudo foi analisar a dinâmica espaço-temporal da ocorrência do fogo no bioma Pantanal entre 2010 e 2020, a partir de dados de sensoriamento remoto. Para tal, foram utilizados a plataforma de *Google Earth Engine* (GEE) e o *software Quantum-Gis* (QGis) para analisar os dados do produto MODIS MCD64A1, que fornece mensalmente informações sobre áreas queimadas em todo o planeta, e do projeto MapBiomias, que fornece anualmente informações sobre os usos e coberturas da terra em todos os biomas brasileiros. Foram analisadas a dinâmica temporal das áreas queimadas, a recorrência do fogo, o cálculo de áreas queimadas nas classes de coberturas e usos dos solos, a dinâmica espacial de áreas queimadas e o cálculo de áreas queimadas em Unidades de Conservação (UCs). Os resultados deste estudo mostraram que em 2020 ocorreu a maior quantidade de áreas atingidas por fogo, com 36.890 Km<sup>2</sup>, seguido de 2019, com 17.287 Km<sup>2</sup>. As classes de cobertura e uso da terra mais atingidas foram as formações naturais não florestais (formação campestre, campos alagados e áreas pantanosas). No período analisado, a região norte do bioma, nos encontros dos municípios de Barão de Melgaço, Nossa Senhora do Livramento e Poconé/MT, e a região sul do bioma, especificamente o sul do município de Corumbá/MS, apresentaram maior concentração de focos de calor. Nenhuma Unidade de Conservação (UC) está inserida em áreas com altas concentrações da ocorrência de fogo, apenas duas unidades estão próximas as regiões com densidade média e as outras unidades estão localizadas em regiões com densidade baixa. Foi possível verificar que as variáveis que mais afetaram a ocorrência do fogo na área e no período de estudo foram: as características da vegetação, fatores climáticos e meteorológicos da região e proximidade de áreas com atividades antrópicas (centros urbanos e propriedades rurais). Os resultados deste estudo podem ser usados como base técnica para definir políticas e estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais, com o objetivo de mitigar os impactos causados pelo fogo.

**Palavras-Chave:** Cobertura e uso do solo; estimador de Densidade Kernel; *Google Earth Engine* (GEE); incêndios Florestais; MapBiomias; MODIS MCD64A1; Pantanal; Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

### SPACE-TIME ANALYSIS OF WILDFIRE IN THE PANTANAL BIOME BY USING DATA COLLECTED FROM A REMOTE SENSING.

The main factors responsible for the increase in burned areas in the Pantanal are wildfires of anthropogenic activities (accidental or criminal). The conversion of native vegetation into pastures, using fire as a management tool, increases the degradation of Pantanal ecosystems and, in addition, intensifies fire ignition conditions of vegetation. Another aggravating factor to the occurrence of fires is the accumulation of dry biomass, which during the dry season favors the rapid fire spreading. Based on it, this study intended to analyze the spatiotemporal dynamics of fire occurrence in the Pantanal biome between 2010 and 2020, using remote sensing data. I used the Google Earth Engine (GEE) platform and the Quantum-Gis (QGis) software to analyze data from the MODIS MCD64A1 product, which provides monthly information on burnt areas across the planet, and from the MapBiomas project, which annually provides information of land use and land cover changes for all Brazilian biomes. The temporal dynamics of burnt areas, fire recurrence, the calculation of burnt areas in the classes of land cover and land use, the spatial dynamics of burnt areas and the calculation of burnt areas in Conservation Units were analyzed. The results of this study showed that there was the greatest number of areas affected by fire, with 36,890 km<sup>2</sup> by 2020 and 17,287 km<sup>2</sup> by 2019. The most affected land cover and land use types were the non-forest natural Phyto-physiognomies (field vegetation, flooded grassland, and swamp). During the studied period, the northern region of the biome, bordering the territories of Barão de Melgaço, Nossa Senhora do Livramento and Poconé/MT, and the southern region of the biome, specifically the south of the municipality of Corumbá/MS, had a higher concentration of wildfire spots. In those municipalities with high fire events concentration, there were no Conservation Units, only two units are in medium fire density areas and others are in low density areas. It was possible to verify that the variables that most affected the occurrence of fire in the area and in the study, period were: vegetation characteristics, climatic and meteorological factors in the region and proximity to areas with human activities (urban centers and rural properties). The results of this study can be used as a technical basis to define policies and strategies for preventing and combating wildfire, with the aim of mitigating the impacts caused by fires.

**Keyword:** Land use and land cover; Kernel density estimation (KDE); Google Earth Engine (GEE); Wildfire; MCD64A1 MODIS Burned Area data product; Pantanal; Remote sensing.

## SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA .....	iv
AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
SUMÁRIO.....	1
LISTA DE FIGURAS .....	3
LISTA DE TABELAS .....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1 Questões de pesquisa .....	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo geral .....	7
2.2. Objetivos específicos .....	7
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	8
3.1. Pantanal brasileiro.....	8
3.2. Cobertura e uso do solo no Pantanal.....	11
3.3. Unidades de Conservação (UCs) do Pantanal .....	14
3.4. Bases de dados .....	16
3.4.1. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias).....	16
3.4.2. Sensor MODIS .....	16
3.4.3. Produto MCD64A1 do sensor MODIS .....	17
3.5. <i>Softwares</i> .....	18
4.3.1. Plataforma <i>Google Earth Engine (GEE)</i> .....	18
4.3.2. <i>Quantum-Gis (QGis)</i> .....	18
3.6 Estimador de Densidade Kernel .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1. Área de estudo .....	20
4.2 Análises.....	22
4.2.1 Análise temporal das áreas queimadas .....	22
4.2.2 Recorrência do fogo.....	22
4.2.3 Cálculo de áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo .....	22
4.2.4 Análise espacial das áreas queimadas .....	23
4.2.5 Cálculo de áreas queimadas em Unidades de Conservação (UCs) .....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5.1. Dinâmica temporal das áreas queimadas no bioma Pantanal .....	24
5.2. Recorrência do fogo no bioma Pantanal .....	25
5.3. Áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo no bioma Pantanal .....	28
5.4. Dinâmica espacial das áreas queimadas no bioma Pantanal.....	33
5.5. Áreas queimadas nas Unidades de Conservação (UCs) do bioma Pantanal.....	38

5.6. Sensoriamento remoto como ferramenta de detecção de áreas queimadas no bioma Pantanal .....	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
8. APÊNDICE .....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de cobertura e uso do solo do bioma Pantanal do ano de 2019 (Adaptado do Projeto MapBiomas, coleção 5).....	12
<b>Figura 2.</b> Localização da área de estudo, o bioma Pantanal. (Fonte: IBGE, 2021).....	21
<b>Figura 3.</b> Bacias Hidrográficas do bioma Pantanal. (Fonte: ANA, 2021).....	22
<b>Figura 4.</b> Área total atingida por fogo no bioma Pantanal, no período de 2010 a 2020.....	24
<b>Figura 5.</b> Distribuição espacial da recorrência do fogo no bioma Pantanal no período entre 2010 e 2020. ....	27
<b>Figura 6.</b> Áreas queimadas anualmente por classes de cobertura e uso do solo no bioma Pantanal entre 2010 e 2020.....	29
<b>Figura 7.</b> Áreas totais queimadas por classes de cobertura e uso do solo no bioma Pantanal, no período de 2010 a 2020. ....	31
<b>Figura 8.</b> Área anual queimada em formação campestre entre 2010 e 2020.....	31
<b>Figura 9.</b> Maiores valores das áreas atingidas por fogo (%) dentro das classes de cobertura e uso da terra do bioma Pantanal, entre 2010 e 2020.....	32
<b>Figura 10.</b> Densidade da ocorrência espacial do fogo no bioma Pantanal, entre 2010 e 2020. ....	35
<b>Figura 11.</b> Densidade da ocorrência espacial do fogo entre 2010 e 2020, e a localização das rodovias e estradas do bioma Pantanal. ....	37
<b>Figura 12.</b> Densidade da ocorrência espacial do fogo entre 2010 e 2020 e a localização das Unidades de Conservação (UCs) no bioma Pantanal. ....	39
<b>Figura 13.</b> Densidade da ocorrência espacial do fogo entre 2010 e 2020 relacionado às Unidades de Conservação (UCs) e propriedades rurais presentes no bioma Pantanal.....	42
<b>Figura 14.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2010.....	65
<b>Figura 15.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2011.....	66
<b>Figura 16.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2012.....	67
<b>Figura 17.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2013.....	68
<b>Figura 18.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2014.....	69
<b>Figura 19.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2015.....	70
<b>Figura 20.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2016.....	71
<b>Figura 21.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2017.....	72
<b>Figura 22.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2018.....	73
<b>Figura 23.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2019.....	74
<b>Figura 24.</b> Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2020.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classes de cobertura e uso do solo, suas respectivas porcentagens em relação ao bioma pantaneiro, no período de 2010 a 2020. ....	13
(Fonte Projeto MapBiomias, coleção 5). ....	13
<b>Tabela 2.</b> Recorrência de fogo no bioma Pantanal no período de 2010 a 2020. ....	25
<b>Tabela 3.</b> Áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo, porcentagens das áreas queimadas dentro de suas respectivas classes de cobertura e uso do solo e a área total atingida por fogo entre 2010 e 2020. ....	30
<b>Tabela 4.</b> Área total das áreas atingidas por fogo dentro das Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral presentes no bioma Pantanal, entre 2010 e 2020. ....	40
<b>Tabela 5.</b> Área total das áreas atingidas por fogo dentro das Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável presentes no bioma Pantanal, entre 2010 e 2020. ....	40

## 1. INTRODUÇÃO

A presença de fogo em qualquer tipo de vegetação pode ser classificada como incêndio florestal ou queimada. O fogo utilizado para objetivos definidos e em uma área delimitada é chamado de queima controlada, entretanto, quando o fogo acaba ganhando grandes proporções de forma descontrolada, consumindo toda ou parte da vegetação, é classificado como incêndio florestal (WHITE; WHITE, 2016). Os incêndios florestais podem ser de origem natural, acidental ou criminosa (SILVA JUNIOR *et al.*, 2018).

Os incêndios florestais estão entre as maiores ameaças à conservação da biodiversidade do planeta. Além dos seus impactos diretos sobre a fauna e a flora, contribuem, indiretamente, com a degradação ambiental, deixando o solo suscetível aos processos erosivos e afetam o ciclo do carbono, através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis, que causam impacto considerável na qualidade do ar e podem ocasionar problemas de saúde pública (WHITE; WHITE, 2016, ARAGÃO *et al.*, 2018, SILVA JUNIOR *et al.*, 2018). E apesar de alguns ecossistemas terrestres, a exemplo dos biomas savânicos, serem adaptados e dependentes do fogo, as alterações na frequência, no caso os aumentando, são responsáveis por danos ambientais (WHITE; WHITE, 2016) e perda de biodiversidade (ABREU *et al.*, 2017, SILVA JUNIOR *et al.*, 2018).

No Brasil, são detectados milhares de focos de calor anualmente, que ocorrem, principalmente, durante a estação seca dos biomas (INPE, 2021). As queimadas e incêndios florestais são uma das maiores calamidades enfrentadas pelo país, colocando-o entre os principais responsáveis pelo lançamento de gases do efeito estufa, além dos inúmeros prejuízos ambientais e socioeconômicos (MATOS, 2014). O Mato Grosso e Mato Grosso do Sul são alguns dos estados brasileiros com maiores índices de queimadas e incêndios florestais todos os anos. Segundo o Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE, houve 47.708 e 12.080 focos de calor para cada estado, respectivamente, apenas no ano 2020, com recordes para o mês de setembro, final da estação seca nos biomas Cerrado e Pantanal (INPE, 2020).

A análise espaço-temporal é essencial para um planejamento racional e econômico das atividades de prevenção e combate aos incêndios florestais (SOARES; SANTOS, 2002). E existem diversos métodos de detecção de focos de calor, como por exemplo, sistemas de vigilância móvel, sistemas de vigilância fixa etc. Iniciado na década de 1980, o sensoriamento remoto é considerado uma tecnologia relativamente antiga para detecção de incêndios florestais (WANG *et al.*, 2012), sendo os satélites da série *National Oceanic and Atmospheric*

*Administration* (NOAA), *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) e o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), por exemplo, já amplamente utilizados para esse objetivo. Porém, nas últimas décadas, o sensoriamento remoto tem se tornado a técnica mais utilizada, possibilitando o emprego dos dados disponíveis para fins diversos, como fiscalização ambiental, combate ao fogo, estatísticas de emissão de carbono, trabalhos científicos, dentre outros (WHITE, WHITE, 2016).

A detecção de focos de calor via imagens de satélites possui diversas vantagens como a ampla abrangência, podendo recobrir grandes extensões territoriais (WHITE; WHITE, 2016), permite ações mais rápidas e com menor custo do que o monitoramento *in loco*, auxilia nas tomadas de decisões e planos de ações mais eficientes. Além do mais, algumas informações importantes podem ser extraídas por meio do sensoriamento remoto, como a extensão das áreas queimadas, distribuição espacial e temporal dos incêndios, tipos vegetacionais, classes de cobertura e uso do solo e áreas protegidas mais atingidas pelo fogo e sua correlação com os centros urbanos, rodovias e atividades agrárias (MATOS, 2014).

Levando em consideração as informações apresentadas anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas atingidas por fogo no bioma Pantanal entre 2010 e 2020, usando dados de sensoriamento remoto. Os resultados deste estudo ampliam o conhecimento sobre a ocorrência e propagação do fogo no Pantanal e poderão auxiliar na definição de estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais no bioma.

### **1.1 Questões de pesquisa**

O presente trabalho norteou-se pelos seguintes questionamentos: Qual a dinâmica temporal do fogo no Pantanal? Quais são as classes de cobertura e uso do solo mais atingidas pelo fogo? Existe um padrão espacial das áreas queimadas no bioma? As Unidades de Conservação são barreiras para a ocorrência de incêndios florestais?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas atingidas por fogo no bioma Pantanal entre 2010 e 2020 utilizando dados de sensoriamento remoto.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analisar temporalmente as áreas classificadas como queimadas pelo produto MODIS MCD64A1 na área de estudo;
- Identificar e quantificar os tipos de uso e cobertura da terra atingidas por fogo na área e período de estudo;
- Estimar a recorrência do fogo no bioma Pantanal;
- Analisar a distribuição espacial das áreas atingidas por fogo; e
- Quantificar a área atingida por fogo dentro de Unidades de Conservação (UCs).

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Pantanal brasileiro

De acordo com Silva *et al.* (1998), a colonização do centro-oeste ocorreu durante o século XVIII, com poucos fluxos migratórios por causa da mineração. Entretanto, foi em 1930 que o processo de ocupação se intensificou devido aos estímulos governamentais para o desenvolvimento do setor agrícola no centro-oeste e norte do Brasil (SANTIAGO, 2017, GODOI, 2019). E para intensificar o processo de ocupação das zonas de fronteira agrícola, em 1938 houve a chamada “Marcha para Oeste”, política pública concebida durante o governo de Getúlio Vargas, que tinha por objetivo ocupar e explorar o potencial econômico do interior do País (HESPANHOL, 2000, GODOI, 2019).

No período entre 1940 e 1950, foram criadas algumas colônias agrícolas e foram abertas vias de acesso no centro-oeste. A expansão da rede pavimentada provocou a valorização dessa região, avançou sobre áreas que antes estavam protegidas pela dificuldade de acesso, ampliando a fronteira agropecuária e causando uma ocupação desordenada (PICHININ, 2007, GODOI, 2019), crescimento econômico, populacional e urbano, e originando dezenas de municípios (SANTIAGO, 2017).

Na década de 60, a região iniciou um processo de transformação de sua estrutura produtiva, impulsionada pela ação estatal através dos programas de incentivo à modernização agropecuária, como os Programas de Desenvolvimento do Centro-Oeste (PRODOESTE), Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER) e pela ação da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) (CUNHA, 2006, GODOI, 2019).

A chamada Revolução Verde de 1970 trouxe aos proprietários rurais a mecanização agrícola, defensivos agrônômicos, adubos e fertilizantes, melhoramento genético de sementes, ou seja, a possibilidade de produzir em larga escala (AGUIAR, 2005), fundamental para a estrutura produtiva (CUNHA, 2006, MARIOTTI, 2015, GODOI, 2019). Posteriormente, o Estado passou a incentivar que os pequenos produtores se engajassem em projetos de colonização, característicos da década de 80, em substituição aos grandes projetos agropecuários da década de 70. E a abertura dos grandes eixos rodoviários, especialmente a BR-163, trecho Cuiabá-Santarém, foi um marco representativo da efetiva implantação dos projetos de colonização (CUNHA, 2006, GODOI, 2019).

Ainda em 1970, houve a criação do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), designado para realizar a reforma agrária, manter o cadastro nacional de imóveis rurais e administrar as terras da União (MARIOTTI, 2015, GODOI, 2019). E durante o Governo Militar, a ocupação da Amazônia tornou-se prioridade para a segurança nacional (GODOI, 2019) e esse contexto transformou a Amazônia Mato-grossense numa grande fronteira agrícola, que está em expansão até os dias de hoje.

Esse histórico de ocupação foi o início do contínuo processo de impactos ambientais que a região centro-oeste vem sofrendo, oriundos, principalmente, do desmatamento e queimadas para a expansão da fronteira agrícola, e os demais problemas ambientais, que ganharam visibilidade na década de 1990, como as contaminações do solo e recursos hídricos provocados pela mineração, invasões às terras indígenas e a poluição resultante do uso de pesticidas nas áreas agrícolas localizadas ao longo das cabeceiras dos principais rios da planície (ALHO *et al.*, 1988).

A região centro-oeste abriga o Pantanal, que faz fronteira com três outros domínios fitogeográficos do Continente Sul-Americano: a Floresta Amazônica, o Cerrado e o Chaco (ADÁMOLI, 1987; MATOS, 2014), e que vem sofrendo bastante pressão antrópica por estar em uma área de transição entre o sudeste/sul brasileiro, que são regiões industrializadas, e o norte do Brasil, ainda bastante preservado. E também devido à economia do bioma, que se baseia na agroindústria, pois desde o declínio da atividade mineradora no século XVIII, consolidou na área a agropecuária, sendo a pecuária extensiva a principal atividade econômica.

Desde então, os ecossistemas que o bioma abriga são fortemente impactados pela conversão gradativa para pastagens com manejo (NUNES DA CUNHA; JUNK, 2009). Essa conversão ameaça a conservação da biodiversidade tanto na própria planície pantaneira, quanto no planalto adjacente, resultando em processos erosivos severos que causam deposição de sedimentos nas depressões e alteram os padrões de fluxo de água e regimes hidrológicos (HARRIS *et al.*, 2005). Estudos mostram que, a partir de 2010, essa conversão foi a responsável por mais da metade das alterações verificadas no bioma (IBGE, 2020).

O fogo é muito utilizado pelos agricultores para limpeza, renovação das pastagens e na eliminação de restos vegetais resultantes do desmatamento (VIEIRA, 2021). Os incêndios no Pantanal ocorrem preferencialmente na estação seca e o fogo somado ao biocombustível seco e ventos fortes atingem grandes áreas (VIEIRA, 2021). De acordo com Miranda e Sato (2005),

as queimas durante a época seca resultam em mudanças bem mais significativas na estrutura e composição florística da vegetação do que as ocorridas na época chuvosa. Estudo mostra que a queima condiciona menor produção de biomassa aérea total, representando aproximadamente 25% da biomassa presente em áreas sem queima, e exposição excessiva do solo após a passagem do fogo (MATOS, 2014).

Sendo o fogo um distúrbio que também provoca impactos sobre a fauna, afetando a riqueza das comunidades ecológicas, mortes, queimaduras e intoxicação de animais e a passagem do mesmo acarreta mudanças na estrutura das comunidades animais devido às mudanças na paisagem (FRIZZO *et al.*, 2011, MATOS, 2014). O calor gerado pela queima causa efeitos sobre o solo, promovendo o aumento da erosão, devido à maior exposição da superfície através do consumo da cobertura vegetal, e mudanças das características físicas e químicas do mesmo (SOARES; BATISTA, 2007, MATOS, 2014). A queima de biomassa também contribui na emissão de gases e partículas poluentes, gerando impactos sobre o balanço radiativo da superfície, propriedades das nuvens e qualidade do ar (GRÉGOIRE *et al.*, 2003, KAUFMAN *et al.*, 2003, GRÉGOIRE *et al.*, 2013, MATOS, 2014).

No Brasil e em outros países, as estatísticas sobre as ocorrências de focos de calor mostram que a grande maioria inicia a partir de fontes relacionadas direta ou indiretamente às atividades humanas. E é possível observar que existe uma correlação positiva entre a presença do fogo e a economia do Pantanal (SANTIAGO, 2017). Compreender os vários fatores determinantes do risco e do perigo de incêndios florestais é essencial para o melhor planejamento das atividades de prevenção, definição de regime de queima, a previsão do comportamento do fogo visando à adoção de técnicas mais eficazes para o monitoramento e fiscalização ambiental (NUNES, 2005).

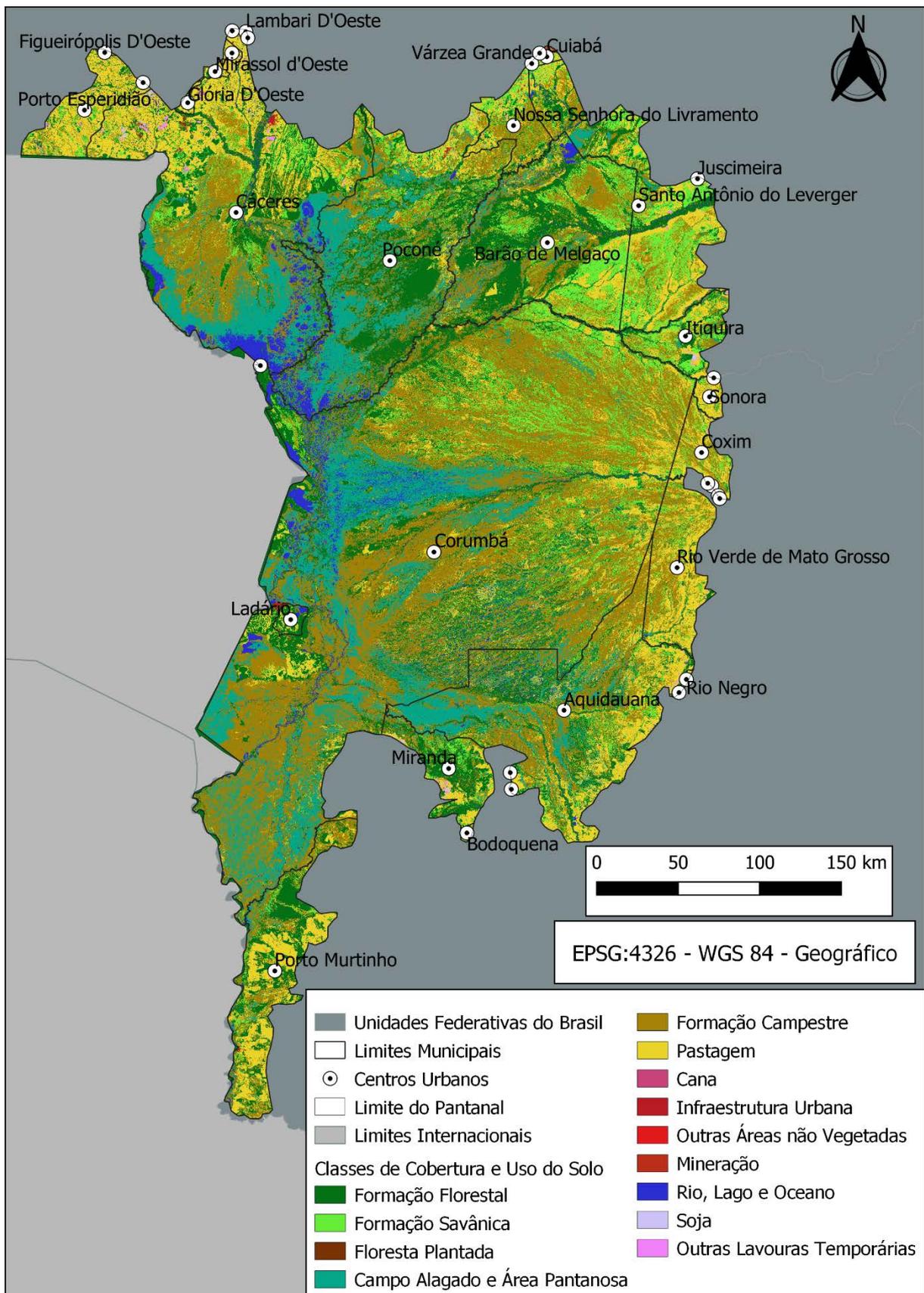
Em áreas com grande extensão territorial, como o Pantanal, o meio mais rápido e de baixo custo, ou seja, mais eficiente para o monitoramento de incêndios florestais e queimadas é o sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélites (LOPES, 2017, VIGANÓ, 2018, RAMOS, 2018). Pois o mesmo possui ferramentas para o processo de mapeamento e interpretação de dados provenientes de focos de calor, proporcionando uma ampla visão sobre a distribuição espaço-temporal e padrões do fogo em diferentes escalas (SOUZA *et al.*, 2016). Nesse contexto, as geotecnologias são grandes aliadas para a compreensão das tendências e causas das modificações da cobertura e uso do solo e, assim, estabelecer políticas públicas voltadas à proteção ambiental, planejamento e gestão territorial (RAMOS, 2018).

### **3.2. Cobertura e uso do solo no Pantanal**

De acordo com Novo (2010), o termo “uso do solo” refere-se à utilização cultural do espaço, enquanto o termo “cobertura do solo” refere-se ao seu revestimento. Sendo assim, Rosa (2007) destaca que o estudo da cobertura e uso do solo consiste em buscar conhecimento de toda a utilização da superfície terrestre por parte do homem ou, quando não utilizada, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que revestem o solo, como também suas respectivas localizações (VALE, 2019).

O Pantanal possui uma extensão territorial de 150.355 Km<sup>2</sup> com uma grande heterogeneidade na distribuição temporal e espacial da cobertura e uso do solo, resultantes de oscilações anuais entre períodos de seca e inundação, topografia e tipos de solo da região, bem como alterações por atividades antrópicas (ROSSI; SANTOS, 2020). Na Figura 1 podemos observar o mapa de cobertura e uso do solo do Pantanal do ano de 2019 (MAPBIOMAS, 2019), em que podemos destacar as classes: Formação campestre (37,27%), Formação florestal (20,08%), Pastagem (15,85%), Campo alagado e área pantanosa (15,10%) e Formação savânica (8,89%), que representam mais de 90% da área do bioma.

A Tabela 1 demonstra os valores das classes de cobertura e uso do solo e suas respectivas porcentagens em relação ao bioma pantaneiro no período de 2010 a 2020, em que podemos verificar uma diminuição de 14,57% na vegetação de campos alagados e áreas pantanosas, que em 2010 tinha uma área de 26.582 Km<sup>2</sup> e, em 2020, passou a ter 22.708 Km<sup>2</sup>. Outra mudança na vegetação, que podemos destacar, é o aumento de 1,92% nas fitofisionomias vegetais mais abertas (formação savânica e campestre), que em 2010 tinham uma área de 68.101 Km<sup>2</sup> e, em 2020, passou a ter 69.408 Km<sup>2</sup>. Outra evidência é um aumento de 12,46% nas áreas destinadas às atividades agroflorestais, que em 2010 tinham uma área de 21.531 Km<sup>2</sup> e, em 2020, passaram a ter 24.214 Km<sup>2</sup>. Segundo o IBGE, até o ano de 2018, 87,5% do Pantanal era vegetação nativa remanescente (IBGE, 2018).



**Figura 1.** Mapa de cobertura e uso do solo do bioma Pantanal do ano de 2019 (Adaptado do Projeto MapBiomias, coleção 5).

**Tabela 1.** Classes de cobertura e uso do solo, suas respectivas porcentagens em relação ao bioma pantaneiro, no período de 2010 a 2020. (Fonte Projeto MapBiomias, coleção 5).

Classes de uso do solo	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	Km <sup>2</sup>	%																		
<b>Cana</b>	3	0,002	6	0,004	8	0,005	8	0,005	17	0,011	29	0,019	34	0,023	34	0,023	38	0,025	43	0,029
<b>Outras lavouras temporárias</b>	74	0,049	94	0,063	101	0,067	115	0,076	110	0,073	132	0,088	132	0,088	174	0,116	187	0,124	194	0,129
<b>Pastagem</b>	21405	14,236	21091	14,027	21338	14,192	21495	14,296	21543	14,328	21764	14,475	22665	15,074	22785	15,154	23430	15,583	23838	15,854
<b>Soja</b>	15	0,010	10	0,007	16	0,011	23	0,015	18	0,012	27	0,018	35	0,023	45	0,030	45	0,030	73	0,049
<b>Infraestrutura urbana</b>	83	0,055	86	0,057	88	0,059	90	0,060	92	0,061	93	0,062	93	0,062	94	0,063	94	0,063	95	0,063
<b>Outras áreas não vegetadas</b>	7	0,005	5	0,003	5	0,003	5	0,003	2	0,001	2	0,001	4	0,003	8	0,005	10	0,007	13	0,009
<b>Mineração</b>	18	0,012	19	0,013	20	0,013	22	0,015	26	0,017	25	0,017	27	0,018	27	0,018	27	0,018	26	0,017
<b>Rio, lago e oceano</b>	4117	2,738	4131	2,747	4116	2,738	4073	2,709	4075	2,710	4114	2,736	4098	2,726	4092	2,722	4102	2,728	4126	2,744
<b>Floresta plantada</b>	34	0,023	52	0,035	47	0,031	37	0,025	47	0,031	49	0,033	46	0,031	65	0,043	62	0,041	66	0,044
<b>Formação florestal</b>	30345	20,182	30699	20,418	30413	20,227	30415	20,229	30785	20,475	30251	20,120	30524	20,301	30249	20,118	30603	20,354	30191	20,080
<b>Formação savânica</b>	14195	9,441	14969	9,956	14365	9,554	14495	9,641	15065	10,020	14737	9,801	14946	9,940	14537	9,668	14563	9,686	13368	8,891
<b>Campo alagado e área pantanosa</b>	26582	17,679	33558	22,319	19570	13,016	23757	15,801	33966	22,591	23912	15,904	24949	16,593	23593	15,692	34210	22,753	22708	15,103
<b>Formação campestre</b>	53906	35,852	46064	30,637	60697	40,369	56248	37,410	45037	29,954	55650	37,012	53229	35,402	55077	36,631	43414	28,874	56040	37,272

### **3.3. Unidades de Conservação (UCs) do Pantanal**

Segundo a Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, Art. 2º, inciso I, as Unidades de Conservação (UCs) são:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

E são subdivididas em dois grupos de acordo com os objetivos das mesmas. E o Artigo 2º, inciso VI define os objetivos das Unidades de Proteção Integral como:

Manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais.

E no mesmo Artigo 2º, o inciso XI define os objetivos das Unidades de Uso Sustentável como:

Exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

Encontram-se inseridas no Pantanal 18 UCs, equivalente a 3,32% do bioma, dos quais sete (2,91%) são de proteção integral e onze (0,41%) são de uso sustentável, distribuídas nas categorias de Estação Ecológica, Parque, Monumento Natural, Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural. As sete UCs de Proteção Integral do Pantanal são:

- Estação Ecológica de Taiamã com 11.554,996 hectares, criada pelo Decreto nº 86061, de 04/06/1981;
- Monumento Natural Morro de Santo Antônio com 258,235 hectares, criado pela Lei complementar nº 8.504, de 09/06/2006;
- Parque Estadual Encontro das Águas com 108.131,023 hectares, criado pelo Decreto nº 4.881, de 22/12/2004;
- Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro com 77.907,940 hectares, criado pelo Decreto nº 9.941, de 06/06/2000;
- Parque Estadual do Guirá com 104.663,067 hectares, criado pela Lei ordinária nº 7.625, de 15/01/2002; e
- Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense com 135.922,845 hectares, criado pelo Decreto nº 88392, de 24/09/1981;

•Parque Natural Municipal de Piraputangas com 1.923,015 hectares, criado pelo Decreto nº 078, de 22/05/2003.

E as 11 (onze) UCs de Uso Sustentável são:

•Área de Proteção Ambiental Baía Negra com 5.990,537 hectares, criada pelo Decreto nº 1735/2010, de 15/10/2010;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Reserva Natural Engenheiro Eliezer Batista com 12.609,801 hectares, criada pela Portaria nº 51, de 25/07/2008;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Santa Cecília II com 8.984,040 hectares, criada pela Deliberação nº 002, de 08/08/1998;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Poleiro Grande com 16.540,464 hectares, criada pela Deliberação nº 05, de 08/05/1998;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Nhumirim com 671,299 hectares, criada pela Deliberação nº 006, de 18/11/1999;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Santa Sofia com 8.056,570 hectares, criada pela Deliberação nº 004, de 30/08/1999;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Rumo ao Oeste com 954,768 hectares, criada pela Deliberação nº 022, de 09/06/2005;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Rio Negro com 7.001,372 hectares, criada pela Deliberação nº 10, de 28/05/2001;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Pioneira do Rio Piquiri com 195,886 hectares, criada pela Resolução nº 013, de 05/09/2013;

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Alegria com 1.136,277 hectares, criada pela Resolução nº 019, de 06/08/2008; e

•Reserva Particular do Patrimônio Natural Portal do Pantanal I com 111,076 hectares, criada pela Deliberação nº 013, de 04/07/2001.

### 3.4. Bases de dados

#### 3.4.1. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias)

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias), criado em 2015, é uma iniciativa de monitoramento aberto e colaborativo, que conta com especialistas nos biomas e uso dos solos, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas (SIG) e ciência da computação, de universidades, empresas e organizações não governamentais (ONGs), que tem como objetivo mapear o uso e cobertura do solo anualmente, contribuir para o entendimento dessa dinâmica no Brasil e ter uma continuidade de dados, acessíveis e de baixo custo (MAPBIOMAS, 2021).

O mapeamento produzido é 100% automatizado baseado na classificação de séries de imagens do satélite Landsat com o uso de algoritmos de árvore de decisão do tipo *Random Forest*. O processamento é feito na infraestrutura de computação em nuvem com uso da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) e armazenamento usando o Google Cloud (MAPBIOMAS, 2021).

O projeto MapBiomias produz mapas de uso do solo em parceria com o GEE, em séries anuais, no formato matricial (pixel de 30 x 30 m), abrangendo horizonte de dados de 36 anos, a partir de 1985 até os dias atuais. Além de disponibilizar mosaico de imagens de satélite anuais, com resolução espacial máxima de 30 m, onde são tomadas em diferentes épocas do ano a depender do bioma e tema do estudo. Os mosaicos possuem até 105 camadas de informações, incluindo as camadas espectrais e índices de vegetação (MAPBIOMAS, 2021). Todas as informações anuais de cobertura e uso da terra de 1985 a 2020 estão disponibilizadas de forma gratuita no site <https://mapbiomas.org/> em formatos Geotiff e Excel (MAURANO; ESCADA, 2019).

#### 3.4.2. Sensor MODIS

O sensor MODIS lançado a bordo dos satélites TERRA em 1999 e do satélite AQUA em 2002 (JUSTICE *et al.*, 2002), foi desenvolvido para promover o monitoramento da superfície terrestre, oceanos e atmosfera (JUSTICE *et al.*, 1998). Seus dados ajudam na melhor compreensão da dinâmica dos processos que ocorrem no planeta Terra e na previsão das mudanças globais, que podem auxiliar nas tomadas de decisões (MODIS Website, 2021).

Os satélites TERRA e AQUA estão operando a uma órbita polar heliosíncrona, com altitude orbital média de 705 Km, que alcança uma faixa de 2.330 Km de extensão, com

resolução temporal de 1 – 2 dias. Possuem 36 bandas espectrais, onde os comprimentos de onda variam de 0,4  $\mu\text{m}$  a 14,4  $\mu\text{m}$ , têm uma sensibilidade de 12 bits, ou seja, as radiâncias detectadas são quantificadas em classes dinâmicas, implicando em 4.096 níveis digitais (PIROMAL *et al.*, 2008). O sensor MODIS é um instrumento eletro-óptico de varredura mecânica, que utiliza o movimento do satélite para fornecer um imageamento na direção do voo. São imageadas em cada banda, 10 fileiras de pixels para os detectores de 1 Km, 20 para os de 500 m, e 40 para os de 250 m de resolução espacial. Os detectores do MODIS são divididos em quatro planos focais: Infravermelho Termal, Infravermelho Médio, Infravermelho Próximo e Visível (LATORRE *et al.*, 2003).

De acordo com Justice *et al.* (2002), os produtos MODIS são gerados com certa hierarquia, divididas em níveis de 0 a 4:

- Nível 0: A imagem está em estado bruto, sem nenhum tratamento. Não está disponível ao público, assim, não consta no catálogo de produtos do sensor MODIS;

- Nível 1 (A1): Contém base de dados de 36 canais do MODIS. Estes são usados como dados de entrada de geolocalização, calibração e processamento. São adicionados a esses dados indicadores de qualidade, com a finalidade de indicar perda ou má qualidade de pixel. As faixas do Visível e Infravermelho Próximo e Médio são medidas apenas durante o dia, sendo as faixas do Infravermelho termal, de possível medição em ambos os turnos;

- Nível 1 (1B): Os produtos também possuem dados de geolocalização e calibração, para as 36 bandas geradas no nível anterior. Neste nível a refletância bidirecional (BRDF) determina-se pelas bandas reflectivas solares, a partir do conhecimento da radiação solar. Dados de estimativa de qualidade, erro e calibração são acrescentados a esse nível;

- Nível 2: os produtos são obtidos das radiâncias calibradas dos produtos MODIS anteriores;

- Nível 3: neste nível, os produtos são novamente amostrados espacialmente e temporalmente com o objetivo de produzir estimativas das variáveis geofísicas para as grades de localização; e

- Nível 4: neste nível, os produtos resultam da incorporação dos dados MODIS em modelos feitos para estimar as variáveis geofísicas.

### 3.4.3. Produto MCD64A1 do sensor MODIS

Existem diversos produtos gerados a partir do sensor MODIS cujo objetivo é quantificar e detectar as mudanças naturais e antrópicas no planeta Terra. O produto de áreas queimadas,

MODIS MCD64A1, é disponibilizado pelo Serviço Geológico Americano (USGS, *Science for a Changing World*) através do site <https://earthexplorer.usgs.gov/>, tem periodicidade mensal, capaz de identificar e reconhecer áreas queimadas a nível 3 de qualidade de informação por pixel, usa imagens de espectro radiômetro de 500 m, composta com observações de fogo ativo, pelo MODIS de 1 Km (GIGLIO *et al.*, 2020). Usa índice de Vegetação (VI) compostos pelas Bandas 5 e 7 de refletância de superfície, corrigida por infravermelho e ondas curtas de MODIS, sensível para queimadas, gerando assim, limites dinâmicos aplicados aos dados compostos (VIEIRA, 2021).

As camadas fornecidas no produto MCD64A1 incluem (BENFICA *et al.*, 2020):

- *Burn date* – Data da queimada;
- *Burn Data Uncertainty* - Incerteza da data da queimada;
- *Quality Assurance* – Garantia de qualidade; e
- Primeiro e último dia detecção de alterações do ano.

### **3.5. Softwares**

#### **4.3.1. Plataforma *Google Earth Engine (GEE)***

O *Google Earth Engine (GEE)* é uma plataforma tecnológica desenvolvida para análise de dados ambientais em escala planetária. Esta plataforma, através do *Google Cloud*, disponibiliza um acervo de mais de quarenta anos de imagens de satélite da missão Landsat, um acervo de sete anos do satélite Sentinel- 2 (GEE, 2021) e ferramentas computacionais necessárias para cientistas e outros interessados detectarem mudanças e tendências na superfície terrestre, nos oceanos e na atmosfera (GORELICK *et al.*, 2017, VALE, 2019).

E apesar de ser uma plataforma recente, o GEE tem sido utilizado para fins diversos, como governamentais, corporativos e científicos, abrangendo tópicos como a mudança na cobertura florestal em escala global (HANSEN *et al.*, 2013), dinâmica da água doce superficial disponível no mundo (PEKEL *et al.*, 2016), estimativa de produção agrícola (LOBELL *et al.*, 2015), mapeamento da expansão urbana (ZHANG *et al.*, 2015), mapeamento do risco de áreas susceptíveis a enchentes (COLTIN *et al.*, 2016), no uso de índices de vegetação (HUANG *et al.*, 2017, AIRES, 2018), na análise de incêndios florestais e queimadas (VIEIRA, 2021) etc.

#### **4.3.2. *Quantum-Gis (QGis)***

O *Quantum-GIS (QGis)* foi criado em 2002, sendo o resultado de um projeto da *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. A administração dele é feita por um grupo de técnicos

e especialistas em geoprocessamento do *Project Steering Committee* (PEJOVIĆ *et al.*, 2014, ITO *et al.*, 2017). O QGIS é um *software* gratuito de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU). Foi escrito nas linguagens de programação C++1 e Python2 e funciona nas plataformas Mac OSX, Windows, Linux, Unix e Android (ITO *et al.*, 2017).

O QGIS permite o emprego de arquivos *raster*, vetoriais etc., em que se pode visualizar, analisar e editar dados espaciais (QGIS, 2021). Os usuários, através dele, podem criar mapas multicamadas para inúmeras finalidades, como análises ambientais, urbanas, demográficas, dentre outras (PEJOVIĆ *et al.*, 2014). E as funcionalidades do QGIS têm aumentado constantemente por meio de funções nativas e de complementos. São lançadas novas versões do *software* periodicamente, que podem ser instaladas através do site <https://www.qgis.org/en/site/>

### 3.6 Estimador de Densidade Kernel

O estimador de densidade Kernel é um método estatístico não paramétrico, que tem diversas aplicações práticas, atualmente tem sido muito utilizado para mapear ocorrências de focos de calor (DE LA RIVA *et al.*, 2004), pois pode produzir uma boa representação visual da distribuição espacial desses eventos (MATOS, 2014). Matematicamente, o estimador é definido como (SILVERMAN, 1986):

$$f(x) = 1/nh^2 \sum_{i=1}^n K \{x - X_i/h\}$$

Onde:

n é o número de pontos observados;

h é a largura de banda;

K é a função Kernel;

x é o vetor de coordenada que representa a localização do ponto estimado; e

X<sub>i</sub> é o vetor da i-ésima coordenada que representa cada ponto observado em relação ao estimado.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de estudo

O Pantanal possui uma extensão de 150.355 Km<sup>2</sup> (Figura 2), localizado entre os paralelos 16° e 22° de latitude sul e entre os meridianos 55° e 59° de longitude oeste (ALLEM; VALLS, 1987), a uma altitude de aproximadamente 150 metros ao nível do mar (MATOS, 2014). Sua área equivale a 1,8% do território brasileiro (IBGE, 2021) e está na região centro-oeste, distribuída entre os estados de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%) (MATOS, 2014).

Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger (1928), a região é caracterizada por clima de savana (Aw), com duas estações bem definidas, os verões chuvosos e os invernos secos. A pluviosidade varia de 1.000 a 1.400 mm por ano, sendo que 80% precipitam-se durante a estação chuvosa, entre novembro e março (MATOS, 2014). A temperatura média anual oscila em torno de 25°C e entre os meses de setembro a dezembro as temperaturas máximas absolutas podem ultrapassar 40°C (PCBAP, 1997).

No período seco, o Pantanal se assemelha ao Cerrado, porém no período chuvoso o bioma modifica-se drasticamente, pois 80% de sua área alaga-se (MATOS, 2014). O ciclo de inundação no Pantanal é o principal fator ecológico na determinação de seus padrões e processos (JUNK, SILVA, 1999, OLIVEIRA; CALHEIROS, 2000, MMA, 2007), o ciclo é do tipo monomodal, ou seja, varia de intensidade no decorrer dos anos, havendo alternâncias de anos muito chuvosos ou anos mais secos (HOMILTON *et al.*, 1996, MATOS, 2014), com amplitudes que variam de dois a cinco metros e com duração de três a seis meses (MMA, 2007).

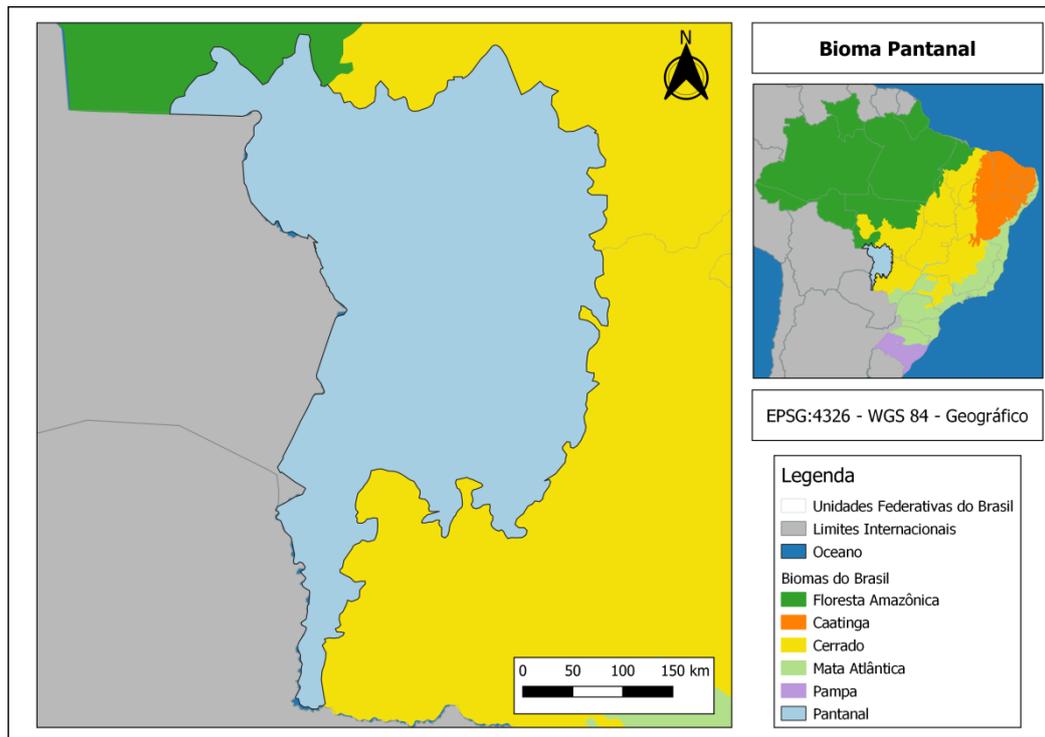
A maior parte do bioma Pantanal é formada por solos hidromórficos, arenosos, de baixa fertilidade e com uma drenagem deficiente, que explica a tendência a inundações (SANTOS, 2001). Os solos apresentam características bastante diversificadas, parte influenciada por sua origem sedimentar, ocorrendo em fases arenosa e argilosa (ALLEM; VALLS, 1987), e outra parte influenciada pelo regime de inundação (PCBAP, 1997).

O Pantanal está inserido na interbacia 89, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Prata (Figura 3) (PFASFSTETTER, 1989), cujas cabeceiras dos rios estão localizadas no Cerrado (MMA, 2007). O rio Paraguai é o mais importante entre os inúmeros rios que percorrem a região pantaneira, sua trajetória tem 2.730 Km de extensão, sentido norte-sul, desde suas nascentes até o encontro com o rio Paraná, na fronteira argentino-paraguaia. Outros rios

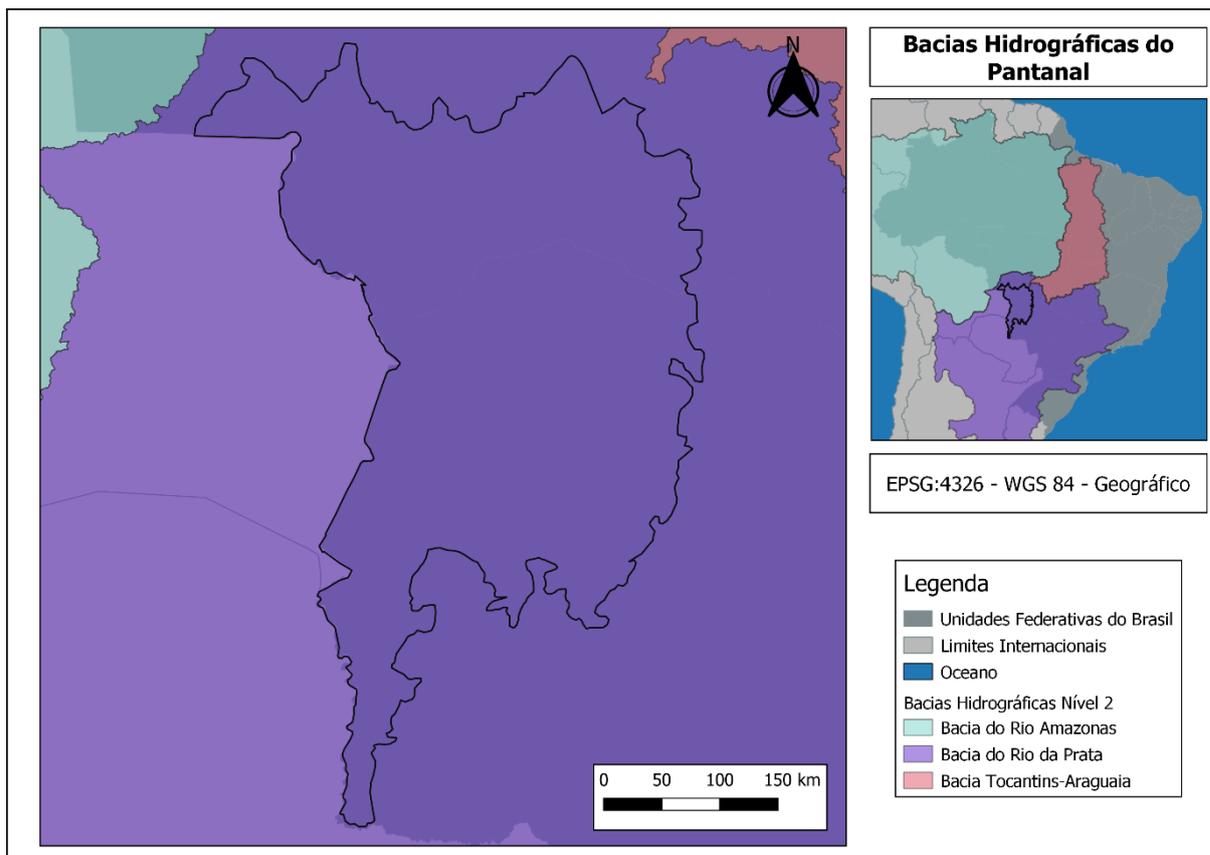
importantes para a região são: rio Negro, Miranda, Aquidauana, Bento Gomes, Nabileque, Taquari, Cuiabá, entre outros (ALLEM; VALLS, 1987, MATOS, 2014).

O Pantanal abriga uma rica diversidade biológica terrestre e aquática (POTT, ADÁMOLI, 1999, MMA, 2007), com cerca de 2.000 espécies de plantas (FLORA DO BRASIL 2020), 132 mamíferos, 41 anfíbios, 113 répteis (MMA, 2018), 265 peixes (BRITSKI *et al.* 2007), 582 aves (NUNES, 2011), sendo que 117 dessas aves são ameaçadas de extinção e 130 delas são migratórias (ANTAS, 1994, NUNES; TOMÁS, 2004). Também vale ressaltar que o Pantanal possui a função ecológica de servir como local de alimentação para as aves migratórias, sendo um ambiente de extrema importância para a conservação e a manutenção de tais espécies (NUNES; TOMAS, 2004).

O bioma Pantanal é um complexo de ecossistemas, pois se trata de uma região de encontro entre três importantes províncias fitogeográficas do Continente Sul-Americano (ADÁMOLI, 1987, MATOS, 2014): a Floresta Amazônica, o Cerrado e o Chaco. Com base no monitoramento do IBGE de 2000 a 2018, o Pantanal tem predominância de vegetação campestre, vegetação florestal e áreas úmidas (IBGE, 2020).



**Figura 2.** Localização da área de estudo, o bioma Pantanal. (Fonte: IBGE, 2021).



**Figura 3.** Bacias Hidrográficas do bioma Pantanal. (Fonte: ANA, 2021).

## 4.2 Análises

### 4.2.1 Análise temporal das áreas queimadas

Esta análise foi obtida pela sobreposição do limite do bioma Pantanal com os dados do produto MODIS MCD64A1 utilizando um código de execução, na plataforma GEE.

Pantanal + MODIS MCD64A1 + GEE

### 4.2.2 Recorrência do fogo

Esta análise foi realizada no *software* QGIS, versão 3.20 Odense, utilizando a ferramenta “Calculadora de Raster”.

“Calculadora de Raster” QGIS

### 4.2.3 Cálculo de áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo

A estimativa das áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo foi obtida pela sobreposição dos dados do projeto MapBiomas, coleção 5, e os dados do produto MODIS MCD64A1 através de um código de execução, na plataforma GEE.

MapBiomas + MODIS MCD64A1 + GEE

#### 4.2.4 Análise espacial das áreas queimadas

Esta análise foi realizada no *software* QGIS, versão 3.20 Odense, utilizando a ferramenta “Mapa de calor”, que é baseada no Estimador de Densidade Kernel. Os parâmetros utilizados na análise foram os fornecidos pela própria ferramenta no *software*.

“Mapa de calor” QGIS

#### 4.2.5 Cálculo de áreas queimadas em Unidades de Conservação (UCs)

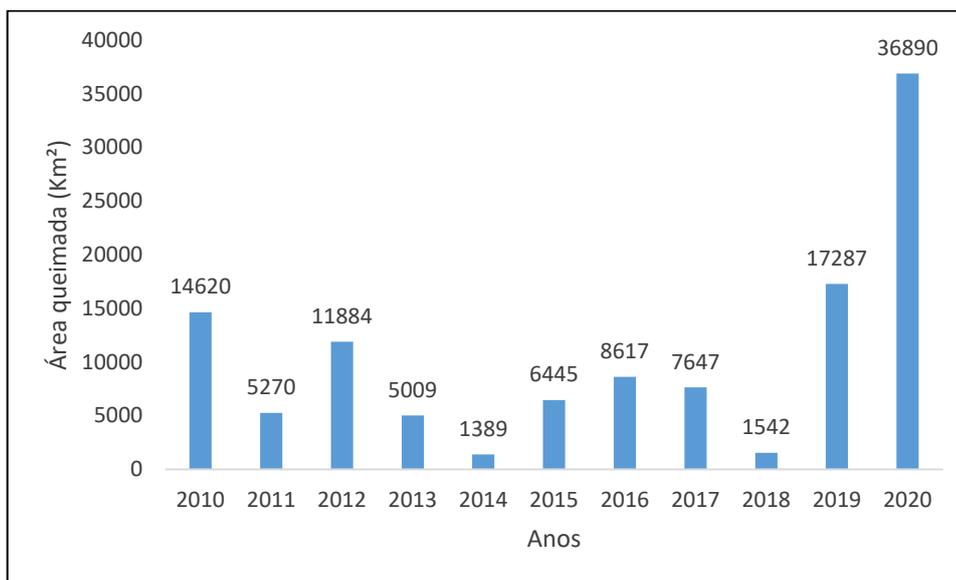
A estimativa das áreas queimadas em Unidades de Conservação (UCs) foi obtida pela sobreposição dos limites das UCs com os dados do produto MODIS MCD64A1 através de um código de execução, na plataforma GEE. Vale destacar que o Pantanal abriga outras áreas protegidas, como as Florestas Públicas tipo B, as Terras Indígenas (TIs), os quilombos e os assentamentos do INCRA, porém essas áreas não foram consideradas na análise.

UCs + MODIS MCD64A1 + GEE

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Dinâmica temporal das áreas queimadas no bioma Pantanal

A partir do estudo realizado entre os anos de 2010 e 2020, constatou-se o aumento das áreas queimadas no bioma Pantanal nos últimos dois anos, apesar de grande variação na área total anual atingida pelo fogo no período de estudo (Figura 4). O ano que apresentou maior extensão de área queimada foi 2020, com 36.890 Km<sup>2</sup>, seguido do ano de 2019, com 17.287 Km<sup>2</sup>. Em 2020, houve um aumento de aproximadamente 113,40% na área queimada, quando comparado ao ano anterior.



**Figura 4.** Área total atingida por fogo no bioma Pantanal, no período de 2010 a 2020.

Estudos mostram que a alta incidência de focos de calor em determinados anos se deve ao acúmulo de material combustível dos anos precedentes decorrente de fatores climáticos. Podemos verificar esse fenômeno quando comparamos a área queimada de 2012, que mais que dobrou em relação à de 2011. E em 2011 ocorreram grandes enchentes no bioma Pantanal, tornando a vegetação mais propícia à queima quando submetida às condições climáticas de altas temperaturas e radiação solar e baixa umidade relativa do ar nos anos seguintes. 2014 também apresentou uma área queimada inferior a 2015, decorrente da alta umidade relativa do ar, apresentando a média acima de 60% naquele ano (VIGANÓ, 2018).

Os grandes valores de incêndios em 2010, 2012, 2015, 2016, 2019 e 2020 podem estar associados à forte seca causada pelo fenômeno *El Niño-Oscilação Sul* (ENOS) (ROSSI; SANTO, 2020). O ENSO tem uma influência perceptível no clima do centro-oeste brasileiro e, conseqüentemente, na dinâmica dos sistemas meteorológicos atuantes na região (LYRA *et al.*, 2014, TEODORO *et al.*, 2015, SILVA JÚNIOR *et al.*, 2015, OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*,

2020 ), que alguns autores destacam como o responsável por diminuir os níveis pluviométricos e aumentar a suscetibilidade do Pantanal à queima (LIU *et al.*, 2018 ).

Como encontrado por Soriano *et al.* (2015), as altas concentrações de queimadas e incêndios florestais, no período de estudo, ocorreram entre os meses de julho a setembro, durante a estiagem do bioma pantaneiro. Sendo os meses de agosto e setembro os que possuem maiores concentrações de focos de calor, pois eles coincidem com o final do período seco, quando ocorrem os mais baixos índices de umidade relativa do ar, concomitantemente com os maiores valores de velocidade do vento e os elementos climáticos no geral contribuem fortemente com o processo de combustão da vegetação (VIGANÓ *et al.*, 2017, 2018). E o período de outubro a março apresentou uma baixa concentração de focos de calor, coincidindo com o período chuvoso. Os gráficos anuais das áreas queimadas encontram-se no Apêndice deste trabalho.

Segundo Chaves *et al.* (2020), atualmente, os incêndios são os maiores problemas enfrentados pelo Pantanal. Em 2020, devido às queimadas, o número das áreas nativas do bioma, que foram devastadas, foi superado mais de 10 vezes que nos últimos anos (SILVEIRA, 2020). Estudos apontam que a principal fonte de ignição do fogo são as atividades antrópicas (BARROSO; SOARES; GARCIA, 2020) e esse fator aliado às condições meteorológicas favoráveis são as causas dos alarmantes números de focos de calor.

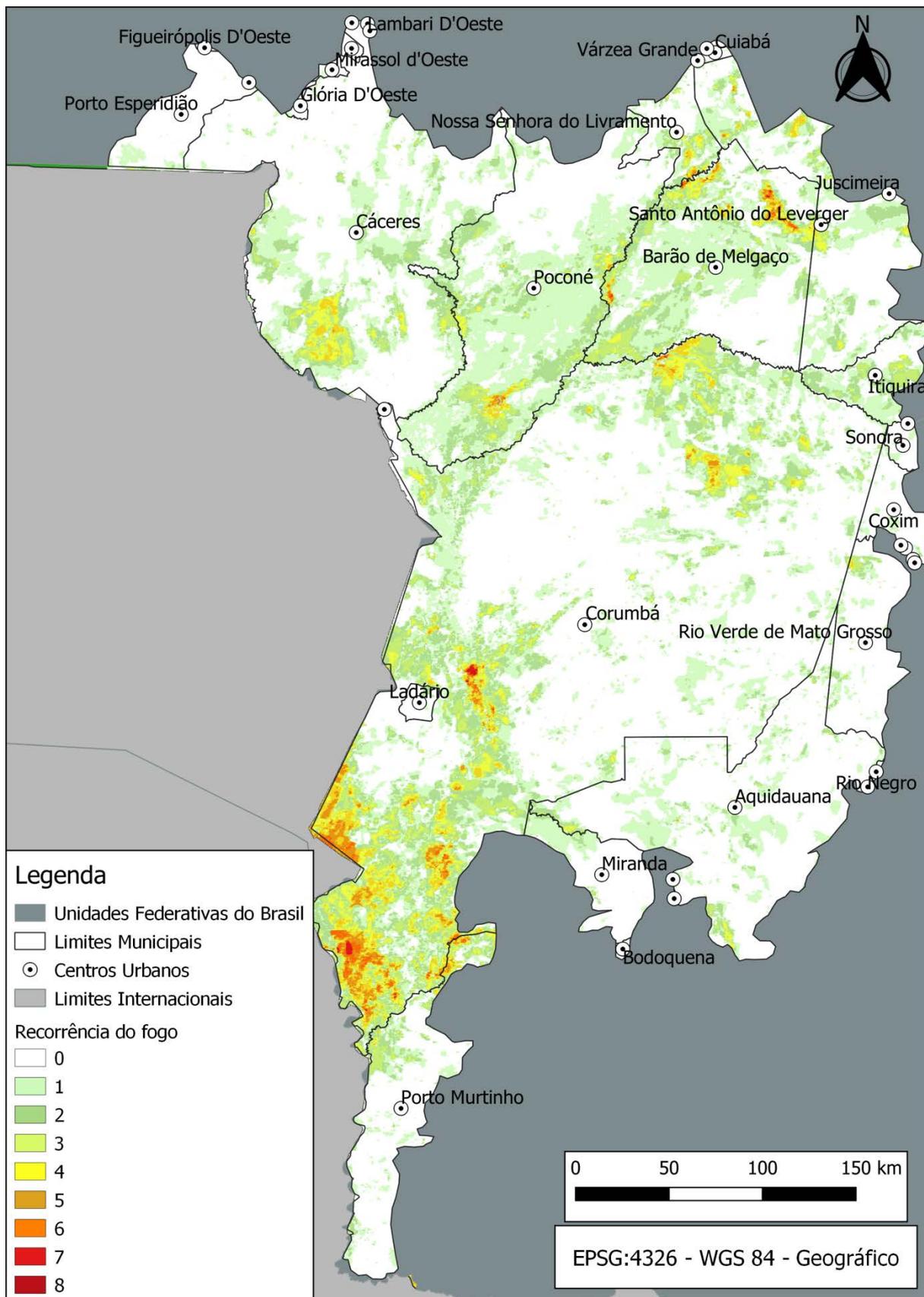
## 5.2. Recorrência do fogo no bioma Pantanal

A Tabela 2 mostra a recorrência dos incêndios florestais no bioma Pantanal. Neste estudo, estimou-se que aproximadamente 60% da área não queimou nenhuma vez, 22,85% da área queimou uma (1) vez, 9,18% da área queimou duas (2) vezes e 9,42% queimaram pelo menos três (3) vezes no período analisado.

**Tabela 2.** Recorrência de fogo no bioma Pantanal no período de 2010 a 2020.

Recorrência de fogo	Área (Km <sup>2</sup> )	% do Pantanal
Não queimou	88911,30	59,13
Queimou uma (1) vez	34355,30	22,85
Queimou duas (2) vezes	13796,50	9,18
Queimou três (3) vezes	6941,25	4,62
Queimou quatro (4) vezes	3685,75	2,45
Queimou cinco (5) vezes	2103,00	1,40
Queimou seis (6) vezes	1033,75	0,69
Queimou sete (7) vezes	332,50	0,22
Queimou oito (8) vezes	61,25	0,04

A Figura 5 mostra que as áreas em que a ocorrência dos incêndios se repetiu sete e oito vezes, representadas nas cores vermelhas, concentram-se, principalmente, no Mato Grosso do Sul, que está em décimo lugar entre os estados brasileiros com maior densidade de focos de incêndios (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2020). E assim como encontrado por Oliveira-Júnior *et al.* (2020), a região sul do município de Corumbá/MS, onde as coberturas vegetais predominantes são a formação campestre, os campos alagados e áreas pantanosas, se destacam com as maiores ocorrências de focos de incêndio nos anos de estudo.



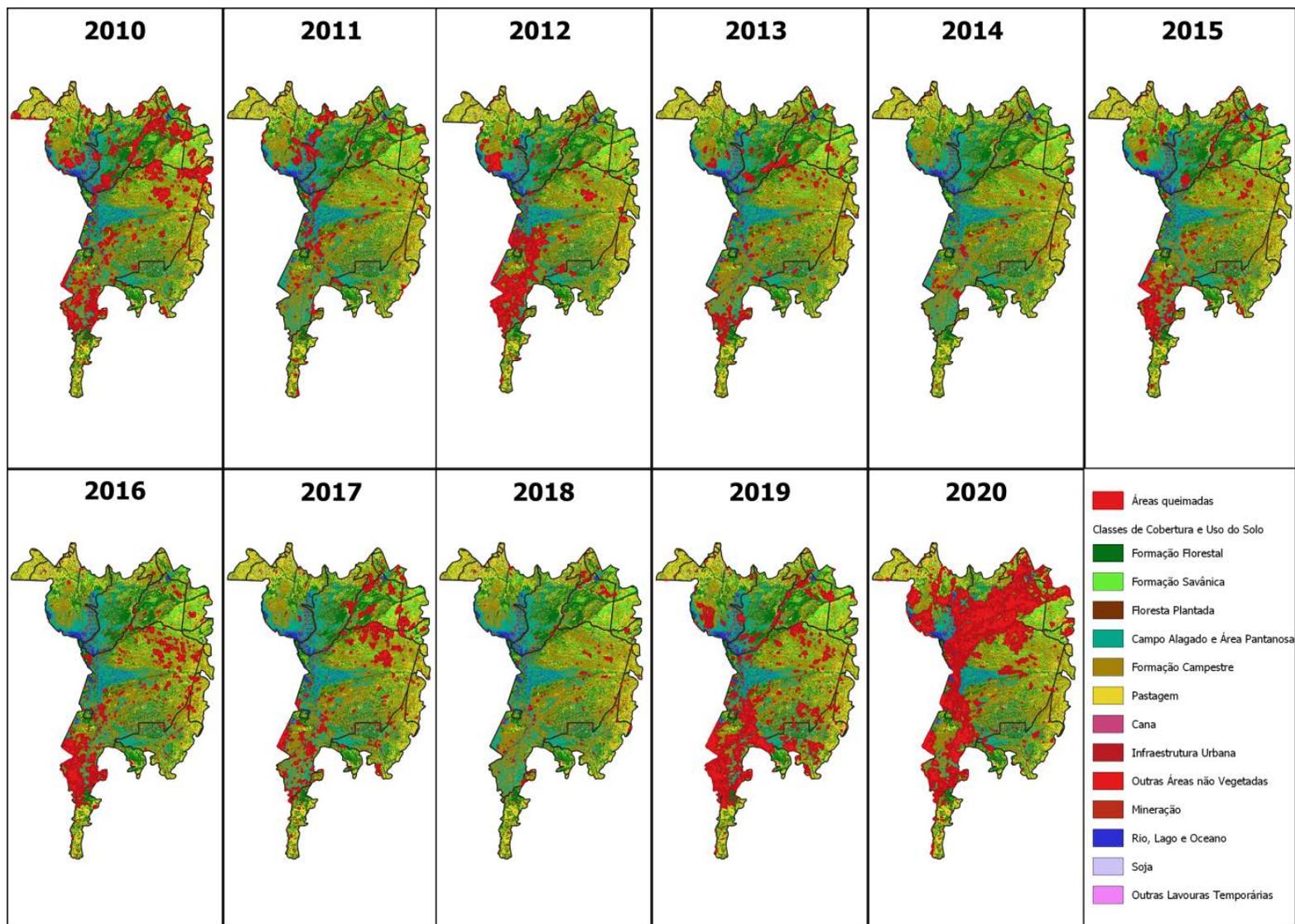
**Figura 5.** Distribuição espacial da recorrência do fogo no bioma Pantanal no período entre 2010 e 2020.

A resistência ao fogo depende de um conjunto de características da vegetação e microclimática da área, que impedem ou reduzem a ignição e propagação dos incêndios. Já a resiliência ao fogo é a capacidade do ambiente queimado retornar ao mesmo estágio de organização após a ocorrência do incêndio. O Pantanal possui uma vegetação resiliente ao fogo, no entanto, de acordo com o número de recorrência dos incêndios, a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas nesse bioma pode ser alterado (BARROSO; SOARES; GARCIA, 2020).

Incêndios frequentes podem interferir nos processos de floração e frutificação dos vegetais, além de selecionar as espécies de plantas mais resistentes ao fogo, alterando, assim, a estrutura do bioma, por eliminar, por exemplo, as árvores e tornar a fisionomia da área mais campestre (BARROSO; SOARES; GARCIA, 2020). Ou seja, o regime de queima cria um verdadeiro mosaico na cobertura vegetal, resultando em áreas com diferentes densidades de biomassa e fases fenológicas (MATOS, 2014). O mapeamento da recorrência do fogo é muito importante para prever o risco de incêndios futuros, pois através dele é possível localizar as áreas que não foram queimadas há mais tempo e que, portanto, tornam-se mais suscetíveis ao fogo devido ao maior acúmulo de biocombustível (FRANÇA *et al.*, 2007, MATOS, 2014).

### **5.3. Áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo no bioma Pantanal**

A Figura 6 mostra as áreas queimadas anualmente por classes de cobertura e uso do solo e a Tabela 3 mostra as áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo, as porcentagens das áreas queimadas dentro das suas respectivas classes de cobertura e uso do solo e, por fim, a área total queimada para cada um dos anos entre 2010 e 2020.

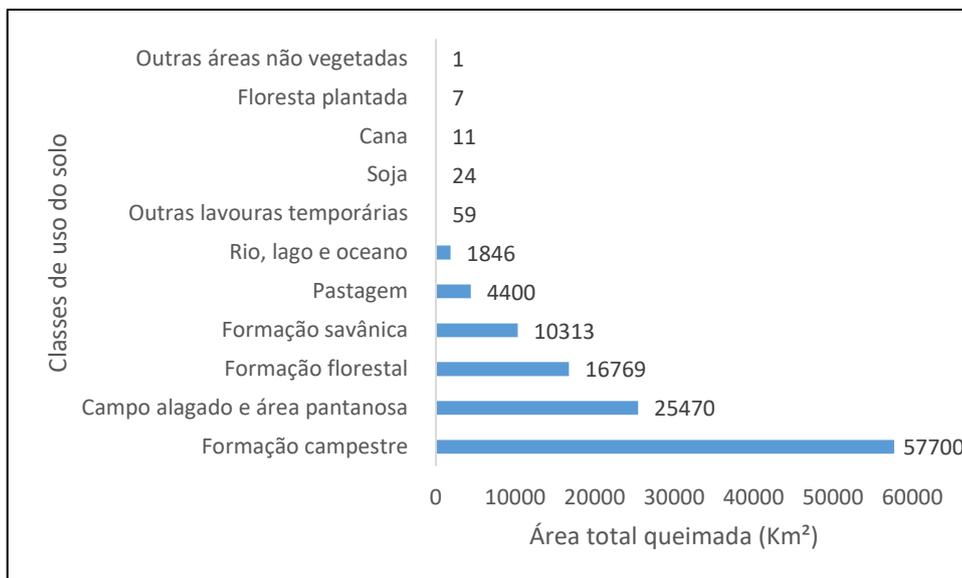


**Figura 6.** Áreas queimadas anualmente por classes de cobertura e uso do solo no bioma Pantanal entre 2010 e 2020.

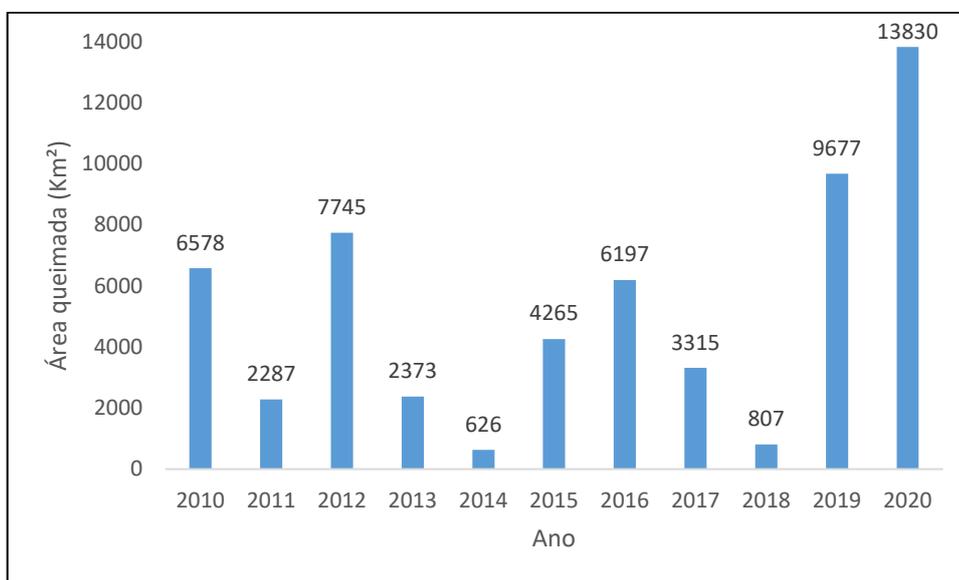
**Tabela 3.** Áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo, porcentagens das áreas queimadas dentro de suas respectivas classes de cobertura e uso do solo e a área total atingida por fogo entre 2010 e 2020.

Classes de uso do solo	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%														
Cana	-	-	1	16,67	-	-	1	12,50	3	17,65	-	-	2	5,88	-	-	-	-	4	9,30	-	-
Outras lavouras temporárias	4	5,41	-	-	1	0,99	1	0,87	6	5,45	12	9,09	7	5,30	-	-	11	5,88	13	6,70	4	2,06
Pastagem	835	3,90	247	1,17	248	1,16	227	1,06	74	0,34	295	1,36	309	1,36	366	1,61	143	0,61	496	2,08	1160	4,87
Soja	2	13,33	1	10,00	1	6,25	1	4,35	-	-	5	18,52	3	8,57	-	-	2	4,44	3	4,11	6	8,22
Outras áreas não vegetadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7,69
Rio, lago e oceano	144	3,50	136	3,29	163	3,96	46	1,13	5	0,12	32	0,78	41	1,00	34	0,83	6	0,15	194	4,70	1045	25,33
Floresta plantada	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2,13	-	-	1	2,17	-	-	2	3,23	-	-	3	4,55
Formação florestal	1720	5,67	548	1,79	891	2,93	484	1,59	92	0,30	532	1,76	311	1,02	699	2,31	136	0,44	1763	5,84	9593	31,77
Formação savânica	2160	15,22	437	2,92	450	3,13	421	2,90	185	1,23	458	3,11	736	4,92	1619	11,14	208	1,43	875	6,55	2764	20,68
Campo alagado e área pantanosa	3177	11,95	1613	4,81	2385	12,19	1455	6,12	397	1,17	846	3,54	1010	4,05	1614	6,84	227	0,66	4262	18,77	8484	37,36
Formação campestre	6578	12,20	2287	4,96	7745	12,76	2373	4,22	626	1,39	4265	7,66	6197	11,64	3315	6,02	807	1,86	9677	17,27	13830	24,68
Área total (Km <sup>2</sup> )	14620	-	5270	-	11884	-	5009	-	1389	-	6445	-	8617	-	7647	-	1542	-	17287	-	36890	-

As formações naturais não florestais foram as mais atingidas por fogo no bioma Pantanal, com uma área total queimada de 57.700 Km<sup>2</sup> na formação campestre e 25.470 Km<sup>2</sup> nos campos alagados e áreas pantanosas (Figura 7). Vale ressaltar que a formação campestre foi, além da mais atingida pelo fogo, também a classe de cobertura e uso do solo que mais queimou a cada ano do período de estudo, especialmente em 2010, 2012, 2015, 2016, 2019 e 2020 (Figura 8).



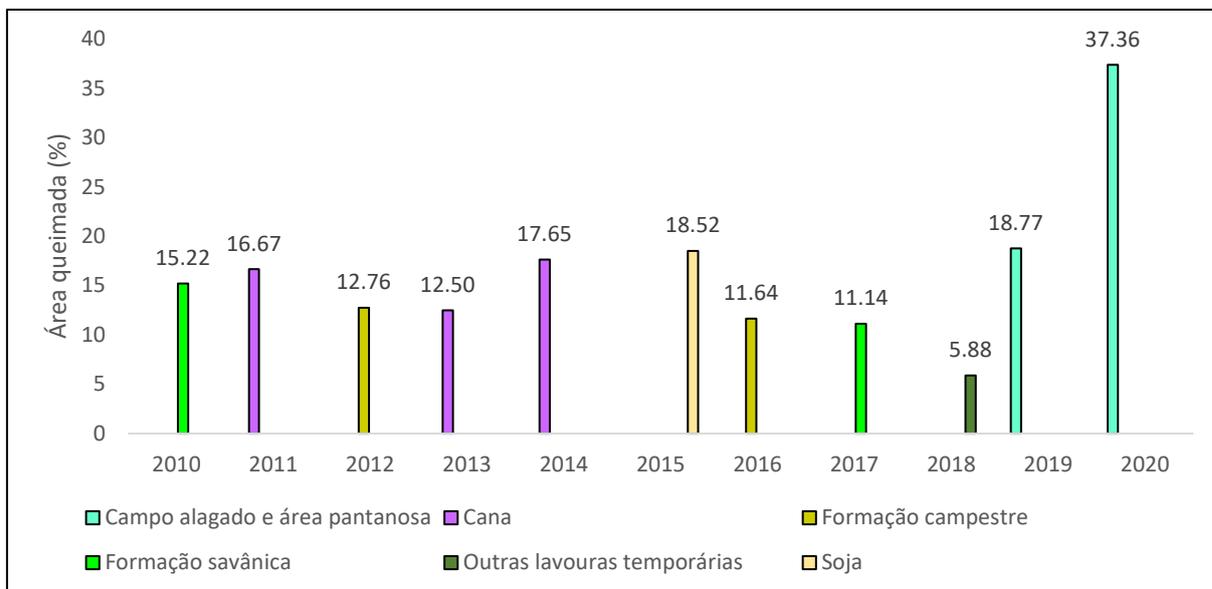
**Figura 7.** Áreas totais queimadas por classes de cobertura e uso do solo no bioma Pantanal, no período de 2010 a 2020.



**Figura 8.** Área anual queimada em formação campestre entre 2010 e 2020.

Considerando que a formação campestre é a classe de cobertura e uso do solo de maior extensão territorial do Pantanal, cobrindo em torno de 30% do bioma, portanto, a mais provável de ter a maior área atingida por fogo na área e período de estudo. Assim, de forma relativa,

considerando a área total de cada classe de cobertura e uso da terra, outras classes também se destacaram com a ocorrência do fogo. As classes agrícolas, em especial as culturas da cana-de-açúcar, soja e outras lavouras temporárias tiveram ênfase, podem ter sido as origens do fogo que se propagou para as formações vegetais nativas no bioma, tais como as formações savânicas, campestres, campos alagados e áreas pantanosas (Figura 9).



**Figura 9.** Maiores valores das áreas atingidas por fogo (%) dentro das classes de cobertura e uso da terra do bioma Pantanal, entre 2010 e 2020.

Segundo Britts *et al.* (2016), o aumento dos focos de calor pode estar associado à expansão da cultura da cana-de-açúcar, pois suas lavouras são queimadas na fase de pré-colheita para reduzir a quantidade de palha, facilitando a operação e aumentando a produtividade do corte manual e carregamento mecânico (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2020).

No Pantanal, a planície de inundação é dominada por pastagens inundáveis de crescimento rápido, que após a estação chuvosa, torna-se biomassa seca, que serve como combustível. O fogo em zonas úmidas, como os campos alagados e áreas pantanosas, é um fenômeno de dois eventos extremos opostos, o fogo e a inundação, e ambos afetam fortemente a flora dessa vegetação. Nem todos os incêndios são letais para a maioria das espécies de plantas, pois algumas possuem proteção física, enquanto outras evoluíram fisiologicamente para resistirem às chamas, tendo um crescimento rápido, a capacidade de rebrotar ou mesmo germinar melhor após um incêndio. Mas os efeitos do fogo em zonas úmidas ainda são mal compreendidos (ARRUDA *et al.*, 2016).

Vale lembrar que a ocorrência de incêndios florestais está fortemente relacionada às características da vegetação (MATOS, 2014) e os tipos vegetacionais mais abertos apresentam

maior potencial de propagação do fogo quando comparados com os mais densos e fechados, sobretudo devido às características e quantidade do material combustível (SOARES; BATISTA, 2007). Em formações savânicas, a presença de espécies de gramíneas desempenha um papel importante nos eventos de incêndio, pois ele tende a começar pelas gramíneas e, em seguida, mover-se para as florestas, que a intensidade varia de acordo com o tipo de combustível dos componentes arbóreos e herbáceos (ARUDA *et al.*, 2016).

De acordo com Miranda *et al.* (2010), nas fitofisionomias campestres, entre 50% e 80% do estrato rasteiro é representado pelas graminóides e apresentam um estrato lenhoso decidual e espinhoso (IBGE, 2012), que durante a estação de estiagem, somado ao excesso das espécies de gramíneas seca, favorece a propagação do fogo. Os incêndios têm ocasionado o avanço do bioma Cerrado em direção ao Pantanal, ou seja, têm favorecido a ocorrência de espécies Cerrataenses, que são adaptadas ao fogo (POTT; POTT, 2004, OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2020).

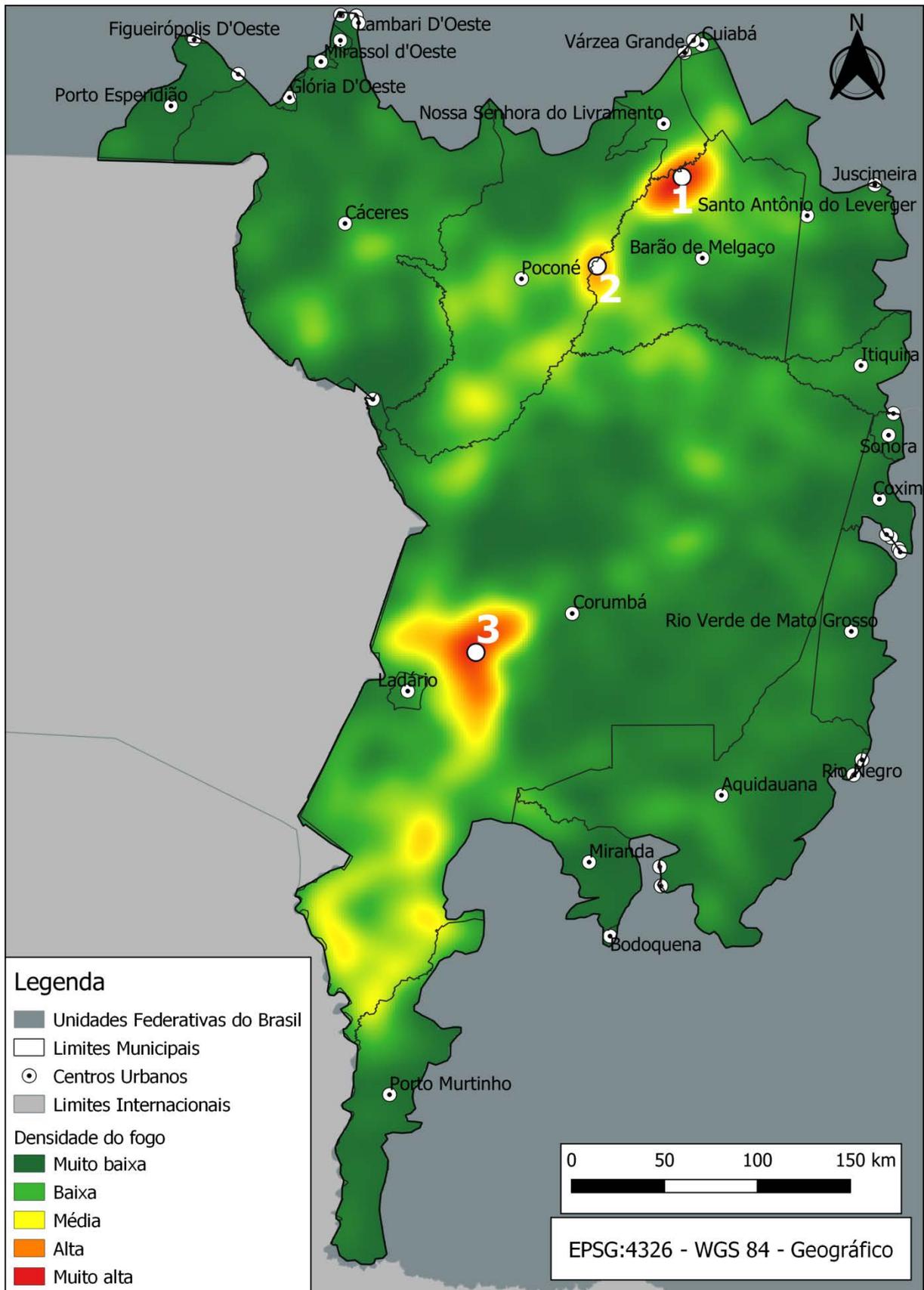
Além das características da vegetação, as condições climáticas da região pantaneira influenciam a ocorrência do fogo, pois a intensidade de uma queima e a velocidade com que o fogo se propaga estão diretamente relacionadas à baixa pluviosidade e umidade relativa do ar, as elevadas temperaturas e radiação solar, além do efeito direto dos ventos fortes (RAMOS *et al.*, 2018). Ou seja, na estação seca, o fogo encontra condições propícias para se propagar em alta magnitude, visto que o ar mais seco aumenta a evapotranspiração dos vegetais e favorece maior atuação da radiação solar sobre a superfície terrestre que, por sua vez, eleva a temperatura do ar, criando um ambiente propício ao processo de combustão (DEPPE *et al.*, 2004, MAGI *et al.*, 2012, GONÇALVES; VIEIRA, 2013, ALMEIDA *et al.*, 2016, VIGANÓ, 2018).

Em 2020, a média de chuva no Pantanal foi 40% menor que os anos anteriores (BARBOSA, 2020), e por existir essa correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca, essa poderia ser uma das explicações dos alarmantes números de focos de calor no último ano de estudo.

#### **5.4. Dinâmica espacial das áreas queimadas no bioma Pantanal**

A Figura 10 mostra a distribuição espacial dos focos de calor no Pantanal, na qual se nota duas regiões com forte atuação de fogo (norte e sul do bioma), como encontrado por De Jesus *et al.* (2020). Podemos observar três manchas com densidade de focos de calor muito alta e alta, nas cores vermelha e laranja, respectivamente. A mancha um (1) está localizada na região norte do bioma, a uma distância de 50 Km do centro municipal de Barão de Melgaço e a 35 Km de

Nossa Senhora do Livramento. A mancha dois (2) também se localiza na região norte, a 40 Km de Poconé. A mancha três (3) localiza-se no centro-sul pantaneiro, no município de Corumbá e a uma distância de 45 Km do centro municipal de Ladário. A classe de densidade média, representada pela cor amarela, ocorre em boa parte da região sul do município de Corumbá e algumas manchas estão distribuídas em Poconé. As manchas de densidade baixa e muito baixa aparecem distribuídas ao longo de quase todo o bioma pantaneiro.

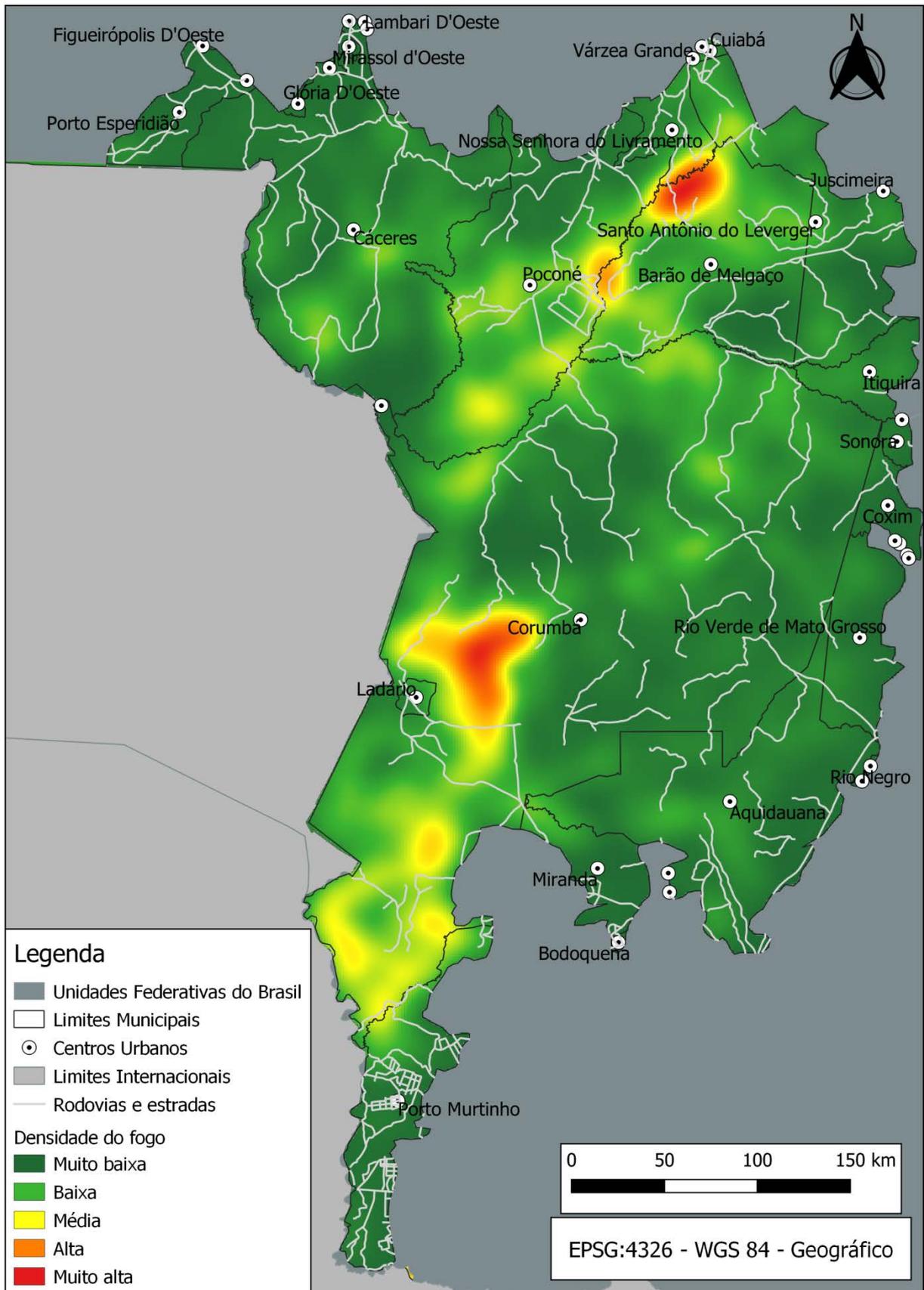


**Figura 10.** Densidade da ocorrência espacial do fogo no bioma Pantanal, entre 2010 e 2020.

A análise da distribuição espacial dos focos de calor também buscou identificar os padrões espaciais agrupados ou verificar se os incêndios florestais são eventos inteiramente aleatórios (DRUCK *et al.*, 2004, LIU *et al.*, 2010). Nota-se que a distribuição não é completamente aleatória, mas são eventos agrupados e que se repetiram durante os anos de estudo. Fuentes-Santos *et al.* (2013), apontam que a distribuição espacial desse fenômeno dificilmente será completamente aleatória, pois a ocorrência do fogo depende de uma série de fatores relacionados com o tipo de proteção ambiental da área ou pode ser explicada por fatores ambientais, como por exemplo a distribuição da vegetação e as condições microclimáticas da região (YANG *et al.*, 2006), ou, de acordo com Pereira *et al.* (2013), o padrão pode estar associado às práticas de manejo agrícola inadequadas, as quais favorecem a ocorrência de forma agrupada da queimas em regiões específicas.

A proximidade de rodovias e estradas também é considerada, por alguns estudos, como um fator importante de origem de incêndios porque elas permitem o acesso de pessoas e veículos, aumentando os riscos de incêndios criminosos ou por cultos religiosos, incêndios iniciados por cigarros, pequenas fogueiras, entre outros fatores (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). Porém, na análise da Figura 11, notou-se que nos anos de estudo, as rodovias e estradas não influenciaram tão fortemente a ocorrência do fogo no Pantanal. Entretanto, não é possível afirmar que as rodovias e estradas sejam insignificantes fontes de incêndios, talvez o fogo inicie próximo às estradas, mas devido às características de propagação em vegetação aberta, esse acaba se distanciando das vias (MATOS, 2014).

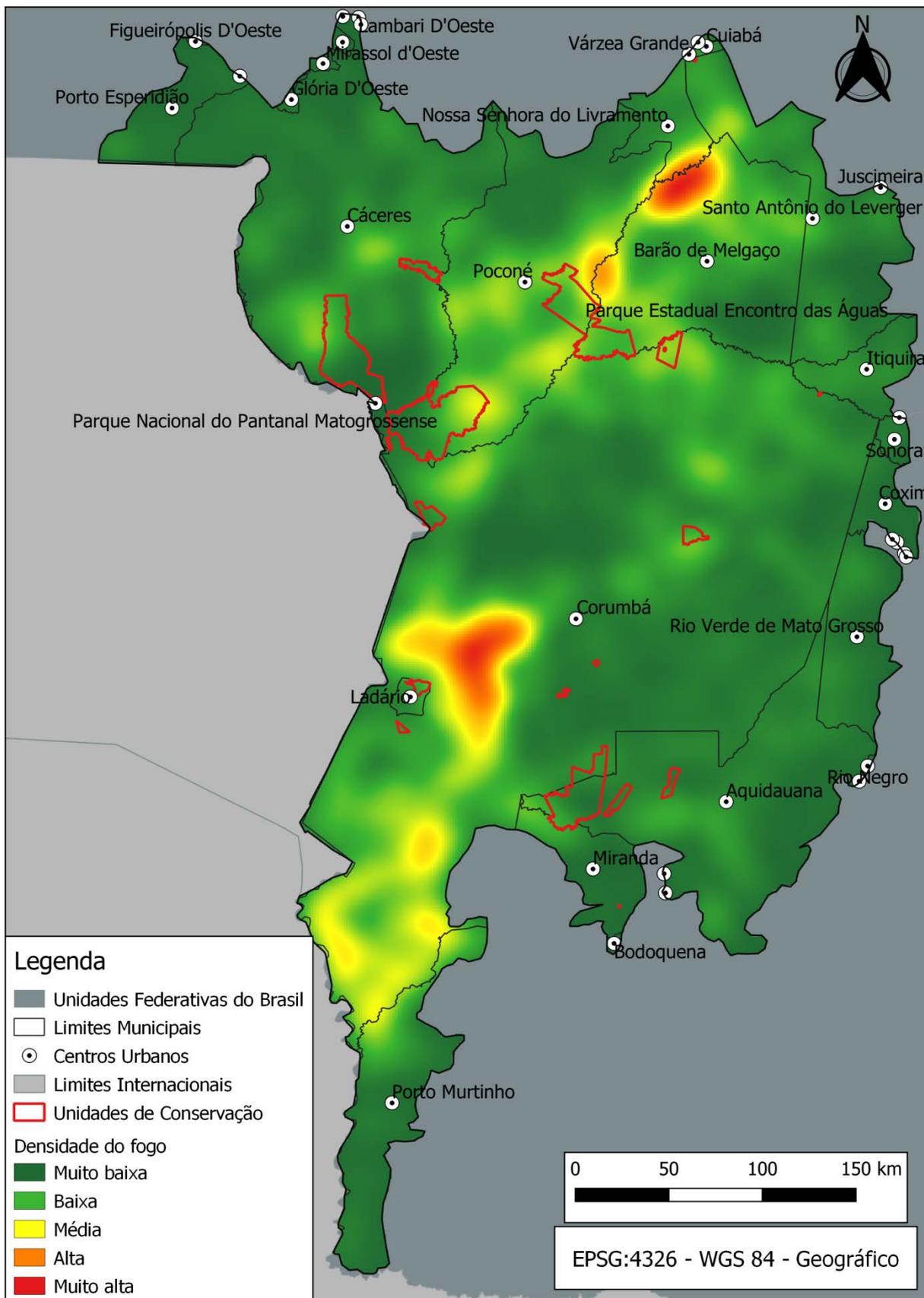
Outra questão que merece destaque são os tipos de vias de acesso (rodovias federais; estaduais; e municipais, estradas pavimentadas e não pavimentadas, estradas particulares, trilhas). Segundo Tatagiba (2010), a separação das estradas por intensidade de tráfego, por exemplo, pode ser mais significativa na ocorrência de incêndios. Então, ao invés de considerá-las juntas, recomenda-se a separação de todos os tipos de rodovias e estradas para aperfeiçoar a compreensão da influência das mesmas na probabilidade de ocorrência de fogo (MATOS, 2014).



**Figura 11.** Densidade da ocorrência espacial do fogo entre 2010 e 2020, e a localização das rodovias e estradas do bioma Pantanal.

### **5.5. Áreas queimadas nas Unidades de Conservação (UCs) do bioma Pantanal**

O interesse pelas queimadas e pelos incêndios florestais tem aumentado bastante nos últimos anos devido aos seus impactos ambientais, principalmente em áreas protegidas (BONTEMPO *et al.*, 2011, ZERI *et al.*, 2011 , 2016, CLEMENTE *et al.*, 2017 ). Ao analisar a localização das UCs em relação às classes de densidade do fogo (Figura 12), observou-se que nenhuma unidade de conservação está inserida em regiões com densidade muito alta e alta de frequência e ocorrência do fogo. Entretanto, encontram-se inseridas ou próximas às regiões de densidade média duas (2) UCs: o Parque Estadual Encontro das Águas e o Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense. As demais UCs estão localizadas nas regiões com densidade baixa e muito baixa de áreas atingidas por fogo.



**Figura 12.** Densidade da ocorrência espacial do fogo entre 2010 e 2020 e a localização das Unidades de Conservação (UCs) no bioma Pantanal.

Na Tabela 4 podemos observar as áreas queimadas dentro das UCs de proteção integral durante todo o período de estudo. O Parque Estadual Encontro das Águas foi o mais afetado pelo fogo, com uma área queimada de 1.766,75 Km<sup>2</sup> e o Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense apresentou a segunda maior área queimada, com 1.731,00 Km<sup>2</sup>. Não existem registros de focos de calor, durante o período de estudo, para o Parque Natural Municipal de Piraputangas e o Monumento Natural Morro de Santo Antônio.

**Tabela 4.** Área total das áreas atingidas por fogo dentro das Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral presentes no bioma Pantanal, entre 2010 e 2020.

Unidades de Conservação de Proteção Integral	Área queimada total (Km <sup>2</sup> )
Parque Estadual Encontro das Águas	1766,75
Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense	1731,00
Parque Estadual do Guirá	1240,37
Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro	450,81
Estação Ecológica de Taiamã	76,89
Parque Natural Municipal de Piraputangas	0,00
Monumento Natural Morro de Santo Antônio	0,00

As áreas queimadas dentro das UCs de uso sustentável durante todo o período de estudo podem ser vistas na Tabela 5, a Reserva Particular do Patrimônio Natural Poleiro Grande foi a que apresentou maior área queimada (649,33 Km<sup>2</sup>), seguida da Reserva Particular do Patrimônio Natural Reserva Natural Engenheiro Eliezer (114,20 Km<sup>2</sup>), Área de Proteção Ambiental Baía Negra (49,11 Km<sup>2</sup>) e Reserva Particular do Patrimônio Natural Santa Cecília II (38,48 Km<sup>2</sup>), as demais UCs não possuem áreas queimadas.

**Tabela 5.** Área total das áreas atingidas por fogo dentro das Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável presentes no bioma Pantanal, entre 2010 e 2020.

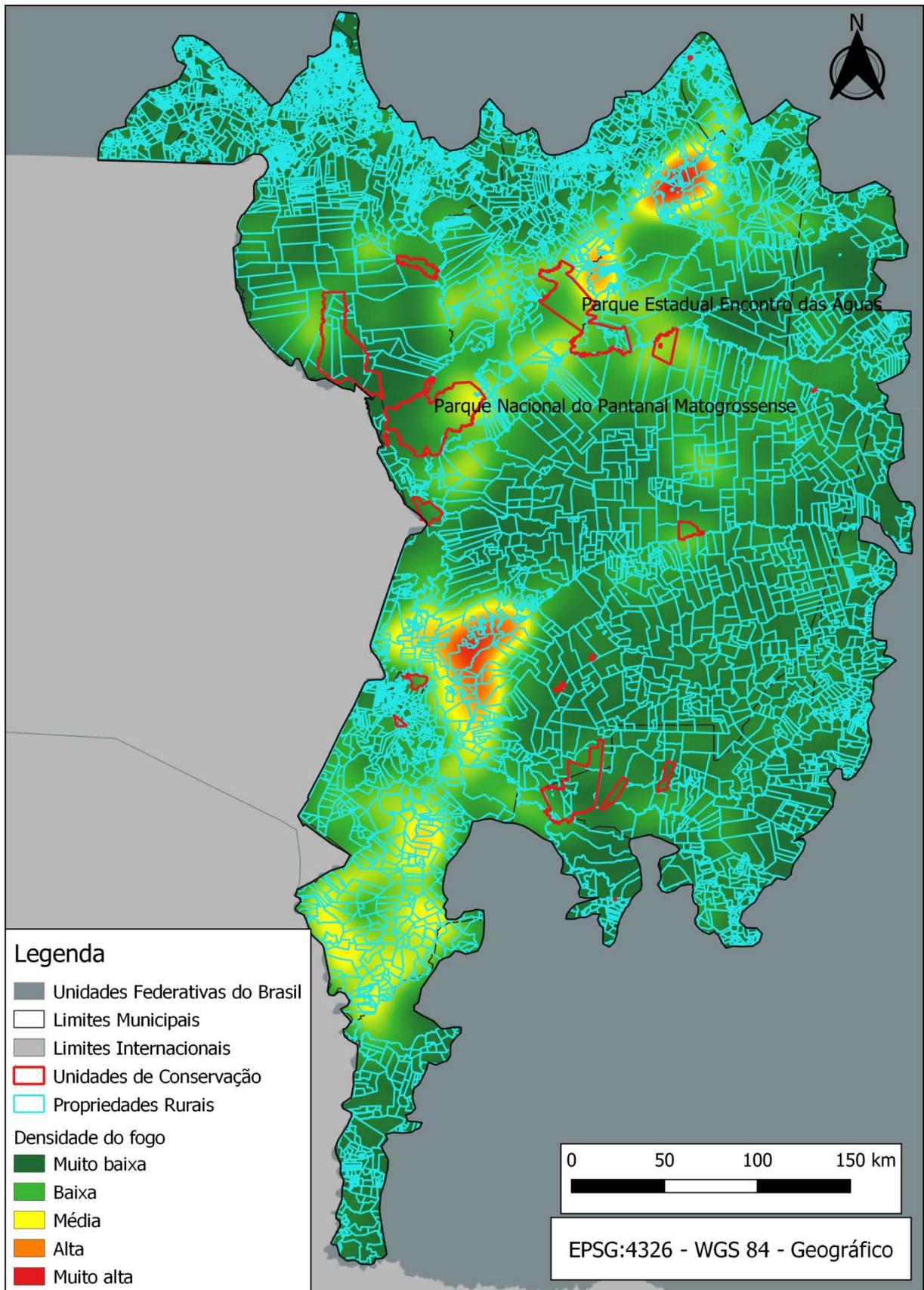
Unidades de Conservação de Uso Sustentável	Área queimada total (Km <sup>2</sup> )
Reserva Particular do Patrimônio Natural Poleiro Grande	648,33
Reserva Particular do Patrimônio Natural Reserva Natural Engenheiro Eliezer	114,20
Área de Proteção Ambiental Baía Negra	49,11
Reserva Particular do Patrimônio Natural Santa Cecília II	38,48
Reserva Particular do Patrimônio Natural Rumo ao Oeste	0,00
Reserva Particular do Patrimônio Natural Portal do Pantanal I	0,00
Reserva Particular do Patrimônio Natural Pioneira do Rio Piquiri	0,00
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Nhumirim	0,00
Reserva Particular do Patrimônio Natural Alegria	0,00
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Santa Sofia	0,00
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Rio Negro	0,00

Igualmente verificado por Torres *et al.* (2016) e De Jesus *et al.* (2020), ao analisarem o perfil dos incêndios florestais nas UCs brasileiras, os resultados do presente estudo indicam um maior impacto do fogo nas unidades de proteção integral, o que não é esperado, já que as

mesmas possuem um maior nível de proteção ambiental. Mas considerando que a maioria das UCs de uso sustentável do Pantanal são Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), talvez essa categoria seja significativa na diminuição da ocorrência de incêndios

Os incêndios florestais são uma ameaça contínua às UCs e suas causas estão relacionadas, principalmente, aos conflitos entre os interesses econômicos da população e a conservação ambiental (VIEIRA, 2021). Por isso, a presença de propriedades rurais, que utilizam o fogo como elemento de manejo, para limpeza e remoção de espécies indesejadas, nas adjacências das áreas protegidas potencializa as condições para propagação de incêndios. E ao analisarmos a localização do Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense e do Parque Estadual Encontro das Águas, levando em consideração as propriedades rurais (Figura 13), observou-se que as duas manchas de densidade média de fogo, próximas a essas unidades, possuem imóveis rurais em suas áreas, o que indicam que a maioria dos incêndios que ocorrera no interior das UCs, provavelmente, iniciou fora dessas e se propagou nos seus territórios.

Porém, um estudo mais aprofundado das variáveis econômicas podem produzir resultados mais conclusivos, que evidenciam a relação entre desenvolvimento econômico e os incêndios florestais em áreas protegidas (ARIMA *et al.*, 2007). Mas levando em consideração os dados encontrados no período de estudos, as UCs têm sido razoavelmente eficazes em impedir ou mesmo diminuir a ocorrência de incêndios florestais dentro de seus limites.



**Figura 13.** Densidade da ocorrência espacial do fogo entre 2010 e 2020 relacionado às Unidades de Conservação (UCs) e propriedades rurais presentes no bioma Pantanal.

## **5.6. Sensoriamento remoto como ferramenta de detecção de áreas queimadas no bioma Pantanal**

Os efeitos diretos das queimadas e incêndios florestais são os mais evidentes, como a elevação da temperatura, queima e perda de espécies vegetais, morte de animais e destruição de ninhos etc. (BARROSO; SOARES; GARCIA, 2020, OLIVEIRA-JÚNIOR, 2020), mas as consequências indiretas são contínuas para a fauna e flora. Isso porque após a queima, o solo torna-se pobre em nutrientes, o que dificulta o desenvolvimento da flora nativa, impactando diretamente na sobrevivência de animais herbívoros (MATOS, 2014). E em formações florestais, após a passagem do fogo, a entrada de luz facilita o surgimento de espécies invasoras, que competem com espécies nativas e que dificultam a recuperação dessas áreas (MATOS, 2014). E as modificações nos habitats pós-fogo afetam diretamente a fauna, que tem que migrar em busca de alimento e abrigo (BARROSO; SOARES; GARCIA, 2020, OLIVEIRA-JÚNIOR, 2020).

Durante um incêndio florestal, também ocorre à liberação de gases do efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global e que causam impacto considerável na qualidade do ar, podendo ocasionar problemas de saúde pública (WHITE; WHITE, 2016, ARAGÃO *et al.*, 2018, SILVA JUNIOR *et al.*, 2018). E quanto mais desses gases estão presentes na atmosfera terrestre, mais longos os períodos de seca e, conseqüentemente, mais frequentes serão os incêndios, que muitas vezes atingem casas, edifícios, veículos, áreas agrícolas, causando prejuízos econômicos (CHAVES *et al.*, 2020, OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2020). Tendo em vista os inúmeros problemas ambientais e socioeconômicos gerados pelo fogo, detectar os focos de calor e quantificar as áreas queimadas é de extrema importância para definição e implantação de políticas de prevenção e combate aos incêndios florestais.

Mas a relação entre as áreas atingidas por fogo baseada em sensoriamento remoto e o número real desses eventos é uma questão importante, que devemos levantar. Pois a evolução temporal de um incêndio está intimamente relacionada à temperatura da superfície terrestre, com pico de atividade ocorrendo no meio da tarde, quando a alta temperatura da superfície e baixa umidade relativa do ar são observadas. Este pico de atividade máxima de fogo pode não coincidir com o momento que o satélite supervisiona a região, subestimando, assim, o número de focos de calor (SCHROEDER *et al.*, 2005). Além disso, o produto de MODIS MCD64A1 possui 500 metros de resolução espacial, que quando comparado com imagens de melhores resoluções espaciais, pode apresentar erros na detecção de áreas queimadas (BENFICA, 2020).

Então, devido às limitações de resolução espacial do sensor MODIS, provavelmente, muitos focos de calor não foram devidamente detectados e mapeados.

Apesar das especificações técnicas do sensoriamento remoto, ele ainda é o meio mais rápido e de baixo custo, ou seja, mais eficiente para o monitoramento de focos de calor e áreas atingidas por fogo em grandes extensões territoriais, como o bioma Pantanal. A partir dos resultados alcançados, verificou-se que a metodologia aplicada no presente estudo pode desempenhar um importante papel para a análise de focos de calor e áreas queimadas, possibilitando o monitoramento mensal e anual dos fenômenos, além de expressarem a susceptibilidade de uma área à ocorrência de fogo, dado que corrobora para as políticas de prevenção e combate aos incêndios florestais.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo indicam um aumento das áreas queimadas no bioma Pantanal e o ano que apresentou maior área queimada foi 2020, com 36.890 Km<sup>2</sup>, seguido de 2019, com 17.287 Km<sup>2</sup>. As altas concentrações de focos de calor coincidem com a estação seca do bioma. As formações naturais não florestais possuem a maior extensão territorial do Pantanal e, conseqüentemente, apresentam maior área queimada durante os anos de estudos. Através do estimador de densidade Kernel, foi possível apontar as regiões mais críticas, ou seja, com maior susceptibilidade à ocorrência de fogo. Com base nestes resultados, é possível direcionar as políticas de prevenção e combate aos incêndios florestais para estas áreas específicas. Acredita-se que os fatores que apresentaram maior influência sobre a ocorrência dos incêndios no bioma são: as características da vegetação, fatores climáticos e meteorológicos da região e a proximidade de áreas com atividades antrópicas, como os centros urbanos e as propriedades rurais.

Apesar da detecção do fogo via satélite possuir limitações técnicas, implícitas aos instrumentos de detecção, que impedem que áreas queimadas de pequenas dimensões sejam apropriadamente detectadas. Além disso, existem os casos que o fogo se inicia e termina durante o intervalo de passagem do satélite e que, portanto, o número de focos de calor ou área atingidas por fogo para uma determinada região corresponde apenas a uma parte do total de incêndios florestais e/ou queimadas ocorridos. Ainda assim, o sensoriamento remoto permite analisar as tendências espaciais e temporais dos focos, já que utilizam o mesmo método e o mesmo horário para captura de imagens e geodados ao longo dos anos. Desta forma, estudos e mapeamentos históricos de áreas queimadas, utilizando o produto MODIS MDC64A1, poderão ser realizados em outros períodos para o bioma pantaneiro. Os resultados deste estudo também são úteis na definição de estratégias para prevenção e combate aos incêndios florestais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. e1701284, 2017.

ADÂMOLI, J. Vegetação do Pantanal, Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília: **EMBRAPA-CENARGEN**, 339 p, 1987.

ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE AERONÁUTICA E ESPAÇO (NASA): <https://earthdata.nasa.gov/> acesso realizado em 2021.

AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (ESA): <https://scihub.copernicus.eu/> acesso realizado em 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA): <https://metadados.snirh.gov.br/> acesso realizado em 2021.

AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M.S.L. Modelo Agrícola e Desenvolvimento Sustentável: A Ocupação do Cerrado Piauiense. **Ambiente & Sociedade**, n.2. vol. VIII, 2005.

AIRES, U. R. V. Utilização de NDVI para análise da influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2018.

ALHO, C. J. R.; LACHER Jr.; T. E.; GONÇALVES, H. C. 1988. Environmental degradation in the Pantanal ecosystem of Brazil. **BioScience. The caatingas dominium. Revista Brasileira de Botânica**, 4: 149-153, 38: 164-171. Andrade Lima, D, 1981.

ALLEM, A. C.; VALLS, J. F. M. Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília: **EMBRAPA-CENARGEN**, 339 p, 1987.

ALMEIDA, C. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; CUBO, P.; RAMOS, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973-2013. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 4, p. 2013-2026, 2016.

ANTAS, P. T. Z. Migration and other movements among the lower Paraná River valley wetland, Argentina, and the south Brazil/Pantanal wetlands. **Bird Conservation International**, 4:181-190, 1994.

ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H.; SILVA, C. V. J.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; ARAI, E.; AGUIAR, A. P.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DEETER, M. N.; DOMINGUES, L. G.; GATTI, L.; GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENGO, J. A.; MILLER, J. B.; PHILLIPS, O. L.;

SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 13 dez, 2018).

ARIMA, E.; SIMMONS, C.; WALKER, R.; COCHRANE, M. Fire in the Brazilian Amazon: A spatially explicit model for policy impact analysis. **Journal of Regional Science**, v. 47, n. 3, p. 541- 567, 2007.

ARRUDA, W. S.; OLDELAND, J.; PARANHOS FILHO, A. C.; POTT, A.; CUNHA, N. L.; ISHII, I. H.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Inundação e fogo moldam a estrutura das matas ciliares no Pantanal, Brasil, 2016.

BARBOSA, L. Em meio a incêndios no Pantanal, rio Paraguai enfrenta pior seca em 50 anos. **UOL**, Jundiaí, SP, 2020. Acesso realizado em 2021.

BARROSO, M.; SOARES, M.; GARCIA, E. Pantanal: entenda as causas e consequências dos incêndios no bioma. **Galileu, Editora Globo** [São Paulo], 24 de set. de 2020. Acesso realizado em 2021.

BENFICA, N. S.; SILVA, D. P.; FIGUEIREDO, R. M.; BRUNOW, J. C. Validação do Produto de Área Queimada MCD64A1 de Resolução Moderada. **Braz. J. of Develop., Curitiba**, v. 6, n. 11, p.91164-91171, nov, 2020.

BONTEMPO, G. C.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; DOUGLAS, S.M.; SILVA, E.; JACOVINE., L. A. G. Registro de ocorrência de incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. **Rev. Biodivers. Bras.** 2, 247–263, 2011.

BRITSKI, H. A.; SILIMON, K. Z. S; LOPES, B. S. Peixes do Pantanal: manual de identificação. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**. 227 pp, 2007.

BRITTS, T. H.; SILVA, W. G.; ABRITA, M. B. O crescimento canavieiro no município de Rio Brillhante - MS e os impactos ambientais causados pela queima da palha da cana-de-açúcar (2001 a 2010). **Cerrados**, 14, pp. 58 – 76, 2016.

CHAVES, T. P.; SOUZA, S. M.; FREITAS, A. C. Pantanal, tudo fica bem quando o fogo se apaga. **Revista SUSTINERE**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 592-606, jul-dez, 2020.

CLEMENTE, S. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LOUZADA, M. A. P. Focos de Calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. **Rev. Bras. Meteorol.** 32, 669–677, 2017.

COLTIN, B.; MCMICHAEL, S.; SMITH, T.; FONG, T. Automatic boosted flood mapping from satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 05, p. 993-1015, 2016.

CUNHA, J. M. P. Dinâmica migratória e o processo de ocupação do Centro-Oeste brasileiro: o caso de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Estudos de População**, 2006.

DE JESUS, J. B. *et al.* Analysis of the temporal, spatial and trend incidence of fire in biomes and conservation units of Brazil. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 176– 191, 2020.

DE LA RIVA, J., PÉREZ-CABELLO, F., LANA-RENAULT, N., KOUTSIAS, N. Mapping forest fire occurrence at a regional scale. *Remote Sensing of Environment*, v. 92, p. 363–369, 2004.

DEPPE, F.; PAULA, E. V.; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 119-126, 2004.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Análise espacial de dados geográficos. Brasília: **EMBRAPA**, 209 p. 2004.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). IPEF–ESALQ. Universidade de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 39- 48. 1998.

FLORA DO BRASIL 2020:  
<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do> Acesso realizado em 2021.

FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. O fogo no Parque Nacional das Emas. MMA, **Série Biodiversidade**, v. 27. 2007.

FRIZZO, T. L. M.; BONIZÁRIO, C.; BORGES, M. P.; VASCONCELOS, H. L. Revisão dos Efeitos do Fogo Sobre a Fauna de Formações Savânicas do Brasil. **Oecologia Australis**, v. 15, p. 365-379, 2011.

FUENTES-SANTOS, I.; MAREY-PÉREZ, M. F.; GONZÁLES-MANTEIGA, W. Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 128, p. 30-42, 2013.

GIGLIO, L.; BOSHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A. A.; HUMBER, M.; HALL, J. V. Colletion 6 MODIS Burned Area Product User's Guide. 1.3 Maryland: **Nasa**, 34 p, 2020.

GODOI, J. O. Avaliação das alterações na cobertura do solo de quatro assentamentos no norte do estado de Mato Grosso. **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal**, da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Universitário de Sinop, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal, 2019.

GONÇALVES, A. B.; VIEIRA, A. Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos. **Minho**: Universidade do Minho, 299 p, 2013.

GORELICK, N; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.

GRÉGOIRE, J. M.; TANSEY, K.; SILVA, J. M. N. The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery. **International Journal Remote Sensing**, v. 24, n. 6, p. 1369 – 1376, 2003.

GRÉGOIRE, J. M.; EVA, H. D.; BELWARD, A. S.; PALUMBO, I.; SIMONETTI, D.; BRINK, A. Effect of land-cover change on Africa's burnt area. **International Journal of Wildland Fire**, v. 22, p. 107-120, 2013.

HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21 st-century forest cover change. **Science**, v. 134, n. 2011, p. 850–853, 2013.

HARRIS, M. B.; TOMAS, W. M; MOURÃO, G.; SILVA, C. J.; GUIMARÃES, E.; SONODA, F.; FACHIM, E. Desafios para proteger o Pantanal brasileiro: ameaças e iniciativas em conservação. *Megadiversidade*, 1(1):1565-164, 2005.

HESPANHOL, A. N. A expansão da agricultura moderna e a integração do Centro-Oeste brasileiro à economia nacional. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 22, p. 7-26, 2000.

HOMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 137, n.1, p. 1-23, 1996.

HUANG, H. *et al.* Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 166-176, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): Contas de Ecossistemas. O uso da terra nos biomas brasileiros de 2000-2018. **IBGE**, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/biomas>. Acesso realizado em 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2ª Edição. Rio de Janeiro: IBGE. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL (INPE): <https://www.cptec.inpe.br/> Acesso realizado em 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL (INPE):  
<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros-produtos/infoqueima> Acesso realizado em 2021.

ITO, M. H.; FONSECA FILHO, H.; CONTI, L. A. Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior. **Revista Cartográfica** 94, 127-148, 2017.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres. **São José dos Campos, SP: Parênteses**, 598p., 2009.

JUNK, W. J.; SILVA, C. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. **Embrapa Pantanal**, Corumbá, Brasil, pp. 17-28, 1999.

JUSTICE, C O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D.K; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; W AN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4):1228-1247, 1998.

JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sens. Environ**, 83: 3 –15, 2002.

KAUFMAN, Y. J.; ICHOKU, C.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S; CHU, D. A.; HAO, W. M.; LI, R, -R.; JUSTICE, C. O. Fire and smoke observed from the Earth Observing System MODIS instrument – products, validation, and operational use. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 8, p. 1765-1781, 2003.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. **Wall-map** 150cmx200cm, 1928

LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**, v. 6, n. 1, p. 91-121, 2003.

LIU, W.; WANG, S.; ZHOU, Y.; ZHANG, S. Spatial distribution patterns analysis of historical forest fires in DaXingAn mountains of China. **ICCSM**, p. 634-638, 2010.

LOBELL, D. B. *et al.*. A scalable satellite based crop yield mapper. **Remote Sensing of Environment**, v. 164, p. 324-333, 2015.

LOPES, A. C. L.; FREITAS, A. V. M.; COSTA, D. O.; BELTRÃO, N. E. S.; TAVARES, P. A. Análise da distribuição de focos de calor no município de Novo Progresso Pará. **Revista Verde**, v. 12, n. 2, p. 298-303, 2017.

LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Análise de agrupamento aplicada à variabilidade espacial e temporal da precipitação mensal no estado de Alagoas, Nordeste do Brasil. *Int. J. Climatol.*, 34, 2014.

MAGI, B. I.; RABIN, S.; SHEVLIAKOVA, E.; PACALA, S. Separating agricultural and non-agricultural fire seasonality at regional scales. **Biogeosciences**, v. 9, n. 8, p. 3003-3012, 2012.

MARIOTTI, P. R. Transformação da paisagem na zona de transição Amazônia e Cerrado, Vila Bela da Santíssima Trindade, Mato Grosso, Amazônia meridional. 2015.

MATOS, N. M. Mapeamento temporal de áreas queimadas utilizando produto MODIS MCD45A1 para o bioma Pantanal. **Trabalho de conclusão de curso**. Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

MAURANO, L. E.; ESCADA, P.; SOBRAL, M. I. Comparação dos dados produzidos pelo PRODES versus dados do MAPBIOMAS para o bioma Amazônia. 2019.

MIETTINEN, J. Burnt area in insular Southeast Asia using medium resolution satellite imagery. **Dissertationes Forestales** 45. 45p. 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA): Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Portaria MMA nº 9, **MMA**, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA): Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Brasília: **MMA**, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA): <http://www.mma.gov.br/biomas/pantanal>, **MMA**, 2018.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (org.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: **MMA**. 439p., 2005.

MIRANDA, H. S. NETE, N. W., NEVES, B. M. C. Caracterização das queimadas de Cerrado. In: MIRANDA, H. S. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: resultados do Projeto Fogo. **IBAMA/MMA**, Brasília. 144p, 2010.

MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., BROOKS, T. M., PILGRIM, J. D., KONSTANT, W. R., FONSECA, G. A. B. DA E KORMOS, C. Wilderness and biodiversity conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 100: 10309-10313, 2003.

NASA, MODIS: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php> Acesso realizado em 2021.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 4 ed. **São Paulo: Blucher**, 2010.

NUNES, A. P.; TOMAS, W. M. Aves migratórias ocorrentes no Pantanal: caracterização e conservação. Série Documentos, Embrapa Pantanal, 62: 137 1-25, 2004.

NUNES, A. P. Quantas espécies de aves ocorrem no Pantanal Brasileiro? *Atualidades Ornitológicas*, 160: 45-54, 2011.

NUNES, J. R. S. FMA+ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná – Brasil. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J. landscape units of the Pantanal: structure, function, and human use. (eds): Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. p. 127 – 141, 2009.

OLIVEIRA, M. D. E CALHEIROS, D. F. Flood pulse influence on phytoplankton communities of the south Pantanal floodplain, Brazil. **Hydrobiologia** 427: 101-112, 2000.

OLIVEIRA-JÚNIOR, P. E. T.; SILVA JUNIOR, C. A.; BAILO F. H. R.; GAVA, R.; CAPRISTO-SILVA, G. F.; GOIS, G.; CORREIA FILHO, W. L. F.; LIMA, M.; FREITAS, W. K.; SANTOS, P. J.; COSTA, M. S. Focos de fogo relacionados às chuvas e biomas do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Meteorologia Agrícola e Florestal**. Volumes 282-283, 2020.

PEJOVIĆ, M.; GOSPAVIĆ, Z.; MILOVANOVIĆ, B. & ARSIĆ, I. “Solving a surveying problem by using R and QGIS - Setting out of a land expropriation zone”, **Genouka**, 2(2):12-18, 2014.

PEKEL, J. F. *et al.* High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 2016.

PEREIRA, A. A.; BARROS, D. A.; JUNIOR, F. W. A.; PEREIRA, J. A. A.; REIS, A. A. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 41. n. 100, p. 445-455, 2013.

PFASFSTETTER, O. Classificação das bacias hidrográficas. 1989.

PICHININ, E. S. O Contexto do Avanço da Fronteira Agrícola na Amazônia: Algumas Reflexões Sobre Desenvolvimento Regional no Norte de Mato Grosso/MT. *Formação* (Online), v. 2, n. 14, 2007.

PINHEIRO, L. Pantanal tem maior número mensal de focos de incêndios na história, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2020/09/24/pantanal-tem-maior-numero-mensal-de-focos-deincendios-na-historia.ghtml>. Acesso realizado em 2021.

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

PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (PCBAP). Diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio físico. Brasília, DF. 369p. **PCBAP**, 1997.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. 2 ed, 2012.

POTT, A.; POTT, V. J. Características e conservação do Pantanal brasileiro. *Wetl. Ecol. Manag.*, 12, pp. 547 – 552, 2004.

POTT, A.; ADÁMOLI, J. Unidades de vegetação do Pantanal dos Paiaguás. In: II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal: Manejo e Conservação. pp. 183-202. **Embrapa Pantanal**, Corumbá, Brasil, 1999.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL (MAPBIOMAS): <https://mapbiomas.org/produtos>. Acesso realizado em 2021.

QUANTUM-GIS (QGIS): <https://www.qgis.org/en/site/> Versão 3.20 Odense, 2021.

RAMOS, L. F., SORIANO, B. M. A.; NARCISO, M. G.; OLIVEIRA, M. R. Uso de Geoprocessamento para Análise de Focos de Calor no Pantanal Brasileiro. **Embrapa, Pantanal**, Corumbá, MS, 2018.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. **Uberlândia**: UFU, 2007.

ROSSI, F. S.; SANTOS, G. A. D. A. Fire dynamics in Mato Grosso State, Brazil: the relative roles of gross primary productivity. *Big Earth Data*, v. 4, n. 1, p. 23–44, 2020.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **ERTS**, 3, 1973.

ROY, D. P.; LEWIS, P.; JUSTICE, C. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data – a bi-directional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 263 – 286, 2002.

SANTIAGO, K. R. Crimes ambientais em Mato Grosso: uma abordagem econômica. **Monografia apresentada como requisito obrigatório para obtenção do título de Especialista em Políticas de Segurança Pública e Direitos Humanos**, pela UFMT – ICHS. CUIABÁ/MT, 2017.

SANTOS, S. A. Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual Paulista. Compus Botucatu. São Paulo, 2001.

SCHROEDER, W.; MORISETTE, J. T.; IVAN CSISZAR, I.; GIGLIO, L.; MORTON, D.; JUSTICE, C. O. Caracterizando a Dinâmica do Fogo na Vegetação no Brasil por meio de Dados Multissatélites: Tendências Comuns e Questões Práticas. Experiência em larga escala da biosfera-atmosfera (LBA), 2005.

SCHULZ, C.; WHITNEY, B.S.; ROSSETTO, O.C.; NEVES, D.M.; CRABB, L.; DE OLIVEIRA, E.C.; DA SILVA, C.A. Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: synthesis and research agenda. *Sci. Total Environ.* 687, 1011–1027, 2019.

SERVIÇO GEOLÓGICO AMERICANO (USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov/>  
Acesso realizado em 2021.

SILIO-CALZADA, A.; BARQUÍN, J.; HUSZAR, V. L., MAZZEO, N.; MÉNDEZ, F.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, J. M. Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: is it all about climate? *Sci. Total Environ.* 605, 527–540, 2017.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. EMBRAPA Brasília, v. 33. Número especial, p. 1703-1711. 1998.

SILVA JÚNIOR, C. A.; TEODORO, P. E.; CORREA, C. C. G.; TORRES, F. E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; DELGADO, R. C. Análise da ocorrência de períodos úmidos e de seca utilizando índice padronizado de precipitação no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *J. Agron.*, 14, pp. 80 - 86, 10,3923 / ja.2015.80.86, 2015.

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

SILVEIRA, D. Área queimada no Pantanal em 2020 supera em 10 vezes a área de vegetação natural perdida em 18 anos, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2020/09/24/pantanalbioma-mais-preservado-ate-2018->

perdeu-ao-menos-10-vezes-mais-area-em-2020-que-em-18-anos.ghtml. Acesso realizado em 2021.

SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. **London, England: Chapman and Hall.** 175 p., 1986.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista floresta** 32 (2) 219-232, 2002.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo. **Curitiba: UFPR,** 2007.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Eficiência de índices de risco de incêndios para o Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015.

SOUZA, I. R. M.; IWATA, B. de S.; ALBUQUERQUE, B. C. D. de; LEITE, A. C. de S.; MORAES, R. C. de. Análise espaço temporal dos focos de calor no município de Formosa do Rio Preto - BA. **ConGea**, 7, 2016.

TATAGIBA, M. M. A. Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92p. 2010.

TEODORO, P.E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; CUNHA, E. R.; CORREA, C. C. G.; TORRES, F. E.; BACANA, V. M.; GOIS, G.; RIBEIRO, L. P. Análise de agrupamento aplicada à variabilidade espacial e temporal da precipitação mensal no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Meteorol. Atmos. Phys.**, 128, pp. 197 – 209, 2015.

VALE, J. R. B. Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas do estado do Pará por meio da plataforma Google Earth Engine. 2019.

VIEIRA, DOS S. G. Análise espaço-temporal do fogo no bioma Caatinga. **Trabalho de conclusão de curso**, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 42 p, 2021.

VIGANÓ, H. H. G.; SOUZA, C. C.; CRISTALDO, M. F.; JESUS, L. Redes Neurais Artificiais na Previsão de Queimadas e Incêndios no Pantanal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1355-1367, 2017.

VIGANÓ, H. H. G.; SOUZA, C. C.; CRISTALDO, M. F.; JESUS, L. Incêndios no Pantanal de Corumbá, MS: modelagem e previsão a partir das técnicas de análise multivariada. **Rev. Ambient. Água vol.** 13 n. 5, 2018.

WANG, S. D.; MIAO, L. L.; PENG, G. X. An Improved Algorithm for Forest Fire Detection Using HJ Data. **Procedia Environmental Sciences**, [S.l.], v. 13, p. 140-150, 2012.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas controladas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 561 - 570, 2016.

YANG, J.; HE, H. S.; SHIFLEY, S. R.; GUSTAFSON E. J. Spatial Patterns of Modern Period Human-Caused Fire Occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *Forest Science*, v. 53, n. 1, p. 1-15, 2006.

ZERI, M.; CARVALHO, V. S. B.; CUNHA-ZERI, G.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., LYRA, G.B., FREITAS, E.D. Assessment of the variability of pollutants concentration over the metropolitan area of São Paulo, Brazil, using the wavelet transform. **Atmos. Sci. Lett.** 17, 87–95, 2016.

ZERI, M., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., LYRA, G.B. Spatiotemporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Meteorol. Atmos. Phys.* 113, 139–152, 2021.

ZHANG, Q.; LI B.; THAU, D.; MOORE, R. Building a better urban picture: Combining day and night remote sensing imagery. **Remote Sensing**, v. 07, n. 09, p. 11887-11913, 2015.

## 8. APÊNDICE

• **Código de execução da análise temporal das áreas queimadas foi realizada a partir dos dados do produto MODIS MCD64A1:**

```
var region = pantanal.geometry();// Define a área de estudo.
//Map.addLayer(region, {}, df);//
Map.centerObject(region, 6);//
//var mapbiomas = ee.Image('projects/mapbiomas-
workspace/public/collection5_1/mapbiomas_collection51_integration_v1').clip(region);
var mapbiomas = ee.Image('projects/mapbiomas
workspace/public/collection5/mapbiomas_collection50_integration_v1').clip(region);
// import the mapbiomas palettes module and get the 'classification5' color scheme
var palette = require('users/mapbiomas/modules:Palettes.js').get('classification5');
//print(palette);
// Set a visualization parameter
var visClassification = {
  'min': 0,
  'max': 45,
  'palette': palette,
  'format': 'png'
};
var uso1985 = mapbiomas.select(["classification_2000"]);
var uso2019 = mapbiomas.select(["classification_2019"]);// Define intervalo de estudo
Map.addLayer (uso1985, visClassification, 'MAPBIOMAS_2000');
Map.addLayer (uso2019, visClassification, 'MAPBIOMAS_2019');// Define ano do uso
do solo
//Acessando a coleção MCD64A1 com a data de queima (BurnDate) no período de 2010
a 2020
var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MCD64A1')
  .filter(ee.Filter.date('2010-01-01', '2020-12-31'));// Define ano dos incêndios
florestais
var burnedArea = modis.select('BurnDate');
var burnedAreaVis = {
  min: 30.0,
```

```

max: 341.0,
palette: ['4e0400', '951003', 'c61503', 'ff1901'],
};
// Coleta dados e filtra os dados para o total das datas desejadas para o estudo
var collection20 = ee.ImageCollection(modis.filterDate('2010-01-01', '2010-12-
31')).select('BurnDate'); //Clip as áreas queimadas anuais para a área de interesse, no caso a
Pantanal)
var clipped20 = collection20.mean().clip(region).reproject('EPSG:3857', null, 500);
// Criando imagem binárias das áreas queimadas (0 não queimado, 1 queimado).
var palette = ['000000', '0000FF', '00FF00', 'FF0000'];
var clipped02a = clipped20.expression("// trocar os codigos dos anos
"(b('BurnDate') > 0) ? 1" +
": (b('BurnDate') > 365) ? 2" +
": 0").clip(region); // recorta a área queimada (binária) para a área de estudo
Map.addLayer(clipped02a,
    {min: 0, max: 2, palette: palette},
    'Queimadas_binary');
///Calculo de área queimada
var areapxa = clipped02a.multiply(ee.Image.pixelArea())
    .reduceRegion(ee.Reducer.sum(), region, 500, null, null, false, 1e13)
    .get('constant')
    print('Area Queimada km2', ee.Number(areapxa).divide(1e6))
/////////Mosaico da área queimada de interesse
var mosaic = ee.ImageCollection([
    clipped02a.select('constant'),
]).mosaic();
Map.addLayer(mosaic,
    {min: 0, max: 2, palette: palette},
    'Queimadas_mosaic');
//////////Exporta o mosaico de uso da terra em áreas queimadas
Export.image.toDrive({
    image: mosaic,
    description: 'Queimadas_2010',// Trocar nome do ano dos incêndios

```

```

folder: 'GEE-EXPORT',
maxPixels:1e13,
scale: 500,
region: region,
crs: "EPSG:4326"
});
///////// Construindo o histograma
// Pre-define some customization histogram options.
var options = {
  title: 'Area queimada na area de interesse ',
  fontSize: 12,
  hAxis: {title: 'number days by month'},
  vAxis: {title: 'Numero de Pixels'},
  series: {
    0: {color: 'blue'},
    1: {color: 'green'},
    2: {color: 'red'},
    3: {color: 'magenta'}}};
var histogram = ui.Chart.image.histogram(clipped20, region, 500)
  .setSeriesNames(['Burned area'])
  .setOptions(options);
// Display do Histograma do Uso da Terra nas áreas queimadas (Área queimada)
print(histogram);
//Display dos maps de áreas queimadas para a região de estudo clipada..
Map.addLayer (clipped20, burnedAreaVis, 'BurnedArea20', false);
var incert = modis.select('Uncertainty');
var incert = incert.mean().clip(region).reproject('EPSG:3857', null, 500);
var burnedAreaVis1 = {
  min: 0.0,
  max: 100.0,
  palette: ['4e0400', '951003', 'c61503', 'ff1901'],
};
Map.addLayer (incert, burnedAreaVis1, 'incert', false);

```

• **Código de execução da estimativa das áreas queimadas por classes de cobertura e uso do solo:**

```
// Definindo a região ou área de interesse
var region = pt// Define a área de interesse ou estudo
Map.centerObject(region, 6);// Centraliza mapa e zoom para a área de estudo.
//Acessando os dados da coleção Mapbiomas V5
var mapbiomas = ee.Image('projects/mapbiomas-
workspace/public/collection5/mapbiomas_collection50_integration_v1').clip(region);
// importa as palhetas de cores do projeto Mapbiomas Coleção 5
var palette = require('users/mapbiomas/modules:Palettes.js').get('classification5');
//print(palette);
// Configurando parâmetros de visualização
var visClassification = {
  'min': 0,
  'max': 45,
  'palette': palette,
  'format': 'png'
};
var uso1985 = mapbiomas.select(["classification_1985"]);
var uso2019 = mapbiomas.select(["classification_2019"]);
Map.addLayer (uso1985, visClassification, 'MAPBIOMAS_1985');
Map.addLayer (uso2019, visClassification, 'MAPBIOMAS_2019');
//Acessando a coleção MCD64A1 com a data de queima (BurnDate) no período de 2010
a 2020
var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MCD64A1')
  .filter(ee.Filter.date('2010-01-01', '2020-12-31'));
// Coleta dados e filtra os dados para o total das datas desejadas para o estudo
// Selecionado ano de queima (no caso 2019)
var queimada2019 = ee.ImageCollection(modis.filterDate('2010-01-01', '2010-12-
31')).select('BurnDate');
//Clip as áreas queimadas anuais para a área de interesse (no caso o Pantanal)
var clipped19 = queimada2019.mean().clip(region);
// Criando imagem binárias das áreas queimadas (0 não queimado, 1 queimado).
```

```

var palette = ['000000', '0000FF', '00FF00', 'FF0000'];
// Criação de uma imagem binária com 1 para fogo, 0 para não fogo
var clipped19a = clipped19.expression(// trocar os codigos dos anos
  "(b('BurnDate') > 0) ? 1" +
  ": (b('BurnDate') > 365) ? 0" +
  ": 0").clip(region); // recorta a área queimada (binária) para a área de estudo
// Display da imagem binária
Map.addLayer(clipped19a,
  {min: 0, max: 2, palette: palette},
  'Queimadas_binary');

////Calculo de área queimada (da imagem binária)
var areapxa = clipped19a.multiply(ee.Image.pixelArea())
  .reduceRegion(ee.Reducer.sum(), region, 500, null, null, false, 1e13)
  .get('constant')
  print('Area Queimada km2', ee.Number(areapxa).divide(1e6) )

////////Mosaico da área queimada da área de interesse
var mosaico = ee.ImageCollection([
  clipped19a.select('constant'),
]).mosaic();
Map.addLayer(mosaico,
  {min: 0, max: 2, palette: palette},
  'Queimadas_mosaico');

//////////Exporta o mosaico de uso da terra em áreas queimadas
Export.image.toDrive({
  image: mosaico,
  description: 'Queimadas_2019',
  folder: 'GEE-EXPORT',
  maxPixels:1e13,
  scale: 500,
  region: region,
  crs: "EPSG:4326"
});

```

```

//////// Sobrepondo Mapbiomas com Produto MCD64A1
var usoterra19 = mapbiomas.select('classification_2007').clip(region);
// Tipos de uso e cobertura que foram atingidos por fogo.
// Selecionando os pixels queimados (classe = 1)
var usoqueimado19 = usoterra19;//.updateMask(clipped19a.eq(1));
/// Exporta uso queimado
//////////Exporta o mosaico de uso da terra em áreas queimadas
Export.image.toDrive({
  image: usoqueimado19,
  description: 'UsoTerra_2020',
  folder: 'GEE-EXPORT',
  maxPixels:1e13,
  scale: 30,
  region: region,
  crs: "EPSG:4326"
});
////////// Construindo o histograma da imagem uso da terra de áreas atingidas por fogo
var options = {
  title: 'Uso da terra em área queimadas 2019',
  fontSize: 12,
  hAxis: {title: 'Codigo do uso da terra'},
  vAxis: {title: 'Numero de Pixels'},
  series: {
    0: {color: 'blue'},
    1: {color: 'green'},
    2: {color: 'red'},
    3: {color: 'magenta'}}};
var histogram = ui.Chart.image.histogram(usoqueimado19, region, 500)
  .setSeriesNames(['classification_2010'])
  .setOptions(options);
// Display do Histograma do Uso da Terra nas áreas queimadas (Área queimada)
print(histogram);

```

```
//Display dos maps de áreas queimadas para a região de estudo clipada..
```

```
var burnedAreaVis = {  
  min: 30.0,  
  max: 341.0,  
  palette: ['4e0400', '951003', 'c61503', 'ff1901'],  
};
```

```
Map.addLayer (clipped19, burnedAreaVis, 'BurnedArea19', false);
```

```
//Exporta resultados das áreas atingidas por fogo por tipo de uso e cobertura - tabela no
```

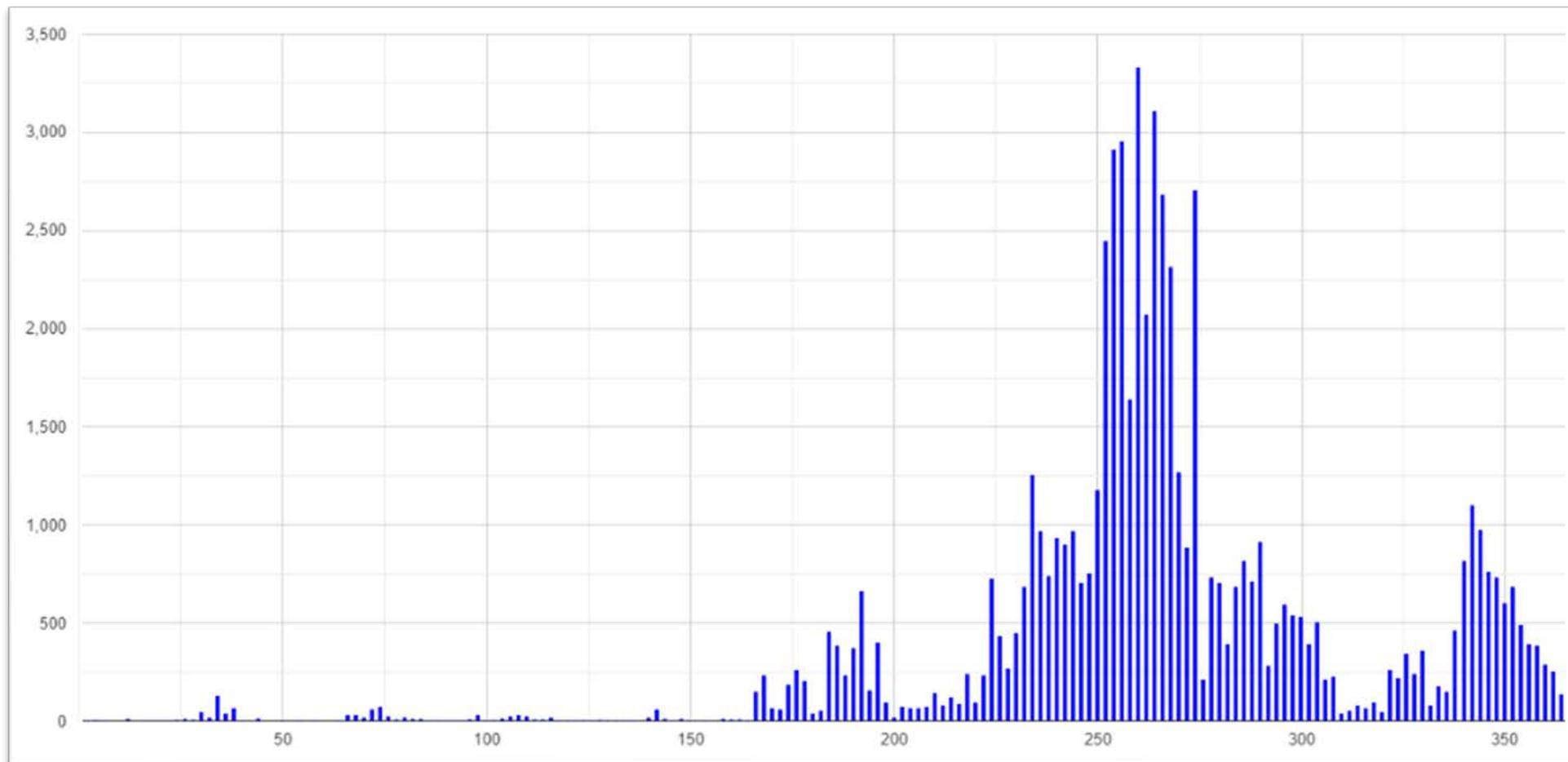
Tasks

```
var calculateClassArea = function(feature) {  
  var areas = ee.Image.pixelArea().addBands(usoqueimado19).reduceRegion({  
    reducer: ee.Reducer.sum().group({  
      groupField: 1,  
      groupName: 'classification_2010'  
    }),  
    geometry: feature.geometry(),  
    scale: 500,  
    maxPixels: 1e13  
  })  
  var classAreas = ee.List(areas.get('groups'))  
  var classAreaLists = classAreas.map(function(item) {  
    var areaDict = ee.Dictionary(item)  
    var classNumber = ee.Number(areaDict.get('classification_2010')).format()  
    var area = ee.Number(areaDict.get('sum')).divide(1e6).round()  
    return ee.List([classNumber, area])  
  })  
  var result = ee.Dictionary(classAreaLists.flatten())  
  // The result dictionary has area for all the classes  
  // We add the district name to the dictionary and create a feature  
  var district = feature.get('CD_LEGENDA')// define o campo de vetor (feição) de  
  interesse  
  return ee.Feature(feature.geometry(), result.set('district', district))
```

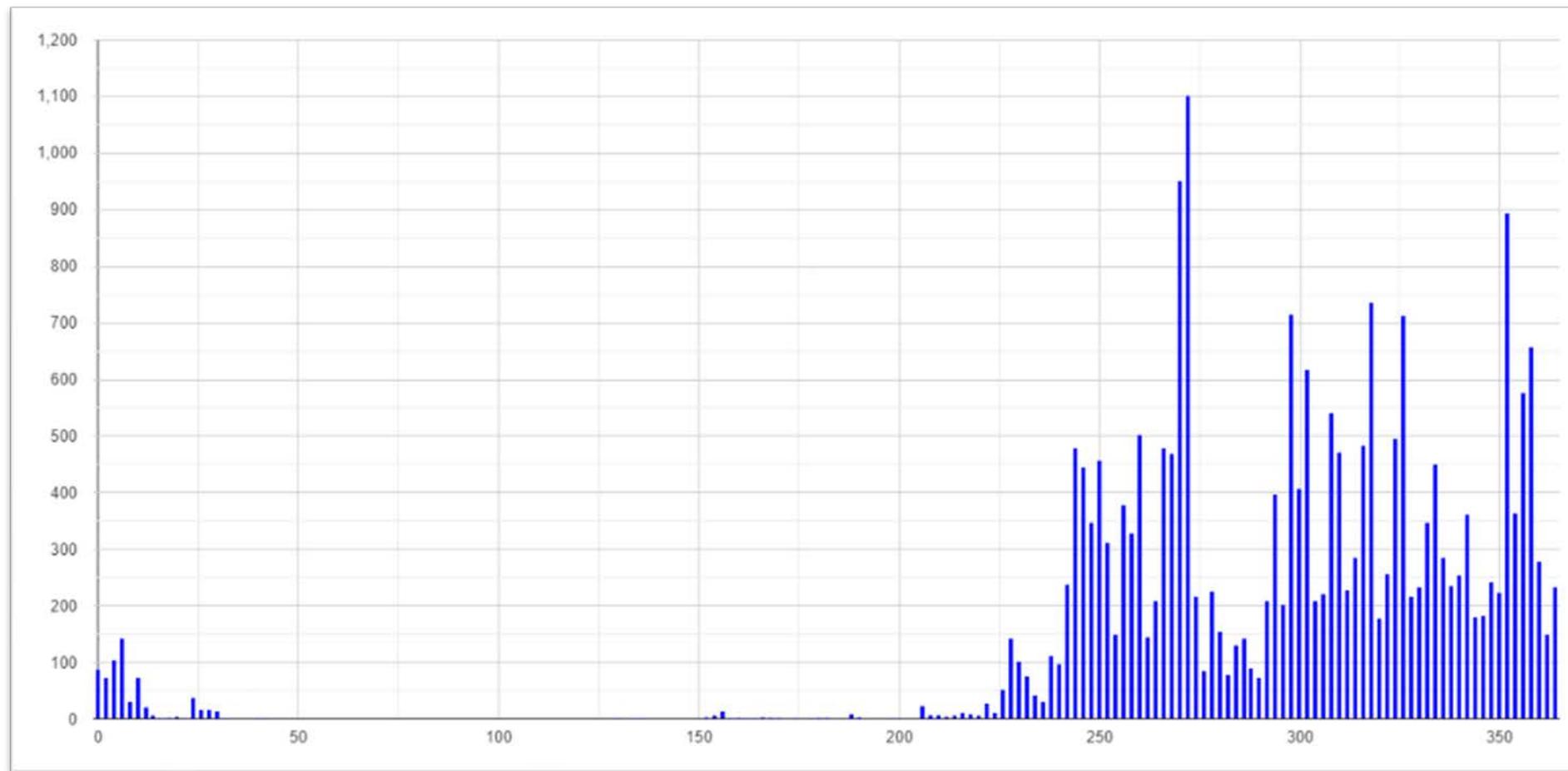
```
}

// Calcula a área por classe de uso e cobertura e por categoria do arquivo vetorial
var districtAreas = region.map(calculateClassArea);
var classes = ee.List.sequence(1, 45)

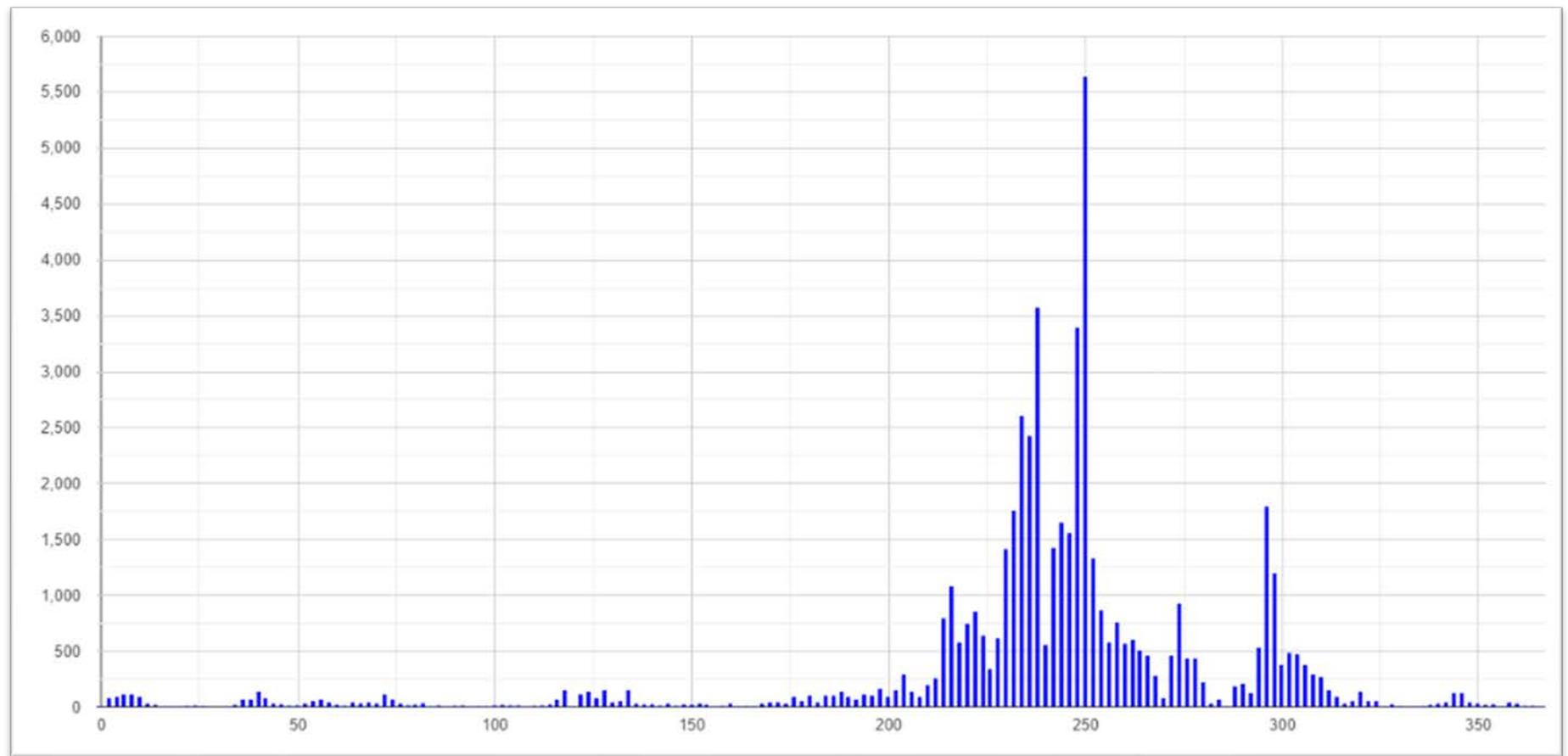
// Para listar os campos numa função de exportação, temos que usar o .getInfo() para
buscar a lista de valores
var outputFields = ee.List(['district']).cat(classes).getInfo()
// Exporta os resultados para tabela CVS no drive
Export.table.toDrive({
  collection: districtAreas,
  description: 'Fire_LandUse',
  folder: 'earthengine',
  fileNamePrefix: 'FirebyLandUse',
  fileFormat: 'CSV',
  selectors: outputFields
})
```



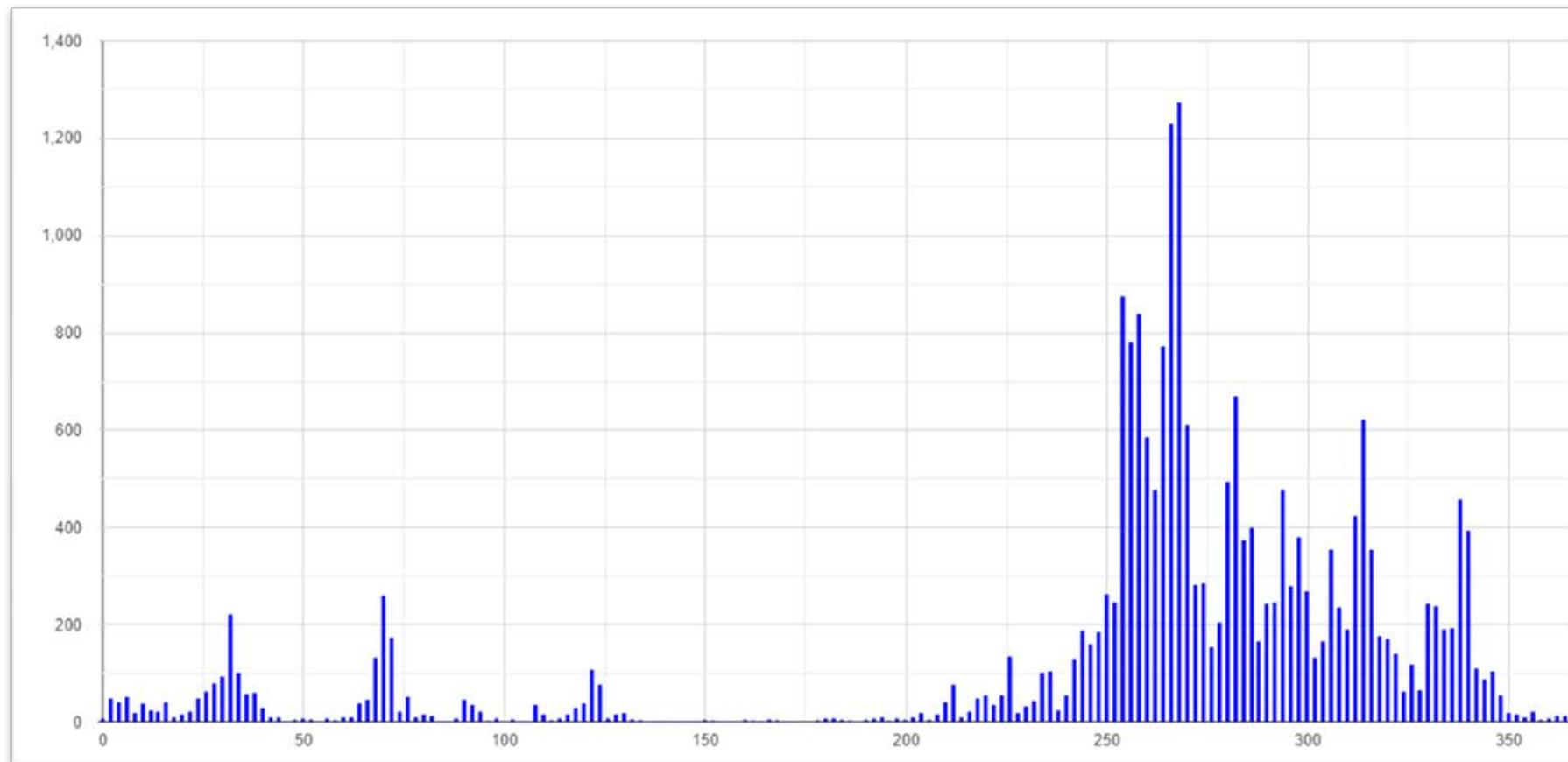
**Figura 14.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2010.



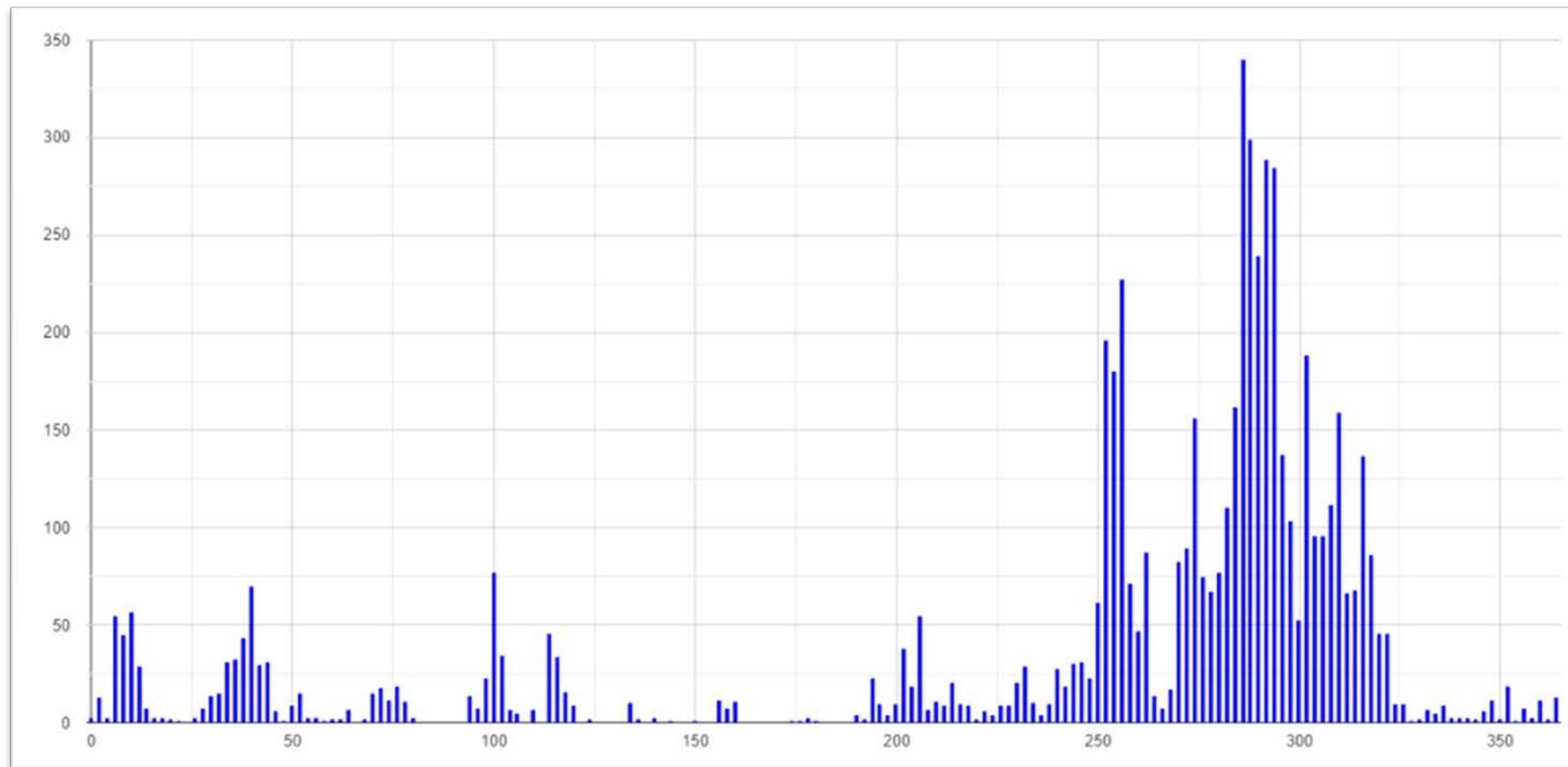
**Figura 15.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2011.



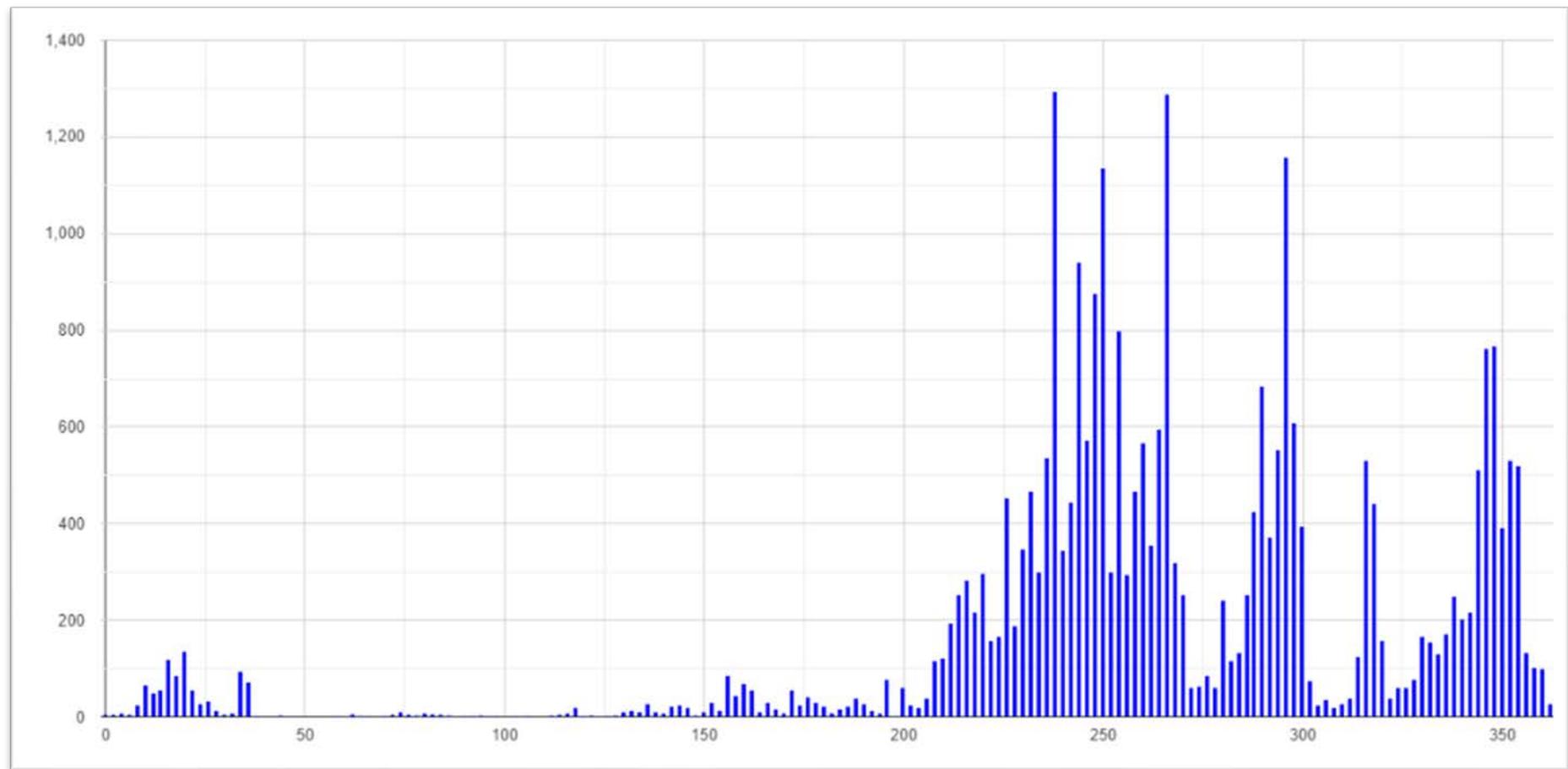
**Figura 16.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2012.



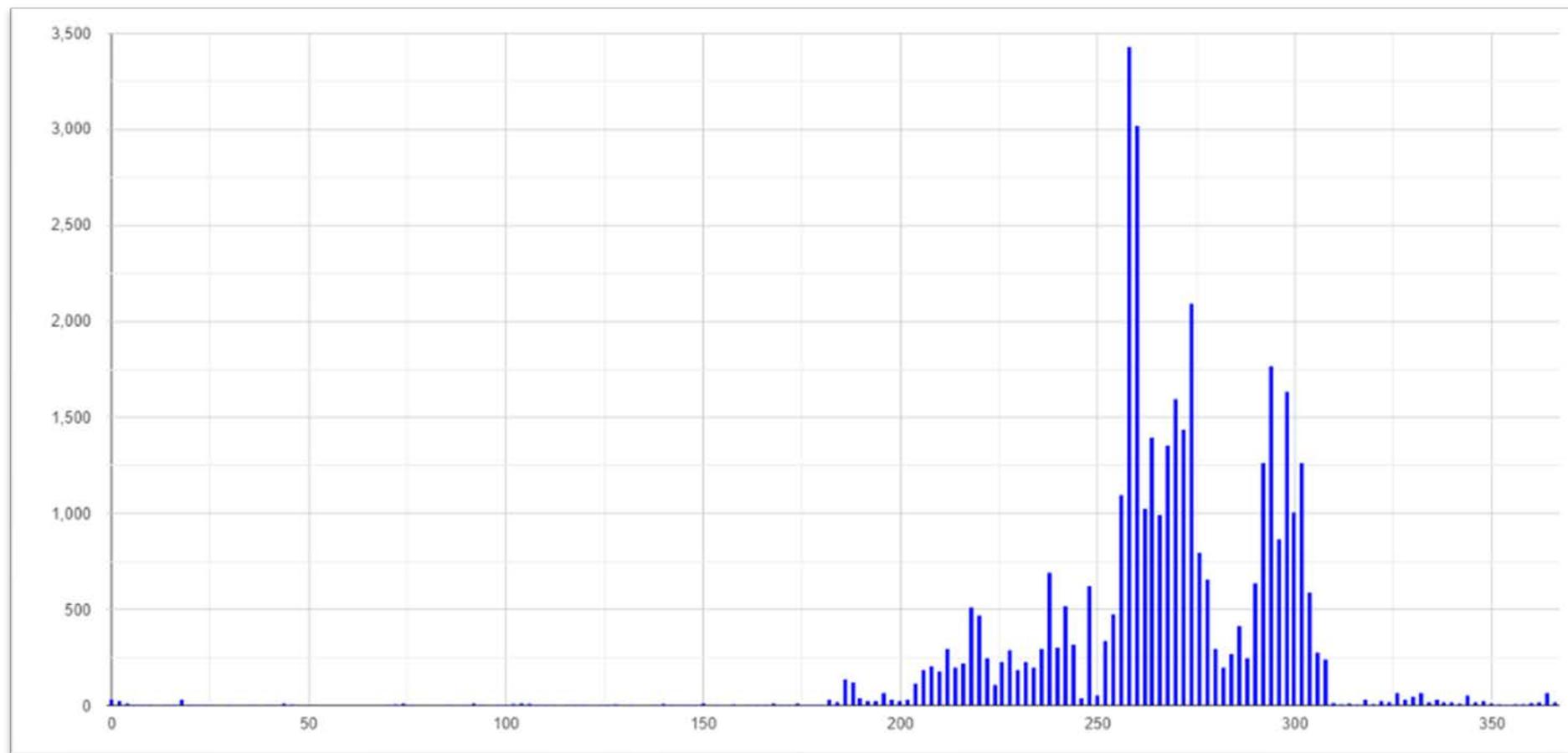
**Figura 17.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2013.



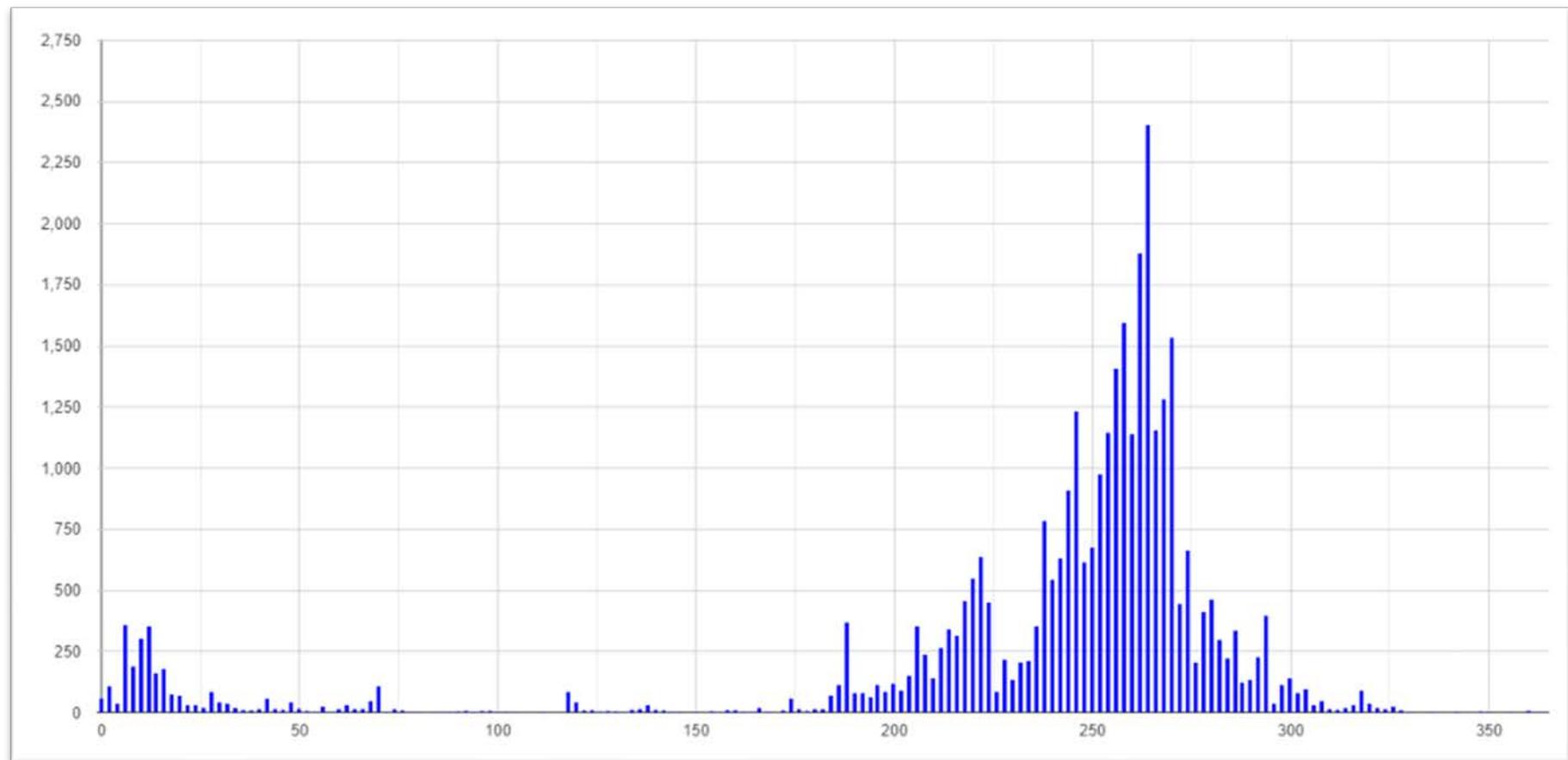
**Figura 18.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2014.



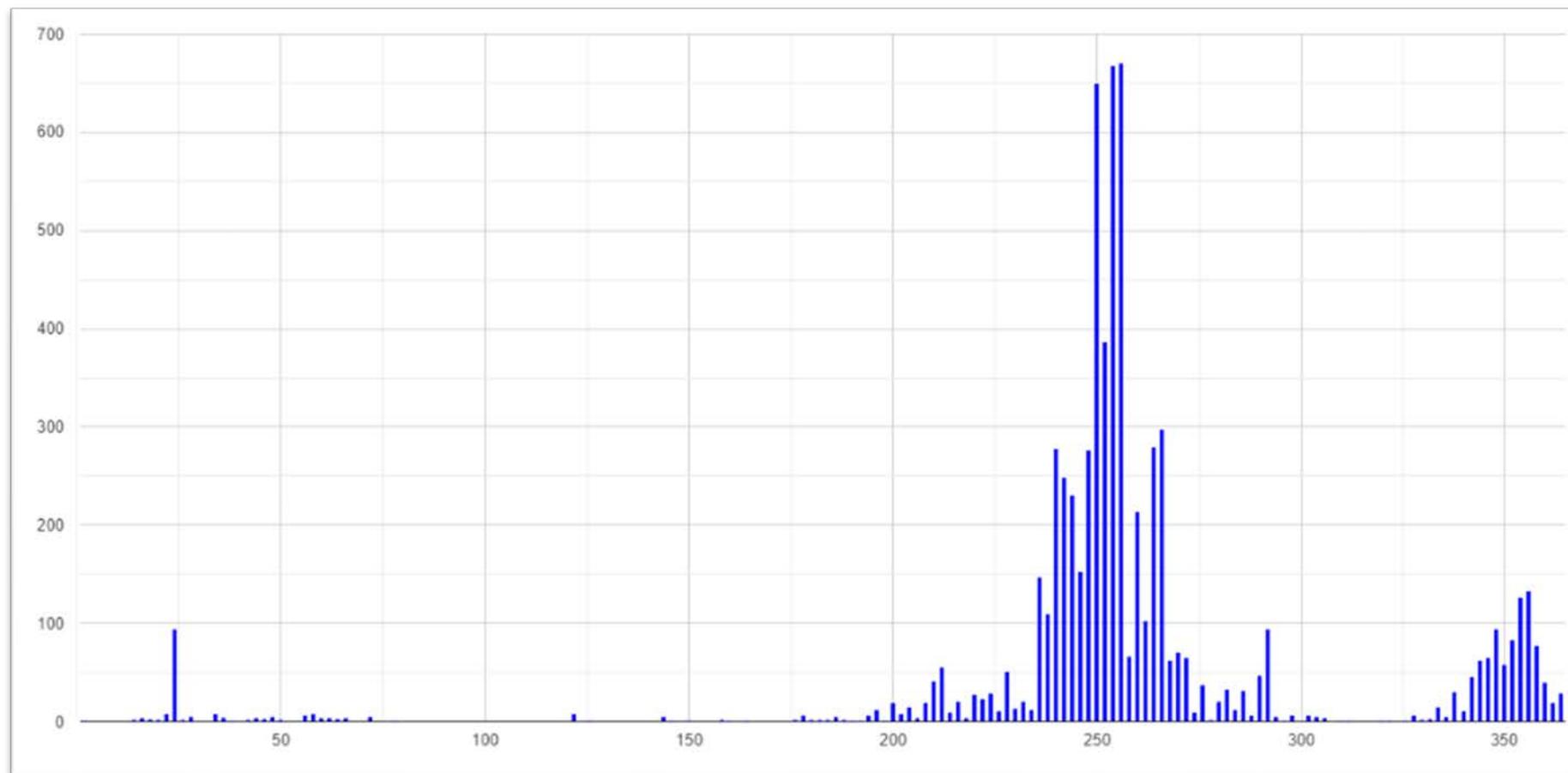
**Figura 19.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2015.



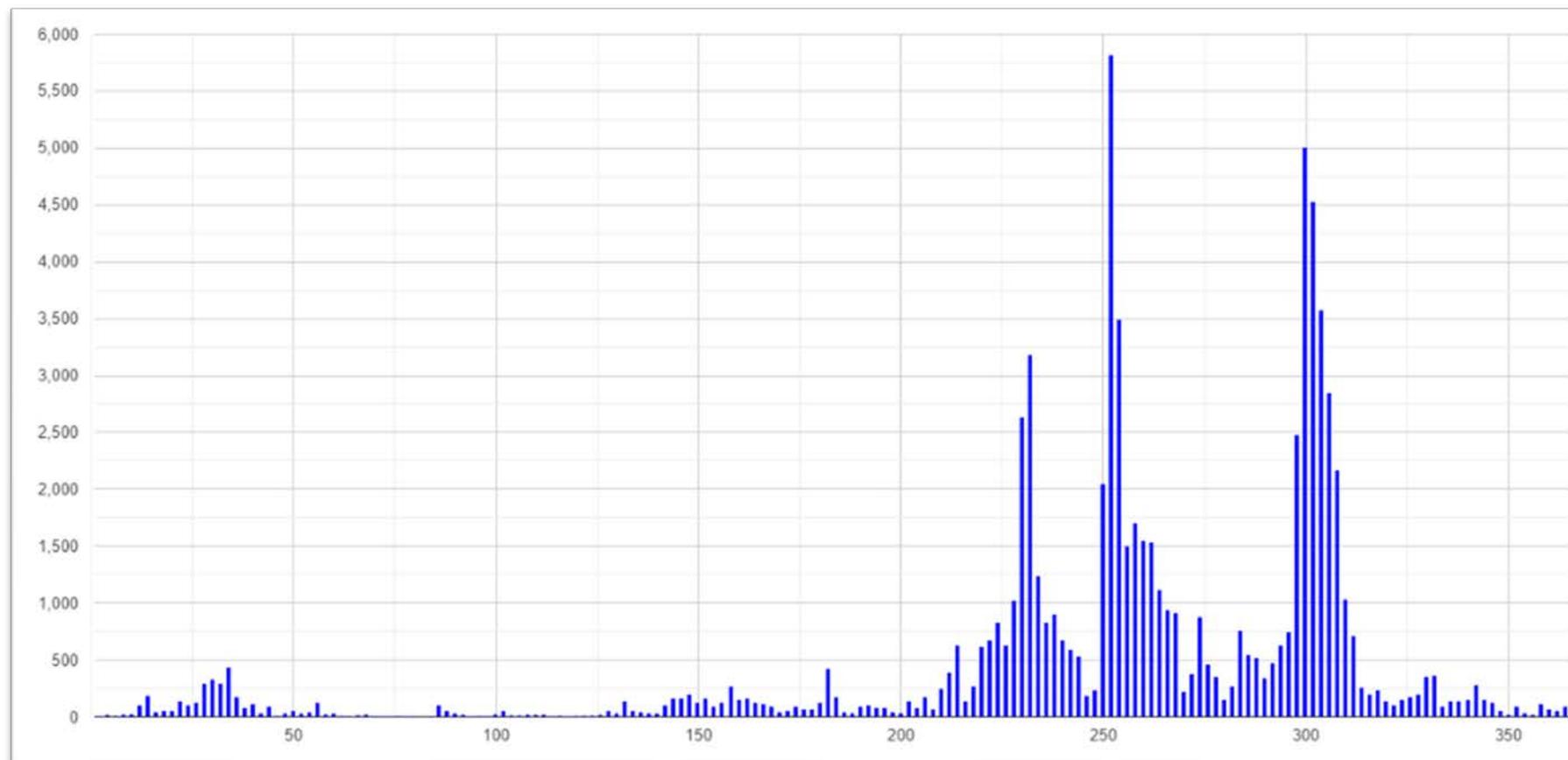
**Figura 20.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2016.



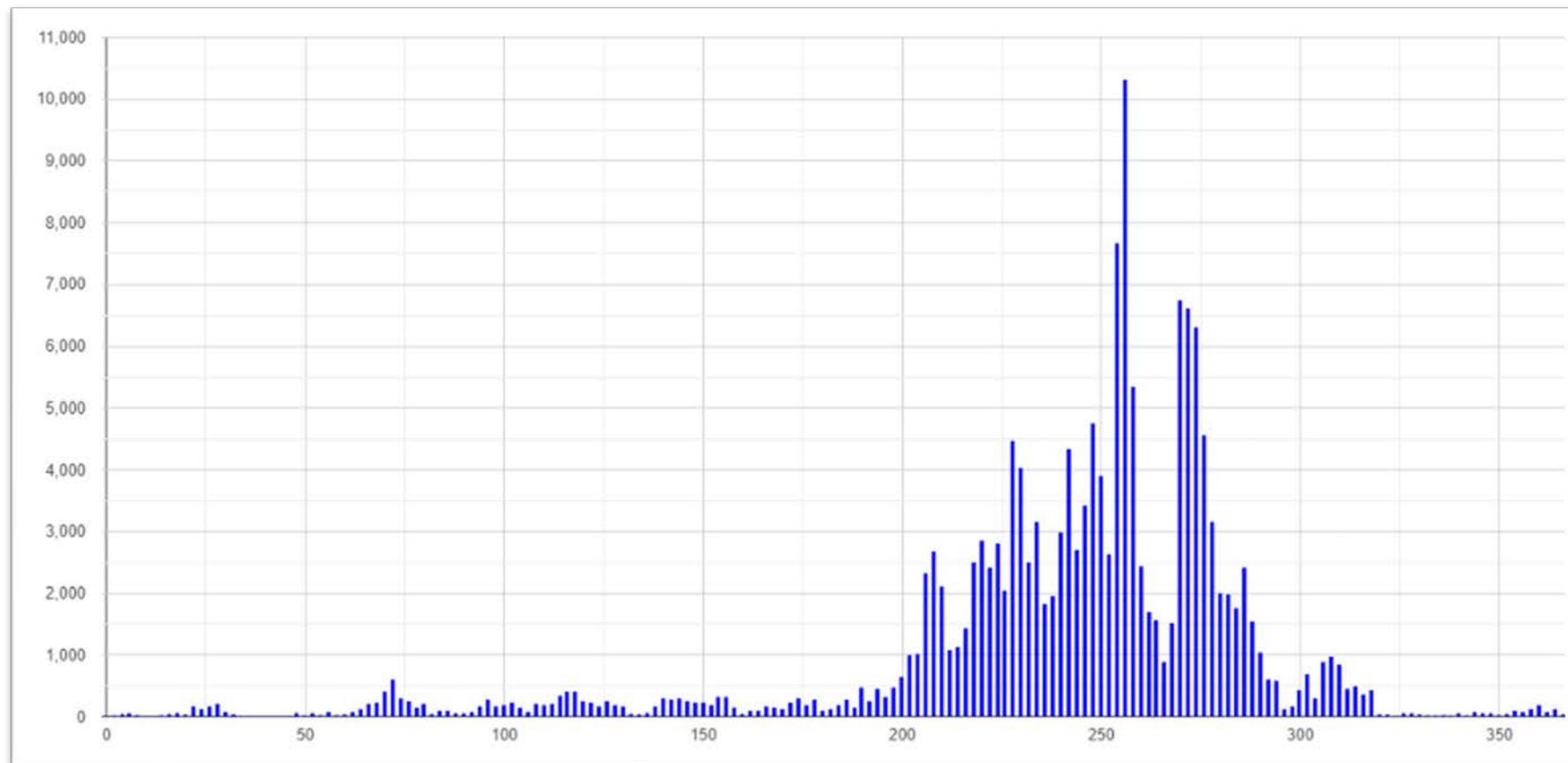
**Figura 21.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2017.



**Figura 22.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2018.



**Figura 23.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2019.



**Figura 24.** Área queimada no Pantanal (eixo vertical) pelos dias julianos (eixo horizontal) do ano de 2020.