

## DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS QUEIMADAS NO PANTANAL ENTRE 2001 E 2020

João B. C. dos Reis<sup>1</sup>, Ana Carolina M. Pessôa<sup>1</sup>, Nathália S. Carvalho<sup>2</sup>,  
Celso H. L. Silva Junior<sup>3</sup>, Angélica Guerra<sup>4</sup>, Fabio O. Roque<sup>5</sup>, Liana O. Anderson<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN) {joaodosreis89@gmail.com; acmoreirapessoa@gmail.com; liana.anderson@cemaden.gov.br}; <sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Tropical Ecosystems and Environmental Sciences lab (TREES) {nathalia.bioufla@gmail.com}; <sup>3</sup> Institute of the Environment and Sustainability, University of California Los Angeles (UCLA) {celsohlsj@ucla.edu}; <sup>4</sup> Instituto Homem Pantaneiro (IHP) {angelica@institutohomempantaneiro.org.br}; <sup>5</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) {roque.eco@gmail.com}

### RESUMO

O Pantanal apresenta uma complexa relação com o fogo e o aumento da frequência e intensidade do fogo no bioma põe em risco sua biodiversidade. Nesse contexto é importante o desenvolvimento e integração de informações sobre o fogo para subsidiar tomadas de decisão. Dessa forma, o trabalho se propôs a entender o comportamento espacial e temporal do fogo no Pantanal, entre os anos de 2001 e 2020, visto que estas são informações importantes para contribuir com a gestão do fogo no bioma. Os principais resultados encontrados são: aproximadamente 56% do bioma queimou ao menos uma vez no período; o biênio 2019 e 2020 apresentou altos valores de área queimada, sobretudo o ano de 2020, que registrou o maior valor do período; e o tamanho médio dos eventos individuais em 2020 também foi o maior da série temporal.

**Palavras-chave** — Pantanal, área queimada, mapeamento do fogo, geoprocessamento.

### ABSTRACT

*The Pantanal has a complex relationship with fire, and the increase in the frequency and intensity of fires in the biome puts its biodiversity at risk. In this context, developing and integrating fire information to support decision-making is crucial. In this field, remote sensing provides a valuable set of data. The work aimed to understand the spatial and temporal behaviour of fire in the Pantanal between 2001 and 2020 since this is essential information to contribute to managing fire in the biome. The main results found are: approximately 56% of the biome burned at least once in the period; the biennium 2019 and 2020 showed high values of burned area, especially the year 2020, which recorded the highest value of the period; and the average size of individual events in 2020 was also the largest in the time series. These results contribute to understanding the dynamics of fire in the region.*

**Key words** — Pantanal, burned area, fire mapping, geoprocessing.

### 1. INTRODUÇÃO

O Pantanal é a maior área úmida contínua do Planeta, reconhecido por sua rica biodiversidade fortemente influenciada pela dinâmica hidrológica regional, onde grandes áreas ficam inundadas em parte do ano [1]. O bioma exibe variados tipos de vegetação, típicos de outros biomas, como do Cerrado, da Amazônia e do Chaco, caracterizado principalmente pela presença de vegetação savântica, formação campestre e também, embora em menor área, por áreas de florestas estacionais [2]. Essa heterogeneidade torna o bioma bastante complexo, especialmente quanto a sua vulnerabilidade ao fogo. Parte do Pantanal é caracterizada como dependente ao fogo, ou seja, a ocorrência desse tipo de evento de forma natural promove a renovação de suas características ecológicas; enquanto outras áreas, como as áreas de florestas úmidas, são sensíveis ao fogo, e sua presença tem impactos negativos, como a perda de diversidade e serviços ecossistêmicos [3, 4].

Contudo, a dinâmica do fogo no Pantanal não está associada apenas a fatores naturais. O aumento da frequência e intensidade do fogo na região está relacionado principalmente às atividades humanas, utilizado como medida de baixo custo para conversão da vegetação e para limpeza e renovação da pastagem para atividades agropecuárias [5]. Além das atividades humanas, a ocorrência de eventos climáticos extremos, como os eventos de seca e ondas de calor [6], induzem a uma maior quantidade de queimadas e incêndios florestais. Dessa forma, uma maior presença de atividades humanas, junto com a previsão da frequência, intensidade e duração de eventos de seca cada vez maior [7], põem em risco a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos do bioma.

Um exemplo recente da exposição do bioma ao impacto da conjunção destes fatores, foram as grandes queimadas e incêndios florestais ocorridas em 2020. Naquele período, junto com a intensa atividade humana, o Pantanal estava sob uma seca prolongada, iniciada com a ausência de chuva durante o verão de 2019, além do registro de uma maior temperatura e menor precipitação comparado a média histórica durante o ano de 2020 [8, 9]. Estes fatores desencadearam incêndios florestais de grande escala durante o ano em questão [9].

O uso de dados de sensoriamento remoto (SR) ajudam na produção de informações essenciais para subsidiar a tomada de decisão e o planejamento do manejo integrado do fogo. Além disso, produtos de SR podem ser conectados a modelos de larga escala que permitem entender a dinâmica do fogo no Pantanal. Uma importante aplicação destes produtos de SR é para entender a distribuição espacial e temporal e as características do comportamento do fogo. Neste trabalho, é feito um diagnóstico espacial e temporal da área queimada entre os anos de 2001 e 2020 no Pantanal, tendo como base um produto de eventos de áreas queimadas individuais, obtidas através de sensoriamento remoto, que permite extrair, além da área, informações relevantes sobre a duração de cada evento ao longo do tempo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo definida para o trabalho é o Pantanal brasileiro, que está localizado na bacia hidrográfica do Alto Paraguai. O bioma possui uma área de aproximadamente 150 mil km<sup>2</sup>, que está dividido entre os estados do Mato Grosso, com 53 mil km<sup>2</sup>, e do Mato Grosso do Sul, com 97 mil km<sup>2</sup>. A climatologia na região se divide em dois períodos: o período de chuva, entre os meses de outubro e março, e o período seco, que compreende os meses de abril a setembro. Este perfil de distribuição de chuvas influencia a dinâmica hidrológica do bioma, com seus períodos de terra inundada, assim como os meses de maior suscetibilidade à ocorrência do fogo.

### 2.2 Material

Para o trabalho, foi feito uso do produto de área queimada (AQ) individual do *Global Wildfire Information System* (GWIS) [10]. O produto foi gerado através de um processo de mineração de dados, com base no produto de AQ MODIS Coleção 6 (MCD64A1), com o intuito de criar um banco de dados global de eventos individuais, que permite a caracterização de tipos e regimes de fogo em todo o mundo. O produto fornece informações sobre AQ para todos os países durante o período de 2001 a 2020, além de informações sobre o início e o fim de cada evento, sendo disponibilizado no formato *shapefile*.

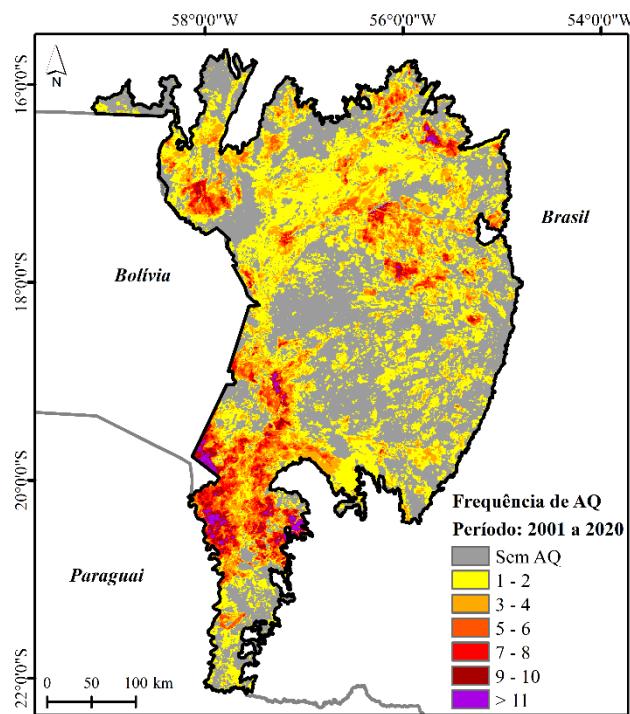
### 2.3 Metodologia

Para obter o diagnóstico de AQ no Pantanal, primeiro foi realizado um mapeamento para entender a distribuição e a recorrência espacial de AQ no bioma. Para a análise temporal, foram feitas as seguintes análises: (i) acumulado e anomalia anual de AQ; (ii) média mensal de AQ no período de 2001 a 2020; (iii) acumulado e anomalia mensal de AQ; (iv) média e percentil 95 (*p*95) das AQ (km<sup>2</sup>) em cada ano; e (v) análise da duração (número de dias) de cada evento individual em cada ano da série temporal. As anomalias

foram dadas pelo desvio padrão normalizado ( $\sigma$ ), como apresentado em Aragão et al. [11], tendo como base todo período de dados (2001 a 2020), tanto para a análise anual, quanto para a mensal.

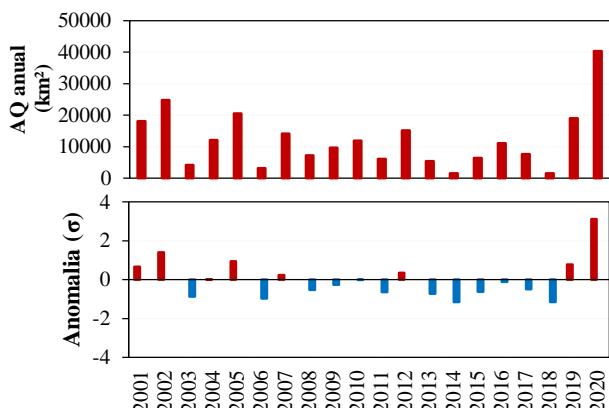
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados do produto do GWIS, foi possível identificar a distribuição espacial e as áreas que apresentam as maiores e menores recorrência do fogo no Pantanal. Mais da metade da área, aproximadamente 56% do bioma, queimou ao menos uma vez entre os anos de 2001 e 2020, sendo que as áreas onde o fogo ocorreu uma ou duas vezes no período, representa 34% da área de estudo. As AQ que queimaram de 3 a 4 vezes ocuparam 12% do bioma, enquanto as demais categorias representadas na Figura 1, somaram aproximadamente 10%. Uma pequena fração (~ 1%) registrou a recorrência de queimadas superior a 11 vezes no período. Vide a frequência de AQ, áreas com grande recorrência do fogo indicam locais de intensa atividade humana.



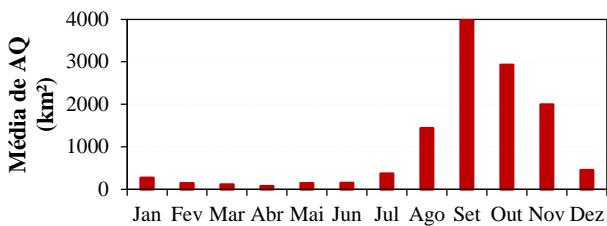
A análise temporal no período definido no estudo apontou o ano de 2020 com o maior valor anual de AQ, quando mais de 40 mil km<sup>2</sup> do Pantanal queimou, ao passo que o valor de anomalia foi positivo ( $\sigma = 3.1$ ) (Figura 2). Marengo et al. [8] e Barbosa et al. [9] confirmam o ano de 2020 como excepcional, onde o conjunto de atividades humanas e também as características climáticas, provocaram os altos valores de AQ. Além disso, o corte de recursos destinados aos

órgãos de proteção e monitoramento ambiental, também são apontados como fatores importantes para os altos valores encontrados nos anos de 2019 e 2020 [12, 13]. A seguir, os anos de 2002, 2005 e 2019 apresentaram os maiores acumulados, respectivamente. Vale notar, que após os anos de 2002 e 2005, ocorreram anos com menores valores de AQ.



**Figura 2.** Total de AQ por ano ( $\text{km}^2$ ) e anomalia anual ( $\sigma$ ) no período de 2001 a 2020 no Pantanal brasileiro.

A média de distribuição de AQ ao longo dos meses no período de estudo, indica uma maior ocorrência nos meses de agosto até novembro, com o pico no mês de setembro (Figura 3). Isto mostra que o fogo é utilizado no final do período de seca, que se estende até o mês de setembro, e nos dois primeiros meses do período de chuva, que se inicia em outubro.

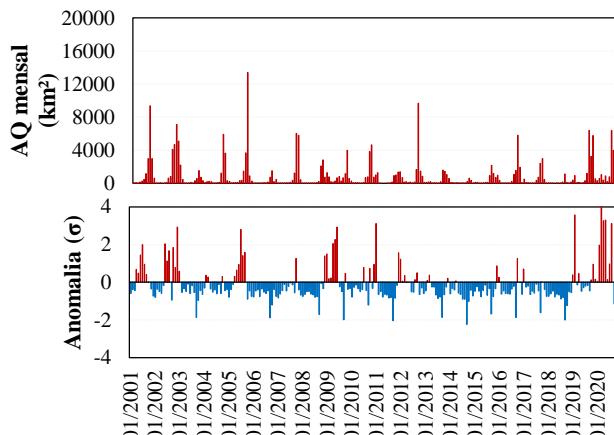


**Figura 3.** Média mensal de AQ por ano ( $\text{km}^2$ ) no período de 2001 a 2020 no Pantanal.

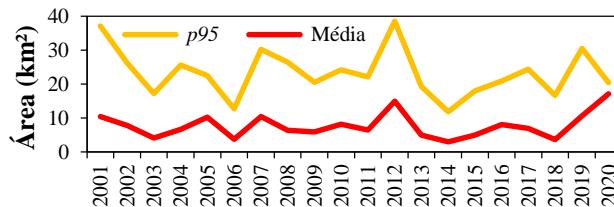
Os maiores valores mensais de AQ, como sugere a média do período, ocorreram nos meses de agosto até novembro. O maior valor mensal encontrado foi em novembro de 2020, quando aproximadamente 18 mil  $\text{km}^2$  queimaram no Pantanal (Figura 4). Em acordo com o evento de seca extrema ocorrido no bioma em 2019 e 2020 [8], e seu potencial de tornar a vegetação mais vulnerável ao fogo, é possível identificar a presença dos valores mais altos de anomalia neste biênio em comparação com todo o período de dados.

As variações da média e do  $p95$  da AQ permitem identificar os anos com as maiores áreas de eventos individuais de fogo (Figura 5). O ano de 2012, que apresentou o sexto maior acumulado de AQ anual no período, registrou a maior média ( $15 \text{ km}^2$ ) e  $p95$  ( $39 \text{ km}^2$ ) de AQ. Em 2020, ano com valor recorde de AQ, foi encontrado a maior média de

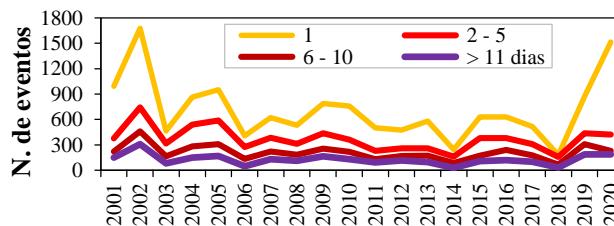
AQ ( $\sim 17 \text{ km}^2$ ), porém um baixo valor de  $p95$ . Avaliando a duração dos eventos em cada ano, apresentado na Figura 6, pode-se explicar esse padrão visto que em 2020, foi identificado um grande número de eventos individuais com duração 1 dia, o que sugere áreas menores, ao mesmo tempo que apresentou um alto número de eventos com duração superior a 11 dias, ficando atrás apenas dos anos de 2002 e 2019.



**Figura 4.** Total de AQ mensal ( $\text{km}^2$ ) e anomalia mensal ( $\sigma$ ) no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020 no Pantanal.



**Figura 5.** Variação da média e percentil 95 das AQ ( $\text{km}^2$ ) em cada ano no Pantanal.



**Figura 6.** Número de eventos com diferentes durações em cada ano no período de 2001 a 2020.

O Pantanal depende da manutenção do seu regime de chuvas, que em boa parte é definido através da umidade proveniente da Amazônia. Em trabalho publicado recentemente, Gatti et al. [14] encontraram um menor volume de chuva registrado durante os meses da estação seca na Amazônia durante os últimos anos. Um menor volume de chuva pode afetar o Pantanal, tornando o bioma mais suscetível a eventos de seca e, consequentemente, ao fogo. Dessa forma, é importante a realização de estudos para

identificar mudanças de padrões climáticos e do fogo, assim como investir em sistemas de monitoramento, como o Alerta de Área Queimada com Monitoramento Estimado por Satélite (ALARMEs - <https://alarmes.lasa.ufrj.br/>) e de previsão do fogo, como o proposto por Anderson et al. [15]. E dessa forma, com base em dados e informações em tempo real e com antecedência, ampliar o desenvolvimento de planos operativos de combate e prevenção do fogo, vide exemplo o desenvolvido para a Rede do Amolar, no Pantanal [16].

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou um diagnóstico do regime do fogo no Pantanal brasileiro entre os anos de 2001 e 2020, através de dados de AQ oriundos de sensoriamento remoto. Os resultados mostraram que mais da metade do bioma já queimou ao menos uma vez no período. Mesmo sendo um bioma, onde parte da sua vegetação depende do fogo, o aumento da frequência pode afetar sua capacidade de regeneração e de prover seus serviços ecológicos. A análise temporal aponta o biênio de 2019 e 2020 com altos valores de AQ, sobretudo o ano de 2020, que alcançou o maior valor do período. A análise de anomalia mensal revelou valores positivos durante boa parte dos meses de 2020. O fogo que ocorreu neste ano foi resultado da seca iniciada em 2019 e que se estendeu durante todo o ano seguinte. O tamanho médio dos eventos individuais de AQ em 2020 também foi o maior da série temporal, assim como foi o ano de maior registro de eventos com duração de um dia e um dos que apresentou mais eventos prolongados, com duração superior a 11 dias. Estes resultados contribuem para o entendimento da dinâmica do fogo na região. Estas informações, em conjunto com a compreensão das atividades humanas e das condições climáticas, podem orientar a adoção de medidas que ajudem a prevenir e mitigar as queimadas e incêndios florestais no Pantanal.

#### 6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Rede Pantanal/MCTI (processo: FINEP/ 01.20.0201.00).

#### 8. REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira, M. D., Calheiros, D. F., & Hamilton, S. K. Mass balances of major solutes, nutrients and particulate matter as water moves through the floodplains of the Pantanal (Paraguay River, Brazil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24 (1), pp. 2318–0331, 2019.
- [2] Pott, A., Silva J. S. V. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal Wetland. In Bergier I., & Assine M. (Eds.), Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, 37, pp. 111–131, 2015.
- [3] Fidelis, A. Is fire always the “bad guy”? *Flora*, 268, pp. 1–3, 2020.
- [4] Pivello, V. R., Vieira, I., Christianini, A. V., Ribeiro, D. B., Da Silva Menezes, L., Berlinck, C. N., Melo, F. P., Marengo, J. A., Tornquist, C. G., Tomas, W. M., Overbeck, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19 (3), pp. 233–255, 2021.
- [5] 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. *Science of the Total Environment*, 687, pp. 1011–1027, 2019.
- [6] Libonati, R., Geirinhas, J.L., Silva, P. S., Russo, A., Rodrigues, J. A., Belem, L. B. C., Nogueira, J., Roque, F. O., DaCamara, C. C., Nunes, A. M. B., Marengo, J. A., Trigo, R. M. The impact of compound drought and heatwave events on the unprecedented 2020 fire season in the Pantanal, Brazil. *EGU General Assembly 2022*, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-1843.
- [7] Flannigan, M., Cantin, A. S., de Groot, W. J., Wotton, M., Newbery, A., Gowman, L. M. Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management*, 294, pp. 54–61, 2013.
- [8] Marengo, J. A., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Deusdará Leal, K. R., Broedel, E., Seluchi, M. E., Michelin, C. M., Baião, C. F. P., Angulo, E. C., Almeida, E. K., Kazmierczak, M. L., Antônio Mateus, N. P., Silva, R. C., Bender, F. Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, causes, and impacts. *Frontiers in Water*, 3, 639204, 2021.
- [9] Ferreira Barbosa, M. L., Haddad, I., da Silva Nascimento, A. L., Máximo da Silva, G., Veiga, R. M., Hoffmann, T. B., de Souza, A. R., Dalagnol, R., Streher, A. S., Pereira, F. R. S., Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O. Compound impact of land use and extreme climate on the 2020 fire record of the Brazilian Pantanal. *Global Ecology and Biogeography*, 31, pp. 1960–1975, 2022.
- [10] Artés, T., Oom, D., de Rigo, D., Durrant, T. H., Maianti, P., Libertà, G., San-Miguel-Ayanz, J. A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behaviour. *Sci Data*, 6, 296, 2019.
- [11] Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophys. Res. Lett.*, 34:L07701, 2007.
- [12] Libonati, R., DaCamara, C. C., Peres, L. F., Carvalho, L. A. S., Garcia, L. C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature* 588: 217–219, 2020.
- [13] ASCEMA. 2020. *Cronologia de um desastre anunciado: Ações do governo Bolsonaro para desmontar as políticas de meio ambiente no Brasil*. Disponível em: [http://www.ascemanacional.org.br/wp-content/uploads/2020/09/Dossie\\_Meio-Ambiente\\_Governo-Bolsonaro\\_revisado\\_02-set-2020-1.pdf](http://www.ascemanacional.org.br/wp-content/uploads/2020/09/Dossie_Meio-Ambiente_Governo-Bolsonaro_revisado_02-set-2020-1.pdf) (Acesso 26.10.22).
- [14] Gatti, L.V., Basso, L. S., Miller, J. B. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595, pp. 388–393, 2021.
- [15] Anderson, L. O., Burton, C., Dos Reis, J. B. C., Pessôa, A. C. M., Bett, P., Carvalho, N. S., Selaya, G., Jones, C., Rivera-Lombardi, R., Aragão, L. E. O. C., Silva, J. C., Xaud, H., Wiltshire, A., Ferreira, J., Armenteras, D., & Bilbao, B. An alert system for seasonal fire probability forecast for South American protected areas. *Climate Resilience and Sustainability*, 1(1), 01002, 2021.
- [16] Guerra, A., Roque, F. O., Larcher, L., Rabelo, A. P. C., Toma, T. S. P., Anderson, L. O., Freitas, A. L., Reis, J. B. C., Libonati, R., de Matos A. M. P., Nunes A., Ovelha, B. A., Fernandes, G. W., Damasceno-Junior, G. A., Ribeiro, D. B., Roscoe, R. Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais da Rede Amolar. *Relatório Técnico, Rede Pantanal*. 50 p. 2021.