

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 01/06/2028.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Ministério da Ciência,
Tecnologia e Inovações



GABRIELA ALVES CARREIRO

**ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FOGO NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO: pressões antrópicas e fatores socioeconômicos
associados**

GABRIELA ALVES CARREIRO

**ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FOGO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: pressões
antrópicas e fatores socioeconômicos associados**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRA pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Desastres associados a eventos extremos, secas, estiagens, incêndios florestais e escassez de água.

Orientador: Profa. Dra. Klécia Gili Massi

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Galante Negri

São José dos Campos

2026

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2026]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Carreiro, Gabriela Alves

ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FOGO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: PRESSÕES ANTRÓPICAS E FATORES SOCIOECONÔMICOS ASSOCIADOS / Gabriela Alves Carreiro. - São José dos Campos : [s.n.], 2026.
77 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2026.

Orientador: Klécia Gili Massi

Coorientador: Rogério Galante Negri

1. Dinâmica da área queimada. 2. Semiárido brasileiro. 3. MODIS MCD64A. 4. Fatores antropogênicos. I. Massi, Klécia Gili , orient. II. Negri, Rogério Galante , coorient. III. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. V. Universidade Estadual Paulista (UNESP). VI. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VII. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa avança a compreensão do fogo no Semiárido brasileiro ao demonstrar que sua dinâmica está fortemente associada a processos territoriais e ao uso da terra, e não apenas a condições climáticas. Ao evidenciar a predominância de forçantes antrópicas e a variabilidade espacial dessas relações, o estudo contribui para uma interpretação do fogo como um fenômeno socioecológico. Os resultados oferecem subsídios para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas, ao identificar áreas potencialmente prioritárias e períodos de maior ocorrência, além de indicar que estratégias eficazes de manejo do fogo devem priorizar a regulação do uso da terra, o controle do desmatamento e o reconhecimento das especificidades regionais. Ao integrar diferentes escalas e dimensões analíticas, o trabalho contribui para o desenvolvimento de abordagens mais eficazes frente aos desafios ambientais e climáticos em regiões semiáridas.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research advances the understanding of fire in the Brazilian Semi-Arid region by demonstrating that its dynamics are strongly associated with territorial processes and land use, and not only with climatic conditions. By highlighting the predominance of anthropogenic forcing and the spatial variability of these relationships, the study contributes to an interpretation of fire as a socio-ecological phenomenon. The results offer support for territorial planning and the formulation of public policies, by identifying potentially priority areas and periods of greater occurrence, as well as indicating that effective fire management strategies should prioritize land use regulation, deforestation control, and recognition of regional specificities. By integrating different scales and analytical dimensions, the work contributes to the development of more effective approaches to the environmental and climatic challenges in semi-arid regions.

Dissertação

BANCA EXAMINADORA

Dra. Klécia Gili Massi

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Engenharia Ambiental

ICT

Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Engenharia Ambiental

ICT

Dr. Marcos Adami

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

DIOTG

São José dos Campos, 01 de junho de 2026.

DEDICATÓRIA

Dedico a materialização, floreios e arranjos dessa pesquisa a vovó, mulher que se fez gente sozinha nesse mundo, e com tanto amor, atenção e respeito me acompanha no caminho, sem ela, nem eu e nem essa pesquisa existiram. Ao vovô, dedico o silêncio do processo da escrita, as palavras e a curiosidade de entender um pouco mais sobre essa terra.

“Ah, e se não fosse, cada acaso, não tivesse sido, qual então teria sido o meu destino seguinte?”. João Guimarães Rosa

RESUMO

CARREIRO, Gabriela. **ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FOGO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: PRESSÕES ANTRÓPICAS E FATORES SOCIOECONÔMICOS ASSOCIADOS**. 2026. Dissertação Mestrado em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2026.

Este estudo analisa a dinâmica espaço-temporal das áreas queimadas no Semiárido brasileiro entre 2001 e 2024, relacionando-as a fatores territoriais, socioeconômicos e ambientais. Foram utilizados dados do produto MODIS MCD64A1 de áreas queimadas, agregados por município, juntamente com variáveis de infraestrutura, demografia, socioeconomia, produtividade, território e ambiental. As análises incluíram a avaliação de tendências temporais, sazonalidade, autocorrelação espacial e regressão geograficamente ponderada (GWR) para avaliar as relações entre as variáveis explicativas e as áreas queimadas. Os resultados indicam uma concentração de áreas queimadas na região oeste do Semiárido brasileiro e a formação de um hotspot significativo. Não foi observada tendência temporal estatisticamente significativa, apesar de uma média anual de 200.000 ha de área queimada. A sazonalidade está bem definida, entre agosto e outubro. A GWR apontou relações espacialmente não estacionárias, revelando o desmatamento (DefProp) e a presença de grandes propriedades rurais (Prop-CARb) como os principais fatores associados às áreas queimadas. Os resultados indicam que a ocorrência do fogo na região é predominantemente impulsionada por fatores antropogênicos, enquanto as condições climáticas atuam como fatores facilitadores. Esses resultados reforçam a natureza socioecológica do fogo e a necessidade de abordagens integradas para compreender sua dinâmica.

Palavras-chave: Dinâmica da área queimada; Semiárido brasileiro; MODIS MCD64A; fatores antropogênicos.

ABSTRACT

CARREIRO, Gabriela. *Analysis of the history of fires in the Brazilian semi-arid region: anthropogenic pressures and associated socioeconomic factors*. 2026. Dissertation Master's degree ou Doctorate degree in Natural Disaster - São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology, National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2026.

This study analyzes the spatiotemporal dynamics of burned areas in the Brazilian Semi-Arid region between 2001 and 2024, relating them to territorial, socioeconomic, and environmental factors. Data from the MODIS MCD64A1 burned area product, aggregated by municipality, were used along with variables of infrastructure, demographics, socioeconomics, productivity, territory, and environment. The analyses included assessment of temporal trends, seasonality, spatial autocorrelation, and geographically weighted regression (GWR) to evaluate the relationships between the explanatory variables and the burned areas. The results indicate a concentration of burned areas in the western region of the Brazilian Semi-Arid region and the formation of a significant hotspot. No statistically significant temporal trend was observed, despite an annual average of 200,000 ha of burned area. Seasonality is well defined, between August and October. GWR regression pointed to spatially non-stationary relationships, revealing deforestation (DefProp) and the presence of large rural properties (Prop-CARb) as the main factors associated with burned areas. The results indicate that fires in the region are predominantly driven by anthropogenic factors, while climatic conditions act as facilitating factors that favor their occurrence. These results reinforce the socio-ecological nature of fire and the need for integrated approaches to understand its dynamics.

Keywords: *burned area dynamics; Brazilian semi-arid; MODIS MCD64A; Anthropogenic drivers.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 O fogo no contexto ecológico	3
2.2 Ecossistemas áridos e semiáridos: clima, vegetação e vulnerabilidade ao fogo	6
2.3 O Semiárido brasileiro.....	9
2.4 O fogo na Caatinga.....	12
2.5 Análises de séries temporais aplicadas ao fogo: tendência e sazonalidade - Dinâmica espaço-temporal do fogo na Caatinga.....	15
2.6 Fatores territoriais e socioambientais na explicação da dinâmica do fogo	18
3 ARTIGOS	21
3.1 Artigo – Sobrenome e iniciais de todos os autores. Título do artigo em português / <i>Title in English</i>	21
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67

deforestation indicates that fire results primarily from anthropogenic practices, with drought being a favorable condition for activities that intensify its dynamics. These results reinforce the need to move beyond approaches focused solely on climate variations, encompassing territorial dynamics, especially at local scales, to investigate more direct relationships for the integrated development of fire understanding and management in ecosystems that are independent to the fire.

References

- Agência Nacional de Águas (ANA). (2016). *Catálogo de Metadados da ANA*. ANA. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>
- Althoff, T. D., Menezes, R. S. C., de Carvalho, A. L., de Siqueira Pinto, A., Santiago, G. A. C. F., Ometto, J. P. H. B., von Randow, C., & de Sá Barretto Sampaio, E. V. (2016). Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. *Forest Ecology and Management*, 360, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.001>
- Andrade-Lima, D. (1981). The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, 4, 149–153.
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Anselin, L., & Getis, A. (1992). Spatial statistical analysis and geographic information systems. *The Annals of Regional Science*, 26(1), 19–33. <https://doi.org/10.1007/BF01581478>
- Anselin, L., Li, X., & Koschinsky, J. (2022). GeoDa, From the Desktop to an Ecosystem for Exploring Spatial Data. *Geographical Analysis*, 54(3), 439–466. <https://doi.org/10.1111/gean.12311>
- 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., Saatchi, S. (2018). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9(1), 536. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- Aragão, M. de A., Fiedler, N. C., Santos, A. R. dos, Moreira, T. R., Ramalho, A. H. C., Gomes, R., Souto, P. C., Peluzio, T. M. de O., Ferrari, J. L., Simões, D., Biazatti, L. D., & Lucas, F. M. F. (2025). Forest fires in Caatinga: Risk modeling and priority areas for prevention. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 69, 125903. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2025.125903>

- Araujo, H. F. P., Canassa, N. F., Machado, C. C. C., & Tabarelli, M. (2023). Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45571-9>
- Archibald, S., Lehmann, C. E. R., Gómez-Dans, J. L., & Bradstock, R. A. (2013). Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(16), 6442–6447. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211466110>
- Ávila, M. A. de, Nunes, Y. R. F., Souza, C. S., Machado, A. de O., Mazzottini-dos-Santos, H. C., Ribeiro, L. M., Santos, R. M. dos, & de Azevedo, I. F. P. (2023). Local environment contributes to shape phenological patterns in *Mauritia flexuosa* L.f. *Forest Ecology and Management*, 545, 121252. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121252>
- Balch, J. K., Bradley, B. A., Abatzoglou, J. T., Nagy, R. C., Fusco, E. J., & Mahood, A. L. (2017). Human-started wildfires expand the fire niche across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(11), 2946–2951. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114>
- Balch, J. K., Bradley, B. A., D’Antonio, C. M., & Gómez-Dans, J. (2013). Introduced annual grass increases regional fire activity across the arid western <scp>USA</scp> (1980–2009). *Global Change Biology*, 19(1), 173–183. <https://doi.org/10.1111/gcb.12046>
- Barlow, J., Berenguer, E., Carmenta, R., & França, F. (2020). Clarifying Amazonia’s burning crisis. *Global Change Biology*, 26(2), 319–321. <https://doi.org/10.1111/gcb.14872>
- Barreal, J., & Jannes, G. (2023). Spatial Dependencies and Neighbour Interactions of Wildfire Patterns in Galician Mountain Areas (NW Spain). *Fire*, 6(4), 165. <https://doi.org/10.3390/fire6040165>
- Baumann, M., Maillard, O., Gasparri, I., Burton, J., Gavier Pizarro, G., & Kuemmerle, T. (2026). Fire dynamics in the South American Chaco and their link to agriculture and drought. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-026-01793-z>
- Bezerra, F. G. S., Silvino, A. S., Pacheco, F. S., Miranda, M. A. C. N., Martins, M. A., Sonetti-Gonzalez, T., von Randow, C., Ometto, J. P. H. B., & Aguiar, A. P. D. de. (2024). LuccME Nexus cenários sustentáveis de mudança de uso e cobertura da terra para o Brasil 2040 [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.136215985>
- Bonanomi, J., Tortato, F. R., Gomes, R. de S. R., Penha, J. M., Bueno, A. S., & Peres, C. A. (2019). Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(1), 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.12.002>
- Calmon, D. (2022). Shifting frontiers: the making of Matopiba in Brazil and global redirected land use and control change. *The Journal of Peasant Studies*, 49(2), 263–287. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1824183>
- CEMADEN. (2025). *Boletim mensal - Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil*. <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/impactos->

seca/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-setembro-2025/Boletim_secas_09_2025.pdf/view

Chen, Y. (2023). Spatial autocorrelation equation based on Moran's index. *Scientific Reports*, 13(1), 19296. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45947-x>

Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421(6926), 913–919. <https://doi.org/10.1038/nature01437>

Comber, A., Brunsdon, C., Charlton, M., Dong, G., Harris, R., Lu, B., Lü, Y., Murakami, D., Nakaya, T., Wang, Y., & Harris, P. (2020). *The GWR route map: a guide to the informed application of Geographically Weighted Regression*.

Conedera, M., Tinner, W., Neff, C., Meurer, M., Dickens, A. F., & Krebs, P. (2009). Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews*, 28(5–6), 555–576. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.11.005>

Cunha, A. P. M., Alvalá, R. C., Nobre, C. A., & Carvalho, M. A. (2015). Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215, 494–505. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.09.010>

Daoud, J. I. (2017). Multicollinearity and Regression Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 949, 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/949/1/012009>

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2021). *VGeo - Visualizador de Dados do DNITGeo*. DNIT. <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2024). *SNV Bases Geométricas (2013-Atual) (SHP)*. DNIT. [https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=%2FSNV%20Bases%20Geométricas%20\(2013-Atual\)%20\(SHP\)](https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=%2FSNV%20Bases%20Geométricas%20(2013-Atual)%20(SHP))

Diego, J., Fernández, M., Rúa, A., & Kline, J. D. (2023). Examining socioeconomic factors associated with wildfire occurrence and burned area in Galicia (Spain) using spatial and temporal data. *Fire Ecology*, 19(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00173-8>

Ding, P. (2021). Two seemingly paradoxical results in linear models: the variance inflation factor and the analysis of covariance. *Journal of Causal Inference*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1515/jci-2019-0023>

Dubreuil, V., Fante, K. P., Planchon, O., & Neto, J. L. S. (2018). Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins*, 37. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>

Dutra, D. J., Anderson, L. O., Fearnside, P. M., Graça, P. M. L. de A., Yanai, A. M., Dalagnol, R., Burton, C., Jones, C., Betts, R., & Aragão, L. E. O. e C. de. (2022). Fire Dynamics in an Emerging Deforestation Frontier in Southwestern Amazonia, Brazil. *Fire*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.3390/fire6010002>

EMBRAPA. (2014). *Solos do Nordeste*.

Fontoura Júnior, C. F. M., Uberti, M. S., & Tachibana, V. M. (2020). MASS APPRAISAL OF APARTMENT THROUGH GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 26(2). <https://doi.org/10.1590/s1982-21702020000200005>

Fotheringham, A. S., Yang, W., & Kang, W. (2017). Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR). *Annals of the American Association of Geographers*, 107(6), 1247–1265. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1352480>

FUNAI. (2025). *Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI)*. FUNAI. <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A., Humber, M., & Hall, J. (2021). Collection 6.1 MODIS Burned Area Product User's Guide Version 1.0. In NASA (pp. 1–35).

Guimarães, Y. C., Velastegui-Montoya, A., Carreiro, G. A., Bortolozo, L. A. P., Mantovani, J., de Praga Baião, C. F., & Alcantara, E. (2026). Rainfall extremes and hydroclimatic trends in Caraguatatuba (SE Brazil) based on CHIRPS and ETCCDI indices (1981–2024). *Theoretical and Applied Climatology*, 157(3), 165. <https://doi.org/10.1007/s00704-026-06094-1>

Hardesty, J., Myers, R., & Fulks, W. (2005). Fire, Ecosystems and People: A Preliminary Assessment of Fire as a Global Conservation Issue. *The George Wright Forum*, 22(4), 78–87. <http://www.georgewright.org/224hardesty.pdf>

IBGE. (1977). *Geografia do Brasil - Região Nordeste* (C. Goldenberg, Ed.; Vol. 2). Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística .

IBGE. (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira : sistema fitogeográfico : inventário das formações florestais e campestres : técnicas e manejo de coleções botânicas : procedimentos para mapeamentos* (2nd ed.). <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>

IBGE. (2017). *SIDRA - Tabela 6778: Número de estabelecimentos agropecuários, por tipologia, existência de energia elétrica, condição do produtor em relação às terras, residência da pessoa que dirige o estabelecimento, grupos de atividade econômica e grupos de área total (CENSO AGROPECUÁRIO, 2017)*. IBGE. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6778>

IBGE. (2019). *Biomass*. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html>

IBGE. (2021). *Limites dos países da América do Sul*. Geoaplicada. <https://www.geoaplicada.com/dados/limites-paises-america-do-sul/>

IBGE. (2022a). *Quadro Geográfico de Referência para Produção, Análise e Disseminação de Estatísticas* (2ª). https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/a32c92ac895a068c195bbebf96b01d24.pdf

IBGE. (2022b). *SIDRA - Tabela 9923: População residente, por situação do domicílio*. IBGE. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/universo-populacao-e-domicilios-situacao-urbana-ou-rural>

IBGE. (2023a). *Censo Demográfico 2022 - População e Domicílios por situação urbana ou rural do domicílio - Resultados do Universo*. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/universo-populacao-e-domicilios-situacao-urbana-ou-rural>

IBGE. (2023b). *PIB Estadual (valor adicionado a preços básicos) - serviços - administração, defesa, saúde e educação públicas e seguridade social (preços de 2010)*.

IBGE. (2023c). *SIDRA - Tabela 5938: Produto Interno Bruto dos Municípios - 2023*. IBGE. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>

IBGE. (2024a). *Índice de Gini (Pnad Contínua/A)*. <https://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>

IBGE. (2024b). *Malha Municipal*. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>

IBGE. (2024c). *SIDRA - Tabela 3939: Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho (PPM, 2024)*. IBGE. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>

IBGE. (2024d). *SIDRA - Tabela 5457: Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes (PAM)*. IBGE.

IBGE. (2026). *PNAD Contínua - Pessoas de 14 anos ou mais de idade, ocupadas na semana de referência no agrupamento de atividade administração pública, defesa, seguridade, educação, saúde humana e serviços sociais (PNADC12_OCUPPUB12)*. <https://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>

INMET. (2025). *INFORMATIVO METEOROLÓGICO N° 36/2025*. <https://portal.inmet.gov.br/informativos#>

INPE. (2024). *INFOQUEIMA - BOLETIM MENSAL DE MONITORAMENTO E RISCO DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS*. https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Infoqueima/2024/2024_12_infoqueima.pdf

INPE. (2025). *INFOQUEIMA - BOLETIM MENSAL DE MONITORAMENTO E RISCO DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS*. https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Infoqueima/2025/2025_09_infoqueima.pdf

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2025). *TerraBrasilis - PRODES*. INPE.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2022). Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 2195–2232). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.020>

IPCC, Jia, G., Shevliakova, E., Artaxo, P., De Noblet-Ducoudré, N., Houghton, R., Anderegg, W., Bernier, P., Carlo Espinoza, J., Semenov, S., Xu, X., Shevliakova, E., Artaxo, P., De Noblet-Ducoudré, N., Houghton, R., House, J., Kitajima, K., Lennard, C., Popp, A., ... Malley, J. (2019). *Land-climate interactions*.

Jesus, J. B. de, Rosa, C. N. da, Barreto, Í. D. de C., & Fernandes, M. M. (2020). Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ciência Florestal*, 30(1), 176. <https://doi.org/10.5902/1980509837696>

Jones, M. W., Smith, A. J. P., Betts, R., Canadell, J. G., Prentice, I. C., & Le Quéré, C. (2020). *Climate Change Increases the Risk of Wildfires*.

Jones, M. W., Veraverbeke, S., Andela, N., Doerr, S. H., Kolden, C., Mataveli, G., Pettinari, M. L., Le Quéré, C., Rosan, T. M., van der Werf, G. R., van Wees, D., & Abatzoglou, J. T. (2024). Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics. *Science*, 386(6719). <https://doi.org/10.1126/science.adl5889>

Kelley, D. I., Bistinas, I., Whitley, R., Burton, C., Marthews, T. R., & Dong, N. (2019). How contemporary bioclimatic and human controls change global fire regimes. *Nature Climate Change*, 9(9), 690–696. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0540-7>

Kelly, L. T., Fletcher, M.-S., Oliveras Menor, I., Pellegrini, A. F. A., Plumanns-Pouton, E. S., Pons, P., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. J. S. (2023). Understanding Fire Regimes for a Better Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 48(1), 207–235. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120220-055357>

Klinger, R., Wills, R., & Brooks, M. (2008). Chapter 9: Fire and nonnative invasive plants in the Southwest Coastal bioregion. In *Wildland fire in ecosystems: fire and nonnative invasive plants*. (Vol. 6, pp. 175–196). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Lanorte, A., Nolè, G., & Cillis, G. (2024). Application of Getis-Ord Correlation Index (Gi) for Burned Area Detection Improvement in Mediterranean Ecosystems (Southern Italy and Sardinia) Using Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 16(16), 2943. <https://doi.org/10.3390/rs16162943>

- Lasslop, G., & Kloster, S. (2017). Human impact on wildfires varies between regions and with vegetation productivity. *Environmental Research Letters*, 12(11), 115011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8c82>
- Liu, N., Zhu, W., Zhong, S., & Cheng, H. (2023). Spatial-temporal characteristics and influencing factors of wildfire occurrence and correlation with WUI presence in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14(1). <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2281246>
- Lu, B., Brunsdon, C., Charlton, M., & Harris, P. (2017). Geographically weighted regression with parameter-specific distance metrics. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(5), 982–998. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1263731>
- Lu, B., Charlton, M., Harris, P., & Fotheringham, A. S. (2014). Geographically weighted regression with a non-Euclidean distance metric: a case study using hedonic house price data. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(4), 660–681. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.865739>
- Maestre, F. T., Benito, B. M., Berdugo, M., Concostrina-Zubiri, L., Delgado-Baquerizo, M., Eldridge, D. J., Guirado, E., Gross, N., Kéfi, S., Le Bagousse-Pinguet, Y., Ochoa-Hueso, R., & Soliveres, S. (2021). Biogeography of global drylands. *New Phytologist*, 231(2), 540–558. <https://doi.org/10.1111/nph.17395>
- Magalhães, L. P. de, Gallo, A. de S., Fernandez, G. H., Sais, A. C., & Oliveira, R. E. de. (2025). The Relationship Between the Occurrence of Fires and Family Farming in Municipalities in the State of São Paulo, Brazil. *Climate*, 13(2), 38. <https://doi.org/10.3390/cli13020038>
- Manzello, S. L. (2020). *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (S. L. Manzello, Ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52090-2>
- MapBiomas. (2025). *MapBiomas - Collection 10, Land Use and Land Cover (LULC)*. MapBiomas. plataforma.brasil.mapbiomas.org
- MapBiomas Fogo. (2025). *RAF 2024 - Relatório Anual do Fogo no Brasil - Coleção 4 de mapas de áreas queimadas do MapBiomas Fogo (1985 a 2024)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.58053/MapBiomas/JKWSW7>
- Marcoulides, K. M., & Raykov, T. (2019). Evaluation of Variance Inflation Factors in Regression Models Using Latent Variable Modeling Methods. *Educational and Psychological Measurement*, 79(5), 874–882. <https://doi.org/10.1177/0013164418817803>
- Martin Perez-Marin, A., & Tinôco, L. (2012). *Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: Ocorrência natural ou antrópica?* <https://www.researchgate.net/publication/309546679>

- Martins, S. F. S., dos Santos, A. M., Silva, C. F. A. da, Rudke, A. P., Alvarado, S. T., & Melo, J. L. da S. (2024). The drivers of fire in the Caatinga Biome in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 572, 122260. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122260>
- Massi, K., Fidelis, A., Nascimento, N., Pivello, V., Sansevero, J., & Reverberi-Tambosi, L. (2026). Have we learned our lesson from fires of 2024 in Brazil? *Biological Conservation*, 314, 111691. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111691>
- Mataveli, G., Maure, L. A., Sanchez, A., Dutra, D. J., de Oliveira, G., Jones, M. W., Amaral, C., Artaxo, P., & Aragão, L. E. O. C. (2025). Forest Degradation Is Undermining Progress on Deforestation in the Amazon. *Global Change Biology*, 31(4). <https://doi.org/10.1111/gcb.70209>
- McLauchlan, K. K., Higuera, P. E., Miesel, J., Rogers, B. M., Schweitzer, J., Shuman, J. K., Tepley, A. J., Varner, J. M., Veblen, T. T., Adalsteinsson, S. A., Balch, J. K., Baker, P., Batllori, E., Bigio, E., Brando, P., Cattau, M., Chipman, M. L., Coen, J., Crandall, R., ... Watts, A. C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
- Melo, M. V. N. de, Almeida, G. L. P. de, Pandorfi, H., Ferreira, M. B., Machado, N. A. F., Marinho, G. T. B., Silva, J. L. B. da, Silva, J. L. P. da, Júnior, G. do N. A., Medeiros, A. de S., Santos, G. A. de A., Sousa, A. M. de, Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, Oliveira-Júnior, J. F. de, Oliveira, A. G. de, Grobner, V. K., Silva, C. A. M., Barbosa-Filho, J. A. D., & Silva, M. V. da. (2026). Spatiotemporal analysis of precipitation, vegetation cover, fire foci and burned areas in a dairy basin in Northeastern Brazil. *Global and Earth Surface Processes Change*, 5, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.gespch.2026.100015>
- Melo Silva, M., Duarte Pereira, D., Marina Costa Nascimento, B., Tulio dos Santos Silva, A., da Silva Soares, P., & Vieira Silva, E. (2025). *SEMIÁRIDO BRASILEIRO. UM TERRITÓRIO DE TRÊS BIOMAS*. (3), 10353–10361. <https://doi.org/10.56238/arev7n3-014>
- Miranda, E. E. de, Carvalho, C. A. de, & Martinho, P. R. R. (2020). Intensificação produtiva da agricultura e regularização ambiental: encontros e desencontros territoriais entre o Censo Agropecuário e o Cadastro Ambiental Rural. In Z. Navarro (Ed.), *A economia agropecuária do Brasil: a grande transformação* (1st ed., pp. 42–101). Baraúna. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127561>
- MMA (Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima). (2024). *PLANO DE AÇÃO PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO E DAS QUEIMADAS NA CAATINGA (PPCaatinga)*.
- Mollalo, A., & Tatar, M. (2021). Spatial Modeling of COVID-19 Vaccine Hesitancy in the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(18), 9488. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189488>

- Monteiro, D. M., & Kurtz, B. C. (2020). Phytosociology of Two Caatinga Phytophysionomies with Different Histories of Anthropic Disturbance. *Floresta e Ambiente*, 27(4). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.004518>
- Najafi, Z., Fatehi, P., & Darvishsefat, A. A. (2019). VEGETATION DYNAMICS TREND USING SATELLITE TIME SERIES IMAGERY. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W18, 783–788. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-783-2019>
- Nimer, E. (1989). *Climatologia do Brasil* (2nd ed.). IBGE.
- Nogueira, J., Rambal, S., Barbosa, J., & Mouillot, F. (2017). Spatial Pattern of the Seasonal Drought/Burned Area Relationship across Brazilian Biomes: Sensitivity to Drought Metrics and Global Remote-Sensing Fire Products. *Climate*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/cli5020042>
- Noy-Meir, I. (1973). Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 25–51. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000325>
- Olimpio, L. (2024). *Arquitetura ignota* (J. E. G. de Paula, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Raiz Imaginária.
- Oliveira, S., Pereira, J. M. C., San-Miguel-Ayanz, J., & Lourenço, L. (2014). Exploring the spatial patterns of fire density in Southern Europe using Geographically Weighted Regression. *Applied Geography*, 51, 143–157. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.002>
- Oliveira, U., Soares-Filho, B., Bustamante, M., Gomes, L., Ometto, J. P., & Rajão, R. (2022). Determinants of Fire Impact in the Brazilian Biomes. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.735017>
- Oliveira-Júnior, J. F., Filho, W. L. F. C., Alves, L. E. R., Lyra, G. B., de Gois, G., da Silva Junior, C. A., dos Santos, P. J., & Sobral, B. S. (2020). Fire foci dynamics and their relationship with socioenvironmental factors and meteorological systems in the state of Alagoas, Northeast Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(10), 654. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08588-5>
- Oliveira-Júnior, J. F., Shah, M., Abbas, A., Correia Filho, W. L. F., da Silva Junior, C. A., de Barros Santiago, D., Teodoro, P. E., Mendes, D., de Souza, A., Aviv-Sharon, E., Silveira, V. R., Pimentel, L. C. G., da Silva, E. B., Haq, M. A., Khan, I., Mohamed, A., & Attia, E.-A. (2022). Spatiotemporal Analysis of Fire Foci and Environmental Degradation in the Biomes of Northeastern Brazil. *Sustainability*, 14(11), 6935. <https://doi.org/10.3390/su14116935>
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, 27(4), 286–306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>

- Oshan, T., Li, Z., Kang, W., Wolf, L., & Fotheringham, A. (2019). mgwr: A Python Implementation of Multiscale Geographically Weighted Regression for Investigating Process Spatial Heterogeneity and Scale. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 269. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060269>
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, 59(7), 593–601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pelissari, T. D., Teodoro, P. E., Teodoro, L. P. R., Lima, M., Santana, D. C., Rossi, F. S., dos Santos, D. H., De Almeida Silva, R., Lourençoni, T., & da Silva Junior, C. A. (2023). Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal. *Scientific Reports*, 13(1), 21669. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49154-6>
- Perea-Ardila, M. A. (2025). Four-decade analysis of fire behavior in the brazilian Caatinga biome 1985-2023. *CERNE*, 31. <https://doi.org/10.1590/01047760202531013626>
- Perez-Marin, A. M., Vendruscolo, J., Zárate-Salazar, J. R., De Araújo Queiroz, H. A., Magalhães, D. L., Menezes, R. S. C., & Fernandes, I. M. (2022). Monitoring Desertification Using a Small Set of Biophysical Indicators in the Brazilian Semiarid Region. *Sustainability*, 14(15), 9735. <https://doi.org/10.3390/su14159735>
- Pimentel, M. L., Souza, T. C. L. de, Távora, G. S. G., & Turetta, A. P. D. (2011). *Mudanças de Uso da Terra e Expansão da Agricultura no Oeste da Bahia*. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/964161/1/BPD201MudancaoOesteBahia.pdf>
- Pivello, V. R. (2011). The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. *Fire Ecology*, 7(1), 24–39. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>
- Pivello, V. R., Vieira, I., Christianini, A. V., Ribeiro, D. B., da Silva Menezes, L., Berlinck, C. N., Melo, F. P. L., Marengo, J. A., Tornquist, C. G., Tomas, W. M., & Overbeck, G. E. (2021). Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 233–255. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>
- Plumanns-Pouton, E., Bakx, T. R. M., Buitenwerf, R., Espelta, J. M., Moreira, F., Regos, A., Selwyn, M., & Brotons, L. (2025). Restoring fire regimes through rewilding. *Current Biology*, 35(13), R670–R686. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2025.04.026>
- QGIS Development Team. (2025). *QGIS Geographic Information System* (2.28.7). Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org>
- Queiroz, L. P., Cardoso, D., Fernandes, M. F., & Moro, M. F. (2017). Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In *Caatinga* (pp. 23–63). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_2

CONDEL/SUDENE Nº 150, DE 13 DE DEZEMBRO DE 2021, Pub. L. Nº 150 (2021). <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/1-resolucao-condel-sudene-150-2021.pdf>

CONDEL/SUDENE Nº 176, DE 3 DE JANEIRO DE 2024, Pub. L. Nº 176 (2024). <https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-conselho-deliberativo/resolucao-condel-sudene-no-176-de-3-de-janeiro-de-2024#:~:text=RESOLUÇÃO%20CONDEL%2FSUDENE%20Nº%20176%2C%20DE%203%20DE%20JANEIRO%20DE%202024,-Aprova%20Relatório%20Conclusivo&text=1º%20Ratificar%20o%20Relatório%20Final%20da%20Delimitação%20do%20Semiárido%202021.>

Rizzini, C. T. (1979). *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociologicos e floristicos* (Vol. 2).

Rocha, W. J. S., Vasconcelos, R. N., Duverger, S. G., Costa, D. P., Santos, N. A., Franca Rocha, R. O., de Santana, M. M. M., Alencar, A. A. C., Arruda, V. L. S., Silva, W. V. da, Ferreira-Ferreira, J., Oliveira, M., Barbosa, L. da S., & Cordeiro, C. L. (2024). Mapping Burned Area in the Caatinga Biome: Employing Deep Learning Techniques. *Fire*, 7(12), 437. <https://doi.org/10.3390/fire7120437>

Rodrigues, M., de la Riva, J., & Fotheringham, S. (2014). Modeling the spatial variation of the explanatory factors of human-caused wildfires in Spain using geographically weighted logistic regression. *Applied Geography*, 48, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.01.011>

RStudio Team (2020). (2024). *RStudio*.

Shrestha, N. (2020). Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(2), 39–42. <https://doi.org/10.12691/ajams-8-2-1>

Silva, J. H. C. S., de Almeida, L. G. A., da Silva, E. L. F., Souza, A. das G., & Alves, E. U. (2025). Forest fires affect the germination of columnar cactus seeds in the Caatinga dry forest. *Discover Plants*, 2(1), 298. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00377-z>

Silva Junior, C. H. L., Aragão, L. E. O. C., Fonseca, M. G., Almeida, C. T., Vedovato, L. B., & Anderson, L. O. (2018). Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia. *Forests*, 9(6), 305. <https://doi.org/10.3390/f9060305>

Silvério, D. V., Oliveira, R. S., Flores, B. M., Brando, P. M., Almada, H. K., Furtado, M. T., Moreira, F. G., Heckenberger, M., Ono, K. Y., & Macedo, M. N. (2022). Intensification of fire regimes and forest loss in the Território Indígena do Xingu. *Environmental Research Letters*, 17(4), 045012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5713>

Spadoni, G. L., Moris, J. V., Segura-Garcia, C., Pessoa, A. C., Jones, M. W., Machado, M. S., Motta, R., Auxiliadora Costa Alencar, A., Ascoli, D., & Menor, I. O. (2025). Devegetation

is a widespread driver of fire in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Management*, 385, 125637. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125637>

Spearman, C. (1904). "General Intelligence," Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201. <https://doi.org/10.2307/1412107>

UNEP. (n.d.). World Atlas of Desertification. 1992. Retrieved August 12, 2025, from <https://digitallibrary.un.org/record/246740>

van der Esch, S., ten Brink, & Stehfest, E. (2017). *Exploring future changes in land use and land condition and the impacts on food, water, climate change and biodiversity: Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook*.

Veloso, H. Pimenta., Rangel Filho, A. L. Rosa., & Lima, J. C. Alves. (1991). *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., Ren, M., & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the Power of the Mann-Kendall Test for Detecting Monotonic Trends in Hydrometeorological Time Series. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014>

Wheeler, D., & Tiefelsdorf, M. (2005). Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression. *Journal of Geographical Systems*, 7(2), 161–187. <https://doi.org/10.1007/s10109-005-0155-6>

Wolpert, F., Quintas-Soriano, C., Pulido, F., Huntsinger, L., & Plieninger, T. (2022). Collaborative agroforestry to mitigate wildfires in Extremadura, Spain: land manager motivations and perceptions of outcomes, benefits, and policy needs. *Agroforestry Systems*, 96(8), 1135–1149. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00771-6>

Zaiats, A., Cattau, M. E., Pilliod, D. S., Liu, R., Dumandan, P. K. T., Hojatimalekshah, A., Delparte, D. M., & Caughlin, T. T. (2024). Structural heterogeneity predicts ecological resistance and resilience to wildfire in arid shrublands. *Landscape Ecology*, 39(6), 108. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01901-4>