

## INFLUÊNCIA DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA EXPANSÃO DO FOGO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA – BOCA DO ACRE, BRASIL

Débora Joana Dutra <sup>1</sup>, Thais Pereira de Medeiros <sup>2</sup>, Ana Larissa Ribeiro de Freitas <sup>3</sup>, Beatriz Figueiredo Cabral <sup>4</sup>, Philip Martin Fearnside <sup>5</sup>, Aurora Miho Yanai <sup>6</sup>, Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça <sup>7</sup>, Ricardo Dalagnol <sup>8</sup>, Poliana Domingos Ferro <sup>9</sup>, Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão <sup>10</sup> e Liana Oighenstein Anderson <sup>11</sup>

<sup>1,3,11</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais [ddutra.ambiental@gmail.com](mailto:ddutra.ambiental@gmail.com); [alarisig@gmail.com](mailto:alarisig@gmail.com) e [liana.anderson@cemaden.gov.br](mailto:liana.anderson@cemaden.gov.br), <sup>2,9,10</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - [thais.pereira@inpe.br](mailto:thais.pereira@inpe.br), [poliana.ferro@ifac.edu.br](mailto:poliana.ferro@ifac.edu.br) e [luiz.aragao@inpe.br](mailto:luiz.aragao@inpe.br); <sup>4,5,6,7</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - [beatriz.figueiredocabral@gmail.com](mailto:beatriz.figueiredocabral@gmail.com), [philip.fearnside@gmail.com](mailto:philip.fearnside@gmail.com), [yanai@inpa.gov.br](mailto:yanai@inpa.gov.br) e [pmalencastro@gmail.com](mailto:pmalencastro@gmail.com), <sup>8</sup> NASA-Jet Propulsion Laboratory and University of California - [ricds@hotmail.com](mailto:ricds@hotmail.com)

### RESUMO

As mudanças do uso e ocupação da terra proporcionam diversas alterações na paisagem. A fragmentação florestal, que induz o crescimento das bordas e a perda da cobertura florestal, tem servido como um fator para o avanço das áreas queimadas no sudoeste da Amazônia. O objetivo desse trabalho foi analisar o papel da fragmentação florestal na ocorrência das áreas queimadas na região do município de Boca do Acre, no estado brasileiro do Amazonas. Utilizamos o software GUIDOS toolbox para o processamento das métricas de paisagem e o RStudio para correlacionar o avanço do fogo com a extensão das áreas núcleo e de borda da região de estudo. Os resultados mostraram que o aumento das áreas de bordas florestais e a diminuição da área núcleo na região de estudo relacionaram-se com as tendências temporais de aumento das áreas queimadas. Este estudo pode servir como subsídio para estudos futuros sobre as alterações do fogo no uso do solo em regiões de forte pressão do desmatamento.

**Palavras-chave** — fragmentação, fogo, paisagem, borda, tendência.

### ABSTRACT

*The changes in land use and occupation cause various changes in the landscape. Forest fragmentation, which causes the growth of edges and loss of forest cover, contributes to the advancement of burned areas in southwestern Amazonia. The objective of this paper was to analyze the role of forest fragmentation in the occurrence of burned areas in the region of the municipality of Boca do Acre, in the Brazilian state of Amazonas. We used GUIDOS toolbox software to process the landscape metrics and RStudio to correlate the fire advance increases with the extent of core and edge areas in the study region. The results showed that the increase in edges and the decrease in the core areas were related to the temporal trends in burned areas. This study can serve as an input to future studies of the alterations of fire in regions under strong deforestation pressure.*

**Keywords** — fragmentation, fire, landscape, edge, trend.

### 1. INTRODUÇÃO

As mudanças desordenadas do uso e ocupação da terra têm ocasionado transformações da paisagem e diminuído a provisão de serviços essenciais para a manutenção de ciclos naturais [1]. Atualmente, as florestas tropicais brasileiras têm sido alvo de diversas pressões antrópicas associadas ao desmatamento e ao fogo [2], o que tem proporcionado o aumento da fragmentação florestal [3] e afetado a dinâmica da manutenção de serviços ecossistêmicos [4]. Estes processos causam a redução da cobertura florestal e impactos negativos ao sistema, como a diminuição do estoque de carbono [5], intensificação das estações secas [6], além do aumento da susceptibilidade da região ao surgimento de novas áreas queimadas e incêndios [7].

O sudoeste do estado do Amazonas é localizado próximo à região do arco do desmatamento. Tal proximidade intensifica a exposição da região aos eventos antrópicos, tornando-a susceptível às alterações da paisagem, sendo um ponto emergente de novos processos de degradação florestal no bioma Amazônico [8]. A fragmentação florestal é caracterizada por uma ruptura da unidade de paisagem, encontrando-se entre as mais graves ameaças para manutenção dos ecossistemas e da diversidade biológica.

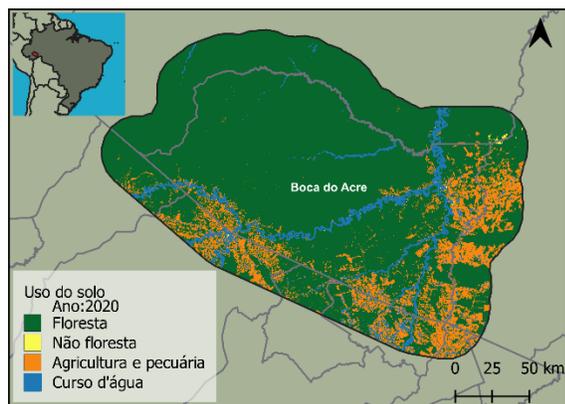
A fragmentação é responsável por propiciar o aumento do efeito de borda e, conseqüentemente, a intensificação da influência dos fatores externos, como por exemplo, a ocorrência de incêndios. [9]. Isso se deve ao fato de que o avanço do desmatamento acelera a taxa de fragmentação das áreas florestais e aumentam a degradação nas regiões de borda, onde a matéria orgânica morta presente favorece a ocorrência de incêndios [10], principalmente nos períodos secos [11]. Neste contexto, o objetivo desse estudo foi analisar o papel da fragmentação florestal na ocorrência das áreas queimadas na região de Boca do Acre, Amazonas.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1. Área de Estudo

Localizado no sudoeste do estado do Amazonas, a área de estudo inclui todo o município de Boca do Acre e suas regiões adjacentes (incluídas em um *buffer* de 25 km<sup>2</sup>),

(Figura 1). O clima da região é caracterizado como equatorial (Af no sistema de classificação Köppen) [12] com a presença de áreas de floresta densa, características da Floresta Amazônica [13]. O desmatamento em Boca do Acre concentra-se na parte leste (limite com o município de Lábrea) e na parte sul (limite com o estado do Acre). A agropecuária e a exploração madeireira são as principais atividades econômicas da região.



**Figura 1. Localização da área de estudo e uso do solo para o ano de 2020 na região do município de Boca do Acre - Amazonas**

## 2.2. Coleta de dados

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos pela plataforma do projeto MAPBIOMAS (coleção 7) para os anos de 2003 a 2020 [14]. Estes dados são fornecidos por meio da implantação de um algoritmo de classificação de imagens LANDSAT (resolução espacial de 30m) [15] para todo o território brasileiro [16]. Além disso, para entendermos a influência do fogo na região de estudo, utilizamos dos dados de intercomparação de área queimada [17] dos produtos MCD64A1, GWIS e GABAM para uma grade de células de área de 25 km<sup>2</sup>.

## 2.3. Análises espaciais e estatísticas

Utilizamos o algoritmo *Morphological Spatial of Patterns Analysis* (MSPA) [18] do software GUIDOS toolbox [19] para realização das análises de fragmentação florestal na região de estudo. O MSPA consiste em um processo que identifica a conectividade e a geometria de uma imagem por meio de operadores morfológicos [18]. O MSPA foi aplicado e as seguintes métricas da paisagem foram consideradas: “borda”, que refere-se ao perímetro externo da classe floresta (de 1020 m [3]) e “área núcleo” que consiste nas áreas florestais sem a presença de bordas.

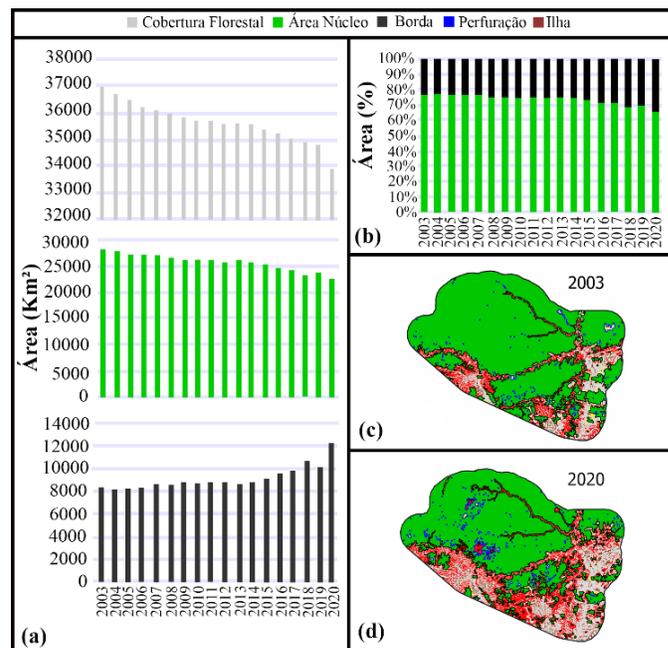
As análises estatísticas objetivaram explicar a relação entre fragmentação florestal e processos de alteração da paisagem ocasionados pelo fogo. Para isso utilizamos o software RStudio [20] e calculamos a tendência de mudança das áreas das métricas da paisagem ao longo do período estudado, a partir da aplicação dos testes de tendência de Mann- Kendall [21], por meio da biblioteca ‘Kendall’ [22] e

‘wql’ [23]. Para todas as análises adotamos o nível de significância de 5% (p-valor < 0,05).

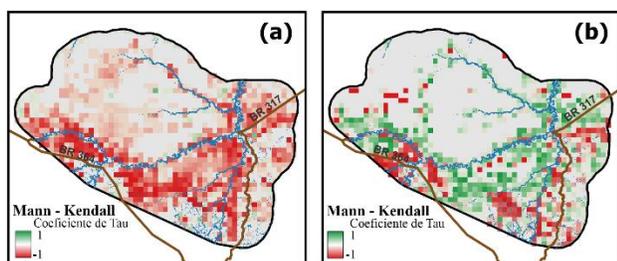
## 3. RESULTADOS

As alterações da paisagem em relação a transição de floresta para não floresta se concentraram na região sudoeste e leste da região de estudo (Figuras 2c e 2d). Neste processo, a cobertura florestal da área de estudo apresentou uma redução de 36.951 km<sup>2</sup> em 2003 para 33.925 km<sup>2</sup> em 2020. A taxa líquida de perda florestal na região de estudo foi de 8,19% (3025 km<sup>2</sup> com tendência negativa significativa do coeficiente Tau de Kendall de -0,98), equivalente a uma média de perda de 168 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (±186 ano<sup>-1</sup>).

No período analisado (2003-2020), identificamos um avanço médio das áreas de borda (232 km<sup>2</sup>/ano ± 550 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>), correspondendo a uma média de 26% ± 4% da cobertura florestal da região de estudo. Além disso, observamos uma diminuição das áreas núcleo (-289 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> ± 361.5 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>), correspondendo a uma média de 72,54% ± 2,75% (Figura 2a-b). Espacialmente, houve decréscimo de área núcleo (média de coeficiente Tau de Kendall -0,05 ± 0,72 célula<sup>-1</sup>) e aumento das regiões de borda (média de coeficiente Tau de Kendall 0,42 ± 0,65 célula<sup>-1</sup>), caracterizando-se como uma transição das áreas núcleos para áreas de borda na região de estudo (Figura 3 a - b).

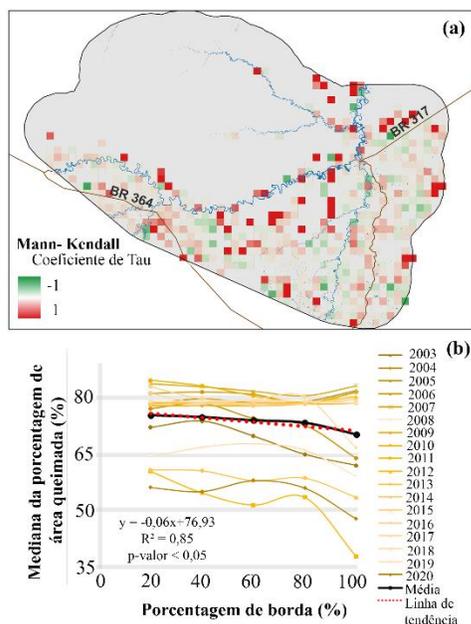


**Figura 2. (a) Cobertura florestal e Área anual das métricas de paisagem (área núcleo e borda) da região de estudo; (b) Porcentagem de representação da borda e área núcleo para os anos de 2003-2020; Representação espacial das métricas para o ano de (c) 2003 e (d) 2020**



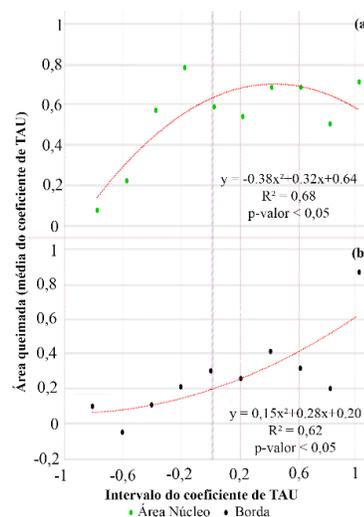
**Figura 3. Análise de Mann-Kendall em uma grade de células de 25 km<sup>2</sup> para tendência temporal de mudança (a) área núcleo para (b) borda.**

As áreas afetadas por queimadas aumentaram em média 2.534 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> ± 7.126 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (com tendência positiva significativa do coeficiente Tau de Kendall de 0,07). Identificamos um avanço dessas áreas na região leste e sudoeste (média de coeficiente Tau de Kendall 0,13 ± 0,39 célula<sup>-1</sup>), (Figura 4a). Na relação entre a porcentagem de área queimada e de borda, observamos que a maior parte das queimadas ocorrem nas regiões com até 30% de borda (tendência central média de 75% ± 0,30%) e, conforme o avanço dos anos, e há uma diminuição média da tendência central da porcentagem de área queimada na região de estudo (72 % ± 1,9%), (Figura 4b).



**Figura 4. (a) Análise de Mann-Kendall para tendência temporal de mudança de área queimada e (b) Análise de regressão da mediana da porcentagem de área queimada para cada intervalo de porcentagem de área de borda.**

Observamos que a média de área queimada apresenta um incremento à medida que os intervalos de áreas de borda aumentam (Figura 5b). Além disso, identificamos um decréscimo quando a área núcleo atinge valores de tendência de -0,6 a -0,8, isto sendo o intervalo com maior tendência de ocorrência de áreas queimadas entre 0,4 e 0,6 (Figura 5a).



**Figura 5. Análise do coeficiente de TAU para dados de área queimada e (a) Área Núcleo e (b) Borda para identificação da influência do aumento da tendência no comportamento das áreas queimadas na região de estudo.**

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados permitiram identificar que as mudanças na paisagem podem contribuir para o aumento da tendência de expansão das áreas queimadas em Boca do Acre e área de entorno. Os principais fatores associados a esse aumento são as perdas da cobertura florestal e das áreas núcleos, além do aumento das áreas de borda. As mudanças na paisagem concentram-se nas regiões leste e sudoeste, caracterizada pela expansão agropecuária, atividade madeireira e rodovias [8] as quais contribuem no avanço do desmatamento.

A perda florestal gera potenciais fontes de ignição que favorece o avanço das áreas de borda e a diminuição das áreas núcleos [4], o que auxilia no aumento da porcentagem de áreas queimadas, principalmente nos intervalos de tendência de área núcleo entre -0,4 e 0,2 (Figura 5a).

Na região de estudo, observamos que quando as bordas atingem 40 a 80% da célula a tendência de expansão da área queimada aumenta (Figura 4b). As principais consequências da fragmentação florestal estão associadas ao aumento da matéria orgânica morta nas bordas e mudanças microclimáticas associadas a redução da umidade e aumento das temperatura[10, 24]. Este processo serve como fonte de ignição para a ocorrência de incêndios.

Identificamos que quanto maior a tendência de ocorrência de bordas na região, maior a possibilidade de que ocorra avanço das áreas queimadas (Figura 5b). Normalmente, as bordas se localizam em áreas com aumento da luminosidade, diminuição da umidade e maior probabilidade de mortalidade de árvores quando comparado com o interior da floresta [3]. Este processo favorece o aumento descontrolado do fogo [9], interfere na regeneração florestal [10] e pode ocasionar a alteração dos ecossistemas, como o aumento da probabilidade de que espécies vulneráveis ao fogo possam desaparecer.

Esperava-se que a relação entre área núcleo e área queimada fosse inversamente proporcional. Entretanto, os resultados demonstraram a presença de uma menor tendência a queimadas quando a área núcleo atinge intervalos de -0,8 a -0,6 (Figura 5a). Isto pode estar associada ao fato de que a ocorrência de fogo diminui em regiões consolidadas, como nas áreas antropizadas, ou seja, a partir de um determinado limiar a ocorrência de incêndios atinge seu ponto de saturação, não há mais biomassa para queimar. No entanto, este cenário pode mudar com o surgimento de novas frentes de expansão do desmatamento nas porções norte e oeste de Boca do Acre.

A relação entre a ocorrência de fogo e a fragmentação florestal permite identificar as áreas mais vulneráveis e pode auxiliar ações prognósticas e diagnósticas de gestão de paisagem para identificar as melhores formas de prevenção de desastres associados ao fogo na Amazônia. Neste aspecto, este estudo contribui para o entendimento do comportamento do fogo na fragmentação florestal.

## 5. CONCLUSÕES

A degradação florestal associada à fragmentação da paisagem contribui para o aumento da tendência de expansão das áreas queimadas, principalmente devido ao avanço das áreas de borda. A perda da cobertura florestal está associada ao avanço da pecuária e exploração madeireira que favorecem o surgimento de novas áreas de borda de floresta e a ocorrência de incêndios, inclusive nas áreas núcleos. As análises de métrica de paisagem auxiliam no diagnóstico dos efeitos do fogo nas alterações da paisagem. Além disso, podem servir como subsídio para estudos futuros sobre a influência do fogo e de outros aspectos ambientais na gestão da paisagem, principalmente quando associados aos atuais modelos de desenvolvimento na Amazônia focados na conversão da floresta para outros tipos de usos e cobertura da terra.

## 6. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à pesquisa de São Paulo - FAPESP (processo nº 2020/08916-8, 21/04019-4, 2020/15230-5), Fundação de Amparo à pesquisa do Amazonas - FAPEAM, (processo nº 102016301000289/2021-33) e CNPq/Prevfogo - Ibama Nº 33/2018 (processo nº 441949/2018-5).

## 7. REFERÊNCIAS

[1] Dutra, D. J.; Elmiro, M. A. T.; and Ribeiro, S. M. C., Association between forest resources and water availability: temporal analysis of the Serra Azul stream sub-basin, *An. Acad. Bras. Cienc.*, v. 94: pp.1-15, 2022.

[2] Ferrante, L. and Fearnside, P. M., The Amazon's road to deforestation, *Science*, v. 369: pp. 634–634, Aug. 2020.

[3] Silva Junior, C. H. L. *et al.*, Forest Fragmentation and Fires in the Eastern Brazilian Amazon–Maranhão State, Brazil, *Fire*, v. 5: p. 77, 2022.

[4] Oliveira, A. S. *et al.*, Economic losses to sustainable timber production by fire in the Brazilian Amazon, *Geogr. J.*, v. 185: pp.

55–67, 2019.

[5] Aragão, L. E. O. C. *et al.*, 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions, *Nat. Commun.*, v. 9: pp. 1–12, 2018.

[6] Aragão, L. E. O. C., The rainforest's water pump, *Nature*, v. 489: pp. 217–218, 2012.

[7] Aragão, L. E. O. C. and Shimabukuro, Y. E., The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD, *Science*, v. 328: pp. 1275–1278, 2010.

[8] Mataveli, G. A. V.; Chaves, M. E. D.; Brunsell, N. A.; and Aragão, L. E. O. C., The emergence of a new deforestation hotspot in Amazonia, *Perspect. Ecol. Conserv.*, v. 19: pp. 33–36, 2021.

[9] Campanharo, W. A.; Lopes, A. P.; Anderson, L. O.; da Silva, T. F. M. R.; and Aragão, L. E. O. C., Translating fire impacts in Southwestern Amazonia into economic costs, *Remote Sens.*, v. 11: pp. 1-24, 2019.

[10] Silva Junior, C. H. L.; Aragão, L. E. O. C.; Fonseca, M. G.; Almeida, C. T.; Vedovato, L. B.; and Anderson, L. O., Deforestation-induced fragmentation increases forest fire occurrence in central Brazilian Amazonia, *Forests*, v. 9: pp. 1-16, 2018

[11] Silva, S. S. da; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. de A.; Brown, I. F.; Alencar, A.; and Melo, A. W. F. de, Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon, *For. Ecol. Manage.*, v. 424: pp. 312–322, 2018.

[12] Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; de Moraes Gonçalves, J. L.; and Sparovek, G., Köppen's climate classification map for Brazil, *Meteorol. Zeitschrift*, v. 22: pp. 711–728, 2013.

[13] Barni, P. E.; Pereira, V. B.; Manzi, A. O.; and Barbosa, R. I., Deforestation and Forest Fires in Roraima and Their Relationship with Phytoclimatic Regions in the Northern Brazilian Amazon, *Environ. Manage.*, v. 55: pp. 1124–1138, 2015.

[14] MAPBIOMAS, Projeto Mapbiomas, 2021. Available: <https://mapbiomas.org>. [Accessed: 30-Jun-2021].

[15] Souza, C. M. *et al.*, Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and earth engine, *Remote Sens.*, v. 12 : pp. 1-27, 2020.

[16] MAPBIOMAS, Accuracy Statistics, 2022, 2022. Available: [https://mapbiomas.org/accuracy-statistics?cama\\_set\\_language=en](https://mapbiomas.org/accuracy-statistics?cama_set_language=en).

[17] Dutra, D. J. *et al.*, Comparison of regional scale burned area products for southwestern Brazilian Amazonia, in *GEOINFO 2022 - accepted*, pp. 12, 2022.

[18] Soille, P. and Vogt, P., Morphological segmentation of binary patterns, *Pattern Recognit. Lett.*, v. 30: pp. 456–459, 2009.

[19] Vogt, P.; Riitters, K.; Rambaud, P.; D'Annunzio, R.; Lindquist, E.; and Pekkarinen, A., GidooToolbox Workbench: spatial analysis of raster maps for ecological applications, *Ecography (Cop.)*, v. 2022: pp. 1-7, 2022.

[20] RStudio, RStudio, 2022, 2022. Available: <https://www.rstudio.com>.

[21] Kendall, M. G., *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin, 1975.

[22] Package 'Kandall,' 2022, 2022. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/Kendall/Kendall.pdf>.

[23] Package 'wql,' 2022, 2022. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/wql/wql.pdf>.

[24] McDowell, N. *et al.*, Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests, *New Phytol.*, v. 219: pp. 851–869, 2018.