



**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA): SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO**

**SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF FIRES AND DEFORESTATION IN SÃO FÉLIX DO XINGU (PA): SUBSIDIES FOR INTEGRATED ENVIRONMENTAL MONITORING**

**DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE INCENDIOS E DEFORESTACIÓN EN SÃO FÉLIX DO XINGU (PA): SUBSIDIOS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL INTEGRADO**

Lucas Gomes de Araújo<sup>1</sup>, Angélica Félix de Castro<sup>2</sup>, Michael V. S. Souto<sup>3</sup>, Pedro Henrique Alves Barreto<sup>4</sup>, Geovani Maia Damasceno<sup>5</sup>

e747699

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i4.7699>

PUBLICADO: 04/2026

**RESUMO**

A dinâmica de queimadas e o desmatamento representam pressões ambientais críticas na Amazônia Legal, gerando impactos severos no equilíbrio climático, na saúde pública e na sustentabilidade econômica regional. Este estudo objetivou analisar a distribuição espaço-temporal dos focos ativos de incêndio no município de São Félix do Xingu-PA, entre 2017 e 2021, integrando dados geoespaciais e meteorológicos de bases oficiais. A metodologia empregou dados do BDQueimadas/INPE, informações térmicas e de umidade do INMET e taxas de desmatamento do TerraBrasilis. O processamento e a integração dessas bases heterogêneas foram realizados em ambiente PostgreSQL, utilizando modelagem dimensional para possibilitar análises temporais e multiescalares consistentes. Os resultados evidenciaram um padrão sazonal nítido, com pico de ocorrências durante o período seco (julho a setembro), revelando uma correlação direta entre a incidência de fogo, a elevação da temperatura, a baixa umidade relativa do ar e o avanço do desmatamento. A análise espacial permitiu identificar áreas críticas de concentração de queimadas no território municipal, evidenciando zonas de intensa pressão antrópica. Conclui-se que a abordagem geomática adotada foi eficaz para a geração de subsídios ao monitoramento ambiental integrado, fornecendo bases para políticas públicas voltadas à mitigação de danos ambientais, proteção da saúde das populações locais e planejamento da economia agropecuária na região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Focos ativos de incêndio. Geomática. Desmatamento. Gestão ambiental. São Félix do Xingu.

**ABSTRACT**

*Fire dynamics and deforestation represent critical environmental pressures in the Legal Amazon, generating severe impacts on climatic balance, public health, and regional economic sustainability. This study aimed to analyze the spatiotemporal distribution of active fire outbreaks in the municipality of São Félix do Xingu-PA, between 2017 and 2021, by integrating geospatial and*

<sup>1</sup> Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró – RN, Brasil

<sup>2</sup> Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal – RN, Brasil; Pós-Doutora em Computação pela University of Bristol, Bristol, Inglaterra.

<sup>3</sup> Geólogo; Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal – RN, Brasil.

<sup>4</sup> Graduado em Administração pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Mossoró-RN, Brasil; Mestre em Administração pela Universidade Potiguar (UnP), Natal – RN.

<sup>5</sup> Economista; Graduado pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Mossoró-RN, Brasil; Mestre em Economia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

*meteorological data from official databases. The methodology employed data from BDQueimadas/INPE, thermal and humidity information from INMET, and deforestation rates from TerraBrasilis. The processing and integration of these heterogeneous databases were performed in a PostgreSQL environment, utilizing dimensional modeling to enable consistent temporal and multiscale analyses. The results showed a clear seasonal pattern, with peak occurrences during the dry season (July to September), revealing a direct correlation between fire incidence, rising temperatures, low relative air humidity, and the advancement of deforestation. The spatial analysis identified critical areas of fire concentration within the municipal territory, highlighting zones of intense anthropogenic pressure. It is concluded that the adopted geomatics approach was effective in generating subsidies for integrated environmental monitoring, providing a basis for public policies aimed at mitigating environmental damage, protecting the health of local populations, and planning the agricultural economy in the region.*

**KEYWORDS:** Active fire outbreaks. Geomatics. Deforestation. Environmental management. São Félix do Xingu.

### RESUMEN

*La dinámica de los incendios y la deforestación representan presiones ambientales críticas en la Amazonía Legal, generando graves impactos en el equilibrio climático, la salud pública y la sostenibilidad económica regional. Este estudio tuvo como objetivo analizar la distribución espacio-temporal de los focos de incendios activos en el municipio de São Félix do Xingu–PA, entre 2017 y 2021, integrando datos geoespaciales y meteorológicos de bases oficiales. La metodología empleó datos de BDQueimadas/INPE, información térmica y de humedad del INMET y tasas de deforestación de TerraBrasilis. El procesamiento y la integración de estas bases heterogéneas se realizaron en un entorno PostgreSQL, utilizando modelos dimensionales para permitir análisis temporales y multiescalares consistentes. Los resultados evidenciaron un patrón estacional claro, con picos de ocurrencia durante la estación seca (julio a septiembre), revelando una correlación directa entre la incidencia de incendios, el aumento de la temperatura, la baja humedad relativa del aire y el avance de la deforestación. El análisis espacial permitió identificar áreas críticas de concentración de incendios en el territorio municipal, evidenciando zonas de intensa presión antrópica. Se concluye que el enfoque geomático adoptado fue eficaz para la generación de subsidios al monitoreo ambiental integrado, proporcionando bases para políticas públicas orientadas a la mitigación de daños ambientales, la protección de la salud de las poblaciones locales y la planificación de la economía agropecuaria en la región*

**PALABRAS CLAVE:** Focos de incendios activos. Geomática. Deforestación. Gestión ambiental. São Félix do Xingu.

### 1. INTRODUÇÃO

O desmatamento e os incêndios na Amazônia constituem desafios críticos que transcendem a degradação ambiental, afetando diretamente o clima e a dinâmica de uso e cobertura da terra. Nas últimas décadas, o bioma amazônico tem enfrentado pressões constantes que resultam na perda de vastas extensões florestais (Silva *et al.*, 2023). Contudo, as consequências desses fenômenos não se limitam ao equilíbrio ecológico; a dispersão de material particulado proveniente das queimadas agrava quadros de saúde pública, elevando a incidência de doenças respiratórias nas populações locais, enquanto a alteração do regime de chuvas compromete a economia regional, baseada majoritariamente na agropecuária. Nesse cenário, a



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

análise espaço-temporal de focos ativos de queimadas torna-se uma ferramenta essencial para fundamentar políticas públicas de fiscalização e estratégias de gestão ambiental mais assertivas.

O avanço das geotecnologias tem permitido o acesso a volumes massivos de dados ambientais georreferenciados, oriundos de sensores orbitais e redes meteorológicas oficiais. Plataformas como o TerraBrasilis (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2025a) oferecem a infraestrutura necessária para o monitoramento em larga escala, permitindo análises integradas que relacionam variáveis climáticas e territoriais.

O município de São Félix do Xingu, no Pará, é emblemático para este estudo por deter, historicamente, os maiores índices de desmatamento acumulado da Amazônia Legal. A região é marcada por uma dinâmica territorial complexa, onde a expansão da pecuária e a conversão florestal intensificam a ocorrência de focos de incêndio. Compreender a correlação entre esses focos, as variáveis meteorológicas e o avanço do desmatamento é vital para entender a vulnerabilidade socioambiental do município (Silva; Furtado, 2023; Souza *et al.*, 2020).

Apesar da existência de estudos sobre incêndios na Amazônia, há uma carência de abordagens que integrem sistematicamente dados de fogo, clima e desmatamento em múltiplas escalas dentro de um ambiente de banco de dados estruturado. A presente pesquisa justifica-se, portanto, pela necessidade de oferecer um diagnóstico robusto que evidencie áreas críticas, servindo de subsídio para o planejamento governamental e para a mitigação dos impactos econômicos e sanitários causados pelo uso do fogo.

Diante deste contexto, esse trabalho tem como objetivo geral analisar a distribuição espaço-temporal dos focos ativos de incêndio em São Félix do Xingu-PA (2017-2021) e sua relação com a temperatura, umidade e a dinâmica do desmatamento. Como diferencial, propõe-se uma abordagem integrada via banco de dados PostgreSQL, permitindo identificar padrões e tendências que isoladamente seriam imperceptíveis, contribuindo metodologicamente para o monitoramento ambiental e para a salvaguarda do bioma e das populações que dele dependem.

Este trabalho contribui para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especificamente o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e o ODS 15 (Vida Terrestre), ao oferecer subsídios técnicos para o monitoramento da Amazônia.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### Área de estudo

O município de São Félix do Xingu está localizado na porção sudeste do estado do Pará, na região Norte do Brasil, inserido na Amazônia Legal. Com área aproximada de 84.000 km<sup>2</sup>, é um dos maiores municípios brasileiros em extensão territorial, apresentando significativa diversidade ambiental e elevada complexidade socioambiental. O município limita-se, entre outros,



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

com os municípios de Altamira, Tucumã, Ourilândia do Norte e Cumaru do Norte, situando-se em uma região estratégica do ponto de vista ambiental e territorial (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas, 2023).

Do ponto de vista geomorfológico e ambiental, São Félix do Xingu encontra-se predominantemente inserido no bioma Amazônia, caracterizado por florestas tropicais densas, elevada biodiversidade e forte influência climática equatorial. O clima da região é classificado como tropical úmido, com temperaturas médias elevadas ao longo do ano e regime pluviométrico marcado por uma estação chuvosa bem definida e um período seco, geralmente associado ao aumento da ocorrência de focos ativos de incêndio (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas, 2023).

No contexto deste estudo, o recorte espacial adotado corresponde aos limites administrativos do município de São Félix do Xingu, enquanto o recorte temporal compreende o período entre 2017 e 2021. A análise considera a distribuição espacial dos focos ativos registrados no município, a partir de dados georreferenciados de latitude e longitude, permitindo a identificação de padrões espaciais, áreas de maior concentração e possíveis regiões críticas. Além disso, a área de estudo é analisada em perspectiva comparativa com o estado do Pará, possibilitando avaliar a representatividade dos focos ativos do município no contexto estadual.

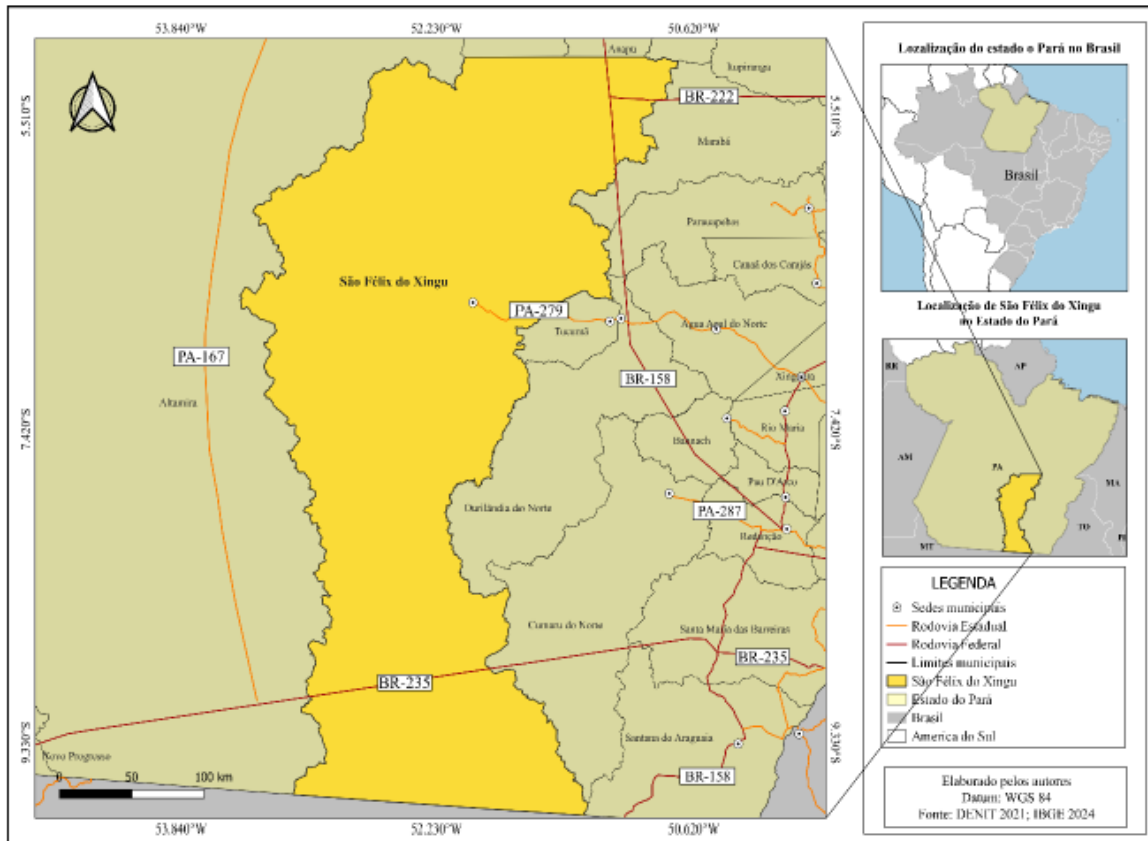
A Figura 1 apresenta o mapa de localização da área de estudo, destacando o município de São Félix do Xingu no estado do Pará, bem como sua inserção na Amazônia Legal. Esse mapa constitui elemento fundamental para a contextualização espacial das análises realizadas, servindo de base para a interpretação dos resultados espaciais e temporais apresentados nas seções subsequentes.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

**Figura 1.** Mapa de localização do município de São Félix do Xingu - PA



Fonte: Elaborado por Serra *et al.* (2024), adaptado de Brasil (2021) e IBGE (2024).

Entre os municípios brasileiros situados na Amazônia com mais desmatamento acumulado, São Félix do Xingu-PA está em primeiro lugar com larga dianteira, com desmatamento acumulado de 21.174,44 km<sup>2</sup> até o ano de 2023 (Ministério do Meio Ambiente, 2024). A Figura 1 situa o município no território brasileiro.

Analisando historicamente a evolução do desmatamento em São Félix do Xingu-PA, percebe-se que houve períodos de ampliação do ritmo da devastação e períodos de contenção do ritmo da predação da natureza, com os quantitativos mais altos já atingidos sendo superiores a 160.000 km<sup>2</sup> e os quantitativos mais baixos sendo inferiores aos 20.000 km<sup>2</sup> de desmatamento por ano. Os dados dessa trajetória histórica estão na Figura 2.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

**Figura 2.** Desmatamento anual em São Félix do Xingu-PA em vegetação primária e secundária (1987-2021)



Fonte: Adaptado de Andrade Junior (2024).

O trabalho acima se soma a essa literatura, tendo como foco a análise do processo histórico que resultou em ampliação e em redução do desmatamento anual local entre 1989 e 2021. Buscou compreender padrões espaço-temporais associados à dinâmica ambiental e territorial no período, analisando a atuação de instituições estatais, organizações sociais, produtores rurais, povos ameríndios, populações tradicionais, entre outros atores localmente importantes.

### Geotecnologias e infraestrutura de dados espaciais (IDE)

As geotecnologias compreendem um conjunto de tecnologias voltadas à coleta, processamento, análise e disponibilização de informações georreferenciadas. Este campo abrange ferramentas como o Sensoriamento Remoto (SR), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e os Sistemas de Posicionamento Global (GNSS), que permitem a observação sistemática de fenômenos terrestres, como o desmatamento e as queimadas (Rosa, 2013). A eficácia destas tecnologias não reside apenas na captura do dado, mas na capacidade de integrar bases heterogêneas para gerar conhecimento aplicável à gestão territorial.

Nesse contexto, as Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) surgem como um framework essencial para a organização desses dados. Uma IDE é definida como um conjunto integrado de tecnologias, políticas, padrões e recursos humanos que facilitam a disponibilidade e o acesso a dados espaciais (Comissão Nacional de Cartografia, 2010). No Brasil, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) padroniza o compartilhamento de informações entre instituições como o INPE e o IBGE, garantindo a interoperabilidade necessária para que dados de diferentes fontes possam ser cruzados em um ambiente de análise comum.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

A implementação de uma IDE em nível municipal ou regional exige uma base de dados robusta, muitas vezes estruturada em Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) que suportam extensões espaciais, como o PostgreSQL com PostGIS. Segundo Casanova *et al.* (2005), a estruturação de bancos de dados geográficos permite que a análise geográfica seja aplicada de forma multiescalar, transformando registros brutos de sensores em subsídios para a tomada de decisão. Assim, o uso de ides e geotecnologias é o que possibilita que o monitoramento ambiental deixe de ser uma observação isolada para se tornar uma estratégia de governança integrada.

### Geomática e modelagem em bancos de dados espaciais

A geomática consolidou-se como um campo interdisciplinar que integra metodologias para a aquisição, armazenamento, processamento e disseminação de informações georreferenciadas. Diferente do geoprocessamento convencional, a geomática enfatiza a integração sistêmica de tecnologias como o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica, permitindo uma compreensão holística de fenômenos dinâmicos, como as queimadas e o desmatamento (Rosa, 2013).

No cerne da geomática moderna, a modelagem em bancos de dados espaciais desempenha o papel crítico de organizar a complexidade dos dados geográficos. Enquanto bancos de dados tradicionais lidam com tipos de dados alfanuméricos, os bancos de dados espaciais introduzem tipos geométricos (pontos, linhas e polígonos) e funções topológicas que permitem consultas de proximidade, interseção e contenção (Casanova *et al.*, 2005).

A eficiência no monitoramento ambiental depende da arquitetura dessa modelagem. A transição para modelos que suportam grandes volumes de dados, como a extensão PostGIS do PostgreSQL, permite que o analista execute cruzamentos complexos entre variáveis climáticas e focos de incêndios com alta performance. De acordo com Rigaux, Scholl e Voisard (2002), um banco de dados espacial bem modelado não apenas armazena coordenadas, mas preserva as relações espaciais que transformam dados brutos em análise geográfica, essencial para a tomada de decisão em áreas de forte pressão antrópica.

### Dinâmica espaço-temporal e variáveis climáticas

A compreensão dos incêndios florestais na Amazônia exige uma análise da dinâmica espaço-temporal, uma vez que a ocorrência do fogo não é aleatória, mas sim condicionada por padrões geográficos e ciclos climáticos específicos. A dimensão temporal permite identificar a sazonalidade das queimadas, geralmente concentradas no chamado "arco do desmatamento" durante o período de estiagem, enquanto a dimensão espacial revela as zonas de pressão antrópica e o avanço da fronteira agrícola (Souza *et al.*, 2020).



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

As variáveis climáticas, em especial a temperatura da superfície e a umidade relativa do ar, exercem influência direta na inflamabilidade da biomassa. A elevação da temperatura, combinada com longos períodos de baixa pluviosidade, reduz o teor de umidade do material combustível fino, facilitando a ignição e a propagação das chamas (Silva; Lopes; Santos, 2023). Segundo Alvares *et al.*, (2013), a caracterização climática regional é fundamental para o zoneamento de risco, pois anomalias térmicas e hídricas podem intensificar eventos de fogo mesmo em áreas sob vigilância.

Portanto, a integração de séries históricas meteorológicas aos dados de focos de incêndios permite a construção de modelos preditivos e retroativos. Essa análise integrada é o que possibilita distinguir variações climáticas naturais de padrões induzidos por atividades humanas, fornecendo uma base sólida para o monitoramento ambiental e para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas no bioma amazônico.

### Interação entre desmatamento e uso do fogo

A relação entre o desmatamento e a ocorrência de incêndios na Amazônia Legal é intrínseca e retroalimentada. O fogo é historicamente utilizado como a principal ferramenta para a conversão do uso do solo, servindo tanto para a eliminação da biomassa remanescente após o corte raso da floresta quanto para a manutenção e renovação de áreas de pastagem. Esse processo, conhecido como "limpeza de terreno", transforma a floresta em um sistema fragmentado e mais vulnerável à propagação de chamas externas (Nepstad *et al.*, 2001).

Diferente dos ecossistemas adaptados ao fogo, a floresta amazônica possui alta sensibilidade ao calor. O desmatamento altera o microclima local, reduzindo a evapotranspiração e aumentando a penetração solar no sub-bosque, o que torna a vegetação adjacente mais seca e inflamável. Segundo Aragão *et al.*, (2018), mesmo em anos sem secas extremas, o desmatamento contínuo cria bordas de floresta que funcionam como "corredores de fogo", permitindo que incêndios controlados escapem para áreas de floresta primária, resultando em degradação florestal e perda de biodiversidade.

Dessa forma, a análise integrada de dados de desmatamento (como os do TerraBrasilis/INPE) e focos de incêndios é essencial para distinguir incêndios florestais acidentais de queimadas estruturadas para a expansão da fronteira agrícola. Em municípios de forte pressão agropecuária, como São Félix do Xingu, o fogo atua como o estágio final do ciclo de desmatamento, selando a mudança de uso da terra de cobertura florestal para solo exposto ou pasto (Souza *et al.*, 2020).



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

### Implicações socioambientais e econômicas do uso do fogo na Amazônia

As queimadas na Amazônia transcendem a degradação da biodiversidade, manifestando-se como um grave problema de saúde pública. A combustão da biomassa florestal libera grandes quantidades de material particulado fino (MP 2,5) e gases tóxicos, que podem ser transportados por milhares de quilômetros. Estudos indicam que, durante o período seco, há uma correlação direta entre o aumento dos focos de incêndios e a elevação das internações hospitalares por doenças respiratórias, afetando severamente populações vulneráveis, como crianças e idosos (Mendonça *et al.*, 2020).

Sob a ótica econômica, o uso do fogo em municípios como São Félix do Xingu é frequentemente adotado como uma tecnologia de baixo custo imediato para a limpeza de pastagens. Entretanto, essa prática gera prejuízos financeiros significativos a longo prazo. A perda de nutrientes do solo, a destruição de cercas, benfeitorias e a redução da produtividade agrícola devido à alteração dos ciclos de chuva criam um ciclo de insustentabilidade. Além disso, o custo das internações e a perda de dias de trabalho devido a problemas de saúde sobrecarregam os sistemas públicos municipais (Santo *et al.*, 2021).

Do ponto de vista socioambiental, o fogo compromete serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação climática e o ciclo hidrológico. A degradação florestal causada por incêndios recorrentes diminui a capacidade de resiliência da floresta, facilitando a substituição da vegetação nativa por espécies pioneiras de menor valor ecológico. Assim, a geomática aplicada ao monitoramento desses eventos torna-se uma ferramenta de vigilância ambiental e sanitária, oferecendo subsídios para que políticas públicas possam conciliar o desenvolvimento regional com a preservação dos ativos ambientais (Aragão *et al.*, 2018).

Dessa forma, a análise geoespacial realizada neste estudo não se limita à catalogação de focos de incêndios, mas fornece dados base para a compreensão dos riscos socioeconômicos aos quais a população de São Félix do Xingu está exposta.

### 3. MÉTODOS

#### Base de dados

Para a realização deste estudo, foram utilizadas bases de dados oficiais e de acesso público, contemplando informações geoespaciais, meteorológicas e ambientais. Os dados de focos ativos de incêndio foram obtidos a partir do Banco de Dados de Queimadas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2025b) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que disponibiliza registros georreferenciados contendo informações como data e hora de detecção, satélite, latitude, longitude, bioma e indicadores associados ao risco de fogo. Esses dados foram



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

utilizados tanto em escala municipal, para o município de São Félix do Xingu, quanto em escala estadual, para o estado do Pará.

As informações meteorológicas, referentes à temperatura do ar e à umidade relativa do ar, foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de séries temporais horárias registradas por estações meteorológicas localizadas na área de estudo. Os dados de desmatamento foram coletados por meio da plataforma TerraBrasilis, mantida pelo INPE, considerando a área anual desmatada no município de São Félix do Xingu.

O recorte temporal adotado para a análise compreende o período de 2017 a 2021, definido em função da disponibilidade e consistência dos dados nas diferentes fontes utilizadas.

### **Pré-processamento e tratamento de dados**

O pré-processamento dos dados envolveu etapas de limpeza, padronização e transformação, visando garantir a consistência e a compatibilidade entre as diferentes bases utilizadas. Inicialmente, os dados de focos ativos foram filtrados para o município de São Félix do Xingu, mantendo-se apenas os registros com coordenadas geográficas válidas. Foram identificados valores inconsistentes na variável associada ao risco de fogo, os quais foram corrigidos de forma a preservar a integridade do conjunto de dados.

A partir do atributo temporal original (data e hora), foram derivadas variáveis auxiliares correspondentes ao ano, mês, dia e hora de ocorrência, permitindo análises temporais em diferentes escalas. Para determinadas análises, os registros individuais de focos ativos foram agregados temporalmente, resultando em tabelas com a contagem de focos por intervalo de tempo e o cálculo de médias das variáveis associadas.

Os dados meteorológicos passaram por um processo de seleção das variáveis de interesse, especificamente temperatura do ar e umidade relativa do ar. Registros com valores ausentes foram tratados por meio do preenchimento com o valor válido mais próximo no tempo, de modo a minimizar a perda de informações em séries temporais contínuas. Em seguida, os dados foram agregados temporalmente para compatibilização com os registros de focos ativos.

Os dados de desmatamento foram filtrados para o município de interesse e organizados em séries temporais anuais, possibilitando sua associação com a ocorrência de focos ativos ao longo do período analisado.

### **Integração dos dados e modelagem em banco de dados espaciais**

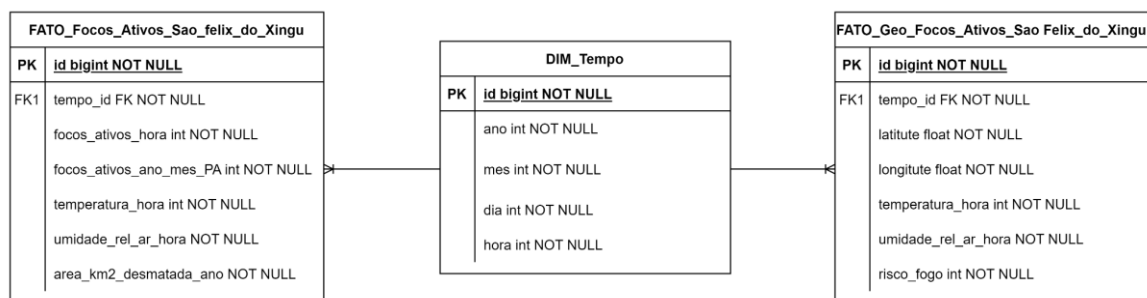
A integração das bases de dados foi realizada em ambiente de banco de dados relacional PostgreSQL, permitindo a organização estruturada das informações e a execução de operações de junção baseadas em atributos temporais e espaciais. As tabelas resultantes foram organizadas



segundo uma modelagem que distingue informações descritivas e métricas ambientais, facilitando as análises subsequentes.

Também foi possível usar modelagem dimensional: foram construídas duas tabelas-fato, resultados de mesclagens de algumas tabelas tratadas anteriormente. A Figura 3 exibe a tabela dimensão Dim\_Tempo e as duas tabelas-fato: FATO\_Geo\_Focos\_Ativos\_Sao\_Felix\_do\_Xingu (Fato 1) e FATO\_Focos\_Ativos\_Sao\_Felix\_do\_Xingu (Fato 2).

**Figura 3.** Tabela Dimensão e duas Tabelas-Fato



Fonte: Autoria própria.

A modelagem dimensional adotada, baseada em tabelas fato e tabelas dimensão, mostrou-se adequada para a organização e análise dos dados espaço-temporais de focos ativos de incêndio. As tabelas fato permitiram representar cada evento de foco ativo de forma estruturada, associando informações espaciais, temporais, meteorológicas e ambientais, enquanto a tabela dimensão temporal possibilitou agregações e análises em diferentes escalas (horária, diária, mensal e anual). Essa estrutura favoreceu a execução de consultas espaciais e temporais eficientes, a identificação de padrões sazonais e a integração entre variáveis heterogêneas, contribuindo para uma análise geomática mais consistente e reproduzível.

Para a estruturação do banco de dados no PostgreSQL, optou-se pela utilização da modelagem dimensional (esquema *Star Schema*) em detrimento da modelagem relacional convencional (normalizada). Esta escolha justifica-se pela necessidade de otimizar a performance em consultas complexas que envolvem grandes volumes de dados geoespaciais e séries temporais meteorológicas. Enquanto o modelo relacional foca na eliminação de redundâncias, o modelo dimensional é projetado para maximizar a velocidade de leitura e facilitar a agregação de dados multiescalares.

A implementação da tabela 'Fato' (contendo os registros de focos de incêndio) vinculada às tabelas de 'Dimensão' (tempo) permite que o sistema processe rapidamente o cruzamento de informações entre o desmatamento e a variabilidade térmica. Essa arquitetura é fundamental para a análise de grandes bases de dados ambientais, pois reduz a complexidade dos *joins* e permite uma resposta eficiente em processos de suporte à decisão e monitoramento integrado.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

### **Análise espacial e análise temporal**

As análises realizadas neste estudo contemplaram abordagens temporais, espaciais e espaço-temporais. A análise temporal consistiu na identificação de padrões sazonais e interanuais na ocorrência de focos ativos, por meio de séries temporais e agregações mensais e anuais. A relação entre a quantidade de focos ativos e as variáveis climáticas foi avaliada de forma exploratória, considerando a comparação entre tendências e variações ao longo do tempo.

A análise espacial baseou-se na representação cartográfica dos focos ativos a partir de suas coordenadas geográficas, permitindo a visualização da distribuição espacial e a identificação de áreas com maior concentração de ocorrências. Mapas temáticos foram gerados para destacar padrões espaciais relevantes e regiões potencialmente mais suscetíveis à ocorrência de incêndios.

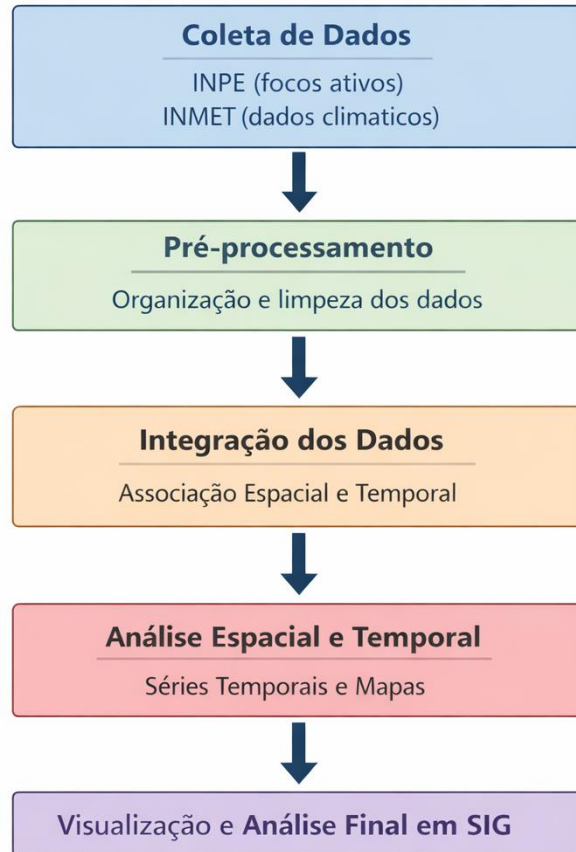
As análises foram complementadas por técnicas de visualização e exploração de dados, que auxiliaram na interpretação integrada dos resultados e na identificação de relações entre as variáveis ambientais analisadas. Embora as análises indiquem associações entre os fenômenos observados, ressalta-se que os resultados devem ser interpretados como indicativos de correlação, não implicando necessariamente em relações de causalidade.

As análises realizadas possuem caráter exploratório e descritivo, com foco na identificação de padrões espaço-temporais, não objetivando inferências causais.

A Figura 4 apresenta de forma esquemática o fluxo metodológico adotado neste estudo, desde a obtenção dos dados em bases institucionais até as etapas de processamento e análise em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).



**Figura 4.** Fluxograma ilustrando o caminho realizado pelo dado



Fonte: Autoria própria.

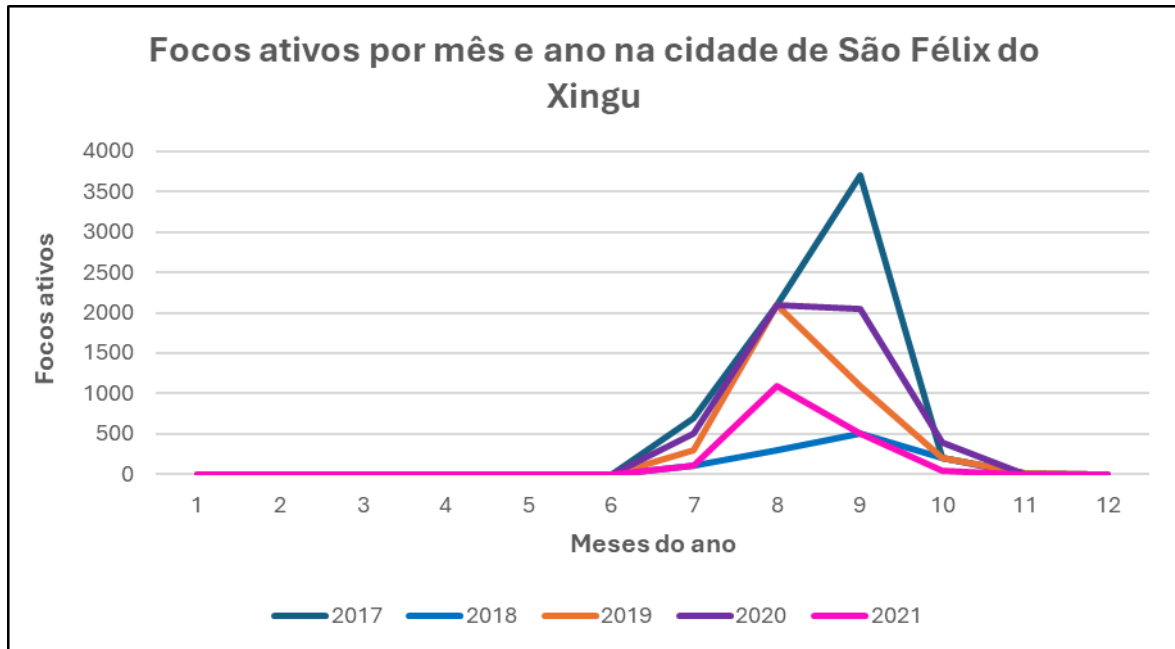
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### Análise temporal dos focos ativos no município de São Félix do Xingu

Os resultados obtidos para São Félix do Xingu entre 2017 e 2021 revelam um padrão de sazonalidade persistente, com picos de focos ativos concentrados entre julho e setembro. Esta periodicidade coincide com os registros térmicos mais elevados e os menores índices de umidade relativa do ar coletados pelo INMET (Figura 5).



**Figura 5.** Gráfico exibindo focos ativos por mês e ano na cidade de São Félix do Xingu



Fonte: Autoria própria.

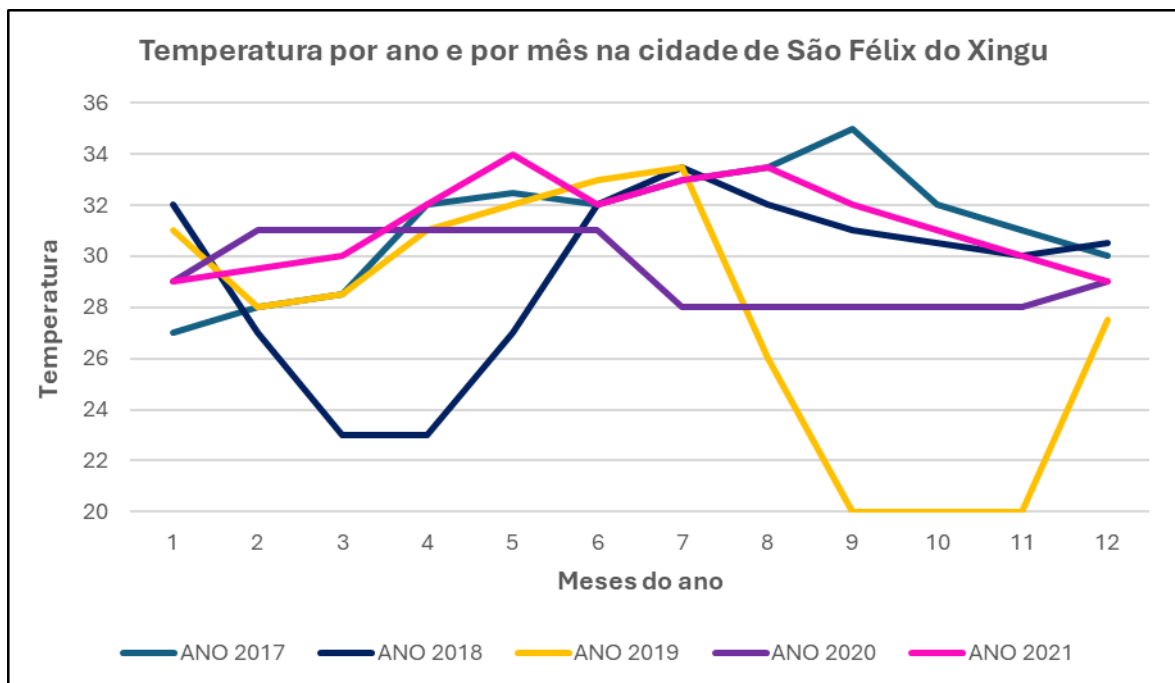
Esse comportamento sazonal está em consonância com o regime climático característico da região amazônica, no qual a redução da precipitação e da umidade relativa do ar favorecem a ocorrência e a propagação de incêndios. A recorrência desse padrão ao longo dos anos analisados indica uma persistência temporal do fenômeno, reforçando a importância do monitoramento contínuo e da análise temporal como ferramentas de apoio à gestão ambiental.

#### Relação entre focos ativos e variáveis climáticas

A comparação entre a quantidade de focos ativos e as variáveis meteorológicas analisadas — temperatura do ar e umidade relativa do ar — revelou uma associação consistente entre esses fatores. Observou-se que os períodos com maior concentração de focos ativos coincidem, de modo geral, com valores médios mais elevados de temperatura e com a redução da umidade relativa do ar (Figuras 6 e 7).

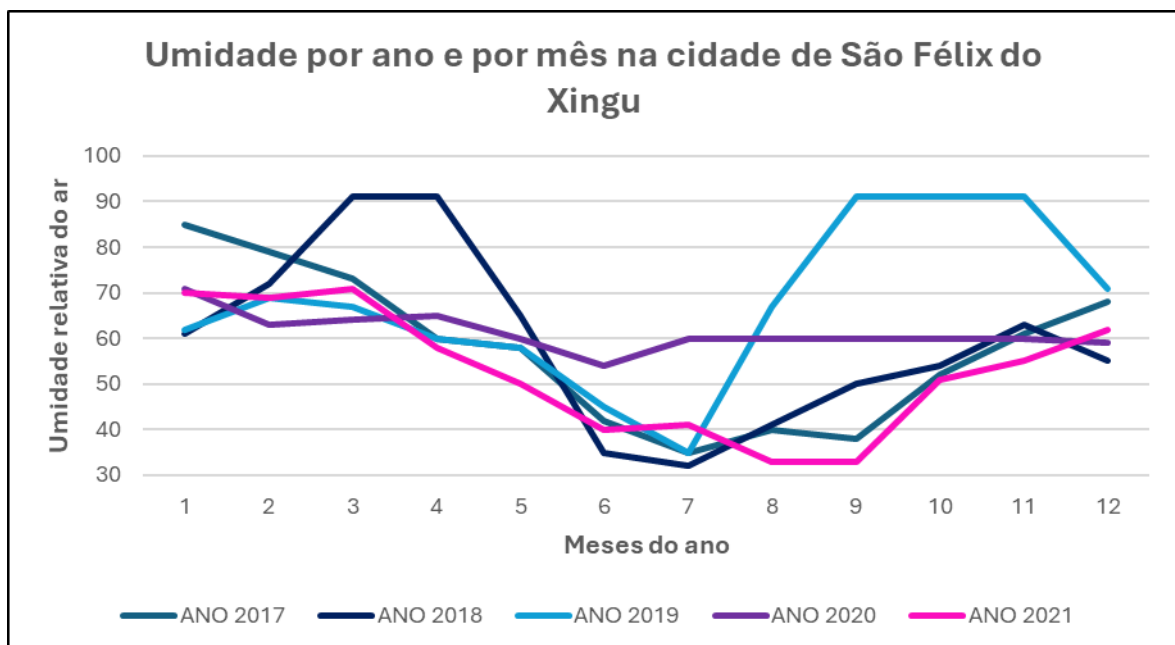


**Figura 6.** Temperatura por ano e por mês na cidade de São Félix do Xingu



Fonte: Autoria própria.

**Figura 7.** Umidade por ano e por mês na cidade de São Félix do Xingu



Fonte: Autoria própria.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

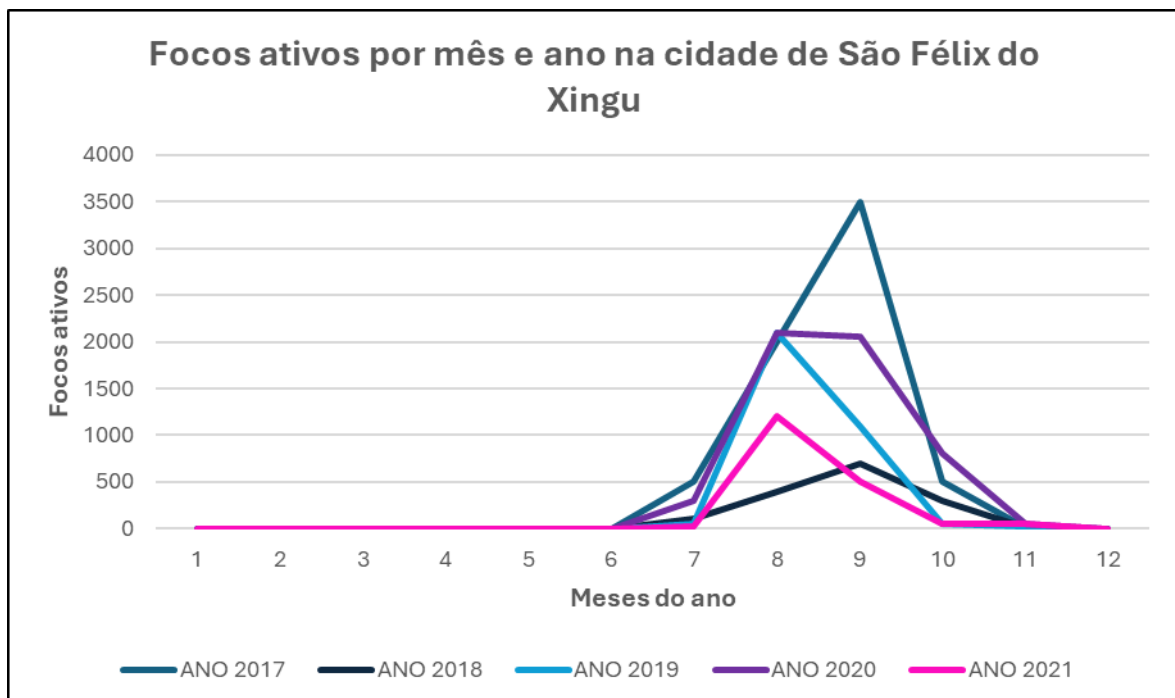
Durante os meses de maior incidência de focos ativos, a temperatura média apresentou tendência de elevação, enquanto a umidade relativa do ar mostrou-se significativamente menor. Esses resultados corroboram achados reportados na literatura, que indicam a influência direta das condições meteorológicas na suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais, especialmente em regiões tropicais.

Embora a análise realizada neste estudo tenha caráter exploratório, os resultados sugerem que as variáveis climáticas exercem papel relevante na dinâmica temporal dos focos ativos no município de São Félix do Xingu. Ressalta-se, contudo, que a relação observada deve ser interpretada como indicativa de correlação, não implicando necessariamente em causalidade direta.

### Comparação entre os focos ativos do município e do estado do Pará

A análise comparativa entre a ocorrência de focos ativos no município de São Félix do Xingu e no estado do Pará revelou que o município acompanha, de forma geral, o padrão temporal observado em escala estadual (Figuras 8 e 9). Os meses com maior incidência de focos ativos no estado coincidem com aqueles de maior ocorrência no município, evidenciando uma sincronia temporal entre as escalas analisadas.

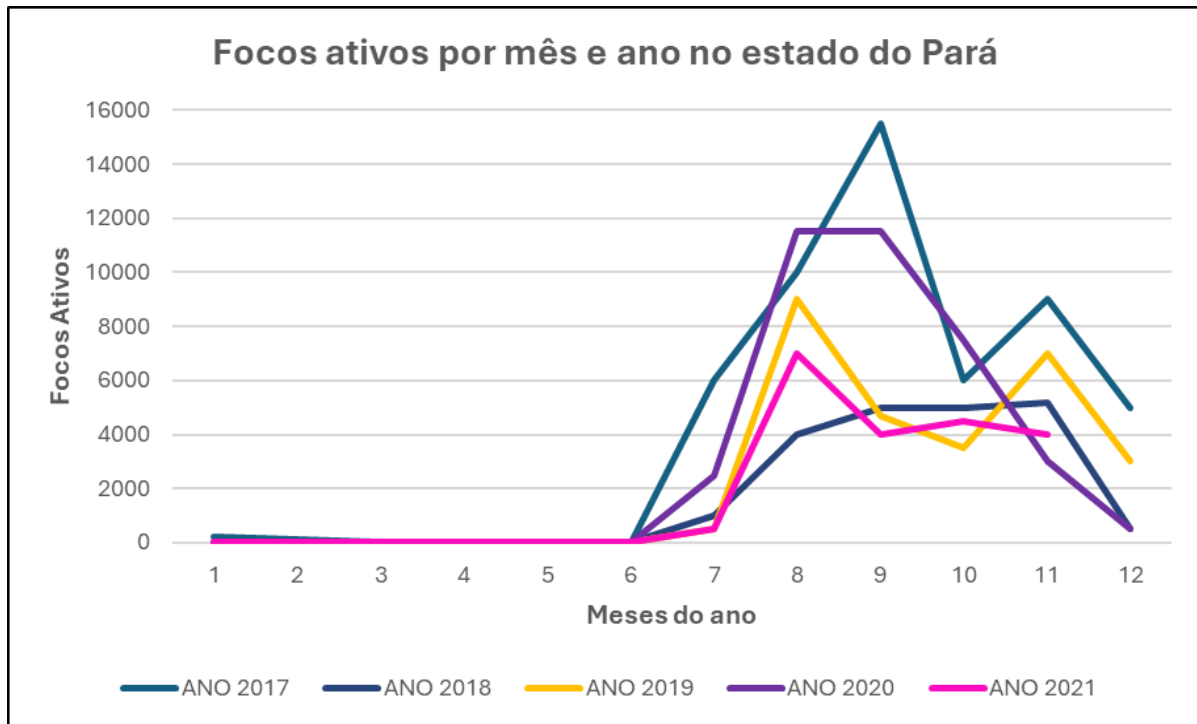
**Figura 8.** Focos ativos por mês e ano na cidade de São Félix do Xingu



Fonte: Autoria própria.



**Figura 9.** Focos ativos por mês e ano no estado do Pará



Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a participação relativa do município em relação ao total de focos ativos registrados no estado do Pará, observou-se que São Félix do Xingu representa uma parcela significativa dos focos ativos em determinados períodos do ano, especialmente durante os meses críticos do período seco. Esse resultado destaca a relevância do município no contexto estadual e reforça sua importância estratégica para ações de monitoramento e controle de incêndios.

A comparação multiescalar evidencia como análises integradas, contemplando diferentes níveis espaciais, contribuem para uma compreensão mais abrangente da dinâmica dos incêndios, permitindo identificar áreas prioritárias para intervenções e políticas públicas.

### Correlação entre desmatamento e fogo

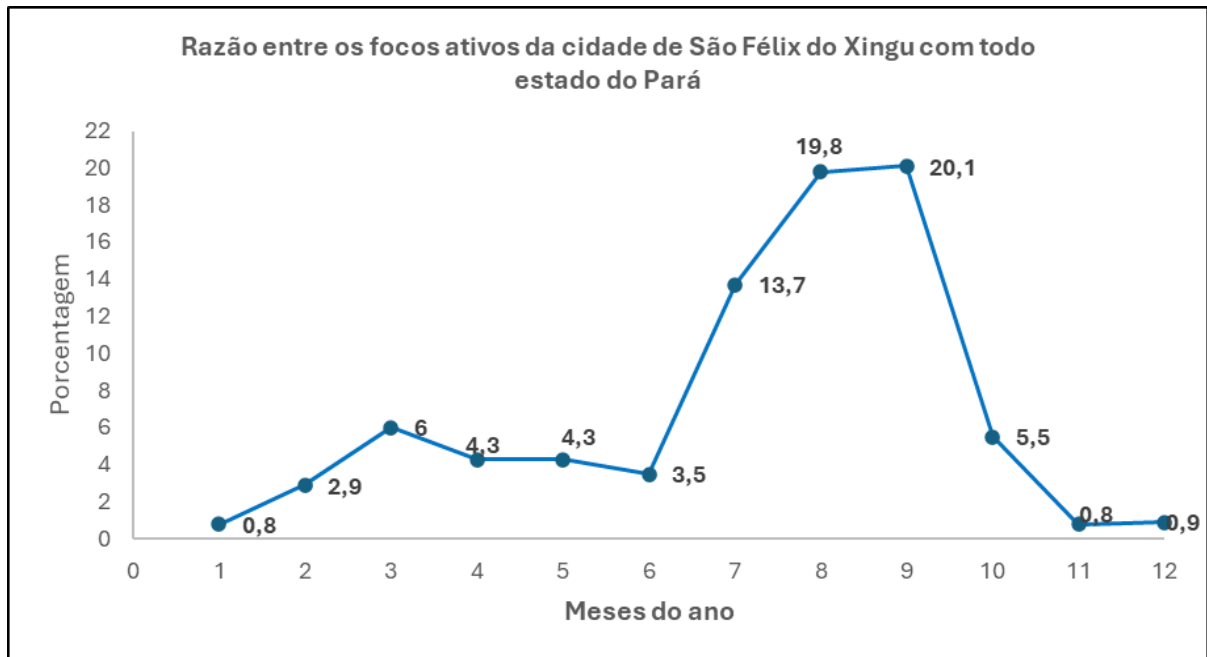
A análise integrada via PostgreSQL permitiu identificar uma correlação direta entre as janelas de desmatamento e o uso do fogo. Em São Félix do Xingu, o fogo não atua de forma isolada; ele é o estágio conclusivo do ciclo de conversão florestal. Os dados demonstram que áreas recentemente desmatadas (conforme registros do TerraBrasilis) são subsequentemente queimadas para a eliminação de resíduos lenhosos e preparação de pastagens extensivas.

Essa dinâmica é reforçada pelo contexto institucional do período 2017-2021 (Figura 10). O aumento dos focos em anos específicos pode ser associado à percepção de redução na



fiscalização ambiental em campo e à retórica de flexibilização de normas, o que serviu como catalisador para o avanço da fronteira agrícola sobre áreas de vegetação primária.

**Figura 10.** Razão entre os focos ativos da cidade de São Félix do Xingu com todo estado do Pará



Fonte: Autoria própria.

Esse comportamento pode estar relacionado ao uso do fogo como ferramenta associada ao desmatamento e à conversão de áreas florestais para outros usos. A sobreposição temporal entre o aumento do desmatamento e a intensificação dos focos ativos reforça a hipótese de influência antrópica na dinâmica dos incêndios observados no município.

Ressalta-se que as associações observadas entre focos ativos, variáveis climáticas e desmatamento indicam padrões consistentes do ponto de vista espaço-temporal, porém não implicam, por si só, relações diretas de causalidade, devendo ser interpretadas no contexto das limitações inerentes às análises exploratórias.

### Análise espacial e análise geográfica

A distribuição não homogênea dos focos ativos, evidenciada no mapeamento espacial, demonstra que o fogo se concentra em zonas de intensa pressão antrópica e áreas de borda. A utilização da modelagem dimensional foi estratégica para este diagnóstico, pois facilitou o cruzamento de grandes volumes de dados (milhares de pontos de fogo com coordenadas climáticas horárias), permitindo identificar as áreas críticas com precisão.



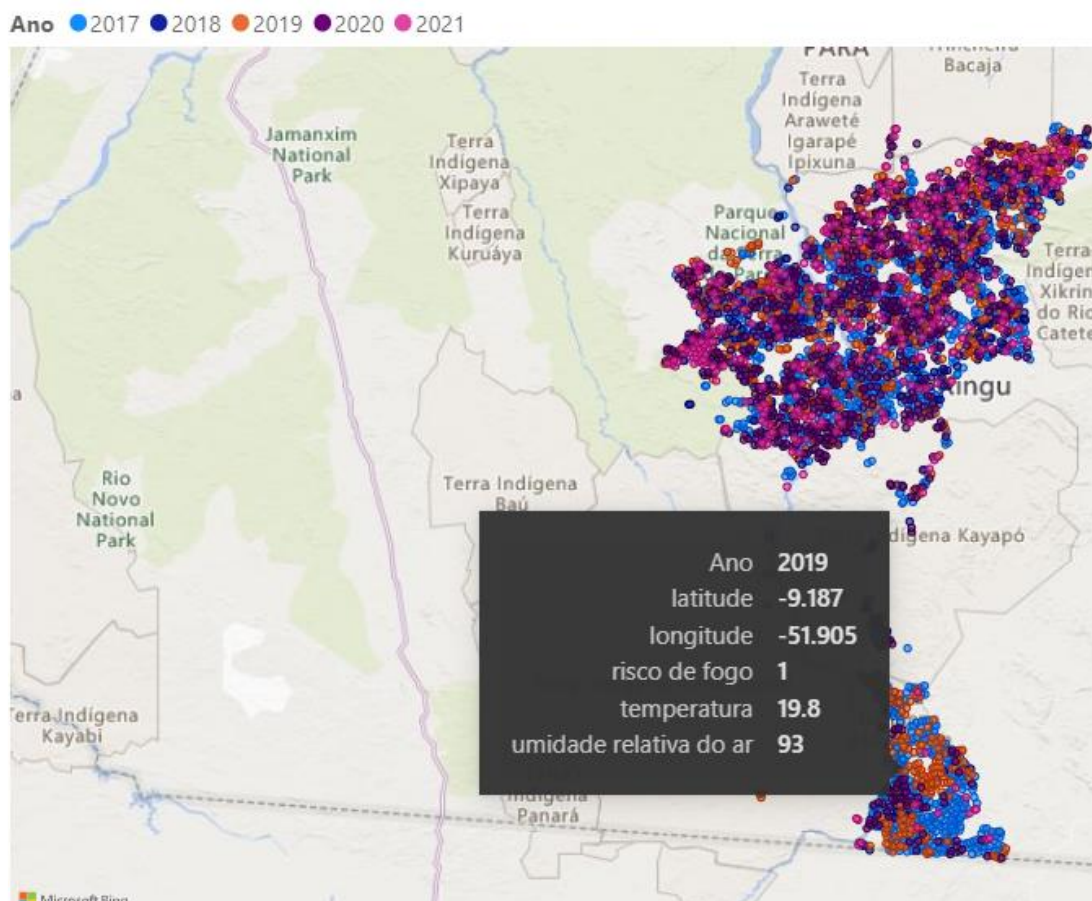
## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

Essa eficácia na visualização espacial é um subsídio fundamental para a gestão pública. Ao identificar que o fogo barato utilizado na agropecuária gera custos elevados na saúde pública regional e degradação de serviços ecossistêmicos, o estudo fornece análise geográfica para que órgãos como o INPE e secretarias estaduais possam planejar intervenções mais assertivas e sustentáveis

O mapa temático elaborado evidenciou áreas com maior concentração de focos ativos ao longo do período analisado, indicando regiões potencialmente mais suscetíveis à ocorrência de incêndios (Figura 11). Trata-se de um mapa interativo, onde, ao clicar no ponto desejado, aparecem dados sobre risco de fogo, temperatura e umidade relativa do ar.

**Figura 11.** Risco de fogo, temperatura e umidade relativa do ar por ano, latitude, longitude na cidade de São Félix do Xingu



Fonte: Autoria própria.

Observou-se que os focos ativos não se distribuem de forma homogênea no território municipal, concentrando-se em determinadas áreas, possivelmente associadas a regiões com maior pressão antrópica, proximidade de áreas desmatadas ou características ambientais



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

específicas. A identificação dessas áreas críticas constitui uma contribuição relevante da análise geomática, fornecendo subsídios para ações de fiscalização, prevenção e planejamento ambiental.

A representação cartográfica dos focos ativos mostrou-se fundamental para a compreensão da dimensão espacial do fenômeno, permitindo a visualização integrada das ocorrências e a identificação de padrões que não seriam facilmente percebidos por meio de análises exclusivamente temporais ou tabulares.

Embora o período analisado (2017-2021) mostre uma estabilização dos focos, dados recentes de 2024 indicam um novo recrudescimento, com o município liderando o ranking nacional com mais de 7 mil focos (INFOAMAZONIA, 2025). Além disso, a literatura recente sugere que a dinâmica do fogo em São Félix do Xingu tem sido utilizada como instrumento de resistência a operações de fiscalização ambiental (REDE XINGU+, 2025), o que amplia a complexidade do monitoramento sugerido neste trabalho.

### 5. CONSIDERAÇÕES

Este estudo confirmou que a dinâmica de queimadas em São Félix do Xingu não é um fenômeno isolado, mas sim o resultado de uma tríade composta por condições climáticas favoráveis, avanço deliberado do desmatamento e contexto institucional. A abordagem geomática, fundamentada na modelagem dimensional em PostgreSQL, provou ser uma ferramenta superior ao geoprocessamento convencional para a gestão ambiental, pois permitiu o cruzamento ágil de grandes volumes de dados heterogêneos.

As evidências encontradas indicam que o uso do fogo como tecnologia de baixo custo para a agropecuária gera uma "falsa economia". As implicações transcendem a perda de biodiversidade: a) saúde pública - a sobrecarga sazonal do sistema de saúde local devido a doenças respiratórias é um custo invisível da prática das queimadas; e b) Resiliência Econômica: A degradação do microclima e a alteração do ciclo hidrológico ameaçam, a longo prazo, a própria produtividade agropecuária da região.

Embora o diagnóstico espacial tenha sido preciso em identificar áreas críticas de pressão antrópica, o estudo apresenta limitações que abrem caminho para novas investigações: a) causalidade: por possuir caráter exploratório, as correlações identificadas não implicam causalidade direta, exigindo modelos estatísticos mais complexos para isolar cada variável; e b) dados socioeconômicos: A ausência de cruzamento com dados de posse de terra (como o CAR) limita a identificação da responsabilidade fundiária sobre os focos.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina (Machine Learning) para a criação de modelos preditivos que antecipem áreas de risco antes do período seco. Além disso, a integração de dados socioeconômicos e a avaliação do impacto de



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

políticas públicas implementadas após 2021 permitirão uma visão ainda mais integrada da governança ambiental na Amazônia.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pelo auxílio financeiro através do Edital PROPPG 34/2025.

### REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil). Acesso em: 28 mar. 2026.

ANDRADE JÚNIOR, J. R. P. de. Combate ao desmatamento na Amazônia: o caso de São Félix do Xingu-PA (1989-2023). *Boletim Campineiro de Geografia*, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 411-433, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54446/bcg.v14i2.3511>

ARAGÃO, L. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 536, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02771-y>. Acesso em: 15 mar. 2026.

BRASIL. **Ministério dos transportes**: banco de informações de transportes. Brasília – DF: Presidência da República, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit>. Acesso em: 27 mar. 2026.

CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. Bancos de dados geográficos. *MundoGEO*, 2005. Disponível em: <https://www-di.inf.puc-rio.br/~casanova/Publications/Books/2005-BDG.pdf>. Acesso em 15 mar. 2026.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (Brasil). **Plano de ação para implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Rio de Janeiro: CONCAR, 2010.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). **Estatística Municipal: São Félix do Xingu**. Belém: FAPESPA, 2023. Disponível em: <https://www.fapespa.pa.gov.br/wp-content/uploads/2025/02/Sao-Felix-do-Xingu.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2026.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 27 mar. 2026.

INFOAMAZONIA. **Monitoramento de focos de calor em Unidades de Conservação**: o caso de São Félix do Xingu. São Paulo: InfoAmazonia, 2025. Disponível em: <https://infoamazonia.org>. Acesso em: 27 mar. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **BDQueimadas**: monitoramento de queimadas e incêndios florestais. São José dos Campos: INPE, 2025b. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em: 17 mar. 2026.



## REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS E DESMATAMENTO EM SÃO FÉLIX DO XINGU (PA):  
SUBSÍDIOS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO  
Lucas Gomes de Araújo, Angélica Félix de Castro, Michael V. S. Souto,  
Pedro Henrique Alves Barreto, Geovani Maia Damasceno

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraBrasilis**: acesso aos serviços interativos. São José dos Campos: INPE, 2025a. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 15 mar. 2026.

MENDONÇA, M. G. C. *et al.* The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 49, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.11.011>. Acesso em: 15 mar. 2026.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Redução do desmatamento em São Félix do Xingu (PA)**. Brasília: MMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades-finalizados/reducao-do-desmatamento-em-sao-felix-do-xingu-pa>. Acesso em: 17 mar. 2026.

NEPSTAD, D. *et al.* Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 154, n. 3, p. 395-407, 2001. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/10D00493.pdf>. Acesso em: 15 mar 2026.

REDE XINGU+. **Dossiê Xingu 2024**: pressões e ameaças nas Terras Indígenas e Unidades de Conservação da Bacia do Xingu. Altamira: Rede Xingu+, 2025. Disponível em: <https://xingumais.org.br/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

RIGAUX, P.; SCHOLL, M.; VOISARD, A. **Spatial databases**: with application to GIS. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002. Disponível em: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-spatialdbswithapplicationtogis.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2026

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: Editora da UFU, 2009.

SANTOS, U. de P. *et al.* Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, [s. l.], v. 47, n. 6, 2021.

SERRA, Hugo Rogério Hage; MOTA, Railson Luz Santos; SILVA, Bruno Cunha da; SANTOS, Emerson Maurício Cutrin dos. Trabalho de Campo Integrado na Amazônia Meridional: a experiência da base comunitária agrícola em São Félix do Xingu -PA. **GeoPuc**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 16, p. e00115, 2024. DOI: 10.64238/geopuc.2024.115. Disponível em: <https://geopuc.emnuvens.com.br/revista/article/view/115>. Acesso em: 27 mar. 2026.

SILVA, M. G.; FURTADO, G. N. Spatial analysis of hotspots in the municipality of São Félix do Xingu, State of Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 11, p. e81391110331, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/10331>. Acesso em: 15 mar. 2026.

SILVA, R. M.; LOPES, A. G.; SANTOS, C. A. G. Deforestation and fires in the Brazilian Amazon from 2001 to 2020: Impacts on rainfall variability and land surface temperature. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 326, part. A, 116664, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116664>. Acesso em: 15 mar. 2026.

SOUZA, M. B.; NASCIMENTO, R. E. N.; DIAS, G. F. M.; MOREIRA, F. S. A. Dynamics of use and land coverage in the city of São Félix do Xingu, State of Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. e4889108791, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/8791>. Acesso em: 17 mar. 2026.