

Padrões espaço-temporais da ocorrência do fogo na Amazônia brasileira

Cândida Caroline S. de S. Leite¹, Liana O. Anderson², Ana Larissa Ribeiro de Freitas², Igor Santiago Broggio³

¹Programa Queimadas – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal 515 – São José dos Campos – SP – Brasil

²Centro Nacional de Alerta e Monitoramento de Desastres Naturais – São José dos Campos – SP – Brasil

³Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

CEP: 28013-602 - Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

candida.leite@inpe.br, liana.anderson@cemaden.gov.br,

alarisig@gmail.com, igor@pq.uenf.br

Abstract. *The occurrence of fires in the Amazon can be amplified by severe droughts and the accumulation of combustible material due to deforestation and forest degradation. This study aimed to identify the pattern of occurrence of hotspots between 2003 and 2019, with emphasis on the “fire day”. Hotspot data were used to identify spatio-temporal patterns of hotspot occurrence and positive fire anomalies in the Brazilian Amazon biome. The results showed peaks in the occurrence of hotspots in 2005 and 2007, with respectively 85,721 and 90,206 hotspots observed during the month of September. About 55.3% of the biome area has a monthly recurrence of positive fire anomalies for up to 3 months.*

Resumo. *A ocorrência de incêndios na Amazônia pode ser amplificada por secas severas e o acúmulo de material combustível devido ao desmatamento e à degradação florestal. Este estudo teve como objetivo identificar o padrão de ocorrência de focos de calor entre 2003 e 2019, com destaque para o “dia do fogo”, nesse último ano. Foram utilizados dados de focos de calor para identificar padrões espaço-temporais da ocorrência do fogo e as anomalias positivas desses eventos no bioma amazônico brasileiro. Os resultados demonstraram picos na ocorrência de focos de calor em 2005 e 2007, com respectivamente 85.721 e 90.206 focos observados durante o mês de setembro. Cerca de 55,3% da área do bioma apresenta recorrência mensal de anomalias positivas de fogo de até 3 meses.*

1. Introdução

Na Amazônia, a frequência e a intensidade dos incêndios florestais são reflexo da utilização do fogo no manejo do solo em terrenos de uso agropecuário e das mudanças nos padrões climáticos. As secas ocasionadas por diferentes fenômenos naturais como o El Niño/La Niña e as anomalias de temperatura do Atlântico e do Pacífico que influenciam de forma direta na propagação do fogo e acentuam seus impactos negativos são exemplos dessa dinâmica [ARAGÃO et al., 2018; ANDERSON et al., 2015; SILVA JUNIOR et al., 2019].

As secas também contribuem para o escape do fogo em áreas de florestas, como o que aconteceu no El Niño de 1997/98, no qual cerca de 550 milhões de hectares da Amazônia brasileira se tornaram inflamáveis, sendo que 3,9 milhões destes foram de florestas que realmente queimaram, liberando imediatamente cerca de 200 a 600 Tg de carbono na atmosfera [COPERTINO et al., 2019].

Nesta pesquisa, buscou-se, a partir do recorte temporal de 2003 a 2019, identificar o padrão de ocorrência de focos de calor, com destaque para o dia do fogo, evento antrópico que aconteceu em 10 agosto de 2019 e as anomalias positivas de focos de calor relacionadas.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O bioma amazônico, constituído pela maior floresta tropical do mundo, ocupa uma extensão de 4.198.999,182 km² do território nacional [MMA, 2019]. Essa área é coberta por 81,2% de Formação Florestal e 14,3% estão direcionadas à Terras Produtivas (Figura 1).

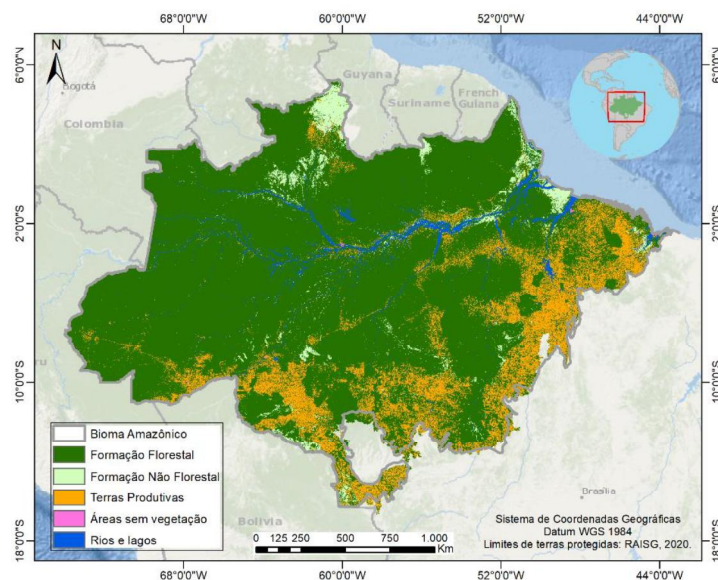


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2.2. Aquisição e processamento de dados

Os dados de focos de calor detectados no bioma amazônico foram adquiridos para o período de 2003 a 2019 por meio do Programa Queimadas [INPE, 2019]. Os dados foram coletados em formato vetorial do satélite AQUA_M-T, referência do Programa. Esse dado consiste em pontos de resolução espacial de 1km, com informações sobre a intensidade do fogo, data da observação (dia, mês e ano) e localização. Foram utilizados para a identificação do padrão espaço-temporal de ocorrência da queima.

Durante o processamento, foram extraídas a contagem de focos dentro de uma grade com resolução de 10x10 km, seguida pela conversão para formato matricial. Após esse procedimento foi realizado o cálculo da anomalia de fogo, com 99% de significância, baseado na Equação (1).

$$Anomalias_{\text{focos de calor}}(mês, i) = \frac{Focos_{(mês, i)} - \text{média de focos}_{(mês, i)}}{\text{desvio padrão de focos}_{(mês, i)}} \quad (1)$$

Foram consideradas anomalias significativas aquelas maiores ou iguais a 1,99 desvio padrão, o que corresponde a um nível de significância de 99% [Anderson et al., 2010]. O intervalo de confiança foi estabelecido da seguinte forma conforme, $P \leq 0,01$, ou seja, $\text{escore } z \geq 2,57$ [Lee e Wong, 2001].

Os procedimentos realizados no presente estudo podem ser divididos em duas etapas: (1) a identificação da causa dos eventos de queimadas e incêndios; (2) o padrão de ocorrência desses. O fluxograma na Figura 2 apresenta a metodologia.

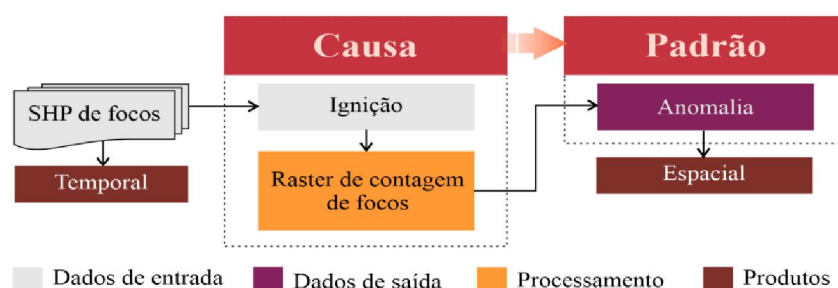


Figura 2. Fluxograma metodológico.

3. Resultados e Discussões

Ao analisar a dinâmica dos eventos de fogo na área de estudo (Figura 3a), destacam-se os meses de agosto e setembro. Em 2005, 2007 e 2010 observam-se picos com 79.387, 55.911 e 56.220 focos de calor em agosto, enquanto setembro apresenta os maiores valores em 2004, 2005, 2006 e 2007 com 82.852, 85.721, 62.055 e 90.206 focos, respectivamente (Figura 3a). O mês de setembro demonstra a maior incidência de focos em todos os anos. No entanto, com o acontecimento do chamado “dia do fogo” (10 de agosto de 2019), ocasião na qual produtores agrícolas realizaram queimadas criminosas de maneira organizada [SILVEIRA et al., 2020], o presente estudo detalhou o mês de agosto, a fim de identificar o dia exato através dos focos de calor.

Observa-se que para o ano de 2019 os dias mais críticos em agosto foram 11, 13 e 14, com 2.706, 2.549 e 2.909 focos de calor nessa mesma ordem (Figura 3b). A figura também chama atenção para o ano de 2005, o qual teve mais de 1.500 focos de calor todos os dias do mês e anos como 2009, 2011 e 2013, anos com menores quantidades de focos, com médias de 5.834, 5.506, 5.298 por ano.

O impacto econômico dos incêndios no bioma Amazônia foi estudado por Campanharo et al. (2019) os quais estimaram uma perda média de $16 \pm 3,42$ milhões de dólares entre 2008 e 2012 e um total de $243,36 \pm 85,05$ milhões de dólares em 2010 pelos prejuízos causados pelas queimadas e incêndios florestais no estado do Acre.

Observa-se na Figura 3 que o padrão temporal de queimadas indica uma interação com os eventos de seca, os quais foram severos nos anos de 2005, 2010 e 2015 [SILVEIRA et al., 2020]. Aragão et al. (2007), Aragão et al (2018) demonstraram a sinergia entre os eventos de secas extremas com os grandes incêndios florestais, mostrando que os dois

processos combinados estão relacionados à ocorrência de anomalias positivas de fogo (APF) na Amazônia.

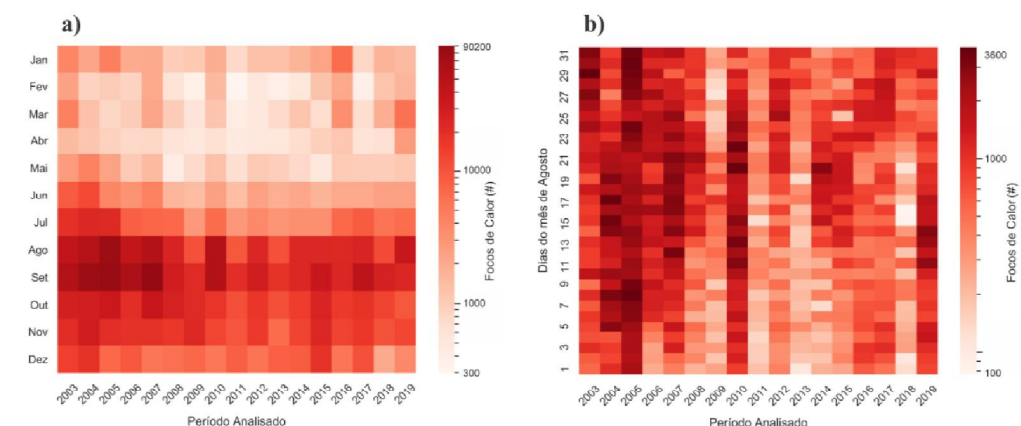


Figura 3. Padrão temporal da ocorrência de focos de calor para o período analisado no bioma amazônico. Em a) Focos de calor para todos os meses da série e b) Focos de calor do mês de agosto.

Na Figura 4 é possível observar a ocorrência de células com APFs significativas para o bioma Amazônico. Além disso, é possível observar por quantos meses uma célula apresentou APF durante a série temporal estudada. As células que foram anômalas por mais de 6 meses somaram uma extensão de 395.400 km² e se concentraram no estado de Roraima e na porção sul do bioma Amazônia, principalmente no estado de Mato Grosso e na faixa que se estende na porção leste, se estendendo desde o Maranhão até o estado de Rondônia, dentro da região denominada de Arco do Desmatamento [COHEN et al., 2007]. Esta região é destacada por Silva Júnior et al. (2019) como áreas que apresentam fortes anomalias negativas de chuva e positivas de temperatura.

Além disso, uma área equivalente a 1,236 milhões de km² apresentou exposição ao fogo, essa área corresponde ao número de células (12.361 células), que apresentaram APF entre 1 e 3 meses ao longo da série estudada. Ou seja, apenas cerca de 55,3% da Amazônia teve 3 meses ou menos de anomalias positivas de fogo.

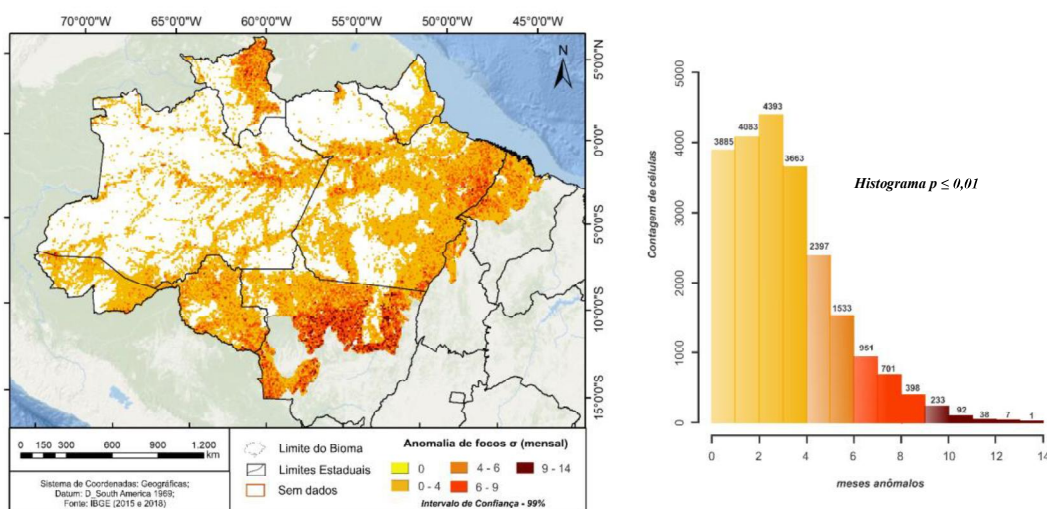


Figura 4. Distribuição espacial da ocorrência de anomalias positivas de focos de calor (APF) para o bioma Amazônico entre 2003 e 2019 e ao lado seu respectivo histograma. Essa análise levou em consideração apenas anomalias positivas de focos de calor dentro do intervalo de confiança de 99% ($p \leq 0,01$).

As APF observadas na Figura 4 também estão associadas a múltiplas fontes de ignição. Nos estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso, por exemplo, os incêndios estão relacionados ao manejo da terra para as atividades agropecuárias [WITHEY et al., 2018]. Por outro lado, as ocorrências de incêndios no estado do Maranhão são desencadeadas em áreas de extração seletiva de madeira, de forma criminosa [SILVA JÚNIOR et al, 2019]. Enquanto no estado de Roraima, o uso do fogo é dominado pela prática de subsistência para o manejo na agricultura [FONSECA, 2016].

7. Considerações finais

Os resultados deste estudo permitiram identificar e estimar a área atingida por fogo e o padrão temporal da ocorrência de fogo no bioma Amazônia brasileiro. Além disso, observou-se que no dia do fogo, 10 de agosto de 2019, ocorreu alteração no padrão histórico da ocorrência de queimadas e incêndios florestais na Amazônia. Portanto, há indicativos de que houve uma ação criminosa capaz de aumentar a ocorrência do fogo de forma articulada.

Os dados de focos de calor auxiliaram na identificação dos locais mais afetados por anomalias positivas dessa variável no período estudado e a alta recorrência delas na região do Arco do Desmatamento e no estado de Roraima. A distribuição de quantidade de células anômalas positivas nos meses dos anos estudados também apresentou padrão bastante marcado, separando as ocorrências em baixa quantidade de células anômalas de novembro a maio, enquanto as altas quantidades são percebidas entre junho e outubro.

Referências Bibliográficas

- Anderson, L. O., Malhi, Y., Aragão, L. E., Ladle, R., Arai, E., Barbier, N., et al. Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies. *New Phytol.* 187, 733–750. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03355. 2010.
- Anderson, L. O.; Aragão, L. E. O. C.; Gloor, M.; Arai, E.; Adami, M.; Saatchi, S. S.; Malhi, Y.; Shimabukuro, Y. E.; Barlow, J.; Berenguer, E.; Duarte, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 10, p. 1739–1753, 1 out. 2015.
- 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. 536, p. 12, 13 dez. 2018.
- Campanharo, W. A.; Lopes, A. P.; Anderson, L. O.; Da Silva, T. F. M. R.; Aragão, L. E. O. C. Translating fire impacts in Southwestern Amazonia into economic costs. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, 2019.
- Cohen, J. C. P.; Beltrão, J. C. B.; Gandu, A. W.; Silva, R. R. Influência do desmatamento

- sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, 2007.
- Copertino, M.; Piedade, M. T. F.; Vieira, I. C. G.; Bustamante, M. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. **Tendências**, v. 71, n. 4, p. 5, out. 2019.
- Fonseca, M. G. Modelling fire probability in the Brazilian Amazon using the maximum entropy method. p. 955–969, 2016.
- Lee J, Wong DWS. *Statistical analysis with ArcView GIS*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, Inc. 2001.
- Silva Junior, C. H. L.; Anderson, L. O.; Silva, A. L.; Almeida, C. T.; Dalagnol, R.; Pletsch, M. A. J. S.; Penha, T. V.; Paloschi, R. A.; Aragão, L. E. O. C. Fire responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian droughts. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, n. June, 2019.
- Silveira, M. V. F.; Petri, C. A.; Broggio, I. S.; Chagas, G. O.; Macul, M. S.; Leite, C. C. S. S.; Ferrari, E. M. M.; Amim, C. G. V.; Freitas, A. L. R.; Motta, A. Z. V.; Carvalho, L. M. E.; Silva Junior, C. H. L.; Anderson, L. O.; Aragão, L. E. O. C. Drivers of Fire Anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons Learned from the 2019 Fire Crisis. **Land**, v. 9, n. 12, p. 516, 14 dez. 2020.
- Withey, K.; Berenguer, E.; Palmeira, A. F.; Espírito-Santo, F. D. B.; Lennox, G. D.; Silva, C. V. J.; Aragão, L. E. O. C.; Ferreira, J.; França, F.; Malhi, Y.; Rossi, L. C.; Barlow, J. Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, 2018.