



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANANDA SANTA ROSA DE ANDRADE

**REGIÕES PIRO SENSÍVEIS E PIRO CRÍTICAS NO ARCO DO
DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL**

Tese de doutorado

Brasília - DF
2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANANDA SANTA ROSA DE ANDRADE

**REGIÕES PIRO SENSÍVEIS E PIRO CRÍTICAS NO ARCO DO
DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL**

Brasília - DF
2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANANDA SANTA ROSA DE ANDRADE

**REGIÕES PIRO SENSÍVEIS E PIRO CRÍTICAS NO ARCO DO
DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL**

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de doutora em Geografia, área de concentração análise de sistemas naturais.

Aprovado no dia 30 de janeiro de 2025 por:

Dr. Valdir Adilson Steinke (orientador)
Universidade de Brasília – examinador interno

Dra. Ruth Elias de Paula Laranja
Universidade de Brasília – examinador interno

Dr. José Guilherme Martins dos Santos
Nottus Meteorologia– examinador externo

Dr. Rossano Marchetti Ramos
Instituição – examinador externo

Dr. Dante da Costa Reis Junior (suplente)
Universidade de Brasília – examinador interno

[ficha catalográfica]

SS232r

Santa Rosa de Andrade, Ananda

Regiões piro sensíveis e piro críticas no arco do desmatamento da Amazônia Legal / Ananda Santa Rosa de Andrade; orientador Valdir Adilson Steinke; co-orientador Edson Eyji Sano. -- Brasília, 2025.
117 p.

Tese(Doutorado em Geografia) -- Universidade de Brasília, 2025.

1. Políticas públicas ambientais. 2. Índice de Moran. 3. Manejo de Fogo. 4. Mudanças climáticas. I. Adilson Steinke, Valdir, orient. II. Eyji Sano, Edson, co-orient. III. Título.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir, emprestar ou vender cópias desta tese, somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho pode ser reproduzido sem a autorização por escrito da mesma.

Ananda Santa Rosa de Andrade
anandasrandrade@gmail.com

[...] Na vida tem muito ex, mas eu garanto a vocês que não existe ex irmão. Pois no caso de irmandade existe uma extensão. Basta um abraço apertado, basta um aperto de mão. Na hora, o cabra sente: tem um pedaço da gente dentro do outro coração.

É um pedaço de nós, onde a gente nem está. [...] irmão é uma segurança, que o tempo de criança jamais será esquecido. Basta um gesto e um olhar, para lembrar de tudo que foi vivido. Irmãos, meu povo, foi porque Deus quis. Amigo, porque queremos (Bráulio Bessa).

Dedico esta tese ao Breno (*in memoriam*), meu único e amado irmão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Ao meu orientador, Dr. Valdir Steinke, que aceitou, de forma muito querida, o meu pedido de orientação. Diante de todas as adversidades que enfrentei durante o doutorado, não soltou minha mão; muito pelo contrário, segurou mais forte.

Ao meu co-orientador, Dr. Edson Sano. Sinto-me muito gratulada pelo acolhimento e conhecimento ofertado.

Às bancas examinadoras de qualificação e da tese, em especial ao examinador Dr. Guilherme Martins, que deu suporte e apoio quanto às análises das variáveis climatológicas.

À Universidade de Brasília. “Minha casa, minha vida”. Local que me trouxe tantos momentos felizes e que me possibilitou ser geógrafa, mestra e doutora.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por ter subsidiado a realização da tese (Código de Financiamento 001).

À minha mãe, Cristina Andrade, que sempre acreditou e está em todas as fases da minha vida para vibrar e lutar.

Ao meu pai, Pedro Andrade, que cuidou para eu subir os degraus dos estudos.

À Dra. Flávia Piazero, minha médica cativa, que incentivou a terminar este trabalho enquanto ela cuidava da minha saúde.

À minha psicóloga, Dani Melo, que vibra e se emociona com cada vitória.

Aos meus amigos queridos, especialmente a seis pessoas que me deram muita luz, força e suporte: Diego Moreira, Mari Silva, Amanda Galvão (ridícula de feia), Carolina Clemente, Raquel Daldegan, Pedro Sudbrack e Diogo Scalia.

Gratidão, meu povo, gratidão!



RESUMO

Os incêndios na Amazônia são uma preocupação significativa, tanto nacional quanto internacionalmente, destacada pelos principais veículos de comunicação e pela comunidade científica. Por um lado, o fogo desempenhou um papel crucial na história evolutiva da humanidade e no desenvolvimento de várias paisagens. No entanto, em conjunto com o desenvolvimento econômico, ele é frequentemente associado à degradação e ao desmatamento de florestas. Além disso, as mudanças climáticas já estão afetando a Amazônia legal. A crescente ocorrência de incêndios e o aumento do desmatamento em áreas florestais e protegidas podem agravar gravemente a situação. No Brasil, uma política de manejo integrado do fogo foi publicada em 2024. No entanto, até que essa política seja efetivamente implementada, os incêndios florestais permanecem como foco secundário nas iniciativas desenvolvidas pelo Ministério do Meio Ambiente. O comportamento do fogo é influenciado por diversos fatores econômicos, sociais e naturais. Especificamente, ao abordar o arco de desmatamento da Amazônia legal — uma região caracterizada por vasta extensão territorial — é essencial definir piro-regiões, ou regiões de fogo, para evitar tratar toda a área geográfica como uma entidade uniforme. Neste contexto, é necessário descrever dois tipos de regiões dentro do arco do desmatamento: piro-regiões críticas e piro-regiões sensíveis. O objetivo principal desta pesquisa foi identificar piro-regiões críticas e sensíveis e diagnosticar tendências potenciais relacionadas às mudanças climáticas, com o objetivo de destacar áreas que requerem atenção e proteção dentro do arco do desmatamento. Para atingir esses objetivos, foi criado um banco de dados que incluiu variáveis e indicadores que influenciam a definição dessas regiões. Tendências e anomalias em temperatura e precipitação foram analisadas, e as regiões foram delineadas usando o Índice de Moran. Os resultados identificaram as áreas mais críticas e sensíveis, juntamente com suas características. Além disso, ficou claro que esta região já está experimentando tendências de aumento de temperaturas e diminuição de chuvas. O desenvolvimento de políticas públicas específicas, com base no estabelecimento de piro-regiões, pode ajudar significativamente na prevenção da propagação de incêndios para novas áreas e na redução de incêndios em regiões críticas.

Palavras-chave: Políticas públicas ambientais. Índice de Moran. Manejo de Fogo. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The fires in the Amazon are a significant concern, both nationally and internationally, highlighted by major media outlets and the scientific community. On one hand, fire has played a crucial role in humanity's evolutionary history and the development of various landscapes. However, in conjunction with economic development, it is often linked to the degradation and deforestation of forests. Furthermore, climate change is already affecting the legal Amazon. The increasing occurrence of fires and heightened deforestation in both forested and protected areas could severely exacerbate the situation. In Brazil, an integrated fire management policy was published in 2024. However, until this policy is effectively implemented, wildfires remain a secondary focus in initiatives developed by the Ministry of the Environment. Fire behavior is influenced by diverse economic, social, and natural factors. Specifically, when addressing the deforestation arc of the legal Amazon—a region characterized by vast territorial expanse—it is essential to define pyro-regions, or fire regions, to prevent treating the entire geographical area as a uniform entity. In this context, it is necessary to describe two types of regions within the deforestation arc: critical pyro-regions and sensitive pyro-regions. The primary goal of this research was to identify both critical and sensitive pyro-regions and diagnose potential trends related to climate change, with the aim of highlighting areas that require attention and protection within the deforestation arc. To achieve these objectives, a database was created that included variables and indicators influencing the definition of these regions. Trends and anomalies in temperature and precipitation were analyzed, and regions were delineated using the Moran Index. The results pinpointed the most critical and sensitive areas, along with their characteristics. Additionally, it became clear that this region is already experiencing trends of rising temperatures and decreasing rainfall. The development of specific public policies, based on the establishment of pyro-regions, could significantly help in preventing the spread of fire to new areas and reducing fires in critical regions.

Keywords: Environmental public policies. Moran Index. Fire management. Climate change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do arco do desmatamento (em vermelho) no contexto da Amazônia Legal.....	22
Figura 2. Séries históricas de fogo na Amazônia Legal.....	27
Figura 3. Gráficos tipo <i>Box plot</i> da distribuição dos valores dos indicadores.....	49
Figura 4. Distribuição dos valores dos indicadores (i) de floresta, corte raso, eixo rodoviário e ocorrência de fogo.....	50
Figura 5. Distribuição dos valores dos indicadores (i) de linha de transmissão, área relevante, área protegida e área severamente impactada por fogo.....	51
Figura 6. Regressão linear entre área (ha) de corte raso (variável dependente) com quantidade de focos de calor (variável independente).....	53
Figura 7. Regressão linear entre os indicadores de área protegida (i_ap) com floresta (i_flor).....	54
Figura 8. Focos de calor detectados no ano de 2018 na região do arco do desmatamento.....	55
Figura 9. Focos de calor detectados no ano de 2019 na região do arco do desmatamento.....	56
Figura 10. Focos de calor detectados no ano de 2020 na região do arco do desmatamento.....	57
Figura 11. Focos de calor detectados no ano de 2021 na região do arco do desmatamento.....	58
Figura 12. Focos de calor detectados no ano de 2022 na região do arco do desmatamento.....	59
Figura 13. Densidade de focos de calor nos anos de 2018 a 2022 (acumulado) na região do arco do desmatamento.....	61
Figura 14. Recorrência de fogo na região do arco do desmatamento.....	62
Figura 15. Resultado da distribuição dos valores do índice de Moran na região sensível.....	63
Figura 16. Mapa das células piro sensíveis no arco do desmatamento, a partir do índice de Moran.....	64
Figura 17. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro sensíveis 1 (HH).....	65
Figura 18. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro sensíveis 2 (LL).....	66
Figura 19. Distribuição de pixels de fogos ativos nas regiões piro sensíveis.....	68
Figura 20. Distribuição espacial das terras indígenas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	69
Figura 21. Distribuição espacial das unidades de conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	70
Figura 22. Distribuição espacial das áreas florestadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	71
Figura 23. Distribuição espacial das áreas não destinadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	72
Figura 24. Distribuição espacial das áreas prioritárias para conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	73
Figura 25. Distribuição espacial das rodovias e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	74
Figura 26. Distribuição espacial das linhas de transmissão e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	75
Figura 27. Distribuição espacial das áreas desmatadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.....	76

Figura 28. Distribuição espacial das áreas de dispersão das espécies ameaçadas de extinção e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.	77
Figura 29. Distribuição espacial das áreas com recorrência de fogo no arco do desmatamento..	78
Figura 30. Resultado da distribuição dos valores do índice de Moran nas regiões piro críticas.	79
Figura 31. Mapa das células piro críticas no arco do desmatamento, a partir do índice de Moran.	80
Figura 32. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro crítica 1 (HH).....	81
Figura 33. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro crítica 2 (LL).....	82
Figura 34. Distribuição de pixels de fogos ativos nas regiões piro críticas... ..	84
Figura 35. Distribuição espacial das terras indígenas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento..	85
Figura 36. Distribuição espacial das unidades de conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento..	86
Figura 37. Distribuição espacial das áreas florestadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento..	87
Figura 38. Distribuição espacial das áreas não destinadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.	88
Figura 39. Distribuição espacial das áreas prioritárias para a conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento..	89
Figura 40. Distribuição espacial das rodovias e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.	90
Figura 41. Distribuição espacial das áreas desmatadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.	91
Figura 42. Distribuição espacial das espécies ameaçadas de extinção e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.	92
Figura 43. Distribuição espacial das áreas com recorrência de queimadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento.	93
Figura 44. Anomalia de chuvas (mm) no período de 1991 a 2022.	95
Figura 45. Tendência de precipitação (mm) ao nível de 95% de significância.....	95
Figura 46. Anomalia de temperatura máxima (°C) no período de 1991 a 2022.....	96
Figura 47. Tendência de temperatura máxima (°C) ao nível de 95% de significância.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Demais dados utilizados na tese	35
Tabela 2. Região, indicadores e variáveis (parte 1).....	40
Tabela 3. Região, indicadores e variáveis (parte 2).....	41
Tabela 4. Respostas do cálculo do índice de Moran por célula piro.	43
Tabela 5. Composição das variáveis no arco do desmatamento.....	48
Tabela 6. Área queimada, por estado do arco do desmatamento, de 2018 a 2022	52
Tabela 7. Área total e porcentagem de área das piro regiões sensíveis no arco do desmatamento	63
Tabela 8. Área total e porcentagem de área das regiões críticas no arco do desmatamento. ...	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DESENVOLVIMENTO.....	20
2.1 MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.1 Área de estudo: o arco do desmatamento da Amazônia Legal.....	20
2.1.2 Queimadas na Amazônia Brasileira	23
2.2 METODOLOGIA.....	33
2.2.1 Base de dados	33
2.2.2 Análises	35
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
2.3.1 O arco do desmatamento a partir das variáveis	46
2.3.2 O resultado dos indicadores.....	49
2.3.3 Padrão das queimadas na região	52
2.3.4 Piro regiões: sensíveis e críticas	63
2.3.5 Como mudar o cenário do fogo no arco do desmatamento a partir do uso das piro regiões na definição e execução de políticas públicas?	97
4 CONSIDERAÇÕES	101
REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

O fogo é o resultado da interação entre oxigênio, material combustível e calor, caracterizando-se como um fenômeno de combustão, onde ocorre uma reação química exotérmica que libera energia sob a forma de luz e calor. Essa reação é fundamental na dinâmica dos ecossistemas e nas atividades humanas, desempenhando papéis diversos conforme o contexto ecológico, cultural e socioeconômico ([UPADHYAY et al., 2020](#)).

Na perspectiva ambiental, o fogo pode atuar como um agente de distúrbio que provoca a destruição da vegetação, a perda de biodiversidade e a degradação dos solos. Em ecossistemas florestais e savânicos, incêndios frequentes podem levar à alteração da estrutura das comunidades biológicas, favorecendo algumas espécies em detrimento de outras, o que impacta negativamente a sustentabilidade ecológica ([BOND e PARR, 2010](#); [TOMAS et al., 2024](#)).

No contexto antropológico, o fogo tem sido historicamente uma ferramenta crucial para a sobrevivência humana, utilizado na cocção de alimentos, no aquecimento de abrigos, na proteção contra predadores e na modificação de paisagens para práticas agrícolas ([GOWLETT, 2016](#); [PYNE, 2019](#)). Além disso, o fogo tem um significado simbólico e ritualístico em diversas culturas, associado a processos de renovação e transformação social.

Ecologicamente, o fogo exerce um papel fundamental em certos biomas, como um elemento de manutenção da dinâmica dos ecossistemas. Em regiões tropicais e savanas, ele contribui para a ciclagem de nutrientes, a germinação de sementes e o controle de espécies invasoras ([MCLAUCHLAN et al., 2020](#)). Portanto, o fogo é uma força natural integradora dos processos evolutivos da Terra, ao mesmo tempo que representa um elemento de transformação contínua para a biodiversidade e a humanidade.

A existência dele na Terra, a partir da concentração necessária de oxigênio na atmosfera em períodos pré históricos, "nasceu" através das descargas elétricas e das erupções dos vulcões ([CHAZAN, 2017](#); [MCCAULEY et al., 2020](#)). Com o surgimento da vegetação fotossintetizante no Período Siluriano (e resposta dela como combustível seco, quando em processo de desgaste

hídrico), houve a ocorrência dos incêndios, que resultou na modelagem, de forma natural, de certas estruturas da paisagem ([SCOTT e GLASSPOOL, 2006](#)) e na influência do ciclo geológico de alguns elementos químicos, como o fósforo (P) ([Lenton, 2001](#)).

A domesticação do fogo marcou um ponto de inflexão significativo na história da humanidade, permitindo a modelagem da paisagem de maneira antropogênica, conforme discutido por [GLIKSON \(2013\)](#). Com o controle do fogo, sua utilização transcende o simples fenômeno químico para se tornar uma ferramenta multifacetada e crucial na adaptação e sobrevivência humana.

Além de suas funções primitivas, o fogo evoluiu para ser uma fonte indispensável de energia, com implicações que vão além da sobrevivência imediata. A capacidade de manipular o fogo permitiu avanços tecnológicos e culturais, possibilitando o desenvolvimento de sociedades complexas. A humanidade avançou a sua aplicação em processos industriais e na geração de energia elétrica. [JONG et al. \(2016\)](#) destacam o papel fundamental do fogo na conversão de combustíveis fósseis em eletricidade, um processo que sustenta a infraestrutura energética global contemporânea.

A crescente dependência das sociedades modernas em relação ao fogo e suas formas derivadas de energia reflete uma interconexão profunda entre o desenvolvimento tecnológico e a utilização dos recursos naturais. [ZOHURI et al. \(2019\)](#) argumentam que essa relação se tornou tão intrínseca que a sociedade contemporânea não se dissocia facilmente do uso contínuo de energia gerada pelo fogo, seja em sua forma mais direta ou nas tecnologias avançadas que dele derivam.

Depois de declarada uma gama de qualidades sobre o fogo, "nem tudo são flores" e encantos. A quantidade de uso de recursos e a necessidade de produção de energia aumentaram exponencialmente, o que impactou no aumento das chamas antropogênicas ([MORGAN, 2009](#)). Na Idade Moderna e com avanço da industrialização, houve a necessidade da queima de muita biomassa primitiva (material lenhoso) para atender à geração de energia elétrica e de produtos em geral para suportar o novo *Way of Life* da sociedade até os dias atuais ([GARRIOCH, 2019](#)).

Na era pré-colonial, os povos indígenas das Américas, incluindo os habitantes do território que hoje compreende o Brasil, utilizavam o fogo de maneira controlada e integrada ao ambiente natural, desenvolvendo uma relação coevolutiva com a paisagem ao seu redor. Este

uso estratégico do fogo permitiu a manutenção de clareiras para moradia e cultivo, promovendo a gestão de recursos naturais de forma sustentável.

O fogo era empregado para controlar a vegetação invasora, reduzindo a competição por nutrientes e a propagação descontrolada de ervas daninhas, além de minimizar a acumulação de material combustível, o que diminuía o risco e a intensidade de incêndios florestais. Ademais, o uso do fogo facilitava a introdução e o manejo de espécies de interesse nos sistemas agroflorestais indígenas, contribuindo para a diversificação e resiliência desses sistemas, como discutido por [MISTRY \(1998\)](#), [FURQUIM et al. \(2021\)](#) e [LEVIS et al. \(2018\)](#).

Essa prática não apenas garantia a subsistência e segurança alimentar das comunidades, mas também promovia uma interação sustentável e harmoniosa com o meio ambiente, refletindo um profundo conhecimento ecológico e uma gestão adaptativa da biodiversidade local.

Saindo do contexto geral e focando no Brasil, na época da invasão dos portugueses, o fogo foi o principal elemento devastador da Mata Atlântica, em razão do "monopólio das árvores de lei", que foi instituída pelo Governo Português, a fim de garantir que somente a coroa portuguesa às poderia extrair ([DRUMMOND, 2000](#)). Como retaliação, os colonos/"donos das terras" queimaram todas as espécies antes da sua retirada.

Nas décadas industriais, o Brasil tem altas demandas de carvão vegetal e isto significou corte seletivo/desmatamento para queimar as lenhas. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), de todas as fontes, o carvão é a maior demanda do setor industrial, variando a sua estrutura de consumo em aproximadamente 90% desde o ano de 2003.

Não menos simples, o Brasil vigora na expansão da fronteira agrícola, que também demanda queimar para abrir ou limpar áreas desmatadas ([ARVOR et al., 2013](#)). Diante destes dois pontos, é de total jus o que muitos pesquisadores defendem em suas pesquisas sobre uma correlação positiva entre fogo e desmatamento ([NEPSTAD et al., 2006](#); [VAN MARLE et al., 2017](#); [UHL e KAUFFMAN, 1990](#)). E aqui, enfim, entra no ponto nevrálgico da perda de encantos pelo fogo [mencionado anteriormente]: Impactos deletérios para a sociedade, para o meio ambiente e para a atmosfera.

Os incêndios florestais têm impactos ambientais imediatos e devastadores, que são visíveis mesmo a grandes distâncias. A fumaça densa, carregada de partículas e cinzas, resulta em uma significativa deterioração da qualidade do ar, exacerbando a poluição atmosférica e contribuindo para o aumento da concentração de material particulado fino, como demonstrado por [Reddington \(2015\)](#) e [Roberts e Wooster \(2021\)](#). Esse aumento de particulados na atmosfera não apenas obscurece a visibilidade, mas também atua como um agente prejudicial à saúde pública, prolongando a persistência de poluentes no ar e aumentando os riscos de exposição para populações urbanas e rurais.

No local do incêndio, as consequências são igualmente graves e afetam diretamente os ecossistemas. A perda de biodiversidade é uma das consequências mais notáveis, com inúmeras espécies de flora e fauna sendo diretamente impactadas, resultando em reduções populacionais drásticas e, em casos extremos, até mesmo em extinções locais, como discutido por [Gill \(1994\)](#). Além disso, a degradação do solo é uma preocupação ambiental crítica, pois o fogo destrói a matéria orgânica essencial e altera as propriedades físicas e químicas do solo, diminuindo sua fertilidade e capacidade de retenção de água, conforme apontado por [Costa e Rodrigues \(2015\)](#). Esse processo pode levar à erosão acelerada e à desertificação, comprometendo a regeneração natural da vegetação e a sustentabilidade dos ecossistemas afetados.

Do ponto de vista social, os impactos dos incêndios florestais são profundos e multifacetados. Há um aumento significativo na incidência de doenças respiratórias, cardiovasculares e oculares entre as populações expostas à fumaça e às partículas inaláveis, como relatado por [Machado-Silva et al. \(2020\)](#).

Também, os incêndios causam impactos econômicos substanciais, incluindo a destruição de propriedades, a perda de recursos naturais e a interrupção de serviços essenciais, como o fornecimento de energia elétrica, especialmente quando ocorrem próximos a linhas de transmissão, como descrito por [Neto et al. \(2015\)](#). Essas interrupções não só afetam as comunidades locais, mas também têm repercussões econômicas mais amplas, contribuindo para uma cadeia de consequências socioeconômicas adversas.

O caminho para mitigar os impactos dos incêndios florestais e promover uma gestão sustentável dos recursos naturais é amplamente discutido na literatura científica, centrando-se na elaboração, constituição e execução de políticas públicas eficazes ([ANDRADE et al., 2021](#);

[PIVELLO et al., 2021](#); [MORELLO et al., 2019](#)). As políticas públicas são conjuntos de ações e decisões articuladas por diversos atores, visando uma regulação dialética que promova a equidade social, política e ambiental, por meio da intervenção do Estado ([SORRENTINO et al., 2005](#)). Em todo o território brasileiro, há a necessidade de olhares específicos com vias a conservação ambiental; contudo, a centralidade do tema das queimadas é notadamente marcada por publicações e notícias midiáticas sobre a Amazônia Brasileira.

A Amazônia é palco nacional e internacional dada a sua exuberância, beleza e biodiversidade. Em contrapartida, também tem grandes olhos sobre a sua importância, em razão da necessidade de proteção da biodiversidade e da mitigação dos impactos da sua devastação para reduzir os efeitos das mudanças climáticas ([DIEGUES, 1998](#)) ([ELLWANGER et al., 2022](#)).

Mesmo assim, as taxas de desmatamento e queimadas na área socioeconômica da Amazônia Legal é histórica ([REIS et al., 2021](#)) e não há, ainda, evidências de resposta a nível de desmatamento zero, em especial na região do arco do desmatamento, onde há uma concentração significativa de taxas de fogo e desmatamento ([CORREA et al., 2021](#)).

Para esta região, o impacto do fogo descontrolado é um tema que deve ser debatido e compreendido, a fim de definir onde o poder público deve atuar, aportar seus recursos e evitar novos danos.

Logo, as estratégias devem ser muito bem balizadas nas políticas ambientais, dada a dimensão territorial. Uma das formas para tal, é identificar regiões de fogo (piro regiões), a partir de um conjunto de fatores que influenciam a formação delas, como: a pluralidade de povos e comunidades ([CORDEIRO E SILVA, 2024](#)), a quantidade de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção ([SOUZA et al., 2024](#)), o mosaico de ecossistemas com alta densidade de vegetação sensível ao fogo (Santos et al., 2020), a existência de linhas de transmissão ([OLIVEIRA e ZAÚ, 2024](#)), a abertura de novas fronteiras agrícolas e de ocupação social (que demandam de vias, rodovias e energia) e a abrangência de áreas necessárias para proteção (e.g.: florestas públicas não destinadas) ([ALENCAR, 2021](#)).

Esta contribuição possibilita, além de uma atuação direta, por meio de ações de combate e prevenção, uma abordagem integrada entre os poderes e repartições públicas, a fim de reduzir os incêndios. Ademais, as políticas vigentes atuam onde há o problema recorrente do fogo

(regiões piro críticas); portanto, locais onde necessitam de proteção (regiões piro sensíveis) estão vulneráveis, como as formações florestais. As florestas tem um papel imprescindível na estocagem de carbono e na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas ([BRAGA et al., 2022](#)).

Há diversos artigos que já discutem sobre a redução de chuvas e aumento de temperaturas na Amazônia ([ELLWANGER et al., 2020](#); [ALVES DE OLIVEIRA et al., 2021](#); [HEINRICH et al., 2021](#)); desta forma, os efeitos podem ser agravados com a continuidade de incidência das queimadas neste tipo de vegetação. Entender, também, a atual tendência destes fatores climatológicos na região do arco do desmatamento visa compreender um possível cenário dos próximos anos, caso não haja atuação nestes dois tipos de regiões. Então, há algumas questões que esta tese se reflete a responder e entender:

1. Onde estão as regiões piro críticas e sensíveis no arco do desmatamento?
2. Quais elementos compõem estas regiões e como elas se relacionam com o fogo?
3. Qual a contribuição da delimitação piro regiões para as políticas vigentes?
4. O padrão da precipitação e da chuva mudou ao longo do tempo?
5. Qual o tamanho da vulnerabilidade que há no arco do desmatamento?

A principal hipótese do estudo é que existem lacunas do poder público para atuação efetiva na Amazônia Legal, em especial, para proteção das regiões piro sensíveis e que, caso não haja mudança de pensamento, isto possa contribuir no cenário negativo das mudanças climáticas. Portanto, para alcançar estas e as demais respostas, o propósito desta pesquisa foi definir piro regiões críticas e sensíveis, e diagnosticar a situação climatológica da chuva e temperatura, a fim de indicar frentes de atenção e proteção no arco do desmatamento. Especificamente:

1. Delinear indicadores e variáveis relacionados às regiões de fogo.
2. Diagnosticar a recorrência de fogo e respectivas áreas mais impactadas.
3. Identificar anomalias e tendências de chuva e temperatura máxima.
4. Contribuir com possibilidades para as políticas ambientais brasileiras de combate ao fogo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Área de estudo: o arco do desmatamento da Amazônia Legal

A Amazônia Legal, ao contrário do que muitos imaginam, não é definida exclusivamente por suas características biogeográficas ou pela sua geografia física. Sua delimitação original surgiu a partir de uma finalidade política e como um instrumento estratégico para promover a ocupação e o desenvolvimento econômico de uma região considerada vital para a soberania nacional do Brasil. Essa definição territorial reflete em um contexto político e econômico do país, e não apenas uma delimitação baseada em critérios ambientais ou ecossistêmicos.

Portanto, esta definição de "Amazônia Legal", não é alcunhada na sua biogeografia e geografia física. Sua primeira definição veio da finalidade política e de soberania nacional, a partir da Lei 1.806, de 06 de janeiro de 1953 ([BRASIL, 1953](#)). Desta norma, foram publicados diversos dispositivos que moldaram a organização deste território ([BRASIL, 1966](#); [BRASIL, 1967](#); [BRASIL, 1968](#); [BRASIL, 1977](#)) até a Constituição Federal de 1988 ([BRASIL, 1988](#)), que define os limites da Amazônia Legal como a junção física dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão.

Esta área totaliza aproximadamente 59% do território brasileiro (em torno de cinco milhões de quilômetros quadrados) e compreende todo o bioma Amazônia e partes dos biomas Cerrado e Pantanal. Salutar citar que ela também abrange corpos hídricos muito importantes - como os rios Amazonas, Negro e Solimões, reservas de minérios, e mosaicos vegetacionais - de transição ou não ([GIATTI e CUTOLO, 2012](#)).

A complexa rede de drenagem da bacia amazônica, a maior do planeta, se estende por vários países vizinhos — incluindo Peru, Colômbia, Equador, Bolívia, Venezuela e Guiana, e

suas águas fluem através de fronteiras políticas antes de convergir e serem majoritariamente canalizadas para o território brasileiro, até desembocar no Oceano Atlântico ([STEINKE et al., 2022](#)).

Essa interdependência hidrográfica faz da Amazônia um elemento estratégico para a cooperação internacional na América do Sul. A gestão sustentável de seus vastos recursos hídricos e florestais requer uma abordagem colaborativa e integrada entre os países amazônicos, reconhecendo tanto a soberania nacional quanto a necessidade de proteção ambiental coletiva ([STEINKE et al., 2022](#)).

Além de sua imensa biodiversidade, a Amazônia possui recursos naturais vitais, como água doce e minerais, que são cada vez mais cobiçados no contexto global de escassez de recursos e mudanças climáticas. Portanto, a Amazônia não é apenas um patrimônio natural de valor inestimável, mas também um foco de complexas dinâmicas geopolíticas, onde se cruzam interesses locais, regionais e internacionais, demandando políticas públicas que promovam a conservação, o uso sustentável e o desenvolvimento socioeconômico de forma equitativa e cooperativa ([SMOUTS, 2003](#)).

Mesmo com as deferências à Amazônia Legal e olhos [de interesse] internacionais, a degradação socioambiental é em tempo real. A quantidade de ilícitos é exorbitante e é alcunhada no uso agropastoril, na extração de minério e na política da boiada ([BRONZ, 2020](#)). Segundo dados do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia - Prodes, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 490 mil quilômetros quadrados já foram desmatados ([INPE, 2023](#)). No caminho que se trilha, o fogo, uma das ferramentas mais usadas e baratas para abertura de área e limpeza de pasto, ganhou vertiginosas taxas e necessidade de olhares nas políticas brasileiras.

Uma área dentro da Amazônia legal que abrange todas as qualidades destacadas acima (positivas e negativas) e que tem demasiadamente preocupação é a região do arco desmatamento. Este nome ficou assim definido, em razão da concentração de desmatamento e de incêndios florestais. Ela é uma região de fronteira agrícola em expansão e compreende (integralmente ou parcialmente) os estados do Acre, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará e Rondônia e tem uma extensão territorial de, aproximadamente, 1,7 milhões de km² (Figura 1).

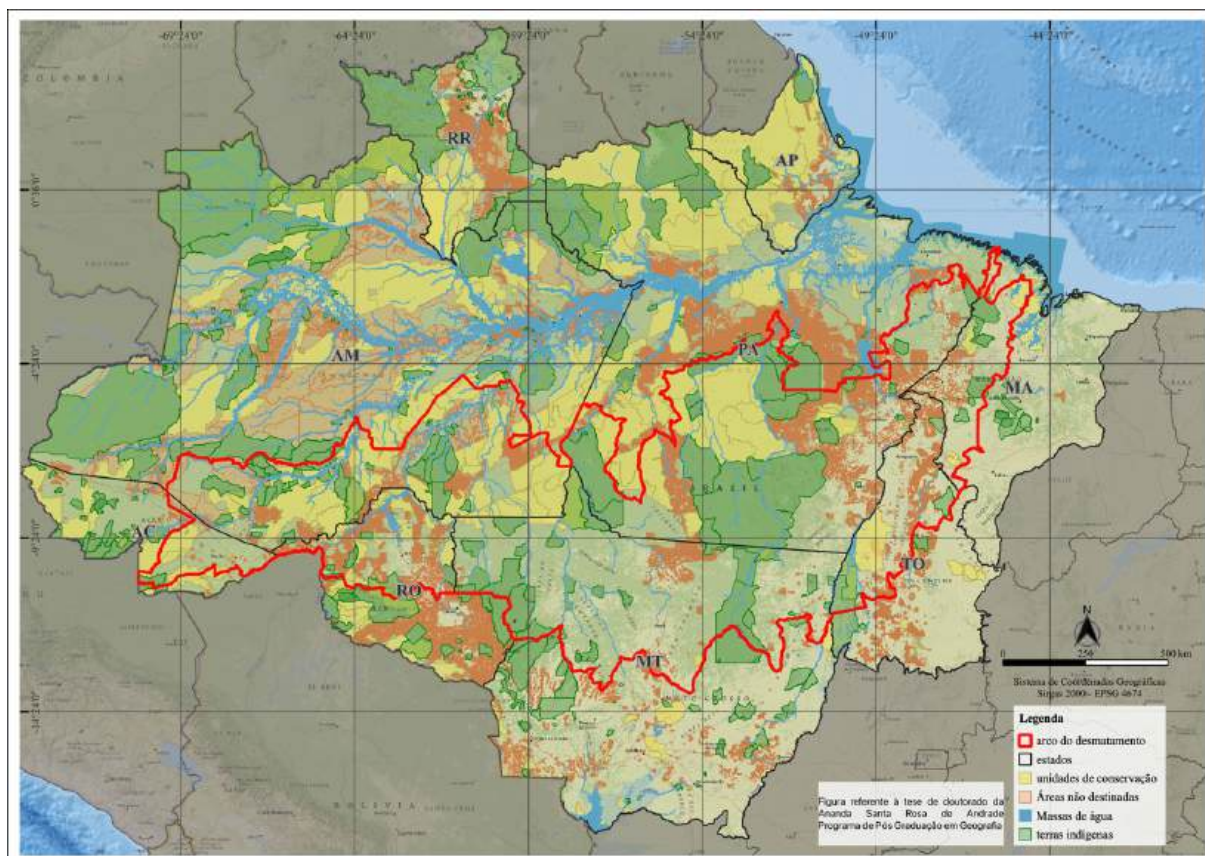


Figura 1. Localização do arco do desmatamento (em vermelho) no contexto da Amazônia Legal. Elaborado pela autora, 2025.

Além disso, esta região tem uma densidade de terras indígenas e unidades de conservação (Figura 1), bem como ainda são observadas ocorrências de espécies ameaçadas de extinção, o que torna muito maior o perigo de perda da biodiversidade ([FEELEY e SILMAN, 2009](#)). As áreas quilombolas e as florestas públicas não destinadas também ocupam a Amazônia Legal e merecem destaque aqui (mesmo não classificadas oficialmente como áreas protegidas). As primeiras, dada a sua importante contribuição nas baixas taxas de desmatamento dentro dos seus limites ([PROJETO MAPBIOMAS, \[s.d.\]](#)) e uso tradicional do solo; a segunda, pela vulnerabilidade e por serem áreas da união que precisam ter seu papel definido ([GUIMARÃES et al., 2023](#)) (Figura 1).

Neste cenário, é praticamente impossível aceitar a coexistência das queimadas com estas áreas, em especial quando não existe contribuição para a conservação ambiental. Contudo, antes de ser generalista e pensar na definição das piro regiões, é preciso compreender sobre as queimadas no arco do desmatamento.

2.1.2 Queimadas na Amazônia Brasileira

2.1.2.1 Os fogos natural e tradicional

Não há muito como fugir da origem do fogo de forma natural: ele se inicia por alguma atividade da natureza, o que é de ampla compreensão que será por descarga elétrica [não se acrescenta por erupção de vulcão, obviamente, quando se fala do Brasil]. Há poucos artigos sobre o tema para poder detalhar o impacto na Amazônia ([COCHRANE et al., 2002](#); [LYU et al., 2023](#)); contudo, das pesquisas existentes, é cristalino que este tipo de fogo é raro e, quando são avaliados os registros históricos, não é possível localizar evidências de carbonização em estudos paleoecológicos ([BUSH et al., 2007](#)).

Há algumas defesas sobre a baixa frequência de fogo até o século 20, porque existiam altos níveis de umidade e chuva ([SCHROEDER et al., 2009](#); [NOBRE, 2014](#)). De fato, estas variáveis atmosféricas reduzem a possibilidade do deslocamento; contudo, o aumento da incidência do fogo é de origem humana. Alberto Setzer (*in memoriam*), maior referência brasileira no assunto, sempre deixou claro¹:

[...] "mais de 99% dos incêndios florestais em território nacional são iniciados por ação humana. Alguns são propositais, outros por descuido, mas sempre com ação humana. As causas naturais são os raios [...] responsáveis por menos de 1%".

Diversos autores defendem que o fogo manejado começou pelo Homo *Erectus* no Paleolítico ([JHA et al., 2021](#)), para se aquecer, afugentar algumas espécies e cozer alguns alimentos, em detrimento da melhor qualidade de absorção dos nutrientes e da redução de chances de intoxicação por raízes e plantas ([WRANGHAM, 2017](#)). Charles Darwin, digníssimo pai da teoria da evolução, dissertou que, depois do desenvolvimento da linguagem, o uso do fogo como ferramenta foi a mais importante descoberta ([WRANGHAM, 2017](#)).

¹ ECODEBATE, 99% dos incêndios florestais em território nacional são iniciados por ação humana. 2017. Disponível em: <<https://www.ihu.unisinos.br/categorias/186-noticias-2017/570483-99-dos-incendios-florestais-em-territorio-nacional-sao-iniciados-por-acao-humana>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

Parece simplório, à primeira vista, para muitos leigos [que ainda tem no imaginário uma roda de pedra como a grande descoberta], mas o fogo "abriu portas" para uma organização energética dos recursos alimentares, para o deslocamento e dispersão de pessoas/comunidades para outras áreas, e para criação e uso de ferramentas ([GUALBERTO, 2012](#)). Lévi-Strauss, em seu livro, "O cru e o cozido", defende algo similar: o fogo e o conhecimento são responsáveis pela conquista identitária do ser humano como diferente dos animais e da natureza; inclusive, que a categorização de alguns povos seria pelo uso do fogo para cozinhar, ou não, os alimentos ([LÉVI-STRAUSS, 2021](#)).

Saindo desta classificação dos povos por Strauss, a ação de cozinhar é uma das formas de uso do fogo pelos povos e comunidades da Amazônia Brasileira. Limpeza de áreas, festejos, auxílio na caça, coleta do mel, produção cultural de alimentos e coleta de frutos são outros exemplos de usufruto do fogo ([LEONEL, 2000](#); [FALLEIRO et al., 2016](#); [FURQUIM et al., 2021](#)). Para os povos indígenas, há diversos significados e ainda é imensurável, dada a necessidade de conhecer a etnografia de cada para se mencionar aqui. Ainda há o uso pelos quilombolas (e.g. comunidade Mumbuca, na região da Serra Geral do Tocantins/TO) e pelos ribeirinhos ([FAGUNDES, 2019](#); [OLIVEIRA e RODRIGUES, 2022](#)).

Uma das coisas que se destaca destes povos e comunidades tradicionais é a relação sinérgica e respeitosa destes com o meio ([ELOY et al., 2021](#)); afinal, a terra é território de subsistência, resistência e sobrevivência para as antigas, atuais e futuras gerações destas sociedades. A sabedoria ancestral do uso do fogo é do acerto e erro, consolidada por anos e repassada de geração em geração ([CRISTANCHO e VINING, 2009](#)). Esta [sabedoria] ainda é estigmatizada pela ciência, mas vem sendo reconhecida e reconciliada dia após dia no Brasil, em especial nas políticas públicas de fogo.

Recentemente, o debate sobre este tema "aqueceu", a partir do fortalecimento do paradigma de manejo do fogo, o qual utiliza técnicas de queimas prescritas - QP ([SCHMIDT et al., 2016](#)). O período, horário, quando, onde e como para realizar as QP, foram estruturados em conformidade ao conhecimento tradicional dos povos indígenas e das comunidades tradicionais ([DURIGAN et al., 2020](#); [ATHAYDE et al., 2020](#)).

A contribuição de sabedoria e conhecimento estão sendo valiosos para reduzir as taxas de queimadas descontroladas ([SCHMIDT et al., 2016](#); [XERENTE e OLIVEIRA, 2021](#)), mas elas ainda existem mesmo assim. O problema, então, é o terceiro tipo de fogo?

2.1.2.2 O terceiro fogo: as cicatrizes históricas da ocupação territorial na Amazônia Legal

A região que compreende a Amazônia Legal, por muitos anos, ficou aquém do desenvolvimento territorial, conforme brevemente detalhado anteriormente. A concentração de poderes e de ações estruturantes em outras regiões brasileiras deixou a Amazônia Brasileira esquecida ([ANDRADE, 2010](#)). O interesse e tomada da região se iniciou em 1938, através da política Marcha para o Oeste, do governo ditatorial de Getúlio Vargas ([PRATES e BACHA, 2011](#)). Do ponto de vista estratégico, essa política foi embasada sob a retórica de ocupação, que foi pautada na riqueza da região para formação de colônias agrícolas ([OLIVEIRA, 2015](#)). Do ponto de vista econômico, "foi a necessidade de unificar o mercado nacional, associada ao avanço da industrialização, que desencadeou a abertura da região" ([BECKER, 2001](#)).

O ordenamento territorial e espacial, contudo, precisa ser marcado com a criação de estratégias ([KOHLHEPP, 2002](#); [NETO e THÉRY, 2018](#)), como políticas de acesso territorial (rodovias, ferrovias e hidrovias), do bem viver (promoção de moradia, saúde, saneamento, bem viver etc), de mercantilização (bancos e capital de giro), e de estruturas energéticas e de comunicação (energia elétrica e telecomunicação). No primeiro governo pós-ditadura, de Juscelino Kubitschek (1956 a 1961), houve o impulso para estas ações, a partir do plano de metas intitulado como "50 anos em 5" ([CORDEIRO, 2015](#)). A política prometeu o desenvolvimento rápido do Brasil, após uma grave crise política e econômica ([DIAS, 2008](#)); por consequência, representou um avanço censitário extraordinário para a Amazônia, saltando de um milhão para cinco milhões de pessoas vivendo na região. Grande parte da população que foi convidada a ocupar a Amazônia, após a construção da rodovia BR 153, conhecida também como Transbrasiliana, teve substancial contribuição para o desenvolvimento da fronteira agropecuária (Santos, 2018). Paralelo, obviamente, precisou-se de terra limpa para plantar e criar gado; ou melhor falando, desmatar áreas. Não obstante, para auxiliar estas atividades, como bem ciente em diversas publicações, o uso do fogo é um grande aliado ([VALVERDE, 1967](#)).

A evolução temporal deste cenário até os dias atuais, foi alimentada pelo contexto econômico. Para um país, que até pouco tempo recebia um carimbo pejorativo de "terceiro mundo" ([HARRIS, 2005](#)), em razão de estar marginalizado economicamente, o avanço financeiro, por meio da expoência agropastoril, poderia representar outro patamar ao Estado diante das, então, superpotências ([KITAMURA, 2003](#)). E foi o que aconteceu: as monoculturas, em especial do milho e da soja, ganharam preponderância nos solos da Amazônia ([CLARO et al., 2019](#); [LIMA e SOCORRO, 2020](#)), pois auxiliam na manutenção dos gados (ração) e entram como commodities (comercialização externa) ([DERANI e SCHOLZ, 2017](#)). O interesse do Brasil em expandir neste setor é notável e com razão: Entre 2002 e 2022, o resultado do PIB gerado pelo agronegócio brasileiro é equivalente ao total do PIB da Argentina².

O agronegócio demanda, sobretudo, infraestrutura, como citado anteriormente (quando se relata a necessidade de ordenamento territorial). O escoamento da produção de grãos e dos cortes de abate, assim como a necessidade de robustos frigoríficos, são imprescindíveis, a fim de atender a comercialização interna e externa. Com a promessa de infraestrutura para a Amazônia [e para o resto do Brasil], os planos plurianuais entre os governos se tornam a "porta de entrada" para sinalizar aos investidores e aos eleitores que algo está sendo feito em nome do progresso ([BORGES, 2012](#)) e, também, dar resposta ao agronegócio. Os planos - "Plano Brasil em Ação (1996-1999)", "Avança Brasil (2000-2003)", "Plano Plurianual - PPA (2004-2007)", "Programa de Aceleração do Crescimento - PAC (2008-2011)", "Programa de Aceleração do Crescimento 2 - PAC 2 (2012-2020)" e "Plano Plurianual - PPA (2021-2022)" - representaram a evolução de grandes obras de infraestrutura, como o aumento do loteamento de áreas urbanizadas, e a construção de hidrelétricas e de rodovias ([ROTTA e REIS, 2018](#)).

O início da execução destes empreendimentos também significa quase que um "programa de licenciamento ambiental e consolidação de novos assentamentos rurais acelerados"; indubitavelmente, em mais atividades (lícitas ou não) envolvendo o fogo ([MENEZES, 2022](#)). Os governos vigentes, para dar um calmaria que existe uma preocupação ambiental durante a execução destes planos, lançaram programas e ações para fortalecer as

² JOSÉ, T. Agronegócio no Brasil dá salto em 20 anos e hoje equivale ao PIB da Argentina. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/agronegocio-no-brasil-da-salto-em-20-anos-e-hoje-equivale-ao-pib-da-argentina/>>. Acesso em: 21 jan. 2024.

agências de comando e controle ambientais ([FEARNSIDE e LAURANCE, 2012](#)). Embora em alguns anos houve a redução das taxas de fogo, ela não seguiu uma tendência contínua, como resposta das ações. ([SILVA et al., 2023](#)) (Figura 2).

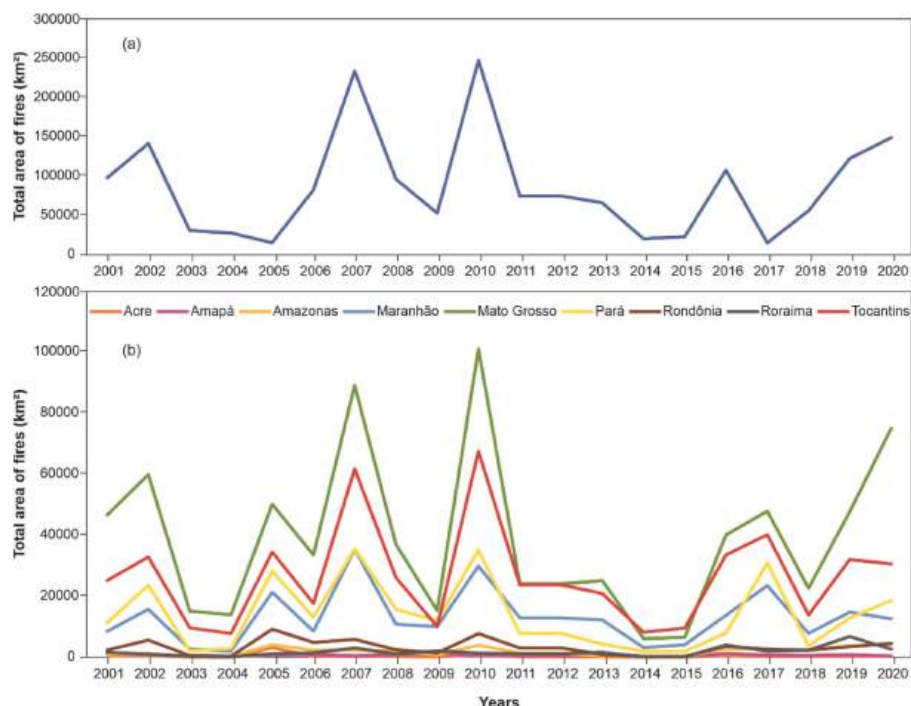


Figura 2. Séries históricas de fogo na Amazônia Legal. Comparando com a questão da existência dos planos plurianuais, que coadunam com a promessa de resposta em programas, não há uma redução progressiva das taxas de queimadas. Fonte: [Silva et al., 2023](#).

Parte destas queimadas circundam rodovias, que geraram e geram assentamentos rurais como frutos da ausência de uma política de regularização e organização fundiária. Para o caso do crescimento desordenado consoante aos altos índices de queimadas, tem-se as rodovias BR 364 (Cuiabá-Porto Velho), 230 (Transamazônica – PA/AM), 163 (Cuiabá-Santarém) e 319 (Porto Velho –Manaus) como [tristes] exemplos ([BRONZ, 2023](#); [FIORI, 2012](#); [FEARNSIDE, 2009](#)).

O outro gomo da "laranja" está nos interesses escusos da apropriação ilegal de terras, da retirada de minérios e da extração dos recursos naturais em espaços territoriais especialmente protegidos, que são entendidos no artigo 225, §1º, III da Constituição Federal ([BRASIL, 1988](#)) e na Lei do Novo Código Florestal ([BRASIL, 2012](#)). Há também a vingança de alguns proprietários, a exemplo do dia "D do Fogo", ocorrido em 2019, quando diversos produtores

rurais atearam fogo no estado do Pará como forma de manifestação contra a política ambiental do governo petista.

Até aqui, mesmo que abordado de forma pragmática, compreende-se que o problema do fogo é alcunhado por diversas variáveis que se entrelaçam e que são construídas ao longo de um delicado e histórico processo de ocupação territorial desestruturado. Há o fogo natural que nenhum ser humano tem controle; portanto, cabem ações para combate, em caso da sua ocorrência descontrolada.

O fogo tradicional, muito bem falado, está dentro de uma estrutura que vai muito além da compreensão técnica e científica, e está resguardado entre pilares legais. Aduz-se que o interesse econômico se sobressai ([FERRAZ, 2013](#)), afinal, a prosperidade de um país depende das suas reservas financeiras. O que se pensa criticamente é: o hoje embasado na economia ou o amanhã com impacto severo causado pelas mudanças climáticas?

2.1.2.3 Amazônia Legal e mudanças climáticas: qual a relação com fogo?

A floresta amazônica sempre foi relacionada com o clima para de mantê-la em pé. Uma das teorias que sempre sustentou isto foi de a Amazônia ser o pulmão do mundo ([STERNBERG, 1986](#)). Atualmente, esta teoria caiu por terra, mas sua importância para a Climatologia da América do Sul é importantíssima, principalmente para a regulação hídrica, a partir do complexo sistema dos “rios voadores”. Estes “rios” são correntes de ar carregadas de umidade e são cruciais para manutenção das chuvas em diversas áreas latino americanas ([SANTOS et al., 2024](#)). Ademais, a região também atua como um regulado climático da temperatura ([NOBRE et al., 2016](#)).

As ações antrópicas no uso da terra, contudo, está afetando este equilíbrio atmosférico e ambiental. A fragmentação florestal, o desmatamento e a exploração madeireira aumentam a suscetibilidade das florestas aos incêndios, a partir da redução da umidade do ar e do solo ([DICKINSON e KENNEDY, 1992](#)). Além disso, a exploração madeireira atinge o dossel florestal, o que facilita a dessecação, a partir da entrada de luz e ventos. Estes eventos acabam por criar um microclima mais seco e propício à propagação do fogo.

O resultado são mega incêndios que atingem grandes proporções de áreas, dada a predisposição meteorológica (aumento da temperatura do ar e, redução da umidade relativa do ar e das chuvas) ([SILVA et al., 2019](#)).

Em um estudo elaborado por [COCHRANE et al. \(2008\)](#), os modelos apontaram que já ocorre aquecimento e mudança no regime de precipitação no contexto da Amazônia, porém os efeitos ainda precisam ser entendidos. O que aconteceu em 2024 pode já ser um dos resultados destes efeitos ([COSTA, 2024](#)). No ano passado, os incêndios foram completamente catastróficos a ponto de ser a pauta constante e principal em todas os veículos de comunicação por diversos dias.

Enquanto há a sinergia do desmatamento e das mudanças climáticas para o aumento da ocorrência de fogos, não por menos, os incêndios também são responsáveis por este quadro, já que contribuem substancialmente para a emissão de gases de efeito estufa ([FEARNSIDE e BARBOSA, 2013](#)).

A principal forma para mitigar, é através de políticas públicas. Existem políticas específicas, como a política nacional sobre mudança do clima - Pnmc ([BRASIL, 2009](#)) e as atividades de redução das emissões por desmatamento e degradação florestal – Redd ([SOUZA, 2013](#)). Ambas já repercutem há alguns anos; contudo, tratando exclusivamente sobre a “combinação” de mudanças climáticas e queimadas, as políticas sobre fogo devem ser específicas para tratar do manejo adequadamente e gerar instrumentos específicos de combate.

2.1.2.4 Políticas públicas ambientais para o manejo integrado do fogo na Amazônia brasileira

O conceito de política pública, de forma abrangente, pode ser compreendido como uma normativa e organização do Estado para o bem estar social ([DERANI, 2006](#); [PASCHE et al., 2011](#)). Há sentido (e muito), pois é necessário definir o *modus operandi* da máquina pública para a organização socioterritorial de forma a garantir, sem mazelas, o que se expõe na Constituição brasileira ([BRASIL, 1988](#)). Só que, claro, vai depender da forma que esta política é criada, como vai atingir o seu objetivo [de maneira não escusa], como irá atender toda a

sociedade civil diretamente impactada por ela, por quais instrumentos ela será acompanhada e quais os resultados esperados.

Infelizmente, as políticas para a Amazônia não têm boa resposta [ou esperadas respostas (?)]. São nove Franças de área, com uma vasta heterogeneidade socioespacial, com péssimas taxas de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - Idhm [o pior do Brasil, inclusive, está nesta região - cidade de Melgaço, localizada no Pará ([PEDRO e SOUZA, 2021](#))] e da precarização dos serviços essenciais, como saneamento básico ([NEU et al., 2016](#)).

As oportunidades profissionais, a depender da região, são escassas e, muitas das vezes, para "comprar o pão de cada dia", a única "porta aberta" é participar de uma cadeia ilegal de atividades, como a do garimpo, da pesca, da caça e do desmatamento ilegais ([SCHÖNENBERG, 2001](#)). O problema ambiental desta região tem raízes em todas estas questões sociais e em muitas outras não citadas.

No Brasil, as políticas ambientais são regidas principalmente pelo Código Florestal ([BRASIL, 2012](#)), pela Lei de Crimes Ambientais ([BRASIL, 1998](#)) e pela Política Nacional do Meio Ambiente (Pnma) ([BRASIL, 1981](#)). No que se refere ao controle das queimadas, atualmente, há uma política nacional específica que aborde essa questão de forma integrada, a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo ([BRASIL, 2024](#)). Uma das áreas mais importantes do Brasil, que necessita de atuação da política

Atualmente, a principal política ambiental da Amazônia Legal é o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - Ppcdam ([MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, s.d.](#)). Criado em 2004, durante um crescente aumento das taxas anuais de desmatamento, a política foi o marco revolucionário nas ações para reduzir a quantidade de áreas desflorestadas, de incêndios e de emissões de gases de efeito estufa - GEE.

O fogo é personagem secundário Ppcdam [perceptível até pelo título do plano]; contudo, a partir dele foram criados dois Programas importantíssimos: Programa de Brigadas Federais - Pbrif ([FALLEIRO et al., 2021](#)), coordenado Pelo Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - Prevfogo do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, e o Programa Queimadas, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe ([SETZER, 2019](#)). Estes programas trouxeram marcos de sumo reconhecimento interno e externo, como: o monitoramento, a partir do processamento de dados

de uma gama de satélites, e da formação e contratação de brigadas florestais, que resultam em ações de manejo integrado do fogo - MIF.

Até 2011, o Ppcdam é calcado no Código Florestal de 1965 ([BRASIL, 1965](#)), em que seu artigo 27 limitava que era proibido o uso de fogo nas florestas e demais formas de vegetação, exceto se:

[...] peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução.

A política neste período foi do fogo zero, sendo as principais ações o combate (pronta-resposta), a prevenção (confecção de aceiros) e o monitoramento (melhorias no Programa Queimadas/INPE). O fogo tradicional perdeu seu valor ([FALLEIRO, 2011](#)) e o fogo natural era visto como um importuno fenômeno que abarca prejuízos. Ao retirar o fogo de paisagens que coexistiam com ele, o sistema natural passou a mudar. Os enclaves amazônicos ficaram visualmente poluídos e muitas espécies herbáceas secas ficaram acumuladas ([ANDELA et al., 2022](#)).

Na Amazônia Legal, o predomínio é de formações florestais, que são sensíveis ao fogo ([RAMALHO et al., 2024](#)). Todavia, há fragmentos campestres, de Roraima a Mato Grosso (Latitudinalmente) e de Acre ao Maranhão (Longitudinalmente), que são resquícios de climas secos pretéritos do Quaternário ([COSENTINE, 2018](#)). Justamente estas áreas (e as de bioma Cerrado que se sobrepõe à Amazônia Legal) são as que mais sofreram com o "fogo zero". Alta quantidade de combustível orgânico, calor, estiagem e baixa umidade relativa do ar é a combinação perfeita para um mega incêndio ([GILL e ZYLSTRA, 2005](#)). Mesmo com a proibição do fogo e com a organização de políticas e atividades fiscalizatórias, as taxas de focos de calor pareciam não mudar.

Segundo diversos estudos ([MIRANDA et al., 2002](#); [MOREIRA et al., 2010](#); [CATRY et al., 2010](#); [COUTINHO, 1990](#)), o fogo reduz com o próprio fogo, desde que com o manejo e temporalidade adequados. A publicação do Novo Código Florestal ([BRASIL, 2012](#)) fortaleceu essa hipótese, agora com dois artigos (Art.) importantíssimos, os 38 e 40. Estes regulam a proibição; todavia, passa a reconhecer outras formas de emprego do fogo, que devem ser

respeitadas, como o manejo dos povos indígenas e comunidades tradicionais, o da finalidade científica e o uso associado às características ecológicas.

Com a publicação da política nacional de manejo integrado do fogo (Brasil, 2024), começará a promoção da articulação institucional com vistas na substituição do uso do fogo no meio rural, no controle de queimadas, na prevenção e no combate aos incêndios florestais e no manejo do fogo em áreas naturais protegidas. A resposta de ambos os dispositivos foi o pulo das políticas proibitivas, retrógradas e preservacionistas para as políticas conservacionistas associadas ao manejo ecológico, científico e tradicional.

Todavia, as políticas vigentes, ainda que haja o fortalecimento das atividades de prevenção, focadas nas queimas prescritas, permanecem com a resposta limitada ([FONSECA-MORELLO et al., 2017](#)); portanto, precisam de políticas e ações complementares para efetividade. Além disso, as mesmas não garantem a total resposta das áreas protegidas que tenham registros de espécies ameaçadas de extinção (e.g.) ou a redução de incidência em territórios que são frágeis em relação à sua demarcação e reconhecimento (outro exemplo).

Por fim (mas muito longe do fim), não foram localizados, durante a revisão bibliográfica, indicadores mais robustos de avaliação das políticas muito além do exposto (até 2024 pelo buscador Google Acadêmico). Outras metodologias de onde empregar recurso para pronta resposta e para proteção efetiva fazem e pode ser a diferença. Isto mostra para onde e para quem a política caminha (!).

2.2 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos da tese consistiram na estruturação e organização do banco de dados e das análises.

O banco foi composto quase que essencialmente por dados no formato *shapefile* (dados de temperatura máxima e precipitação estão no formato *raster*). Todo dado obtido foi recortado para a região do arco do desmatamento e reprojetoado para Sirgas 2000 (EPSG 4674) e sistema de coordenadas geográficas; assim como, houve a revisão e correção da codificação para as tabelas de atributo.

Com todos os shapes prontos, a parte das análises foi estruturada em duas etapas: informações prévias e, regiões piro e avaliações. A etapa das informações prévias consistiu na estruturação dos dados como variáveis e indicadores. A etapa regiões piro e avaliações estruturou os mapas piro (sensível e crítico) e kernel e as correlações. Detalhamento estão nos tópicos subsequentes.

2.2.1 Base de dados

A pesquisa compreendeu um banco de dados extenso, já que existem muitas variáveis que compõem as análises do estudo.

O dado de fogo ativo NPP, com resolução 375m e que está a bordo do sensor VIIRS, compreendido entre o período de 01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2022, foi obtido através do *Fire Information for Resource Management System* -Firms, que faz parte da *National Aeronautics and Space Administration* – Nasa ([FIRMS](#), [s.d.]). Os fogos ativos são centroides de *pixels* onde foram detectados, através de poderosos algoritmos, uma anomalia de calor.

Dos dados da Nasa, também compõe o produto de área queimada MCD64A1, coleção 6, que foi delimitado para o mesmo período anual e intra-anual de fogos ativos. A área queimada

é o resultado de um fogo ativo; isto é, um local que tem como resultado uma combustão realizada através da queima. Ele foi imprescindível para analisar a recorrência de fogo (a metodologia será descrita no subtópico “Análises”).

Para as análises climatológicas, foram utilizados os dados diários de temperatura máxima (°C) e precipitação (mm/dia), que são oriundos do produto Climate Prediction Center (CPC) e foi desenvolvido pelo National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA ([MURTHY et al., 2017](#) ; [KHAN et al., 2018](#)). O dado é gerado para cada célula de uma grade de resolução de 0,5° x 0,5° por meio de uma interpolação de dados observados de uma rede de estações. Existem dados desde o ano de 1979; contudo, para esta pesquisa, para ambas as variáveis meteorológicas (precipitação e temperatura máxima), os procedimentos foram feitos para o período de 01 de janeiro de 1991 a 31 de dezembro de 2022. Estes 30 anos de dados condiz para análises climatológicas, por isto, não apenas para o período de análise de desmatamento e fogo (5 anos – 2018 a 2022).

Com os dados de fogos ativos, áreas queimadas, temperatura máxima e precipitação estruturados, outros dados foram obtidos e utilizados. Descrição detalhada na Tabela 1:

Tabela 1. Demais dados utilizados na tese

dados	definição	Observação	Fonte
terra indígena	território demarcados e protegidos para usufruto e posse permanente dos indígenas. As áreas são conhecidas, também, por resguardar áreas florestadas.	dado acumulado até 2022.	Funai, 2024
unidade de conservação	ss unidades de conservação são criadas para proteger e conservar áreas naturais e espécies.	acumulado até 2022.	Icmbio, 2024
área quilombola	territórios ocupados pelos povos afro descendentes para integridade de suas manifestações sociais, físicas e culturais.	acumulado até 2022.	Incrá, s.d.
área prioritária para conservação	são áreas, definidas pelo Ministério do Meio Ambiente, para o planejamento e adoção de ações que visam à conservação, à recuperação e ao uso sustentável de ecossistemas.	acumulado até 2022.	Dados Gov, 2024
espécie ameaçada de extinção	Espécies que estão sob o risco de não existirem na natureza. Neste trabalho foram apenas trabalhadas com as duas categorias de maior risco: em perigo (EN) e criticamente em perigo (CR)	acumulado até 2022.	Iucn, 2024
área não destinada	também conhecidas como áreas de florestas públicas, são áreas do poder público que ainda não tem destinação fundiária.	acumulado até 2022.	SFB, 2022
linha de transmissão	estruturas que transportam energia elétrica até os centros/locais de consumo.	acumulado até 2022.	Aneel, 2022
rodovia	vias construídas para tráfego terrestre de veículos, pessoas, animais etc	acumulado até 2022.	Mapbiomas b, 2023
floresta	áreas predominantes com indivíduos lenhosos que formam um dossel predominantemente fechado.	acumulado até 2022.	Inpe b, [s.d.]
desmatamento	área com remoção total (ou quase total) de vegetação natural	01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2022.	Inpe b, [s.d.]

Elaborado pela autora, 2025.

2.2.2 Análises

2.2.2.1 Delimitação das regiões a partir de células hexagonais

No marco teórico da tese, é mencionado que o arco do desmatamento tem uma distribuição ambiental e social bastante heterogênea. Embora não exista uma divisão com os limites exatos dos diversos tipos de região de fogo, a região como um todo não deve ser qualificada, igualmente, como uma unidade; por isto, a necessidade de dividi-la em regiões.

As regiões, conceituadas para esta pesquisa, são aglomerados de área que tem características humanas e ambientais relacionada ao fogo e aos elementos (variáveis) que a constituem. No estudo, as mesmas também foram formadas através dos indicadores, que formarão as regiões piro-críticas e piro-sensíveis da Amazônia Legal.

A unidade mínima de cada região é uma célula hexagonal de 0.25°. O tamanho (0.25°) é bastante utilizado na literatura para mensurar e avaliar padrões climatológicos correlacionados com queimadas ([MEKONNER et al., 2019](#), [LITTELL et al., 2009](#), [ARCHIBALD et al., 2010](#), [ARAGÃO et al., 2018](#)). O formato geométrico [hexágono] facilita a visualização de padrões, a relação com as informações de vizinhança e tem o menor viés, dado o tamanho da parede do hexágono ([TEIXEIRA, 2005](#)).

Por fim, para não enviesar a pesquisa, as células que estão nas bordas da AL (e não tem dados suficientes para elas) foram descartadas.

2.2.2.2 Período dos incêndios na Amazônia Brasileira

A sazonalidade do fogo na Amazônia é correlacionada com o padrão de pluviosidade, que se distribui em conformidade com a variação latitudinal e longitudinal ([LIEBMANN e MARENGO, 2001](#)). Isto é, os meses com a maior densidade de fogo quase sempre serão no período de estiagem ([GOVENDER et al., 2006](#); [SILVA JUNIOR et al., 2019](#); [SOMBROEK, 2001](#)), quando a severidade e a intensidade das queimadas são mais preocupantes.

Para definir estes períodos, que é essencial para caracterizar o fogo nos passos subsequentes (análise de recorrência e da grade de *pixels* de fogo), foi calculada, dentro de cada célula, a média mensal de detecção de fogos ativos nos anos de 2008 a 2012. Os 5 meses com a maior média mensal, que são junho, julho, agosto, setembro e outubro, se caracterizaram como o período de análise de incêndios por célula.

2.2.2.3 Recorrência de fogo

Com os dados de área queimada MCD64A1 c6 ([GIGLIO et al., 2018](#)), foi quantificada a sobreposição de área queimada em todo o arco do desmatamento. A definição é a mesma que foi utilizada em [Andrade et al. \(2021\)](#), que considera a quantidade de vezes que um mesmo local queimou em um período de 5 (cinco) anos – 2018 a 2022.

A recorrência é importante para delimitar a extensão e local de áreas impactadas, assim como inferir o nível de dano para a vegetação, para o solo, para a fauna etc ([OLIVEIRA e RODRIGUES., 2022](#); [FERREIRA BARBOSA et al., 2022](#)).

2.2.2.4 *Pixels* de fogo

O fogo ativo, conforme sub entendido anteriormente, não estima o total de área afetada por fogo. Ele indica a existência; contudo, não é possível mensurar em hectares ou quilômetros quadrados, por exemplo. Os dados de área queimada existentes para a Amazônia ainda apresentam bastante omissão³ ([DUTRA et al., 2023](#)), sendo o fogo ativo o melhor dado, ainda, para localizar locais de detecção. Entretanto, um mesmo ponto (assim é a representação do dado) pode simbolizar a mesma queima anteriormente detectada em um mesmo espaço geográfico. Isto pode poluir demasiadamente o mapa e distorcer as interpretações durante as análises espaciais.

Para reduzir este efeito, optou-se em criar os *pixels* de fogo para sobrepor nos mapas das piro regiões.

Os *pixels* de fogo compõem uma grade de resolução 0,375m x 0,375 m (a mesma do fogo ativo NPP VIIRS) e os valores foram definidos da seguinte forma: se há fogo ativo, independente da quantidade de fogos ativos detectado no pixel, a célula é caracterizada como pixel de fogo ativo e tem valor 1; quando não há detecção, entende-se que não houve ocorrência

³ Por este motivo, optou-se por criar a informação de *pixels* ativos. É inevitável estimar a recorrência com área queimada, ainda que haja o desafio dos dados estarem sub estimados; contudo, a representação espacial deixa clara a omissão do dado.

de fogo, portanto, o valor é zero. Foram demonstrados, apenas, os pixels de fogo ativo (valor 1) nos mapas.

2.2.2.5 Área de abrangência das linhas de transmissão e das rodovias

As rodovias são bastante associadas ao aumento de fogo em suas redondezas, em especial pela possibilidade de acesso a novas áreas para grilagem de terras ([FEARNSIDE, 2006](#)). Já a linha de transmissão, ela representa o oposto: a necessidade de observação pela vulnerabilidade, já que, se ocorre fogo próximo de uma ou mais torres, a consequência é a falta de energia para uma cidade ([ROBLEDO-MARTINEZ et al., 1991](#); [GUO et al., 2018](#)).

Não existe um valor fixo de área de abrangência ou de área de impacto direto para todas as linhas de transmissão e rodovias, principalmente em estudos de impacto de fogo. Também, não foi possível localizar artigos que recomendem valores bases para tal análise⁴. Geralmente, são considerados valores de 100 ou 300m nos Planos Básicos Ambientais (PBA). Considerando este único parâmetro, adotou-se um valor mais abrangente, um buffer de 300m para cada lado, em relação às linhas de transmissão e rodovias federais e estaduais localizadas em todo o arco do desmatamento.

2.2.2.6 Definição das variáveis, indicadores e células piro

As variáveis (v) aqui selecionadas representam algum tipo de vulnerabilidade e risco, quando relacionadas com a incidência do fogo. Para cada variável, foi atribuída um peso que varia de 0,5 a 10 e que vai aumentar em conformidade com a necessidade de proteção (v do tipo áreas protegidas), a fragilidade ambiental (v do tipo relevantes), a recorrência de queimadas (v do tipo áreas severamente impactadas por fogo), a proximidade com linhas de transmissão (v do tipo linha de transmissão) e com rodovias (v do tipo rodovias), a existência de florestas e desmatamento (v floresta e v corte raso) e com detecção de fogo não recorrente (v do tipo ocorrência de fogo) (Tabelas 2 e 3).

⁴ Pesquisa realizada no Google Acadêmico e Scielo até 30 de outubro de 2024.

Ao final, o valor da variável (v) é o total de área percentual dentro de cada célula ($v_{\%}$) multiplicado pelo peso (v_p) e dividido por 10, conforme equação (Eq. 1) a seguir:

$$v = \frac{v_{\%} \times v_p}{10} \quad Eq. 1$$

Onde: v representa o indicador, $v_{\%}$ representa a área percentual de cada célula e v_p representa o peso.

Tabela 2. Região, indicadores e variáveis (parte 1).

região	indicador	variável	sigla	peso	justificativa do peso
Sensível	Áreas protegidas (ap)	Unidade de conservação PI	ucpi	1	Tem restrição de uso e atividades, segundo a Lei do SNUC (Brasil, 2000)
		Unidade de conservação US	ucus	1,5	Apresenta flexibilidade de uso e atividades, segundo a Lei do SNUC (Brasil, 2000)
		Terra indígena não regularizada	tinr	3	Não há atuação do programa de brigadas do Governo Federal, bem como é maior a vulnerabilidade de ilícitos, dada a ausência do Estado.
		Terra indígena regularizada	tir	2	Apesar de homologada, de todas as áreas protegidas, é a mais sensível, e tem grande importância etnocultural e ambiental
		Área quilombola titulada	qit	1	Tem seu registro em cartório; portanto, mais apoio e subsídio governamental para o avanço das atividades de forma legal.
		Área quilombola não titulada	qint	1,5	em razão da ausência de titulação, tem maior risco de conflitos e usos inadequados.
	Áreas relevantes (ar)	Área prioritária para conservação alta	pca	0,5	3º nível de classificação de área prioritária.
		Área prioritária para conservação muito alta	pcma	1	2º nível de classificação de área prioritária.
		Área prioritária para conservação altíssima	pcalt	1,5	1º nível de classificação de área prioritária.
		Espécie ameaçada de extinção EN	esen	2	espécies em perigo (risco extremamente alto de extinção)
		Espécie ameaçada de extinção CR	escr	3	espécies criticamente em perigo (alto risco de extinção)
		Área pública não destinada	and	2	áreas sem uso definido pelo governo e que tem grandes taxas de degradação e desmatamento

Elaborado pela autora, 2025.

Tabela 3. Região, indicadores e variáveis (parte 2).

região	indicador	variável	sigla	peso	justificativa do peso
Sensível	Áreas severamente impactada por fogo (if)	Recorrência de 3 anos	rec3	2	áreas que queimaram 3 vezes seguidas em um período de 5 anos durante o período de estiagem (alta degradação)
		Recorrência de 4 anos	rec4	3	áreas que queimaram 4 vezes seguidas em um período de 5 anos durante o período de estiagem (muito alta degradação)
		Recorrência de 5 anos	rec5	5	áreas que queimaram 5 vezes seguidas em um período de 5 anos durante o período de estiagem (muitíssimo alta)
	Linhas de transmissão (ep)	Linha de transmissão	lt	10	fogo próximo de linha de transmissão tem um impacto social enorme, em razão da interrupção do fornecimento de energia elétrica
	Floresta (fl)	floresta	flo	10	impacto em áreas florestadas podem ser irreversíveis na maioria dos casos
Crítica	desmatamento (def)	corte raso	cr	10	correlação positiva entre fogo e desmatamento, principalmente para limpeza de pasto, que é atividade comum na Amazônia
	Eixos rodoviários (er)	Rodovia	rod	10	há uma alta relação entre padrão de fogo e proximidade com rodovias
	Ocorrência de fogo (aq)	Fogo detectado em 1 ano	aq1	3	média probabilidade de ocorrência de mais uma incêndio
		Recorrência de 2 anos	aq2	7	alta probabilidade de ocorrência de mais uma incêndio

Elaborado pela autora, 2025.

O valor de saída vai subsidiar o cálculo dos indicadores. Os indicadores servem para monitorar a situação socioambiental e para definir as células piro (críticas ou sensíveis). Usualmente, na literatura, é utilizado como indicador de área de atuação contra os incêndio as quantidades de área queimada e de fogo ativo ([CANO-CRESPO et al., 2023](#); [XU et al., 2021](#); [MATAVELI et al., 2022](#)). Para amarrar à justificativa da tese e fomentar a organização do arco do desmatamento em regiões para atenção (piro críticas) e proteção (piro sensíveis), foram definidos os seguintes indicadores: áreas protegidas (ap), áreas relevantes (ar), áreas severamente impactadas por fogo (if), áreas severamente impactadas por fogo (if), linhas de transmissão (lt), florestas (fo), desmatamentos (def), eixos rodoviários (er) e ocorrência de fogo (aq) - Tabelas 2 e 3.

O indicador (i) é definido a partir do somatório dos valores das variáveis (v_n) e seu valor variou entre 0 e 100 (Eq. 2).

$$i = v_1 + v_2 + v_3 + \dots v_n \quad Eq. 2$$

Onde: i representa o indicador e v_n representa a variável.

O resultado foi classificado nas faixas de 0, 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, 81-90 e 91-100 e subsidiou a análise espacial dos dados, conforme sua distribuição.

A mesma lógica de cálculo se aplicou para o valor final da célula piro (c): o total de indicadores (i_n) foram somados para cada uma das células, conforme classificação – sensível ou crítica, conforme Eq. 3:

$$c = i_1 + i_2 + i_3 + \dots i_n \quad Eq. 3$$

Onde: c representa a célula piro e i_n representa o indicador.

2.2.2.7 Estabelecimento das regiões piro sensíveis e piro críticas

As regiões piro sensíveis têm uma ligação direta com a necessidade de proteção. A sensibilidade se relaciona com a gravidade do impacto, em caso de incidência e permanência do fogo naquele local, seja de ordem social ou ambiental. Já as regiões piro-críticas têm relação direta com risco de fogo e, por isto, são áreas de atenção e atuação local (e.g.: com brigadas florestais) com demasiada urgência, inclusive, para evitar a incidência em regiões sensíveis.

A junção espacial (*clusterização*, por melhor dizer), que resultou nas piro regiões, foi calculada a partir do índice de Moran ([LUZARDO et al., 2017](#); [GAMA e STRAUCH, 2009](#)). Este índice identificou a relação espacial entre as células piro-vizinhas, por meio de uma distância de seis células e da respectiva covariância entre elas, e a partir de uma significância (p-value) $\leq 0,05$. O resultado gerou 4 respostas de interação das células, que são a alta-alta (HH), baixa-baixa (LL), alta-baixa (HL) e outliers baixa-alta (LH) (Tabela 4).

Tabela 4. Respostas do cálculo do índice de Moran por célula piro.

classe	correlação	significância
HH	alta-alta	$\leq 0,05$
LL	baixa-baixa	$\leq 0,05$
HL	alta-baixa	<i>outlier</i>
LH	baixa-alta	<i>outlier</i>

Os resultados são apresentados em mapas do tipo *lisa map*, além dos gráficos de correlação do Índice de Moran, que são demonstrados por meio de quadrantes. Elaborado pela autora, 2025.

Foram usadas as classes HH e LL para delimitação das regiões. As HH são de nível 1 de prioridade para atuação pública, enquanto as células LL são de nível 2. Ainda que, em primeira análise, as células LL tenderiam a ser descartadas por ter baixa correlação espacial, a intenção foi manter o máximo de observações para ser discutida dentro da tese. As classes HL e LH não foram analisadas, já que se tratam de *outliers*.

2.2.2.8 Correlações entre os dados

A partir dos dados de fogo ativo e da geração das informações sobre as variáveis de corte raso (cr) e floresta (fl), foram feitas análises de regressão para gerar os coeficientes de correlação e determinação, considerando uma significância (p-value) $\leq 0,05$. O coeficiente de correlação mede a relação linear e os valores tendem de -1 a 1. Quando mais próximo de 1 (-

1), maior a correlação (maior a correlação em forma inversamente proporcional). Já o coeficiente de determinação explica a proporção de uma variável em relação a outra.

Este tipo de análise foi realizado para auxiliar na discussão dos resultados, em especial, sobre o que é evidenciado na literatura sobre a relação fogo e desmatamento.

2.2.2.9 Mapa de Kernel

Um mapa de Kernel também foi gerado, a partir dos dados de fogo ativo de toda a série histórica delimitada neste trabalho. Os mapas de Kernel (ou Kernel *density maps*) representam a densidade espacial de fenômenos geográficos, a partir de uma feição do tipo ponto. Para analisar a concentração dos pontos de fogo ativo, foi feita uma estruturação estatística de equidistância, a partir de um raio 100 km.

A representação do mapa de Kernel foi realizada através de um gradiente de cores, em tons alaranjados.

2.2.2.10 Anomalia e tendência de chuva e temperatura

A partir do recorte dos dados para a área de estudo, foi feita a média de todos os pontos da grade, que estão dentro do domínio, a fim de gerar a decomposição de séries de chuva e temperatura máxima.

O processo de decomposição de série temporal (x_t) possibilita avaliar as seguintes informações: tendência (s_t), sazonalidade (s_t) e erro aleatório (ε_t). A tendência fornece informações sobre o comportamento temporal de longo prazo de uma série temporal. Este comportamento pode ser linear, não-linear, crescente, decrescente ou constante ([EHLERS, 2007](#)). De uma forma geral, por meio da tendência será possível verificar se a variável analisada apresentou aumento, redução ou se manteve constante ao longo do tempo. O modelo utilizado é o aditivo que é descrito pela Eq. (4):

$$x_t = t_t + s_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

Onde: t_t representa a tendência, s_t , a sazonalidade e ε_t , o erro aleatório ou resíduo.

Quanto a anomalia (a), ela foi gerada a partir da subtração entre o valor diário (x) e a média de toda a série histórica ($\bar{x}$), conforme Eq. (5). O valor identificado como negativo (positivo) foi interpretado uma anomalia negativa (positiva).

$$a = x - \bar{x}$$

Onde: a representa a anomalia, x representa o valor diário e $\bar{x}$ representa a média histórica.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 O arco do desmatamento a partir das variáveis

O arco do desmatamento, conforme já descrito em sessões anteriores, tem uma enorme abrangência que perpassa por vários estados e longitudes. Como resposta de qualificação regional, a geodiversidade, os padrões de usos (sejam legais ou não) e a quantidade de empreendimentos vão variar conforme localidade, legislação local, produto interno bruto (PIB) e outras tantas informações e necessidades.

De um modo geral, o arco tem uma alta abrangência de células contínuas (adjacentes) sendo ocupadas, em sua maioria, por formações florestais e por áreas protegidas (Tabela 5). As unidades de conservação (UC) e as terras indígenas (TI) têm maior área de ocupação, enquanto as áreas quilombolas (QI) são bastante restritas (apenas 0,3% do total de células do estudo). Pelo cuidado, é bom citar que este resultado pode estar mascarado por falta de regularização fundiária destas áreas (quilombos), que ocorre por diversos motivos ([BRUSTOLIN, 2009](#); [SALAINI e FAGUNDES JARDIM, 2015](#)).

Ademais, segundo o censo de 2022, mais de 30% da população que se autodenomina como quilombola reside na Amazônia Legal ([QUEIROZ, 2023](#)). Também, apesar das políticas serem recorrentemente debatidas pelas suas diversas fragilidades, os processos de regularização fundiária das terras indígenas e unidades de conservação são mais consolidados, quando comparados com os das QI.

No âmbito das áreas relevantes, a concentração de células foi bastante alta, o que traz uma perspectiva de alta vulnerabilidade para a proteção da biodiversidade. De fator preocupante é a abrangência das áreas de espécies ameaçadas de extinção em perigo - EN (78% de células) e criticamente em perigo (28,4% das células) (Tabela 5). o Brasil, é um dos países mais megadiversos do globo ([ABRANCHES, 2020](#)), mas a fragmentação da região e a destruição dos habitats, em especial pelo desmatamento e pelo fogo, estão contribuindo substancialmente pelo desaparecimento da fauna e flora.

Sobre a organização de estradas e linhas de transmissão, os valores de células são mais presentes para as rodovias (706 ou 30,7% do total), comparado com os valores de linhas de transmissão (255 ou 11,1%); entretanto, em termos de localização geográfica, para ambos os empreendimentos, há uma alta irrigação no Tocantins, Maranhão, leste do Pará e, partes do Mato Grosso e Rondônia. Em outras áreas, existe um vácuo destas malhas.

Tabela 5. Composição das variáveis no arco do desmatamento.

Zona	indicador	variável	total de células	% células
Sensível	área protegida (ap)	terra indígena não regularizada (tinr)	125	5,4
		terra indígena regularizadas (tir)	765	33,3
		unidade de conservação de uso sustentável (ucus)	586	25,5
		unidade de conservação de proteção integral (ucpi)	400	17,4
		quilombos não titulados (qint)	5	0,2
		quilombos titulados (qit)	3	0,1
	área relevante (ar)	áreas prioritárias para conservação alta (pca)	257	11,2
		áreas prioritárias para conservação muito alta (pcma)	556	24,2
		áreas prioritárias para conservação altíssima (pcalt)	977	42,6
		espécies ameaçadas de extinção criticamente em perigo (escr)	651	28,4
		espécies ameaçadas de extinção em perigo (esen)	1.792	78
		áreas não destinadas (and)	977	42,6
	área severamente impactada por fogo (aif)	recorrência de 3 anos (rec3)	633	27,6
		recorrência de 4 anos (rec4)	302	13,2
		recorrência de 5 anos (rec5)	95	4,1
	linha de transmissão (ep)	linha de transmissão (lt)	255	11,1
Crítica	rodovia (rod)	eixos rodoviário (er)	706	30,7
	floresta (flor)	floresta (flo)	2.221	96,7
	ocorrência de fogo (aq)	fogo detectado em 1 ano (aq1)	1.625	70,8
		recorrência de 2 anos (aq2)	1.126	49
	corte raso (cr)	desmatamento (def)	1.635	71,2

Elaborado pela autora, 2025.

2.3.2 O resultado dos indicadores

Os indicadores se traduzem a partir das taxas das variáveis e tem enriquecimento de valor conforme distribuição delas. Por obviedade, de todos os indicadores, floresta (flor) é o que apresenta maior quantidade de células com valores iguais ou próximas de 100, seguida de área relevante e área protegida (Figuras 4 e 5). Isto não tem relação direta com os resultados, mas demonstra quantos % de ocupação dentro da célula as variáveis assumiram.

Para os indicadores que estão dentro da categoria de sensíveis, a taxa de distribuição entre as faixas (0, 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, 81-90 e 91-100) variou bastante, excetuando a área severamente impactada por fogo (aif), que tem quantidade de células com valores próximos ou iguais a 0, conforme gráfico *box plot* (Figura 3, [1]).

Já os indicadores críticos (Figura 3, [2]), há uma grande quantidade de valores próximos de 0 e o valor máximo foi próximo de 50, que é correspondente ao indicador corte raso (desmatamento).

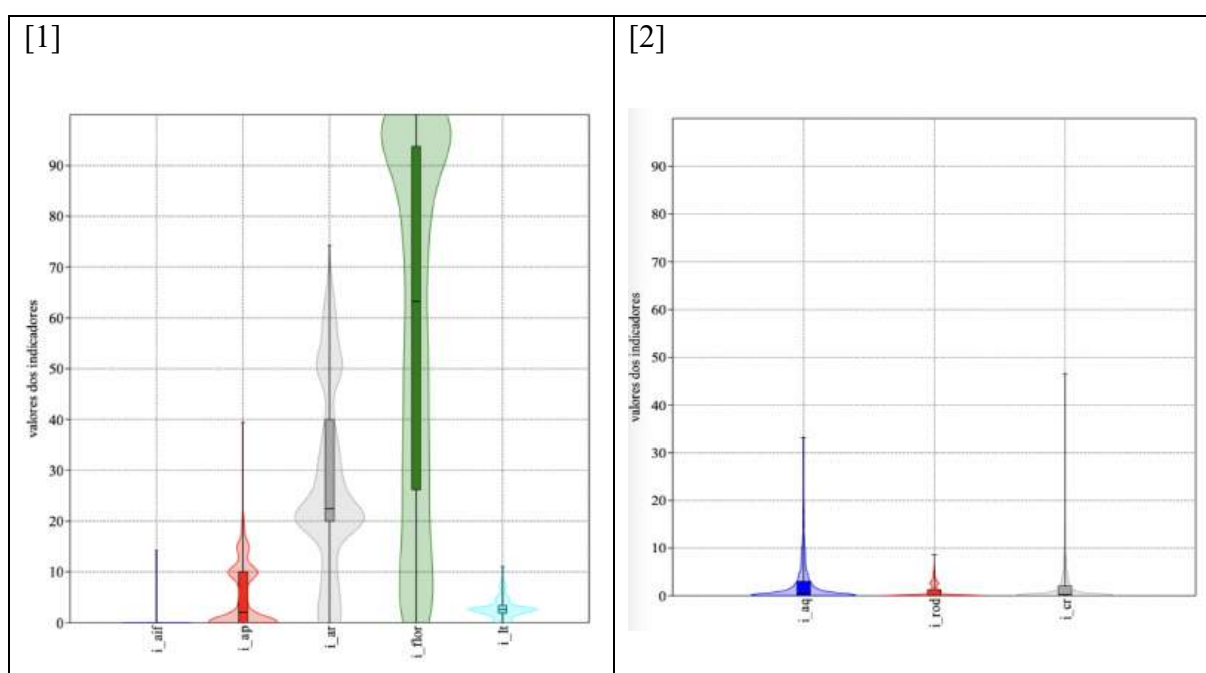


Figura 3. Gráficos tipo *Box plot* da distribuição dos valores dos indicadores. Em [1], distribuição dos indicadores que formam as zonas sensíveis. Em [2], distribuição dos indicadores que forma as zonas críticas. Elaborado pela autora, 2025.

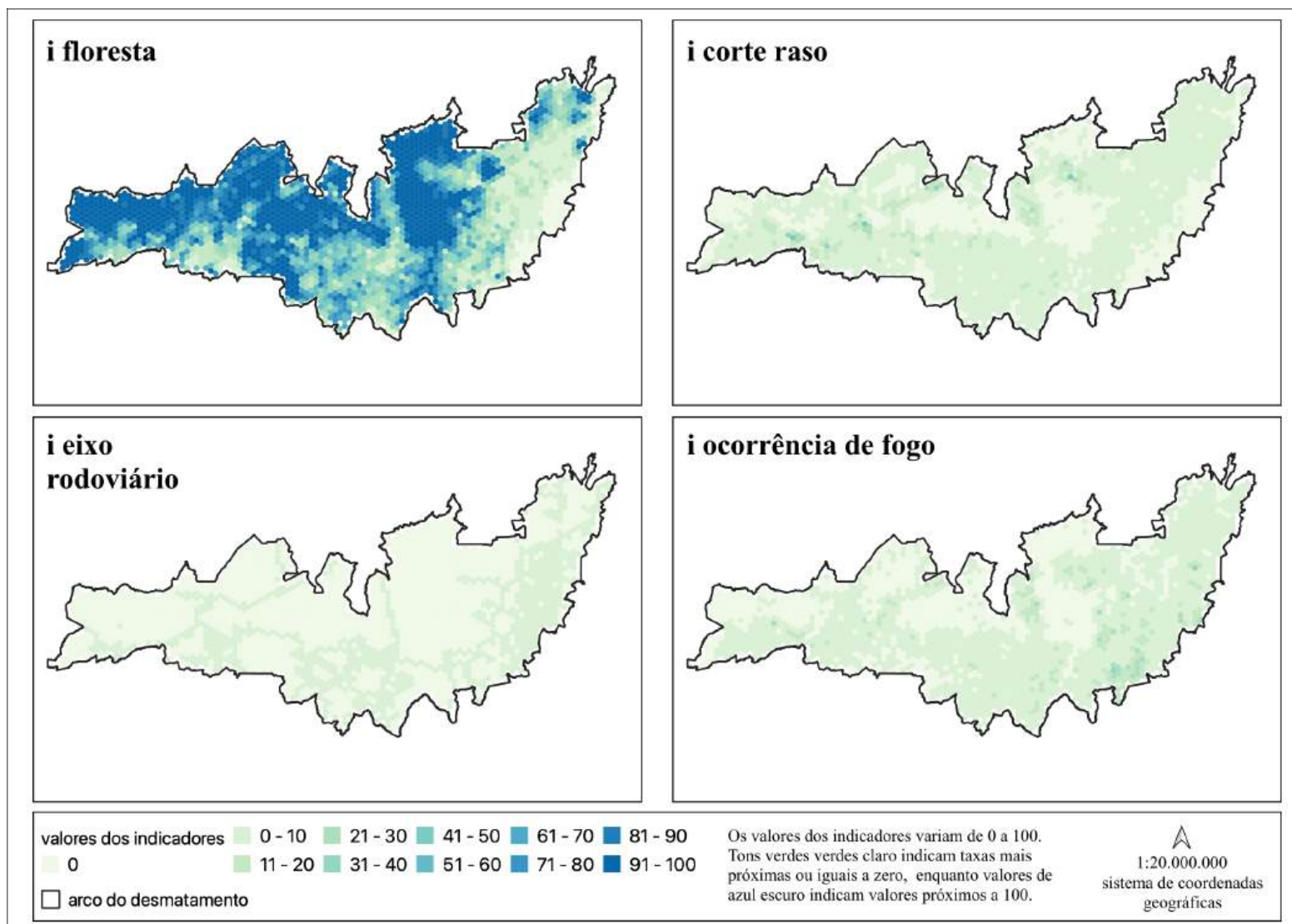


Figura 4. Distribuição dos valores dos indicadores (i) de floresta, corte raso, eixo rodoviário e ocorrência de fogo. Elaborado pela autora, 2025.

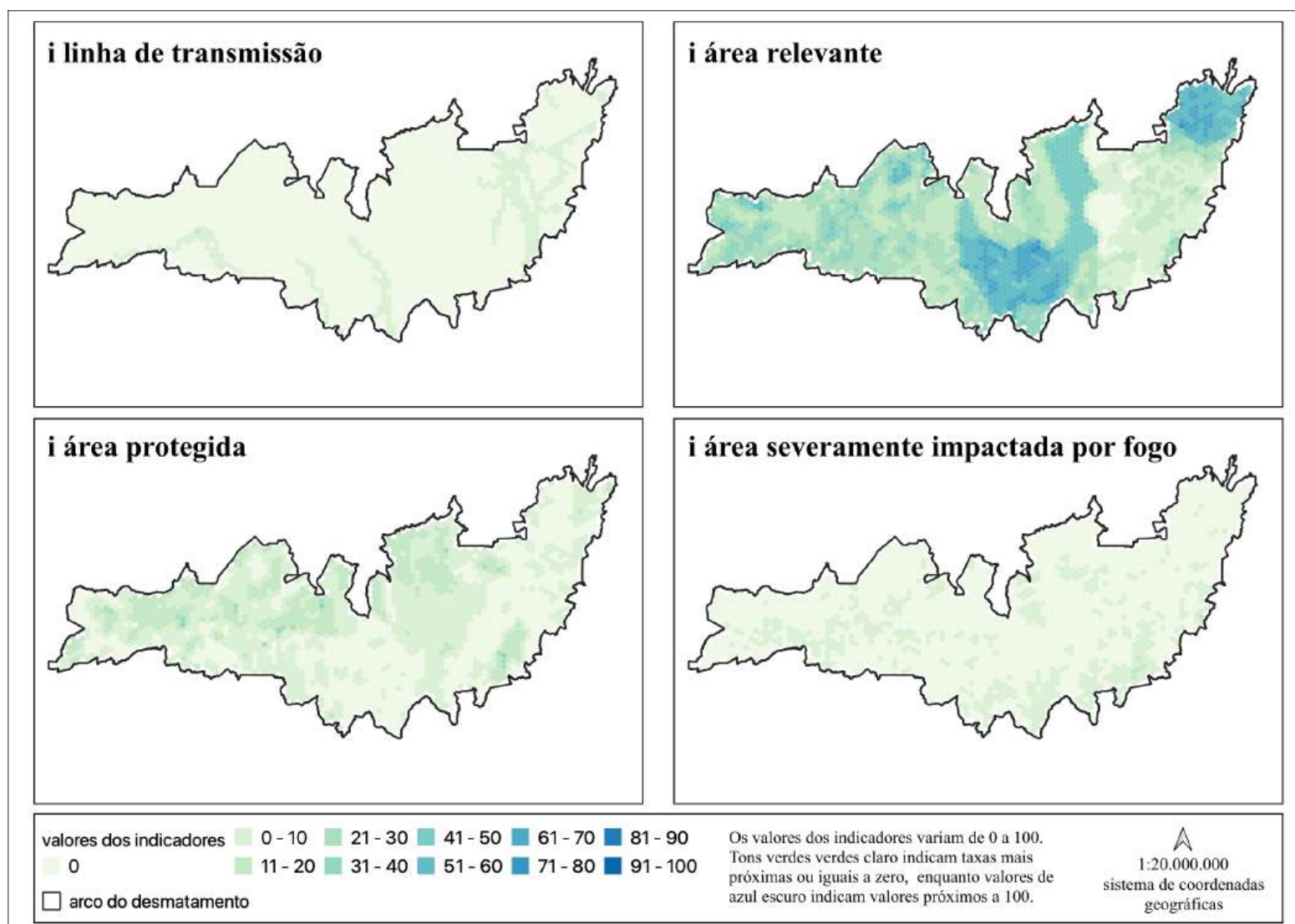


Figura 5. Distribuição dos valores dos indicadores (i) de linha de transmissão, área relevante, área protegida e área severamente impactada por fogo. Elaborado pela autora, 2025.

As variáveis e os indicadores são imprescindíveis para explicar o fogo no arco do desmatamento; contudo, a variabilidade das queimadas também é objeto fundamental de ser descrito aqui, a fim de se compreender as piro zonas.

2.3.3 Padrão das queimadas na região

A região do arco do desmatamento tem os mais altos índices de destruição ambiental envolvidos em diversos tipos de ilícitos ([COSTA e PIRES, 2010](#); [SILVA et al, 2016](#)). Durante o período de 2018 a 2022, queimou mais de 37 mil hectares, sendo os estados do Mato Grosso, Pará e Tocantins com os maiores valores registrados (respectivamente: 34,09%, 23,66% e 22,47% - destaque em vermelho). O ano de 2018 teve os menores valores registrados (provavelmente em razão dos altos índices pluviométricos) e o ano de 2020 foi o mais afetado (Tabela 6)

Tabela 6. Área queimada, por estado do arco do desmatamento, de 2018 a 2022

Estado	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL	% 2018 a 2022
Acre	12.362	23.482	35.281	43.132	64.668	178.925	0,48
Amazonas	353.679	712.648	765.075	805.728	1.017.834	3.654.964	9,78
Maranhão	132.898	417.066	372.498	105.788	296.308	1.324.557	3,54
Mato Grosso	1.523.969	2.981.873	3.396.248	1.802.745	3.034.747	12.739.583	34,09
Pará	374.529	2.038.052	3.104.453	868.863	2.456.412	8.842.309	23,66
Rondônia	311.267	536.147	452.938	468.034	463.121	2.231.508	5,97
Tocantins	913.292	2.249.107	2.458.389	1.177.914	1.599.066	8.397.768	22,47
TOTAL	3.621.995	8.958.375	10.584.882	5.272.205	8.932.156	37.369.614	-

Elaborado pela autora, 2025.

Existem diversos motivos que explicam as queimadas e sua distribuição geográfica. Um deles, o enfraquecimento das políticas públicas durante o governo Bolsonaro (2019 a 2022), que acarretou o aumento do desmatamento e das atividades ilegais ([FERNANDES, 2022](#); [MOROSKI e AMBROSIO, 2024](#)). Também, historicamente, o Mato Grosso, Pará e o Tocantins têm preponderância nas taxas de fogo, em razão da existência de atividades de uso do solo que são bem comuns nestes estados. E.g.: garimpo e desmatamento, em razão da abertura de áreas

para uso agrícola e pastoril ([OLIVEIRA, 2013](#); [CASTRO AZEVÊDO e VIEIRA, 2018](#); [HECK, 2021](#)).

A relação queimadas e usos do solo, em especial desmatamento, é bem conhecida na literatura ([ARAGÃO et al., 2008](#); [VAN MARLE et al., 2017](#); [REIS et al., 2021](#)). O processo geralmente se inicia com a retirada da vegetação nativa, seguida da utilização do fogo para limpar a área com a finalidade agropastoril. Para corroborar, nesta pesquisa, o coeficiente de determinação foi alto entre corte raso (cr) e focos de calor ($r^2 = 0,72$), o que evidencia uma forte correlação ($r = 0,84$) queimadas com desflorestamento (Figura 6).

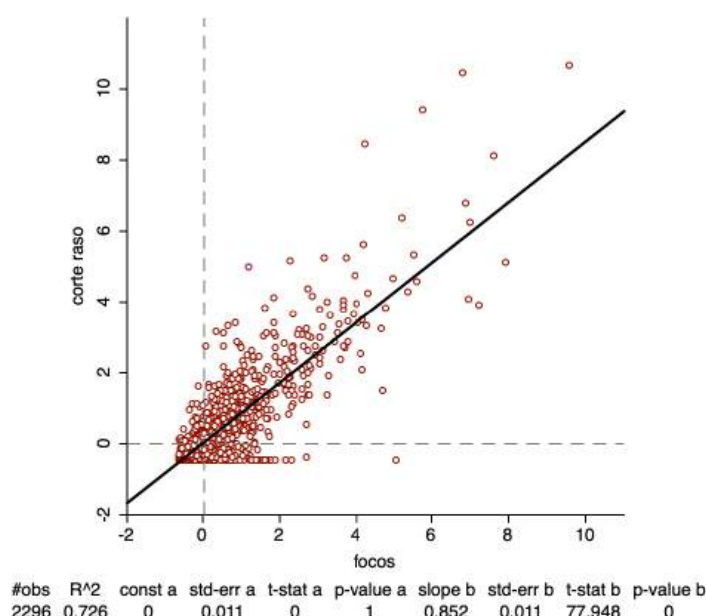


Figura 6. Regressão linear entre área (ha) de corte raso (variável dependente) com quantidade de focos de calor (variável independente). A correlação indicada foi bastante alta. Elaborado pela autora, 2025.

Por outro lado, não foi identificada correlação e tendência positiva entre fogo (focos) e floresta (v_flo). Duas possíveis teses: (1) as queimadas ainda estão bastante associadas com regiões de influência econômica que já apresentam outro tipo de dinâmica ambiental e/ou (2) parte destas áreas, que estão protegidas legalmente, funcionam como barreiras para conter o avanço dos incêndios, assim como defende [Neptstad et al. \(2006\)](#) (Figura 7).

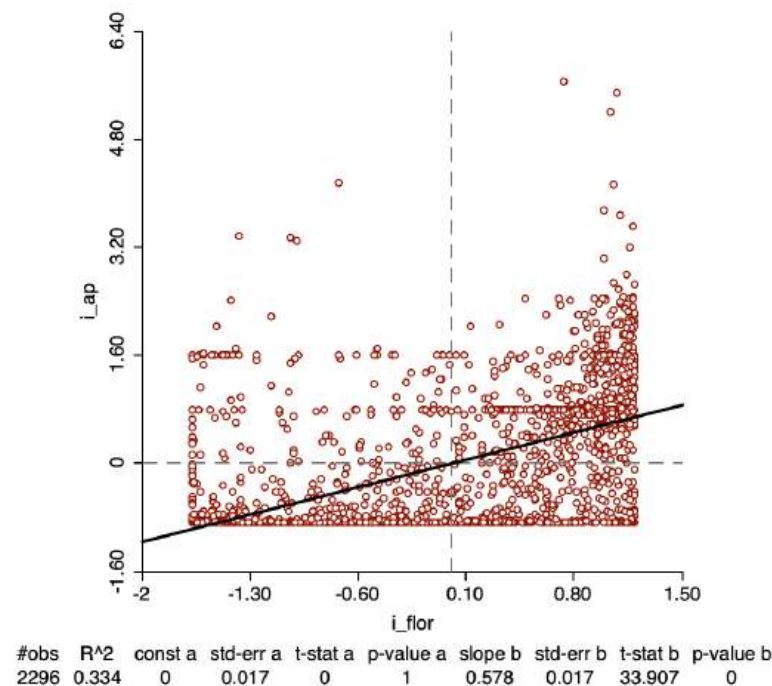


Figura 7. Regressão linear entre os indicadores de área protegida (i_{ap}) com floresta (i_{flor}). A regressão demonstra uma linearidade crescente e positiva com coeficiente de determinação (r^2) de 0,33; ou seja, uma correlação (r) de 0,57. Este resultado é importante para demonstrar a importância das áreas protegidas na proteção das formações florestais. Elaborado pela autora, 2025.

Estas percepções podem ser alcançadas visualmente nos mapas a seguir (Figuras 8 a 12). Especialmente, as taxas de detecções de fogos estão mais concentradas próximas aos eixos rodoviários (e.g.: BRs 364, 163 e 230). Por outro lado, é perceptível a menor quantidade de fogos ativos dentro das áreas protegidas. Há ressalvas, claro, como o caso da Ilha do Bananal (sudoeste do Tocantins que compreende as Tis Inawebohona e Parque do Araguaia, e a UC Parque Nacional do Araguaia); destarte, a relação de infraestrutura rodoviária com fogo é evidente.

Também, conformando os dados da Tabela 6, é notória a densidade de área queimada, em todos os anos, no Mato Grosso, Pará e Tocantins (Figura 8 a Figura 12).

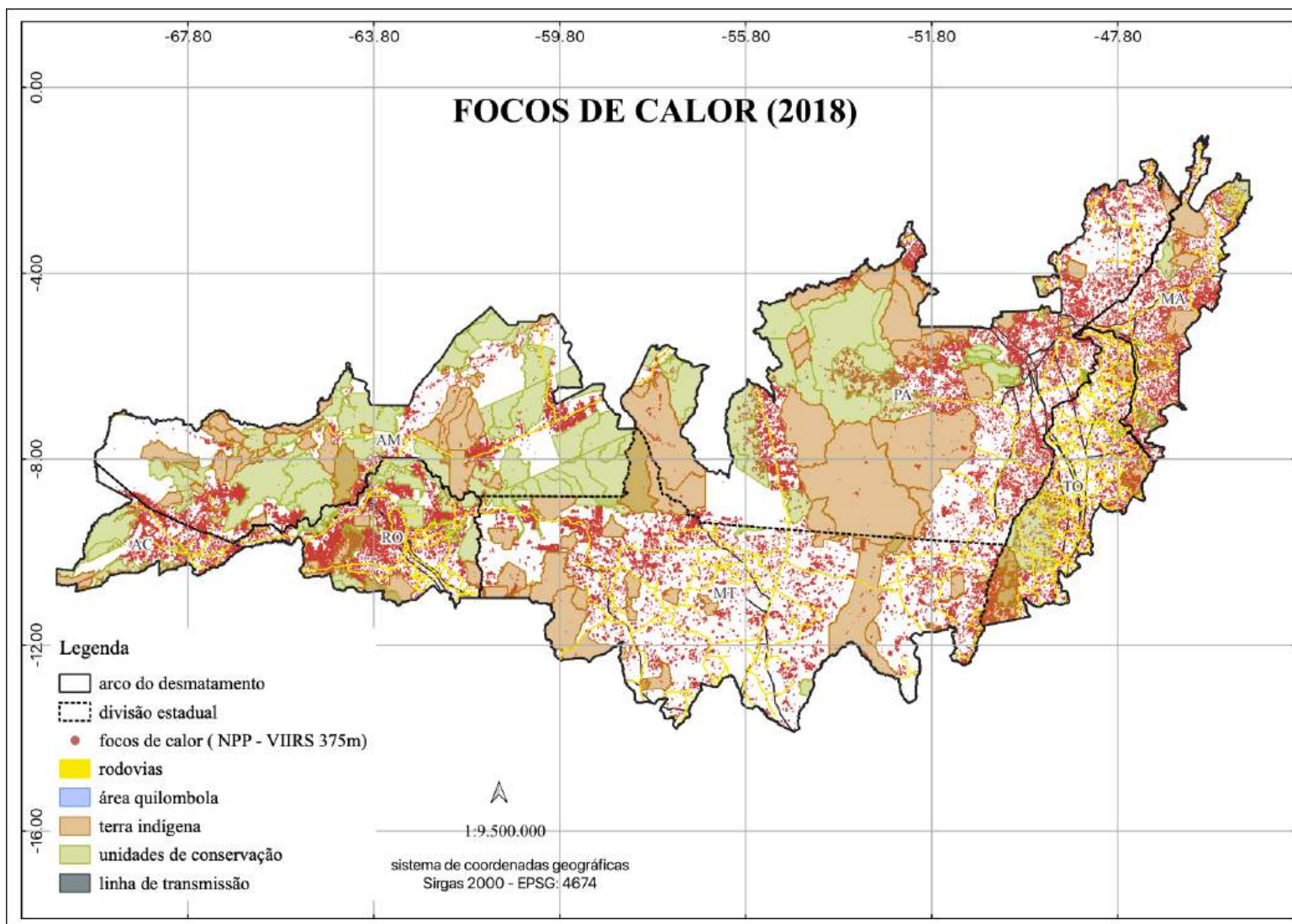


Figura 8. Focos de calor detectados no ano de 2018 na região do arco do desmatamento. Em detalhe, as rodovias, linhas de transmissão e áreas protegidas (terras indígenas, unidades de conservação e áreas quilombolas). Elaborado pela autora, 2025.

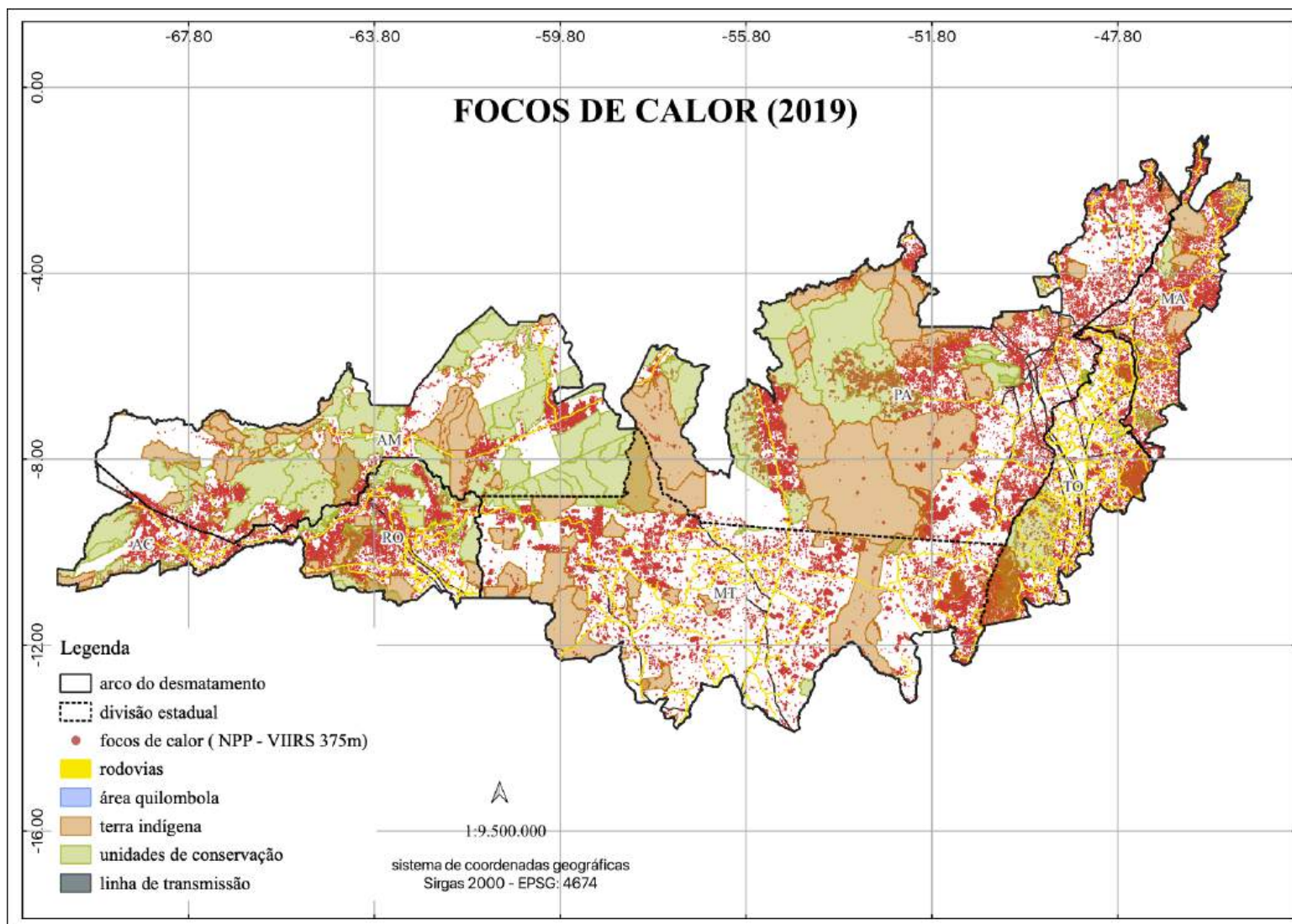


Figura 9. Focos de calor detectados no ano de 2019 na região do arco do desmatamento. Em detalhe, as rodovias, linhas de transmissão e áreas protegidas (terras indígenas, unidades de conservação e áreas quilombolas). Elaborado pela autora, 2025.

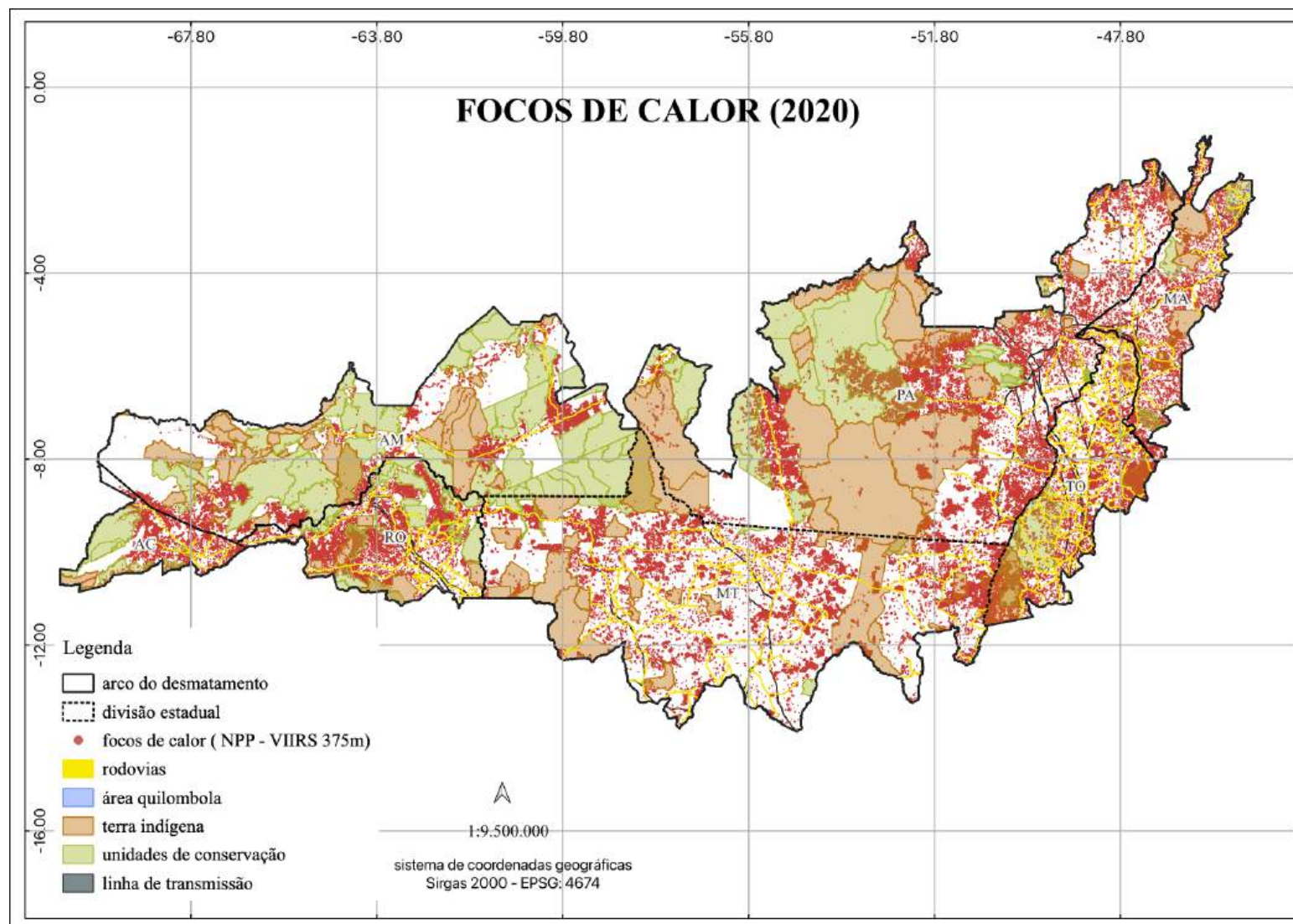


Figura 10. Focos de calor detectados no ano de 2020 na região do arco do desmatamento. Em detalhe, as rodovias, linhas de transmissão e áreas protegidas (terras indígenas, unidades de conservação e áreas quilombolas). Elaborado pela autora, 2025.

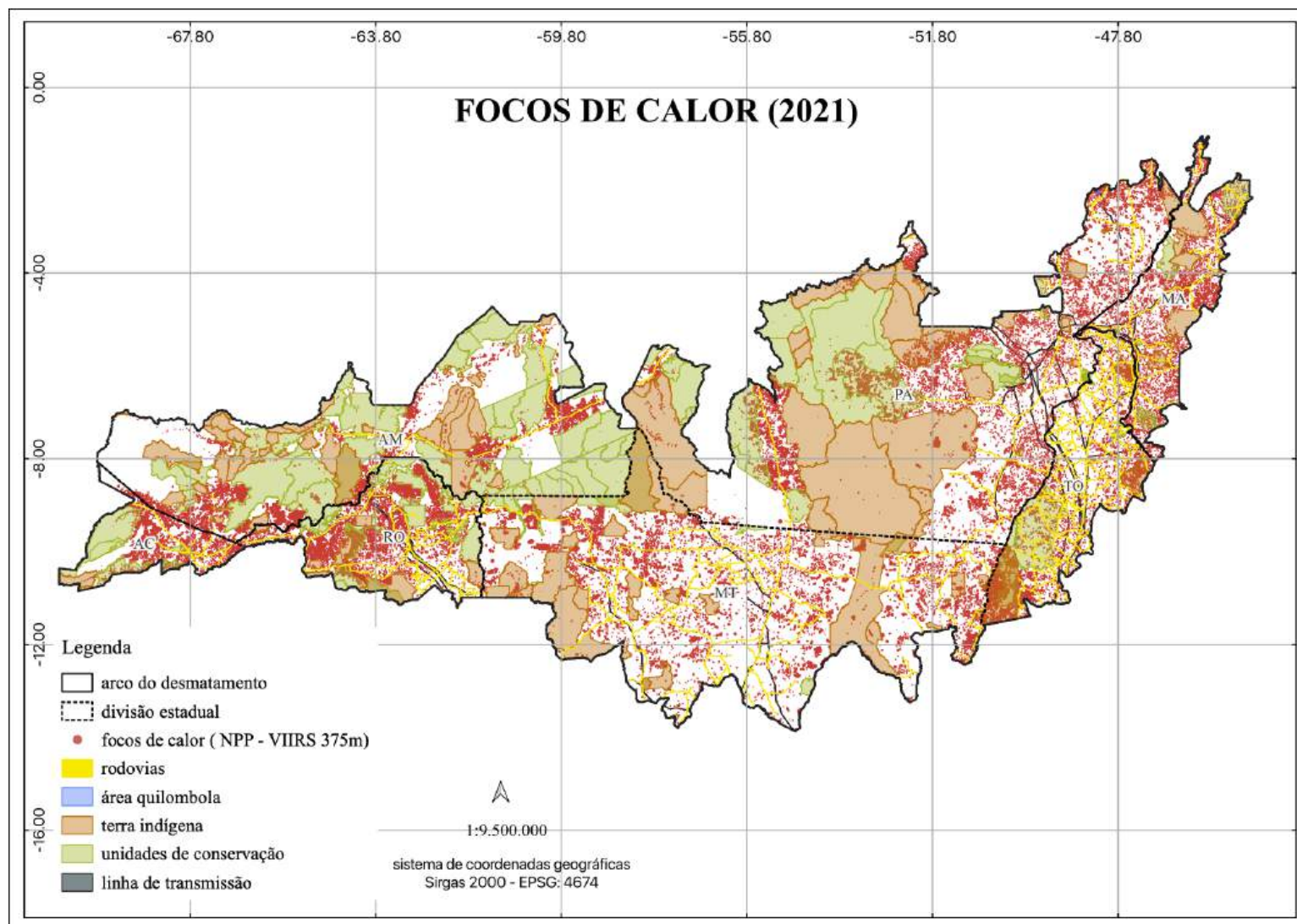


Figura 11. Focos de calor detectados no ano de 2021 na região do arco do desmatamento. Em detalhe, as rodovias, linhas de transmissão e áreas protegidas (terras indígenas, unidades de conservação e áreas quilombolas). Elaborado pela autora, 2025.

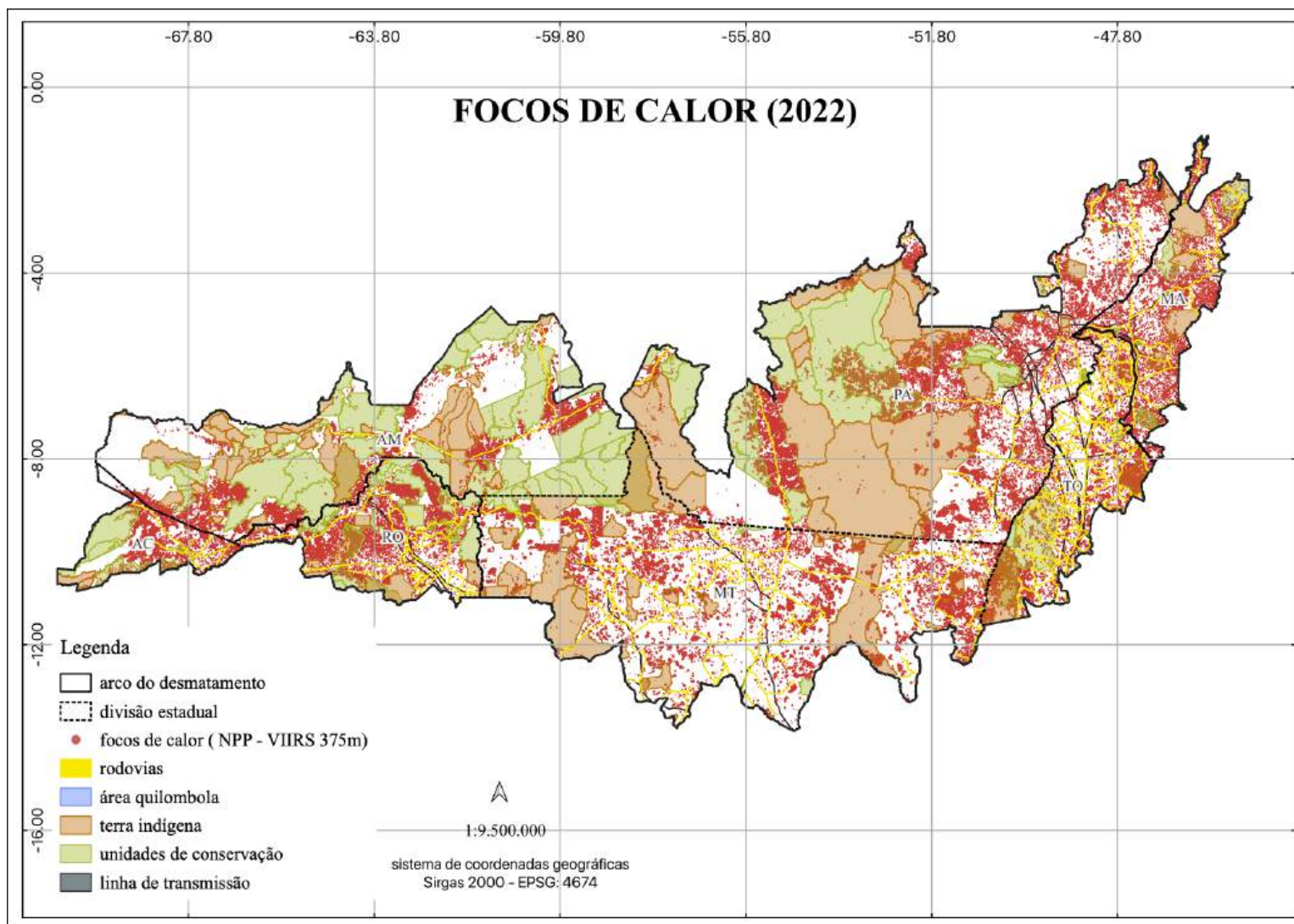


Figura 12. Focos de calor detectados no ano de 2022 na região do arco do desmatamento. Em detalhe, as rodovias, linhas de transmissão e áreas protegidas (terras indígenas, unidades de conservação e áreas quilombolas). Elaborado pela autora, 2025.

Parte das taxas serem próximas às rodovias é em razão destas se conectarem e darem acesso a áreas e territórios distantes, o que viabiliza o aumento de grilagem de terras em suas redondezas ([BARNI et al., 2012](#)). Próximo da BR 364 (Figura 13, letra A), concentram-se diversas propriedades e assentamentos no sul e sudoeste do município de Lábrea/AM ([VASCONCELOS et al., 2013](#); [REIS e LEAL, 2020](#)), que podem ser responsáveis pelas altas taxas de desmatamento, visíveis quando se sobrepõe os dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite - Prodes⁵.

As margens da rodovia BR-230, conhecida popularmente como transamazônica, formam uma frente de expansão agrícola, principalmente para a criação de gado ([CARRERO et al., 2019](#)). O uso do fogo para limpeza e abertura de pastos é uma prática de manejo comumente utilizada para estimular o crescimento do pasto e, extinguir ervas daninhas e pragas ([HOMMA et al., 1993](#)). O resultado é o aumento do desmatamento e da densidade de fogo, que é bastante perceptível em Manicoré/AM (Figura 13, letra C) e em Apuí/AM (Figura 13, letra D).

Na região da rodovia da BR 163 (Figura 13, letra E), também ocorre a atividade de desflorestamento e também se acentua o garimpo, ambos muitas das vezes ilegais, e tem relação direta com o uso do fogo ([CRAVEIRA, 2022](#)).

Uma região que não tem ligação direta com as rodovias, mas também tem uma alta densidade de focos de calor, está localizada no município de Cujubim/RO. O fogo se mantém ativo em razão de atividades agropecuárias ([MOREIRA et al., 2020](#)).

⁵ O Prodes, que é coordenador pelo Inpe, é o projeto oficial de monitoramento da Amazônia Legal desde o ano de 1988. Anualmente, os dados são liberados e auxiliam na validação e resposta das políticas públicas de comando de controle.

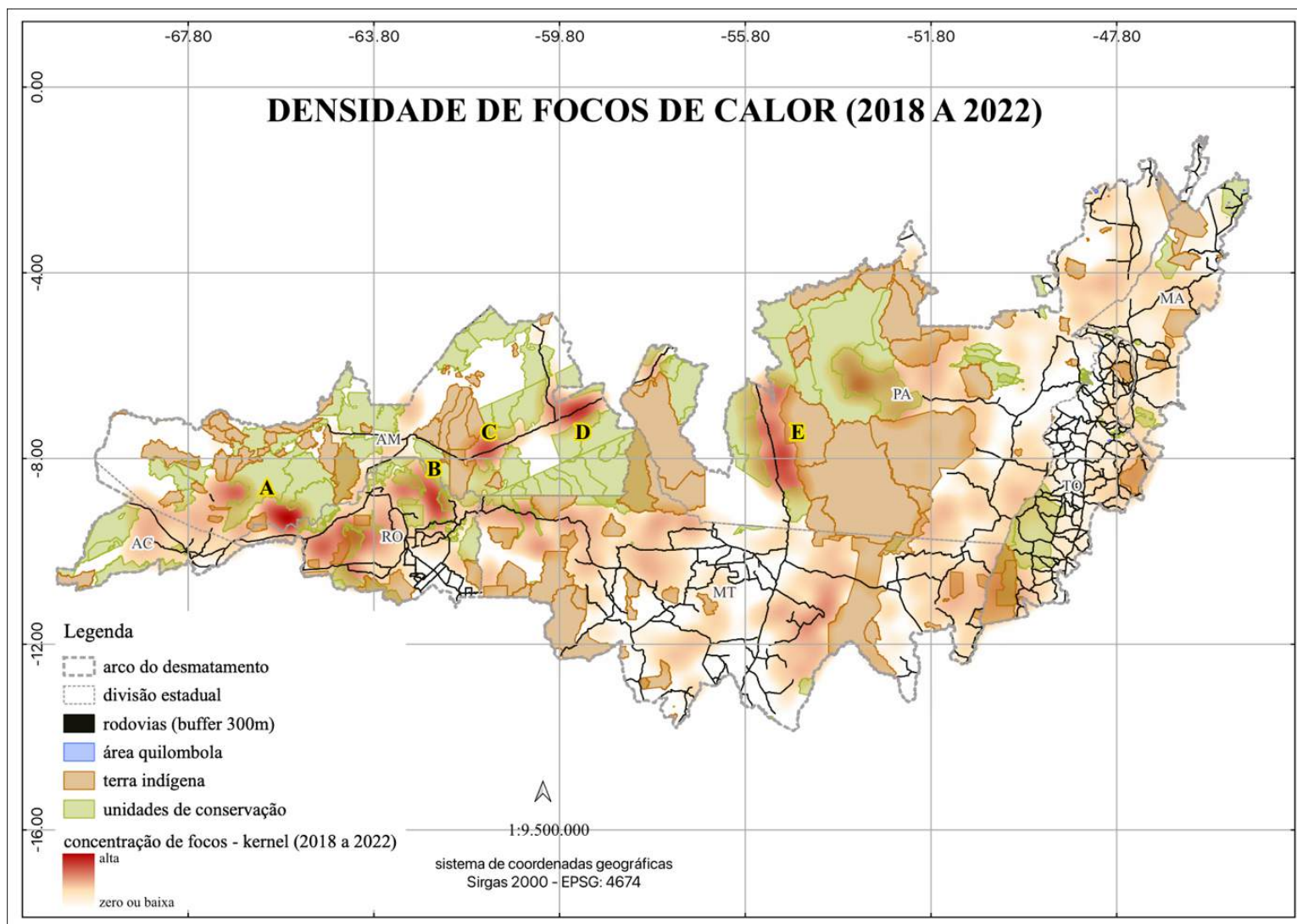


Figura 13. Densidade de focos de calor nos anos de 2018 a 2022 (acumulado) na região do arco do desmatamento. Em detalhe, as rodovias e áreas protegidas (terras indígenas, unidades de conservação e áreas quilombolas). Elaborado pela autora, 2025.

Sobrepondo intra-anualmente a área queimada, a recorrência tem áreas restritas de abrangência (Figura 14). A concentração é maior no estado do Tocantins e no Mato Grosso, sendo a sua maior relevância em territórios indígenas (TIs). As TI Xerente e Kraolândia, localizadas no Tocantins, por exemplo, têm histórico de fogo pelo seu uso tradicional ([XERENTE e OLIVEIRA, 2021](#)), ao contrário da TI Parque do Araguaia, que tem histórico de caça e pesca ilegais devido às invasões ([ANDRADE et al., 2021](#)) e pastagem ilegal. No Mato Grosso, a recorrência é preponderante no município de São Felix do Araguaia, especialmente em áreas onde há cadastro ambiental rural (portanto, ocupação privada) e podem estar relacionadas com manejo de pasto, que é bastante comum na região.

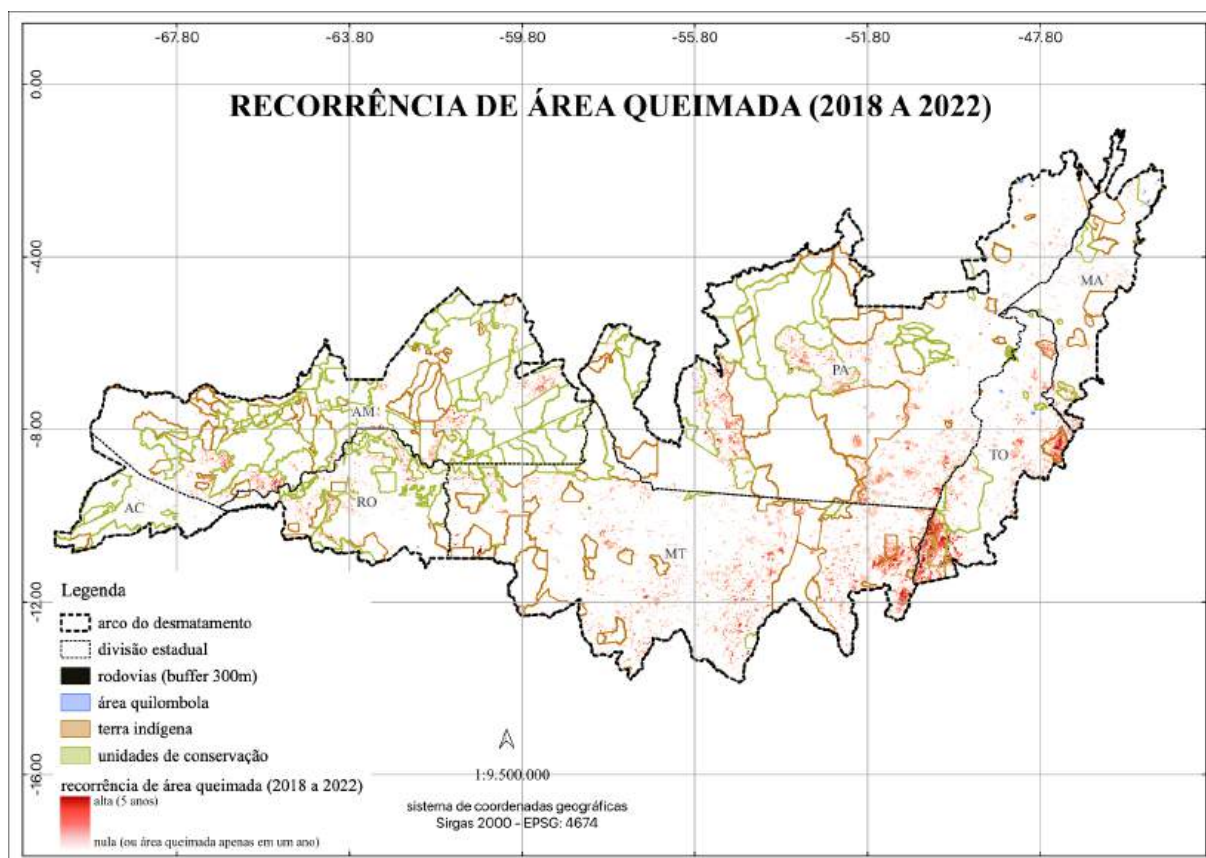


Figura 14. Recorrência de fogo na região do arco do desmatamento. Evidencia-se, durante o período de 2018 a 2022, as maiores taxas nos estados do Tocantins e Mato Grosso. Elaborado pela autora, 2025.

O problema dos incêndios no arco do desmatamento é perceptível e é agravado em algumas regiões. As duas questões principais são: (1) Onde as queimadas descontroladas não podem se tornar um problema? (2) Quais áreas são as mais críticas?

2.3.4 Piro regiões: sensíveis e críticas

2.3.4.1 Regiões piro sensíveis

Conforme resultado do índice de Moran ($i = 0,84$) (Figura 15), foi delimitado 54% de zona piro sensível dentro do arco do desmatamento, sendo a maioria das áreas como nível 1 – 58% do total da zona piro sensível (Tabela 7). Sobre a distribuição entre as uniões federativas, as áreas piro sensíveis tem ampla distribuição em todas. As áreas (Figura 16) sensíveis de nível 1 (em vermelho) recobrem o Amazonas, o Acre, o Mato Grosso, o Pará e o Maranhão. As de nível 2, (em azul) estão no Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão (Figura 16).

Tabela 7. Área total e porcentagem de área das piro regiões sensíveis no arco do desmatamento

região	área (ha)	% de área em relação ao total de regiões piro sensível	% de área em relação ao arco do desmatamento
1	52.612.807	58	31
2	38.108.743	42	23
TOTAL	90.721.550	100	54

Elaborado pela autora, 2025.

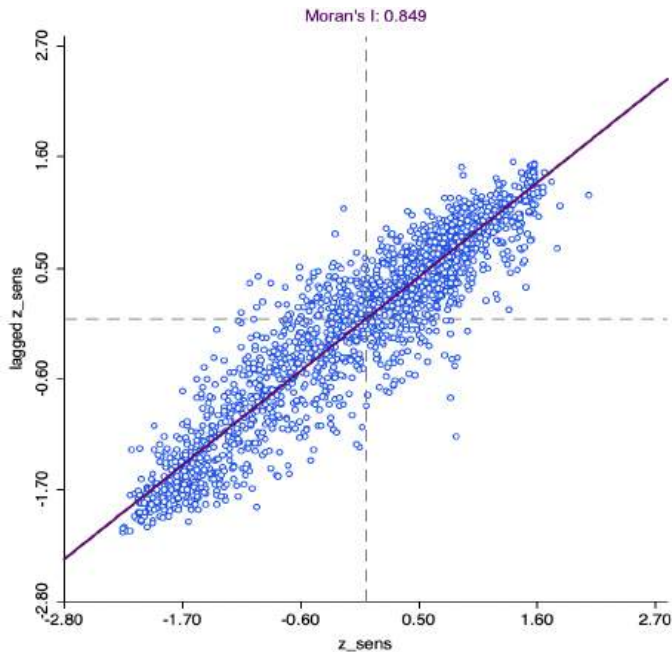


Figura 15. Resultado da distribuição dos valores do índice de Moran na região sensível. Elaborado pela autora, 2025.

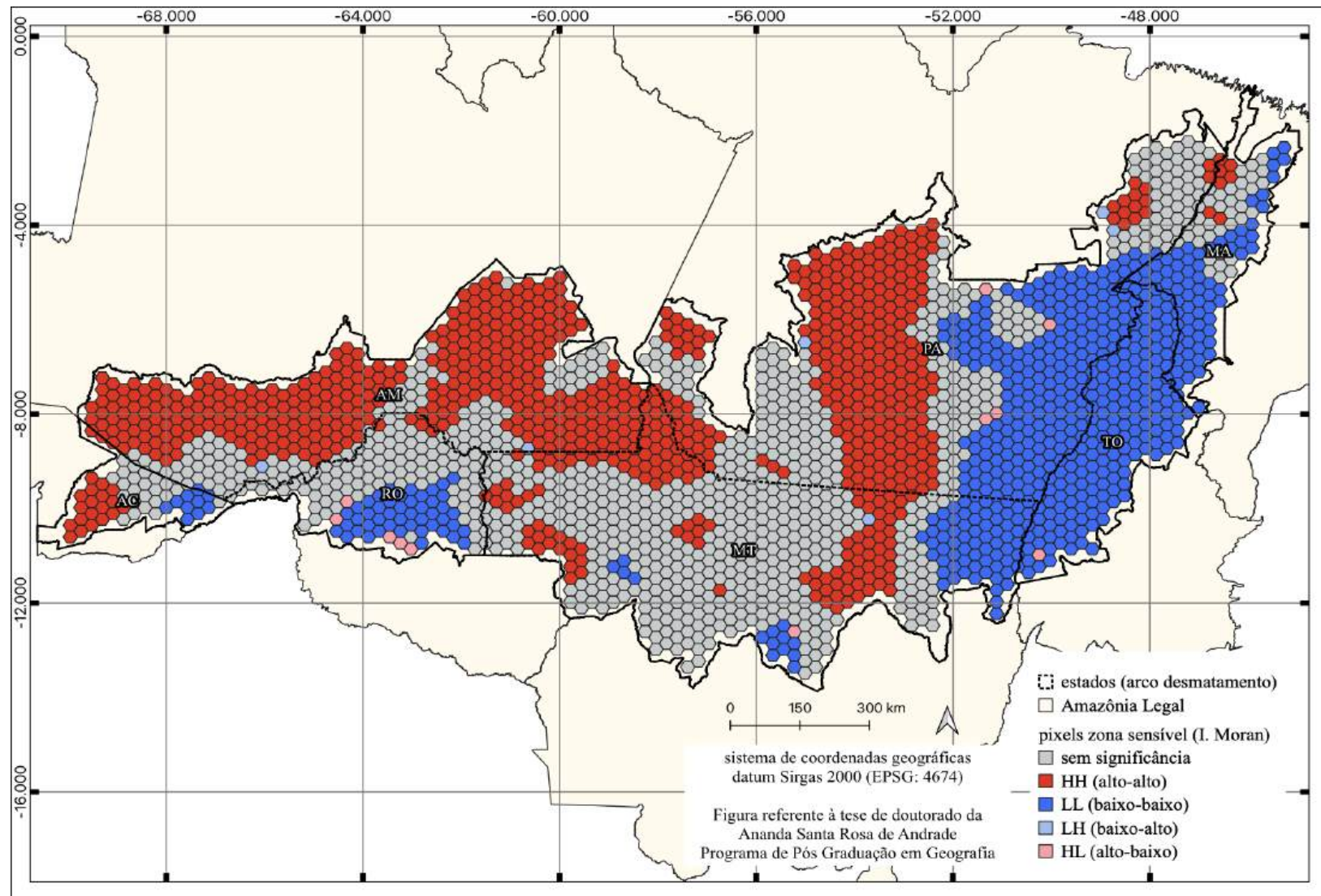


Figura 16. Mapa das células piro sensíveis no arco do desmatamento, a partir do índice de Moran. HH representa o nível 01 e LL representa o nível 2. LH e HL são outliers. Obs: Há células no mapa que não foram classificadas como região (junção inferior a 3 células). Elaborado pela autora, 2025

A taxa de ocupação das variáveis teve um resultado dentro da expectativa para o objetivo da região, principalmente para as regiões 1, que tem elevadas porcentagens de sobreposição de áreas florestadas (flo), espécies ameaçadas de extinção em perigo (esen) e áreas protegidas, unidades de conservação (ucus e ucpi) e terras indígenas (tir).

As regiões de nível 2 concentrou poucas variáveis sobrepostas, por isto, se explica sua baixa interação (correlação LL). O destaque das regiões (nível 2) foram as classes de áreas prioritárias para conservação (pca, pcma e pcalt) e espécies ameaçadas de extinção criticamente em perigo (escr). Uma grande preocupação em relação a estes achados (2), é a baixa quantidade de florestas versus a quantidade de áreas escr. O aumento de extinção de espécies ameaçadas pode ser uma realidade, principalmente com a ocorrência dos incêndios florestais.

Para ambas as regiões, não foram localizadas áreas quilombolas. As demais variáveis (var), mesmo que nos gráficos abaixo se apresentem como zero por cento (Figuras 17 e 18), os valores foram insignificativos ($var \times 10^{-4}$).

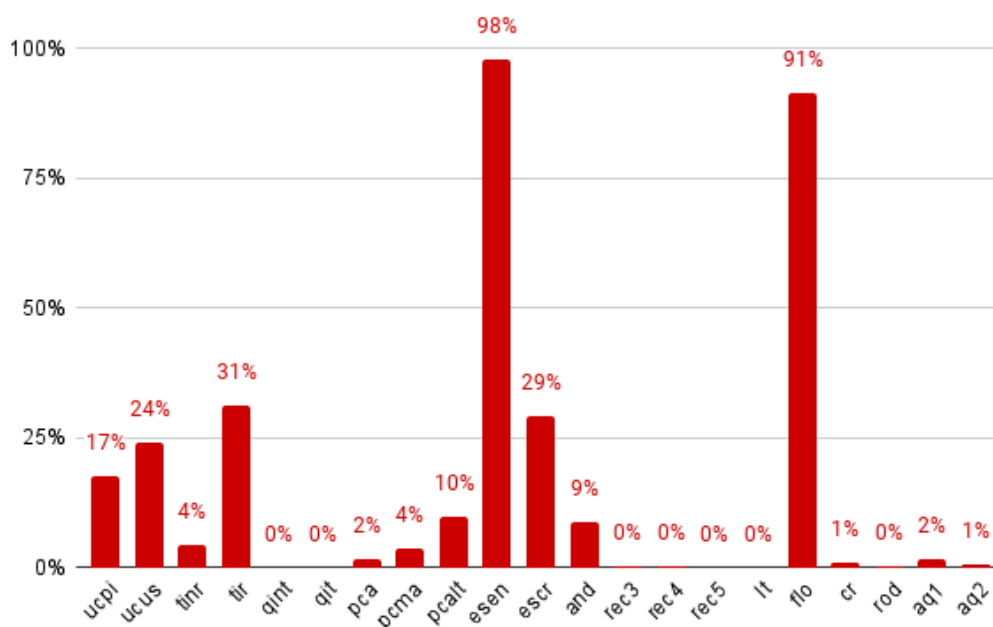


Figura 17. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro sensíveis 1 (HH). Elaborado pela autora, 2025.

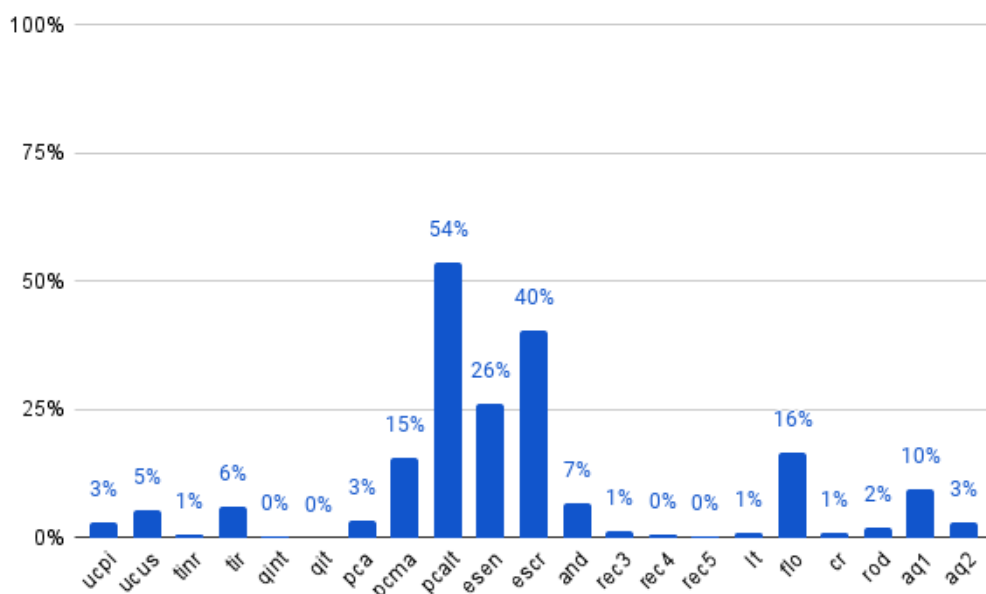


Figura 18. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro sensíveis 2 (LL). Elaborado pela autora, 2025.

Em relação a distribuição espacial dos *pixels* de fogo ativo, houve maior detecção nas zonas de nível 02, conforme Figuras 18 e 19; contudo, em relação à vulnerabilidade e à fragilidade, independente do nível piro sensível (seja 1 ou 2), algumas terras indígenas e unidades de conservação merecem destaque sobre o assunto.

As Terras Indígenas Parque do Xingu (MT), Jacareúba/Katuixi/AM, Mamoadate (AC), Munduruku (PA), Xerente (TO), Parque do Araguaia (TO), Inawebohona (TO) e Alto Turiaçu (MA) tiveram *pixels* ativos dentro das áreas (Figura 20). Todas são regularizadas (são variáveis *tir*), excetuando a TI Jacareúba/Katuixi, que está em restrição de uso.

A restrição de uso é uma medida administrativa da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (Funai) que veda qualquer tipo de exploração na área e, fluxo e permanência de pessoas que não sejam do órgão, em razão da presença de povo indígena isolado ([SURVIVAL INTERNATIONAL, \[s.d.\]](#)). Esta medida é uma tentativa de criar um nível de proteção da área enquanto há, em concomitância, registro de povo indígena isolado e ausência de regularização fundiária da TI. Além desta terra indígena, outras das citadas tem registro de povos isolados - TI Mamoadate, TI Parque do Araguaia, TI Inawebona e TI Munduruku ([COIAB e OPI, 2024](#)), o que evidencia, também, uma vulnerabilidade socioterritorial quanto a necessidade de proteção contra os incêndios.

As unidades de conservação, igualmente, têm taxas de detecção em ambas as regiões, sendo mais frequentes as de uso sustentável que são as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) Triunfo do Xingu (região nível 1), Ilha do Bananal e Cantão, e Nascentes do Rio Araguaia (todas nível 2). O Parque Nacional do Araguaia, que é de proteção integral (região nível 2), se sobrepõe com a TI Inawebohona (Figura 21).

Ao analisar espacialmente a distribuição das áreas florestadas, que tem uma relação importante com as áreas protegidas, evidencia-se que as regiões de nível 1 funcionam quase que uma “barreira” para a existência do fogo. Isto pode ocorrer, provavelmente, em razão de ainda existir uma abundância de áreas verdes nestas regiões; contudo, uma preocupação é a quantidade de *pixels* de fogo na região de nível 1 que está localizada entre o Pará e o Maranhão, bem como, pelo mesmo motivo, na região de nível 2 que está em Rondônia (Figura 22).

As áreas não destinadas estão em sua maioria nas regiões de nível 2 que tem detecção de fogo – Tocantins e Maranhão, o que é uma maior preocupação. Por estas áreas não apresentarem uma destinação específica; portanto, com ausência do Estado, estão se tornam mais suscetíveis a degradação florestal (Figura 23).

Áreas prioritárias para conservação, rodovias e linhas de transmissão estão bem irrigadas no Tocantins, Maranhão e Rondônia, onde também tem altas taxas de detecção de *pixel* de fogo ativo (Figuras 24 a 26).

As áreas de dispersão das espécies ameaçadas de extinção estão, em sua maioria, na região de nível 1 (Figura 28). Na nível 2, há uma preocupação com os estados do Rondônia e Acre, em razão do fogo. Por fim, as áreas de recorrência estão concentradas na Ilha do Bananal (TO) e no Leste do Mato Grosso (Figuras 29).

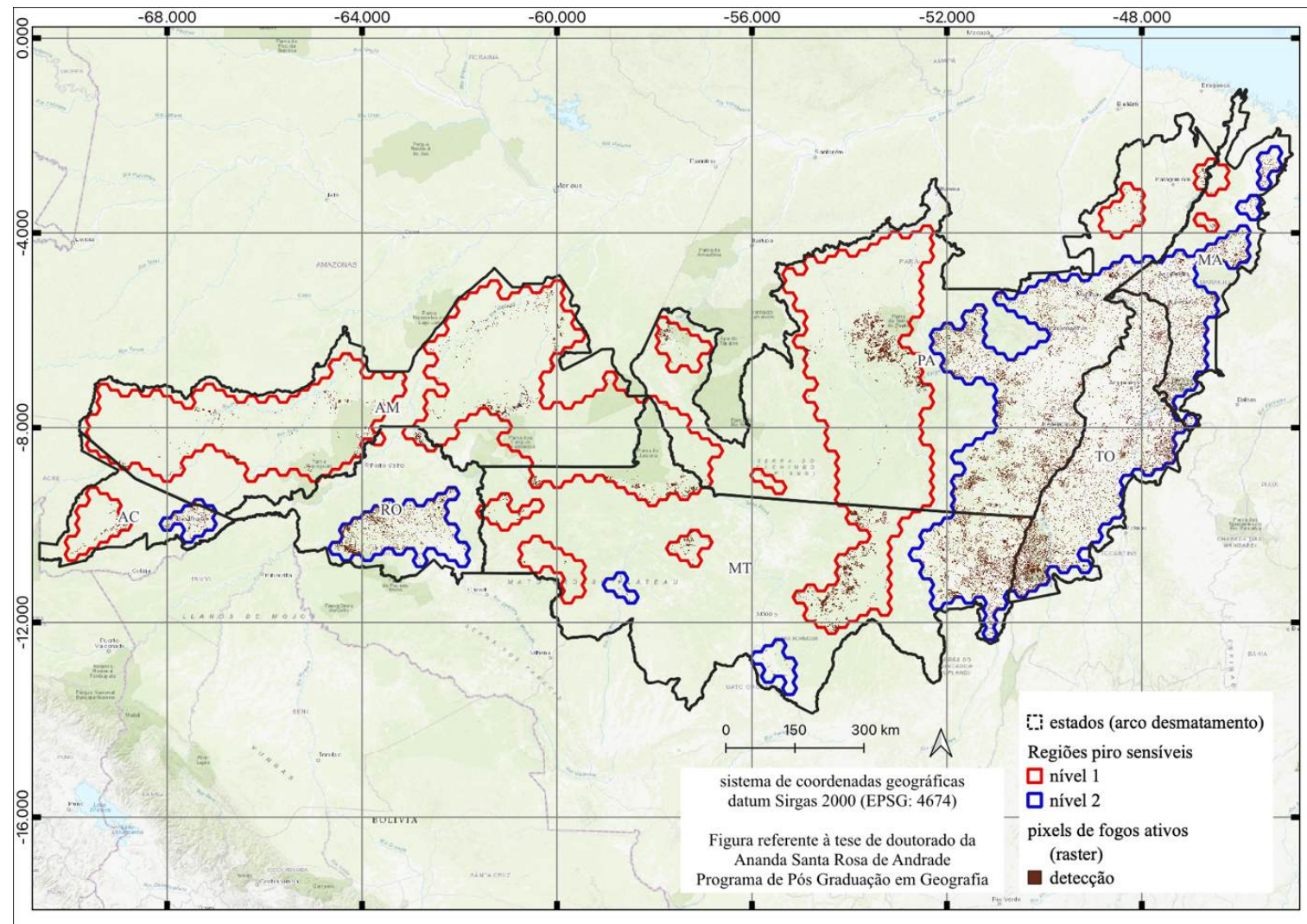


Figura 19. Distribuição de pixels de fogos ativos nas regiões piro sensíveis. Em vermelho, as de nível 01 e, em azul, as de nível 2. Os *pixels* de fogo ativo só foram apresentados, apenas, nas regiões. Elaborado pela autora, 2025.

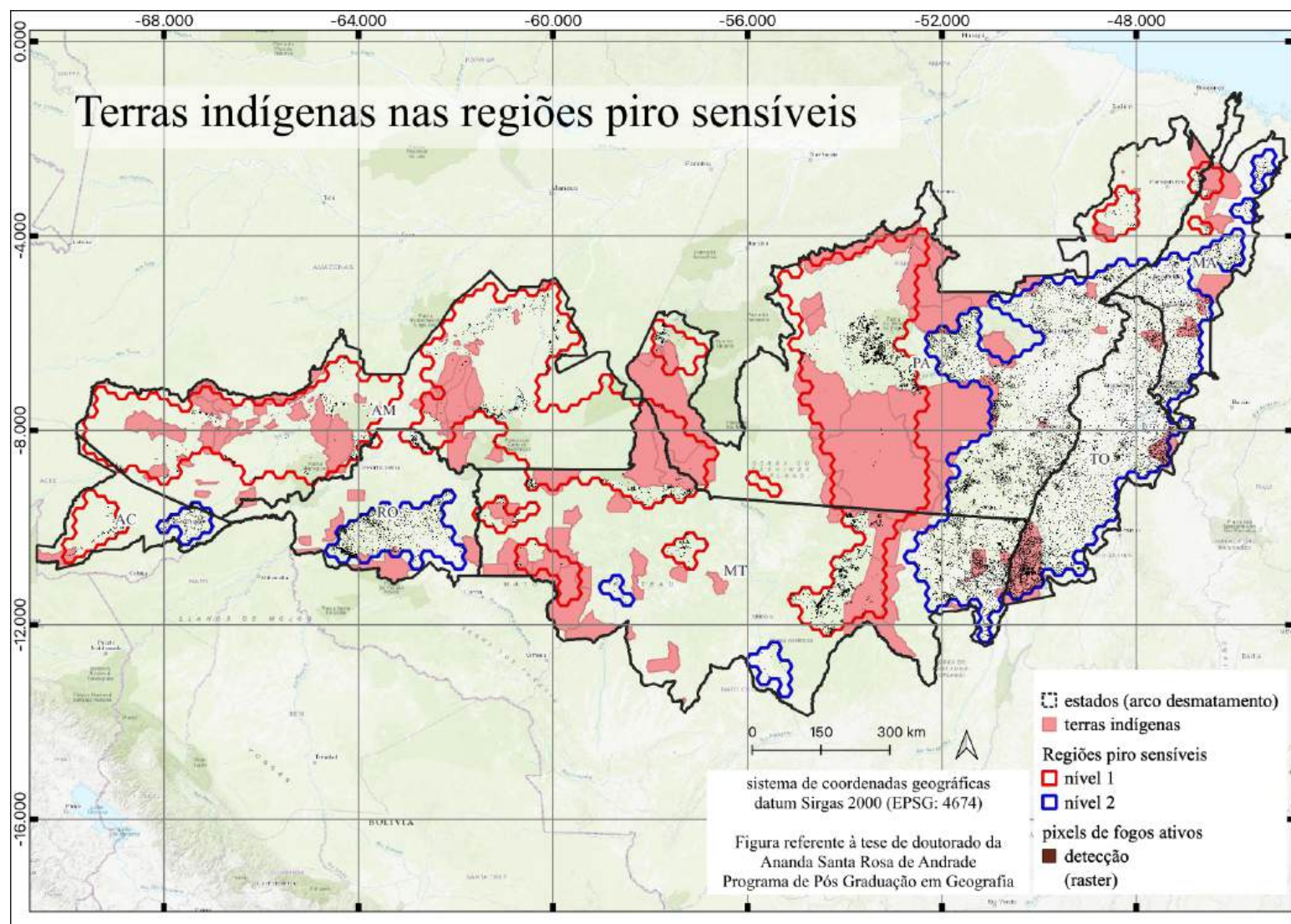


Figura 20. Distribuição espacial das terras indígenas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

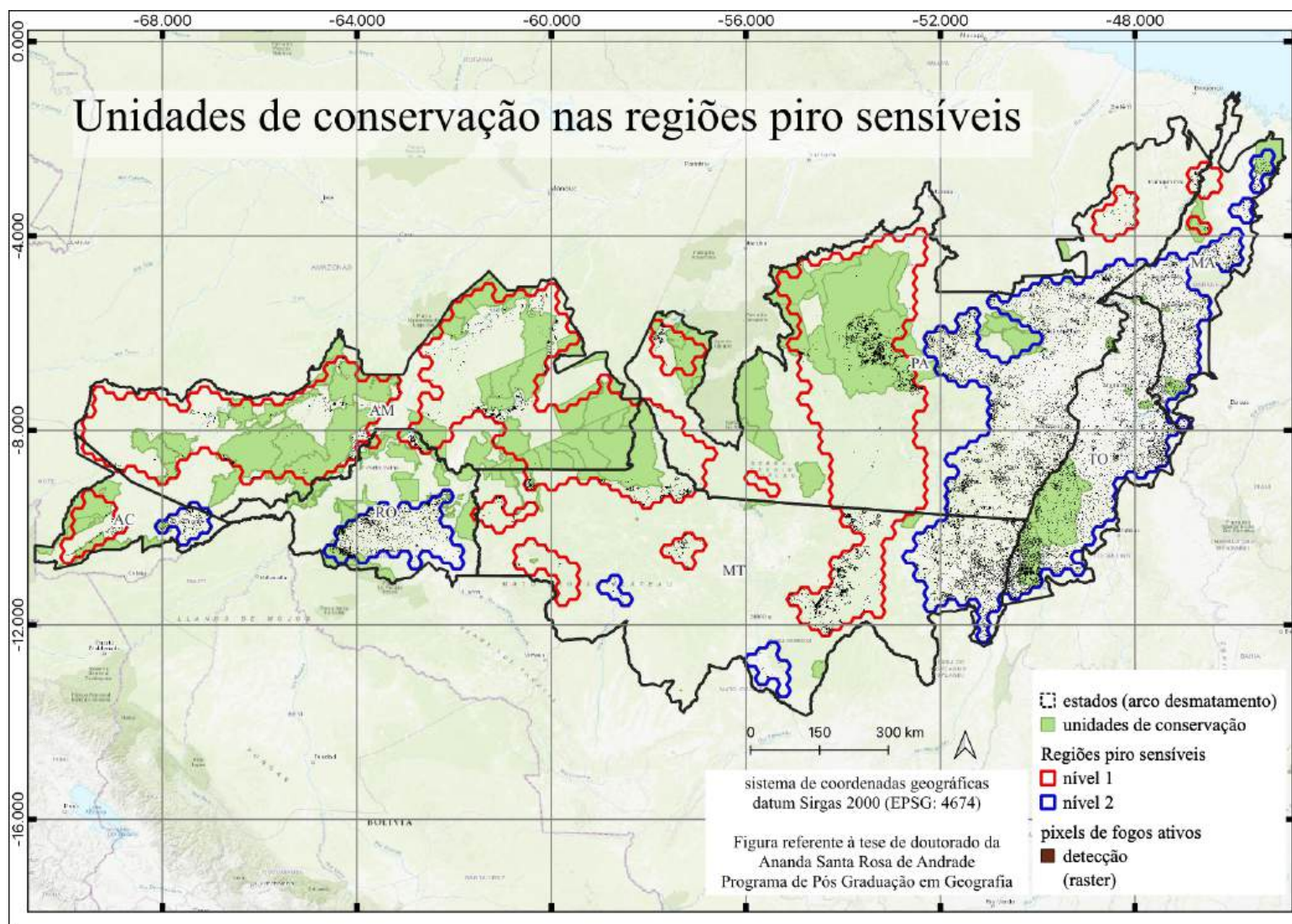


Figura 21. Distribuição espacial das unidades de conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

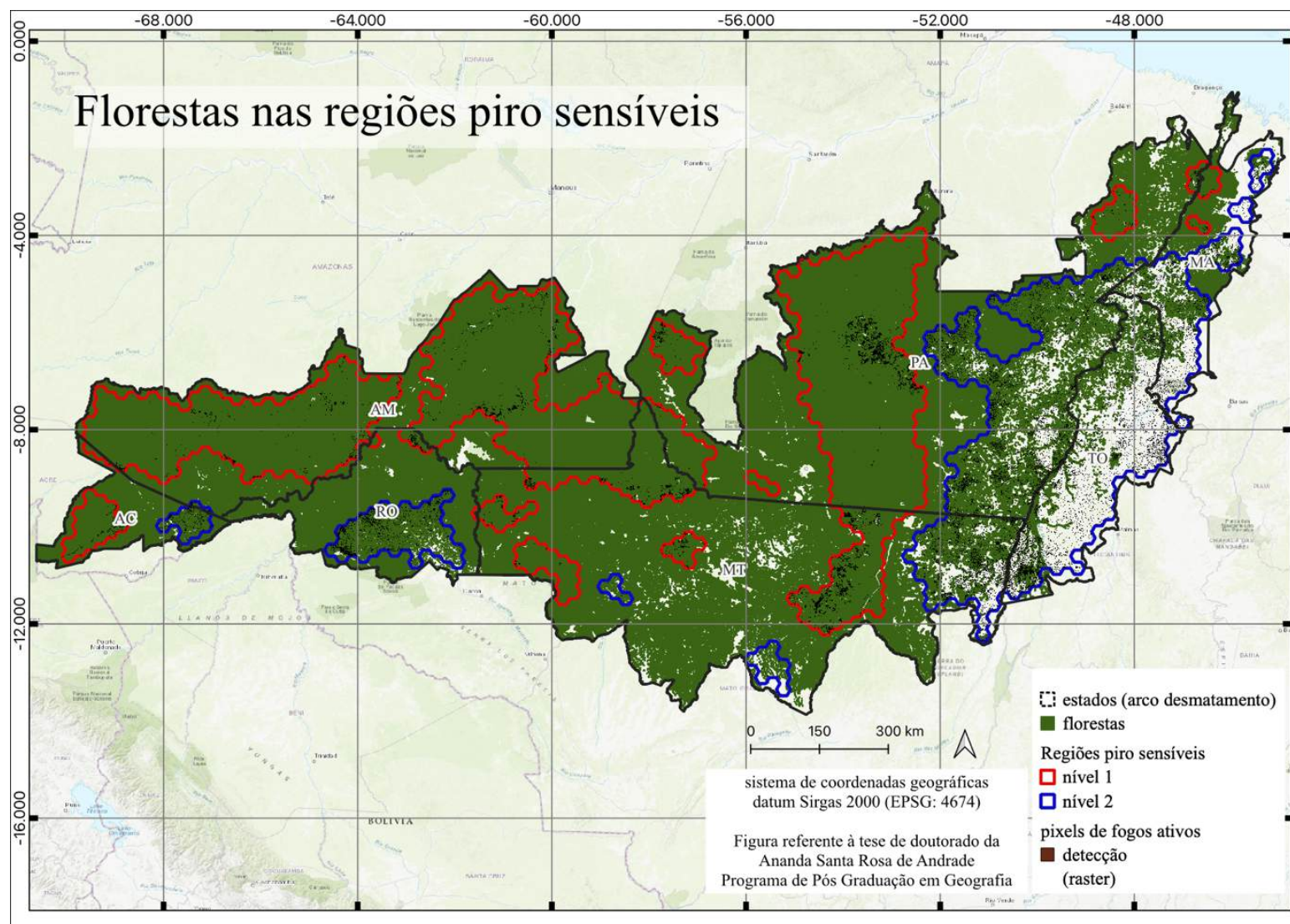


Figura 22. Distribuição espacial das áreas florestadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

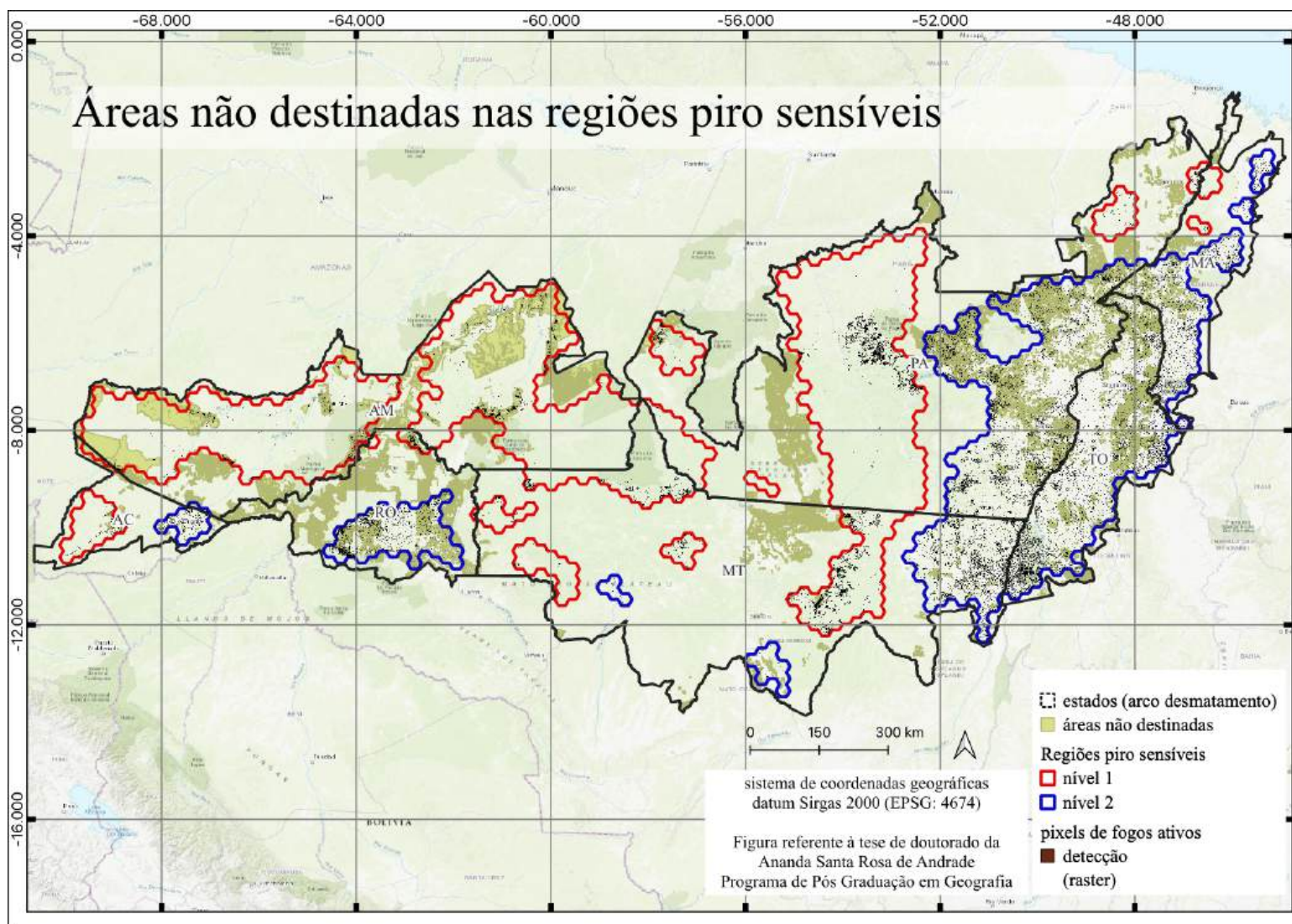


Figura 23. Distribuição espacial das áreas não destinadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

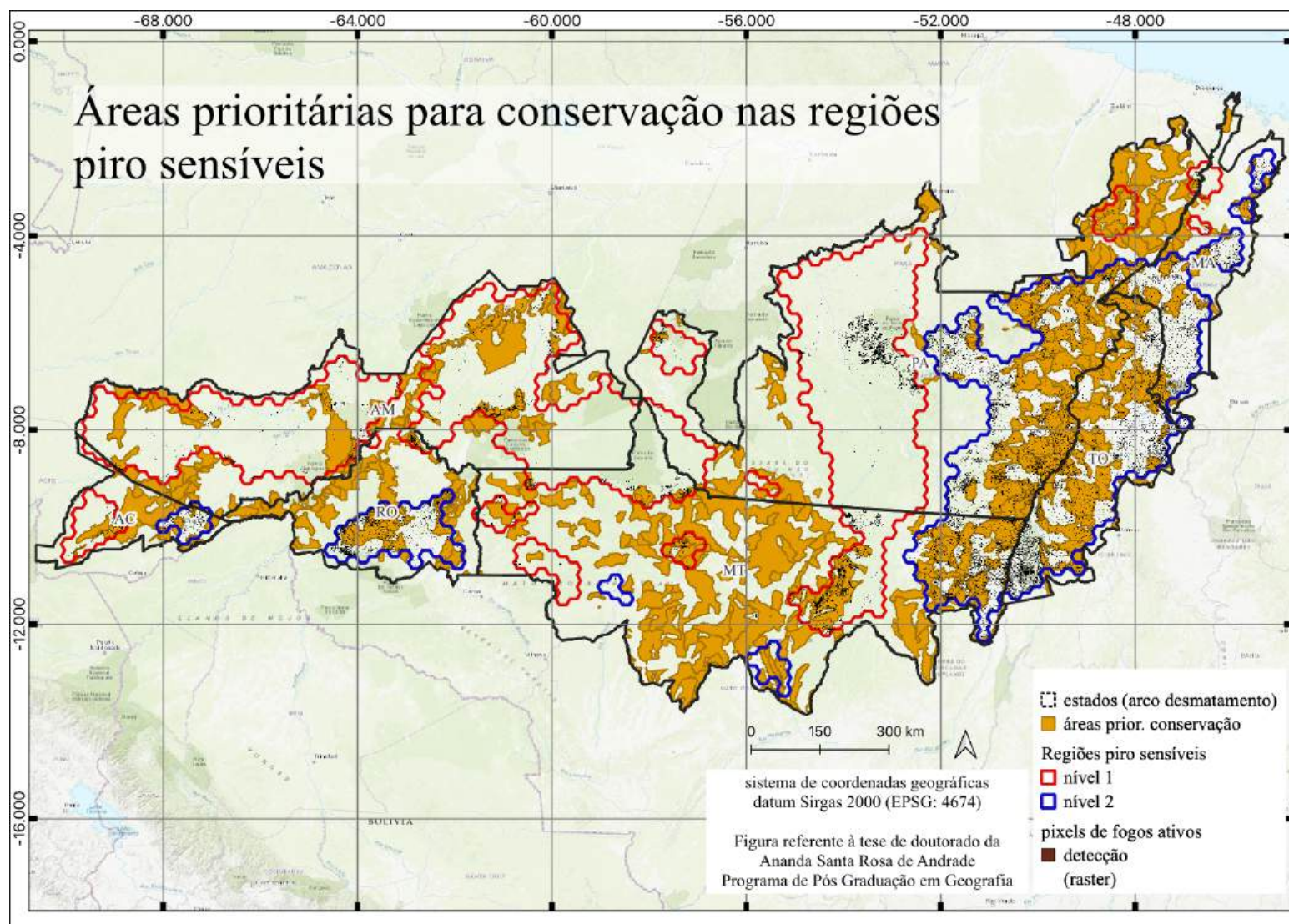


Figura 24. Distribuição espacial das áreas prioritárias para conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

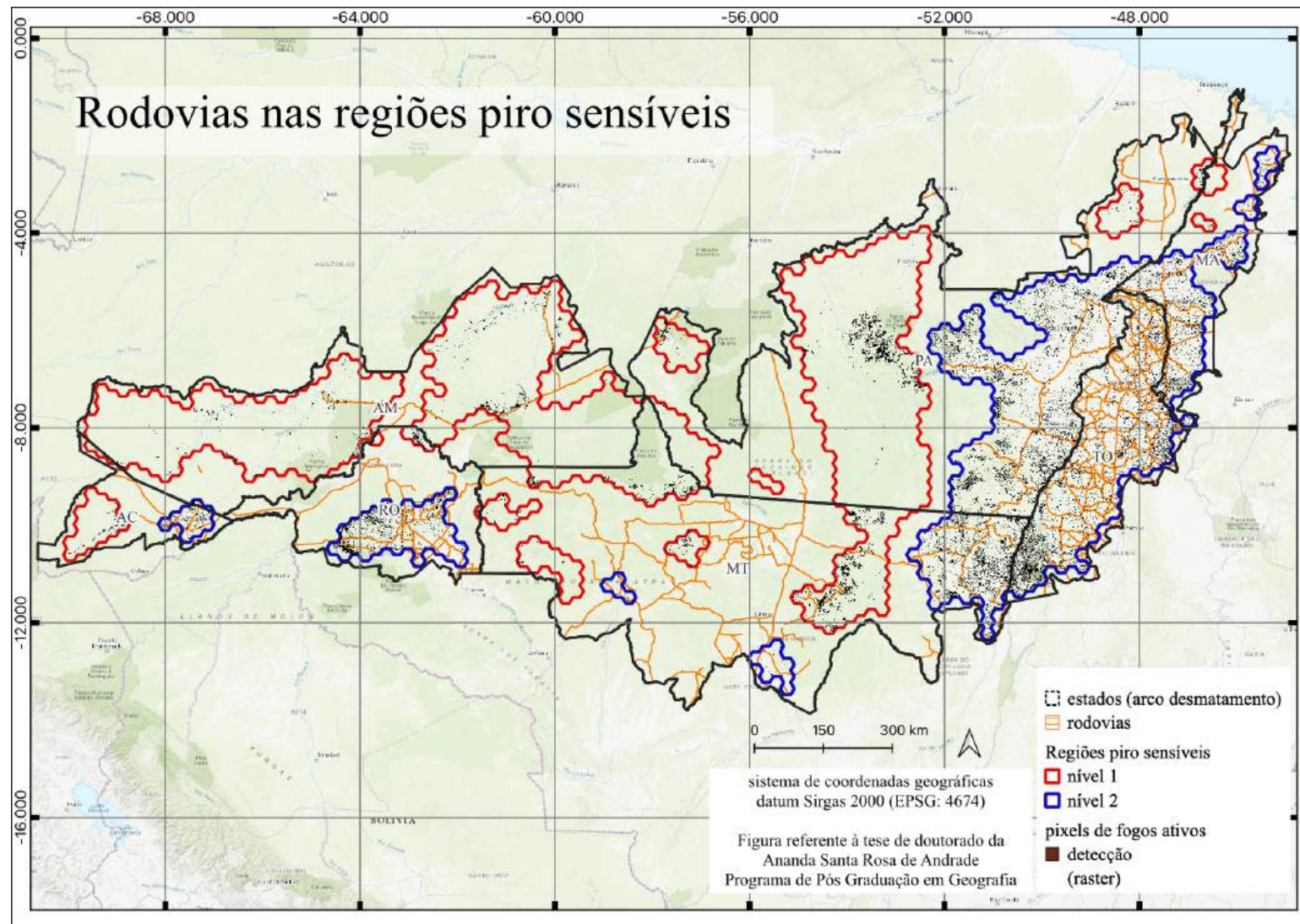


Figura 25. Distribuição espacial das rodovias e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

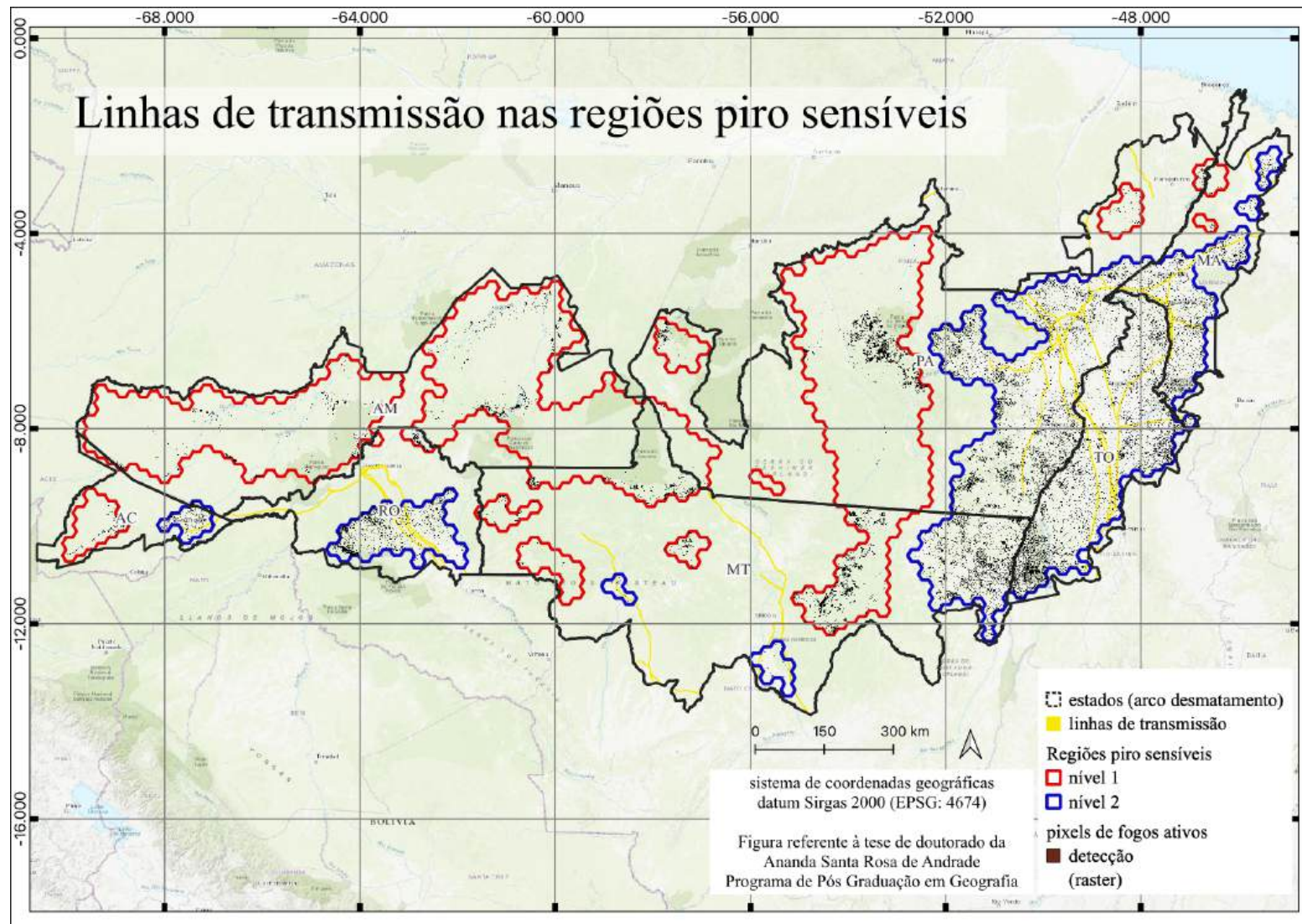


Figura 26. Distribuição espacial das linhas de transmissão e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

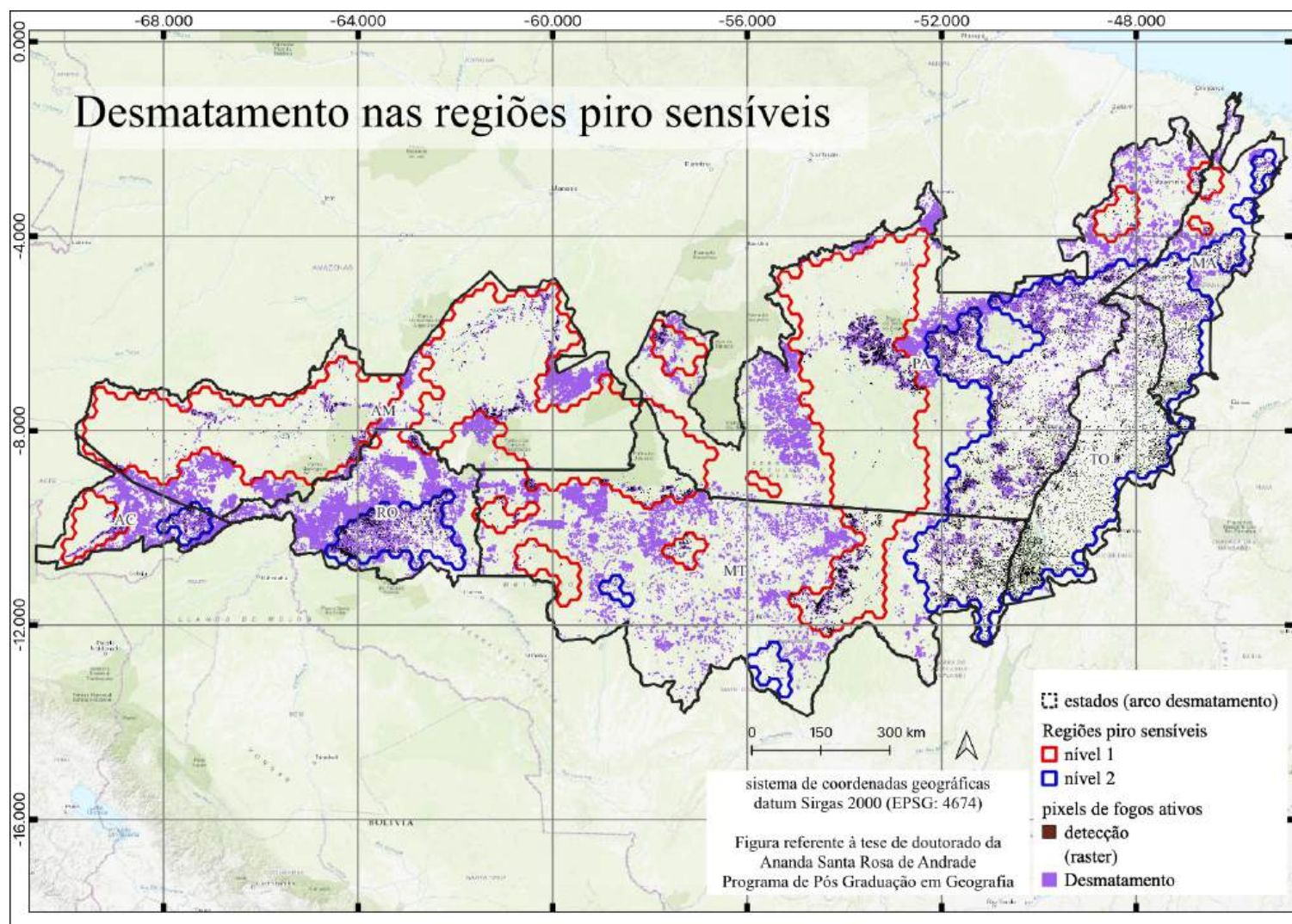


Figura 27. Distribuição espacial das áreas desmatadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

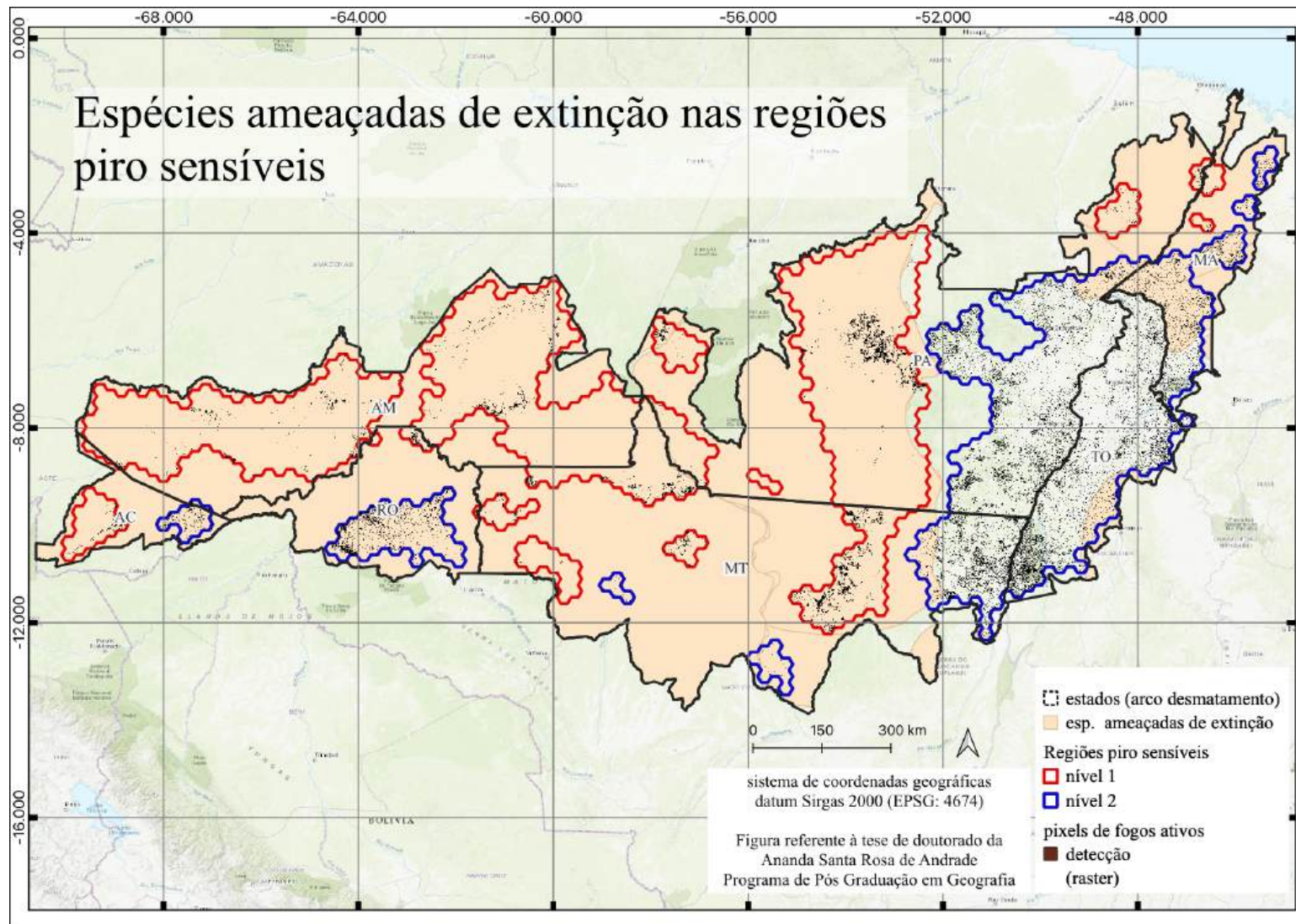


Figura 28. Distribuição espacial das áreas de dispersão das espécies ameaçadas de extinção e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

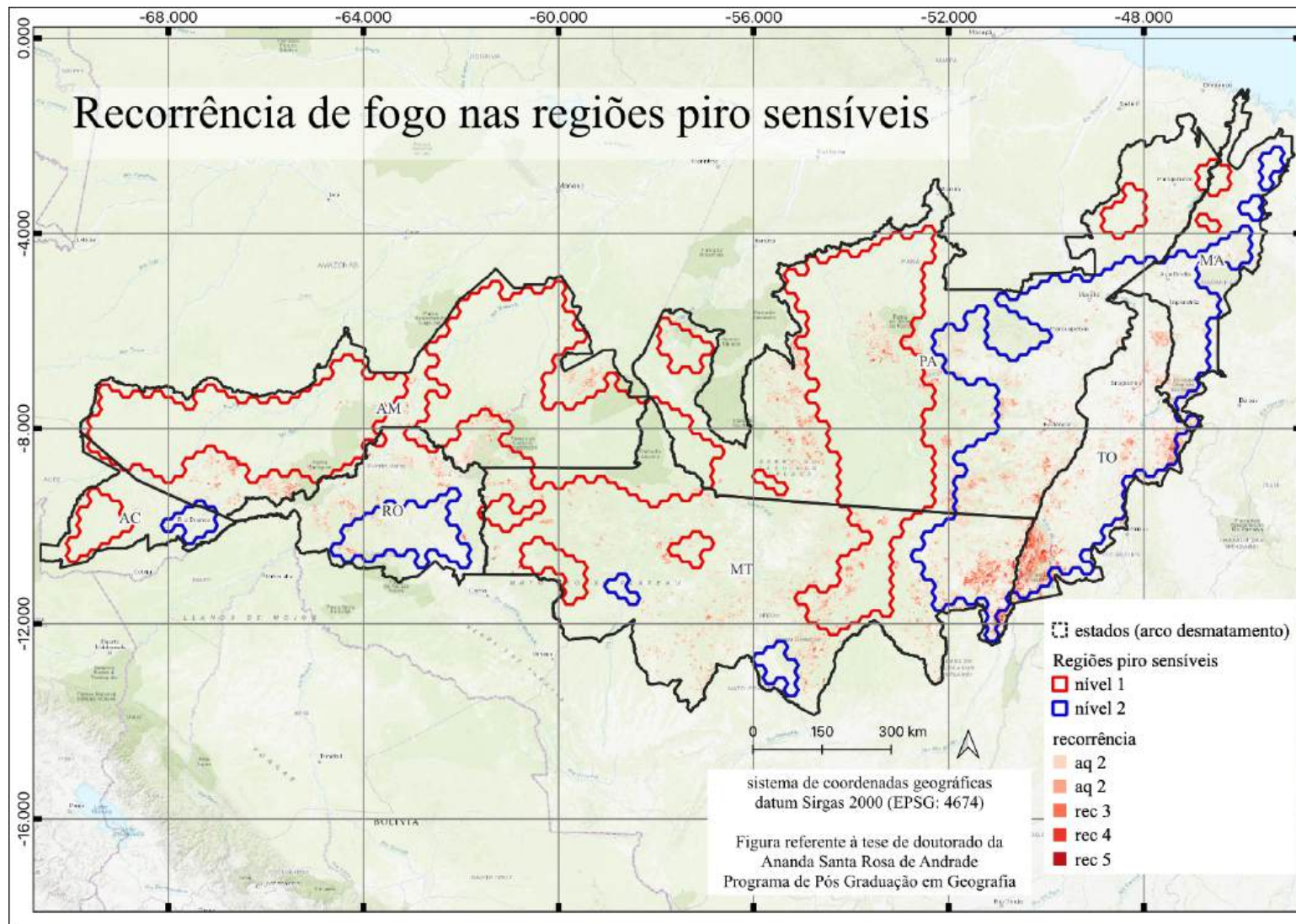


Figura 29. Distribuição espacial das áreas com recorrência de fogo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro sensíveis de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

2.3.4.1 Regiões piro críticas

As regiões piro críticas tiveram menor valor de índice de Moran ($i = 0,46$) (Figura 30) e pouca delimitação na região de nível 1 (apenas 27% em relação ao total de regiões piro críticas). Nível 2, teve sua preponderância; contudo, somando as duas, o valor total de área de abrangência no arco do desmatamento foram de 56 milhões de ha; ou seja, apenas 33% de área de ocupação, o que é bem inferior, comparado com as regiões piro sensíveis (Tabela 8).

Tabela 8. Área total e porcentagem de área das regiões críticas no arco do desmatamento.

região	área (ha)	% de área em relação ao total de regiões piro críticas	% de área em relação ao arco do desmatamento
1	15.408.479	27	9
2	40.813.655	73	24
TOTAL	56.222.134	100	33

Elaborado pela autora, 2025.

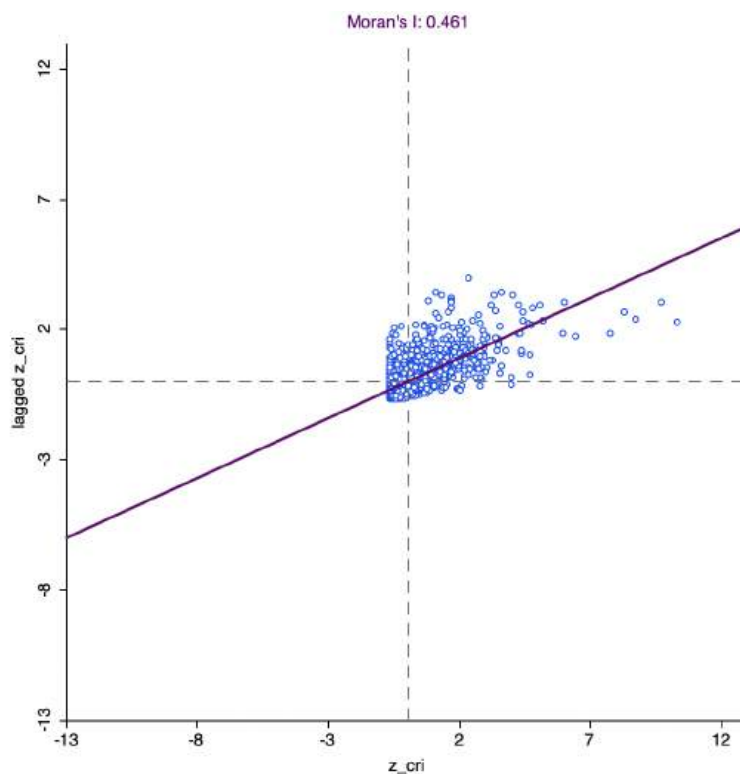


Figura 30. Resultado da distribuição dos valores do índice de Moran nas regiões piro críticas. Elaborado pela autora, 2025.

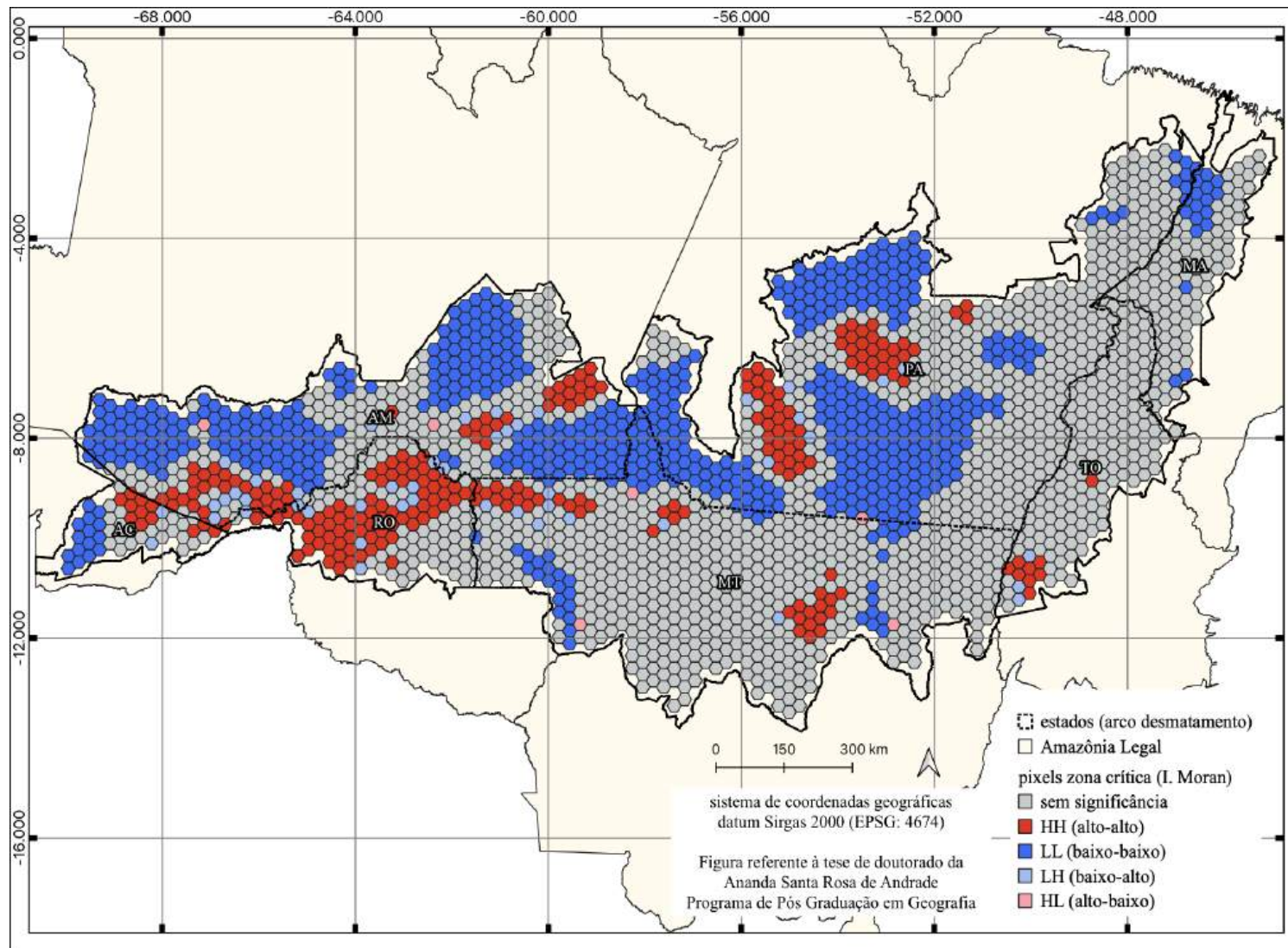


Figura 31. Mapa das células piro críticas no arco do desmatamento, a partir do índice de Moran. HH representa o nível 01 e LL representa o nível 2. LH e HL são *outliers*. Obs: Há células no mapa que não foram classificadas como região (junção inferior a 3 células). Elaborado pela autora, 2025

A maior parte das regiões está nos estados do Acre, Amazonas, Pará e Rondônia. Nos demais estados existem regiões, mas com proporções menos significativas (Figura 31).

As regiões piro críticas nível 1 apresentam uma boa contribuição das variáveis nas células, mas não igualmente às regiões de nível 2. Em ambas as regiões, houve maior taxa de abrangência de floresta (flo) e de espécies ameaçadas de extinção em perigo (esen), mas em diferentes escalas de porcentagem (Figuras 32 e 22).

As de nível 1, além destas duas variáveis, há também grande contribuição das áreas protegidas (ucpi, ucus e tir), espécies ameaçadas de extinção criticamente em perigo (eser) e área não destinada (and). Se apresentarem estas variáveis justamente nas regiões piro críticas é de suma preocupação, já que são áreas que também se compartilham a preocupação de sensibilidade e vulnerabilidade ambiental (Figura 32).

As regiões de nível 2 concentram terras indígenas regularizadas, áreas não destinadas e espécies criticamente em perigo (eser) (Figura 33).

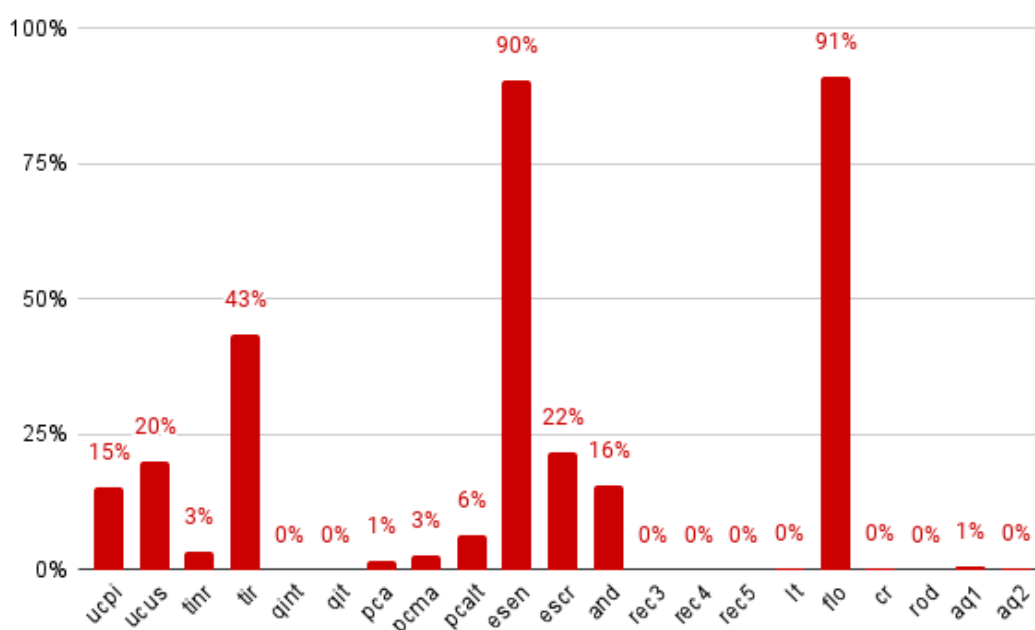


Figura 32. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro crítica 1 (HH). Elaborado pela autora, 2025.

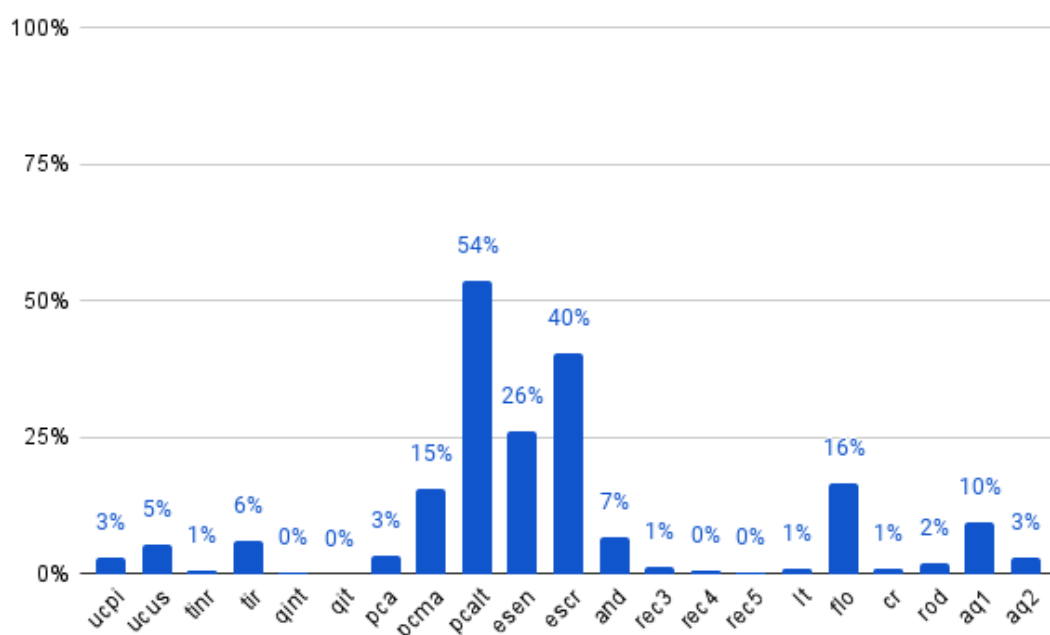


Figura 33. Taxas de concentração (em % de área) de cada variável nas regiões piro crítica 2 (LL). Elaborado pela autora, 2025.

O fogo nas regiões, dos anos de 2018 a 2022, está concentrado nas regiões piro críticas de nível 1, em especial nos estados do Acre, Rondônia e Pará (Figura 34). No Tocantins, assim como acontece em uma das regiões piro sensíveis de nível 1, a ilha do Bananal chama atenção e tem região piro crítica delimitada. Nas regiões de nível 2, o fogo se concentra ao nordeste do Amazonas e na porção central do Pará. No Maranhão, há apenas uma região, esta de nível 2, com pixels de fogo, que está no norte do estado.

Complementar às regiões piro sensíveis, as regiões críticas de nível 1 estão nas adjacências das unidades de conservação e terras indígenas; isto lhes confere mais uma razão de criticidade, devido à necessidade de garantir a integridade destas áreas protegidas (Figuras 35 e 36).

Uma preocupação se reserva sobre as áreas florestadas e áreas não destinadas do estado. Muitos pixels de fogo das regiões críticas foram detectados nestas áreas. Nas áreas florestadas, os pixels estão em áreas já próximas de áreas consolidadas (desmatamento) (Figura 37). Nas áreas não destinadas, a incidência é direta (Figura 38).

As áreas prioritárias para conservação têm pouca prevalência nas regiões, contudo, nas de nível 1 dos estados do Maranhão Acre, Rondônia e Mato Grosso há uma sobreposição significativa em concomitância com os *pixels* de fogo (Figura 39).

Em relação as rodovias, a região piro crítica de nível 1, que está no Pará, está sobreposta com a emblemática BR 163 (Figura 40), sempre relacionada, na literatura, pelas altas taxas de desmatamento em seu entorno ([SAAD et al., 2010](#); [GOLLNOW et al., 2018](#)). Além dela, as BRs 230 e 319, já descritas anteriormente, estão dentro das regiões piro críticas de nível 1, resguardando-lhes dupla importância para as atividades de prevenção e combate aos incêndios florestais.

Boa parte destes resultados, tem relação com o desmatamento que, para o período de estudo, tem forte intensidade no Acre, Pará e Rondônia, onde há, justamente, as regiões de nível 1 (Figura 41). Nos gráficos acima, apesar dos baixos valores para o total de hectares de desmate, em razão dos tamanhos dos polígonos (menores), há muitos fragmentos nestes estados em concomitância com a ocorrência de espécies ameaçadas de extinção (Figura 42).

Com estas vulnerabilidades presentes, não por menos, as taxas de recorrência de queimadas também estão presentes nas regiões piro críticas, especialmente nas de nível 1 (Figura 43).

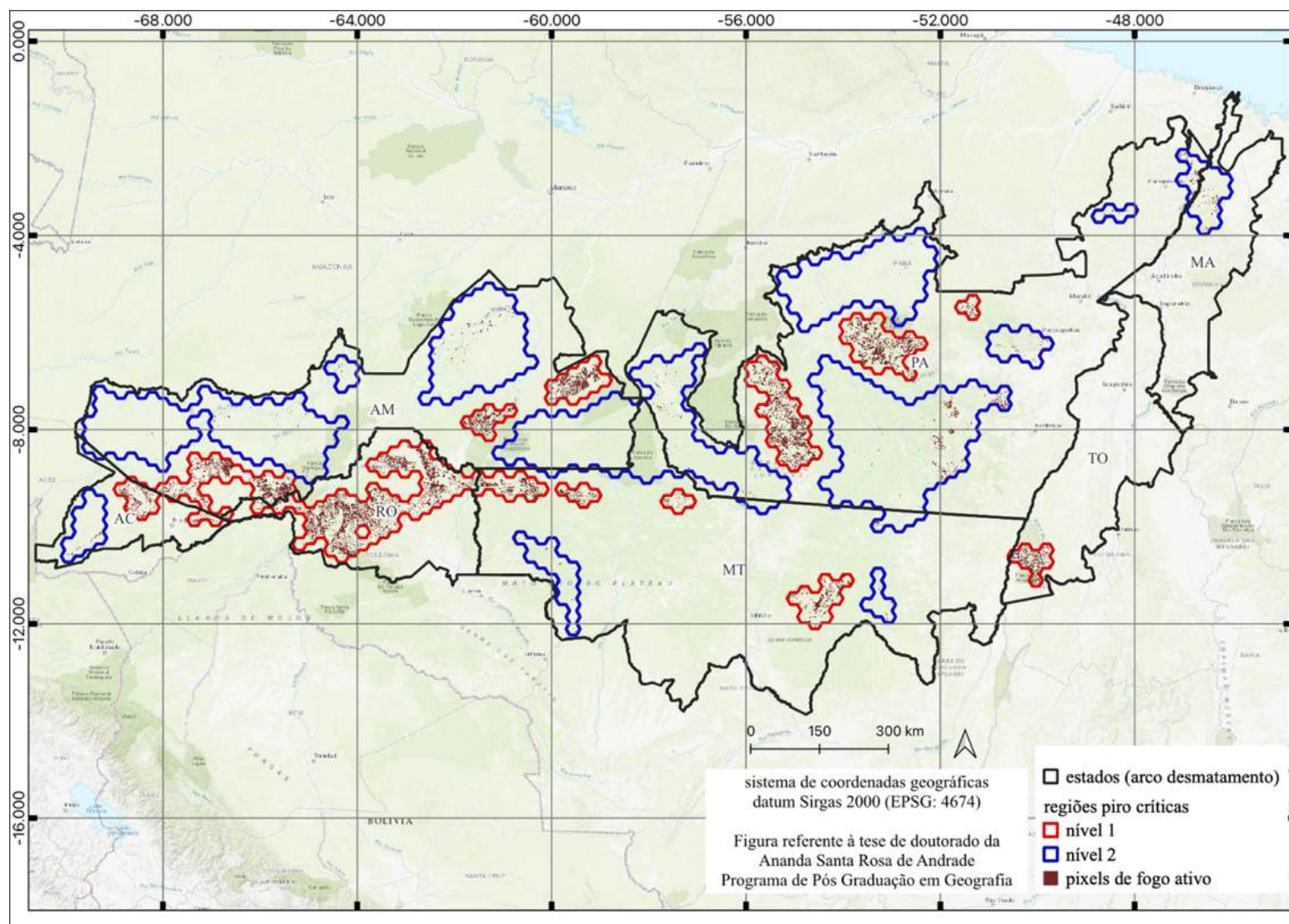


Figura 34. Distribuição de pixels de fogos ativos nas regiões piro críticas. Em vermelho, as de nível 01 e, em azul, as de nível 2. Os pixels de fogo ativo só foram apresentados, apenas, nas regiões. Elaborado pela autora, 2025.

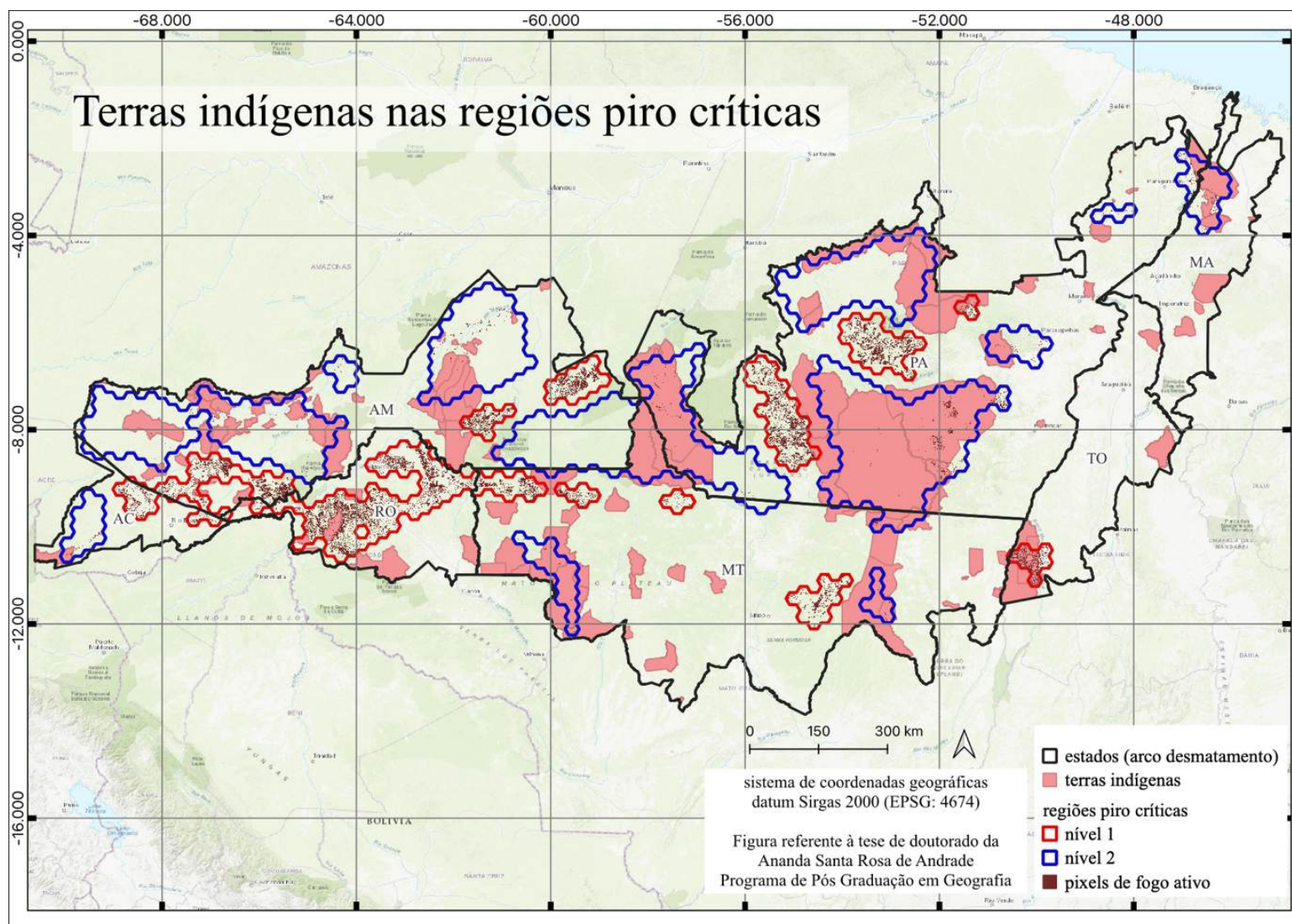


Figura 35. Distribuição espacial das terras indígenas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

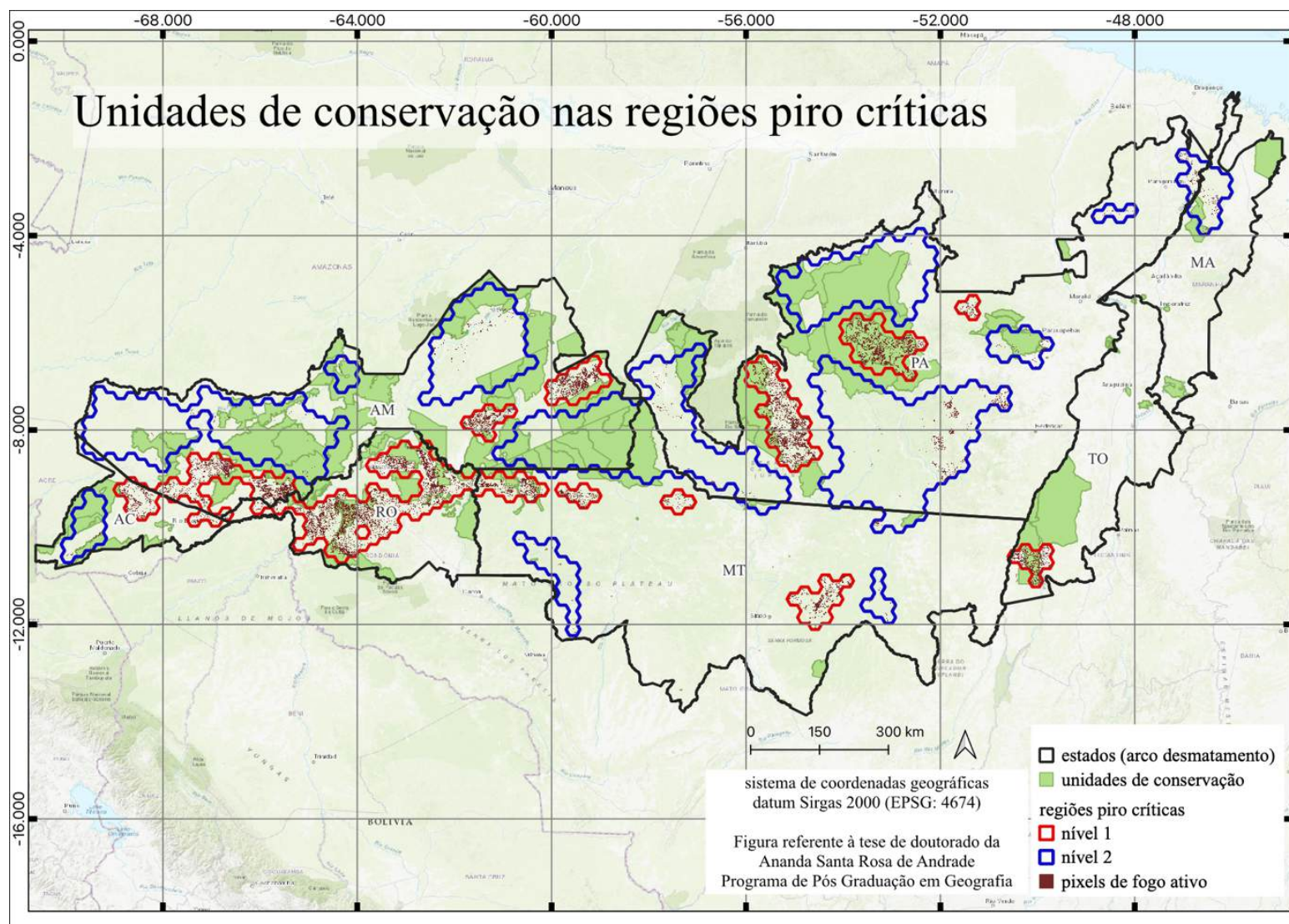


Figura 36. Distribuição espacial das unidades de conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

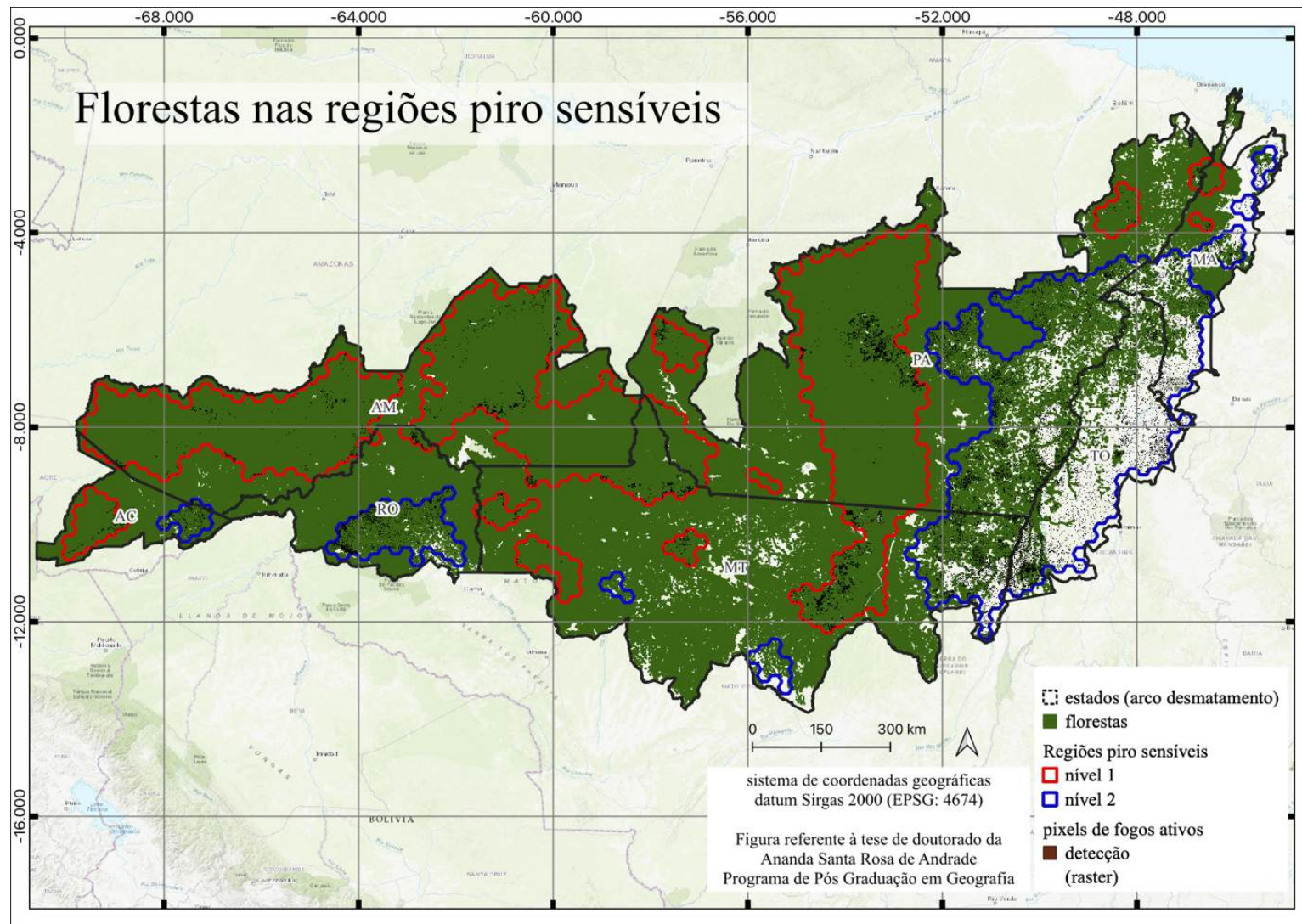


Figura 37. Distribuição espacial das áreas florestadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

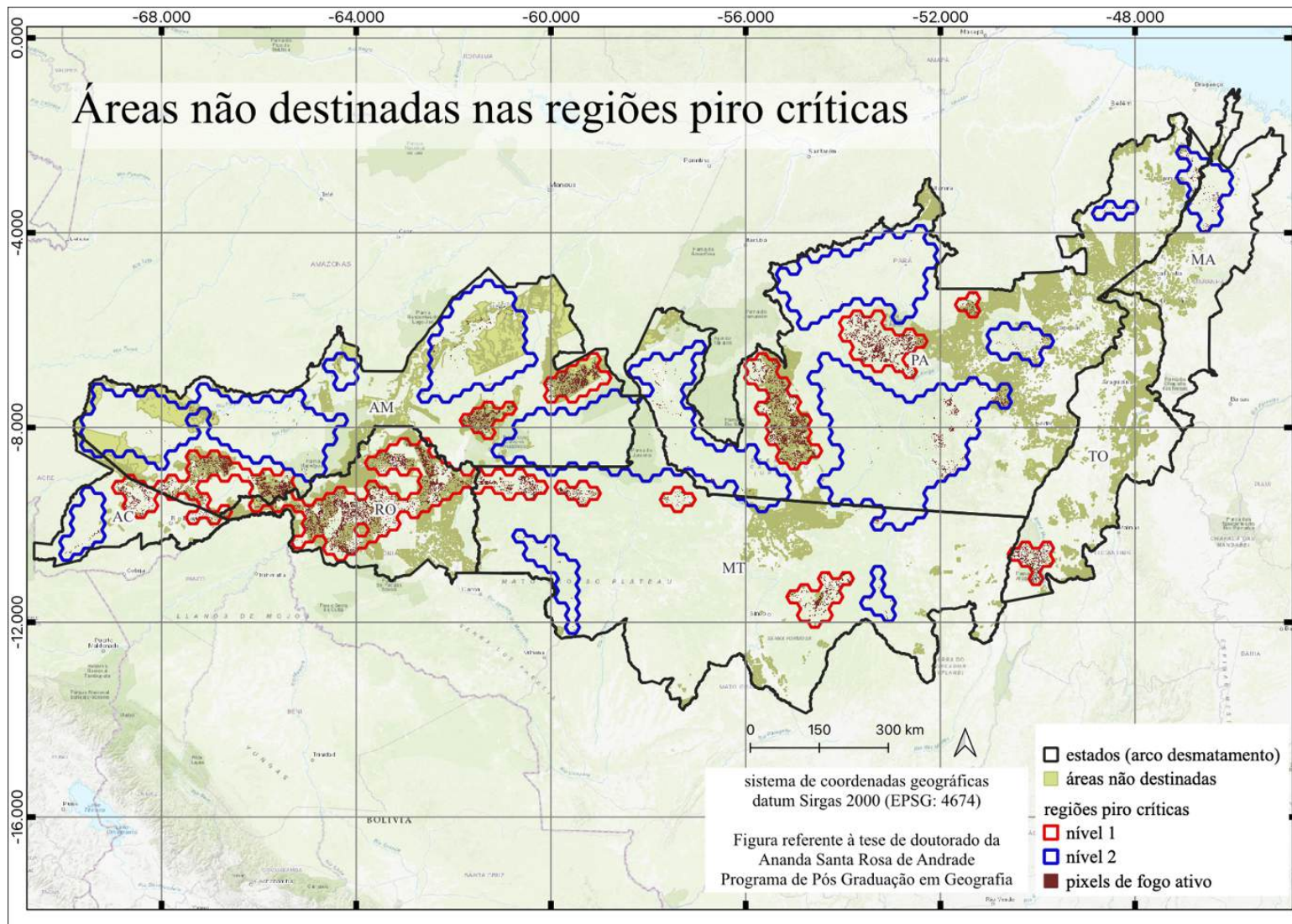


Figura 38. Distribuição espacial das áreas não destinadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

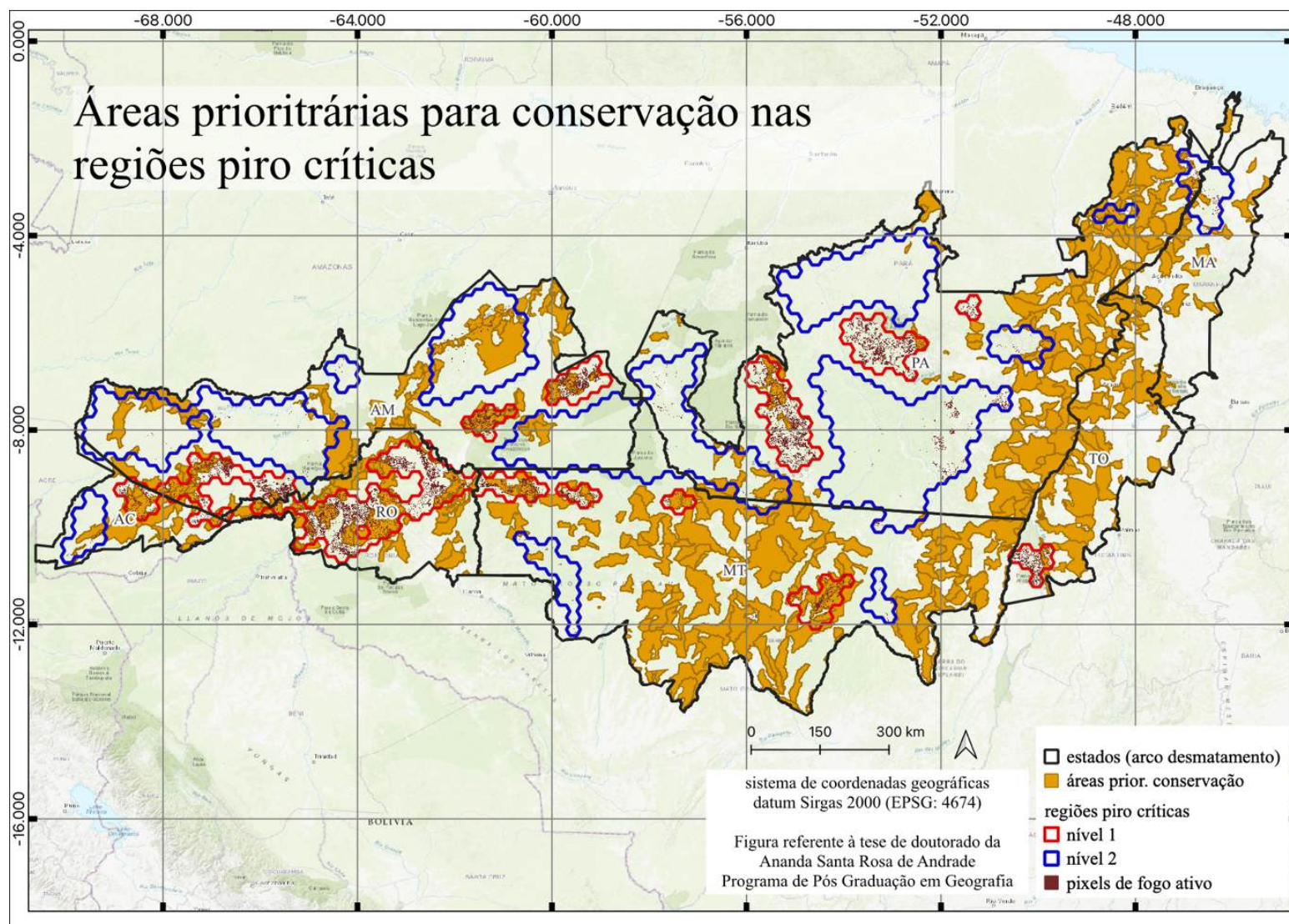


Figura 39. Distribuição espacial das áreas prioritárias para a conservação e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

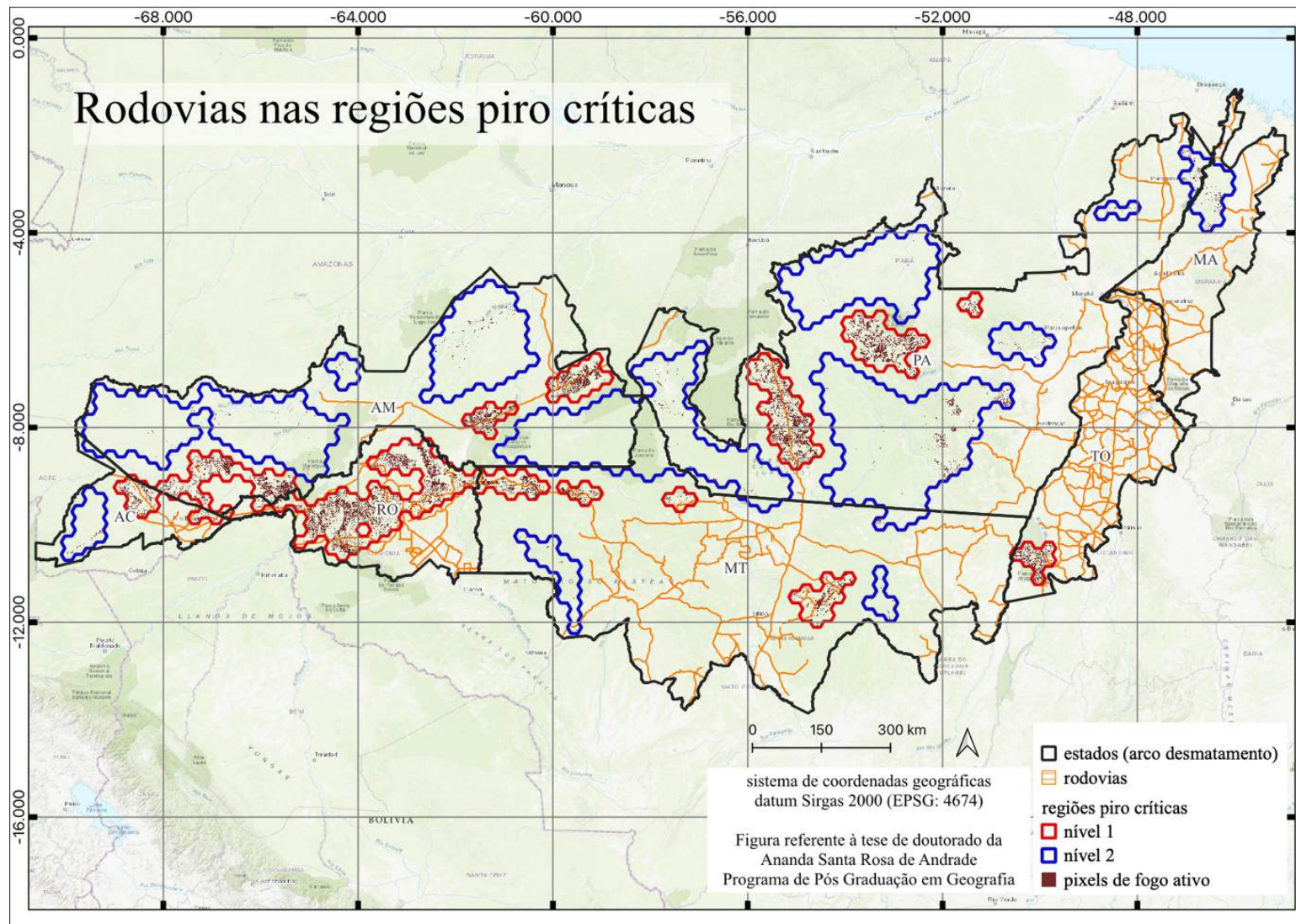


Figura 40. Distribuição espacial das rodovias e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

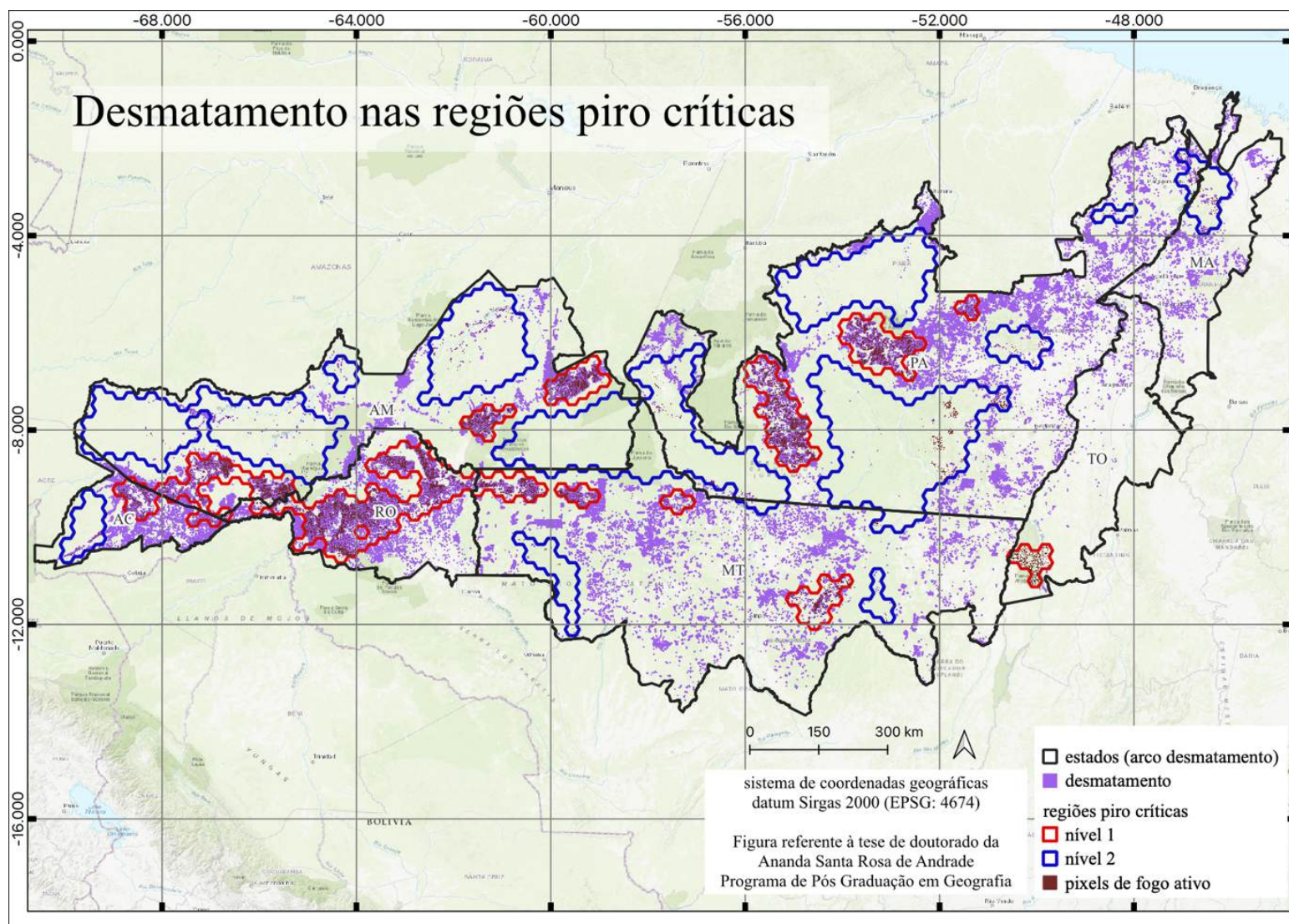


Figura 41. Distribuição espacial das áreas desmatadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

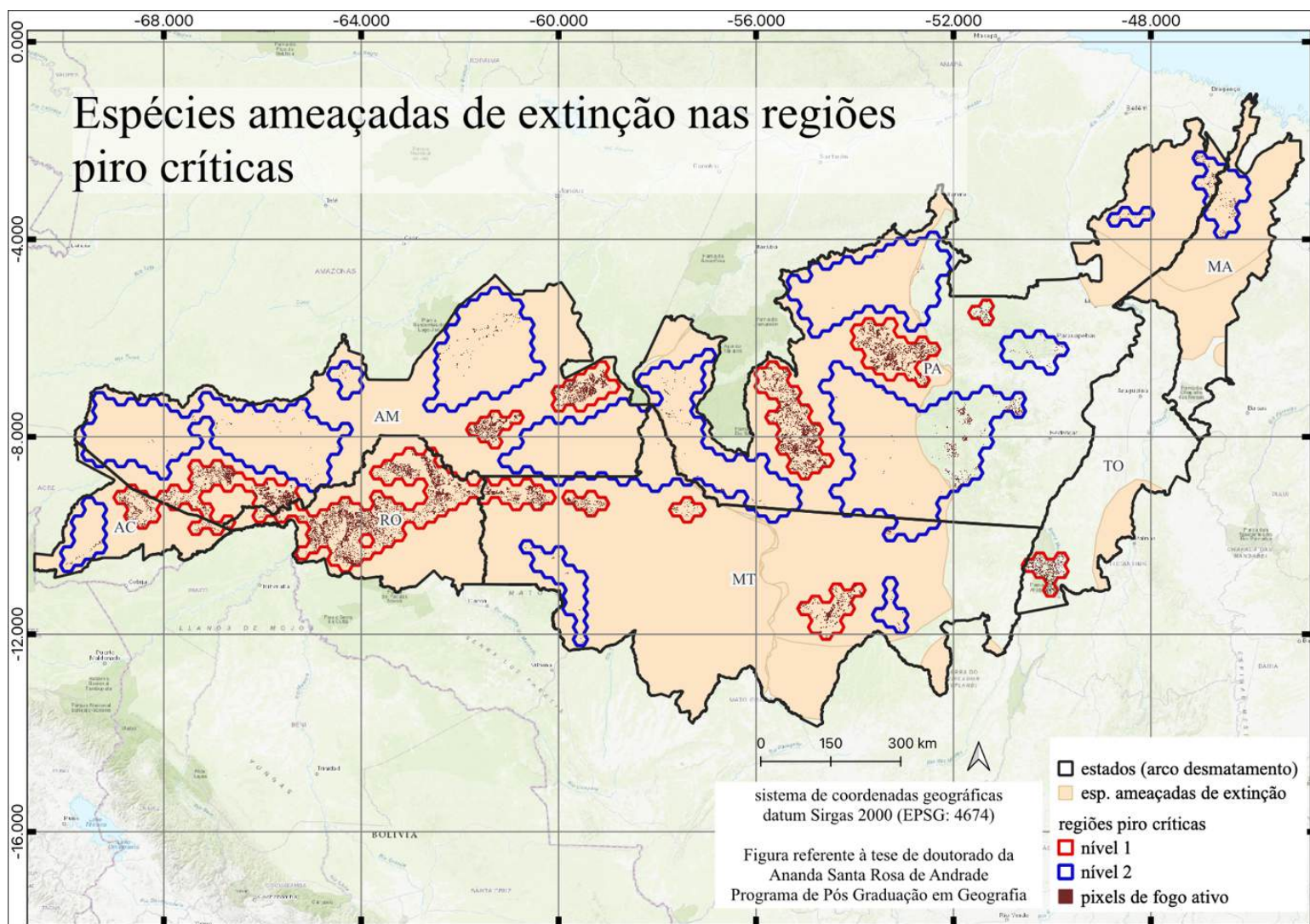


Figura 42. Distribuição espacial das espécies ameaçadas de extinção e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

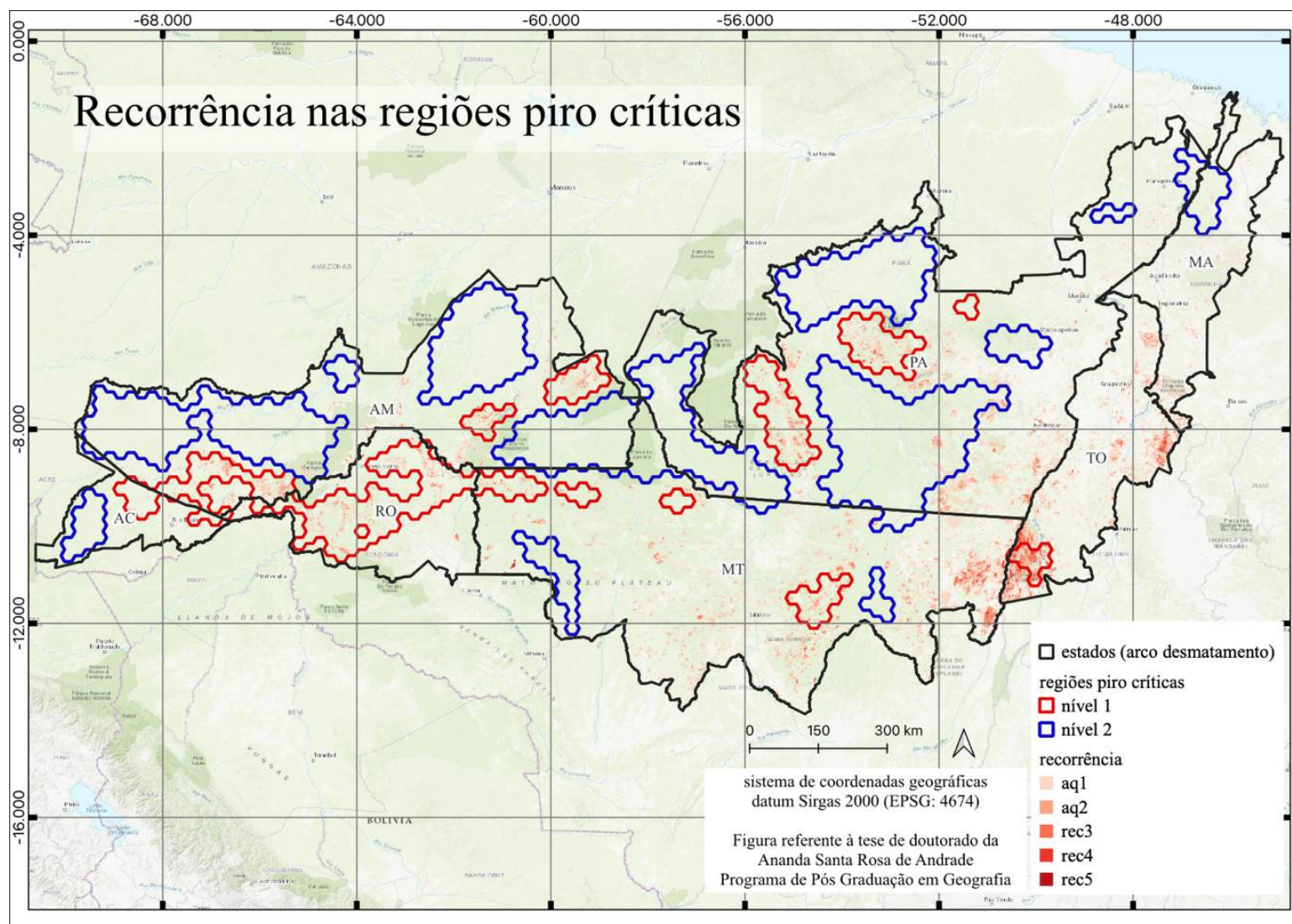


Figura 43. Distribuição espacial das áreas com recorrência de queimadas e dos pixels de fogo ativo no arco do desmatamento. Em destaque, as regiões piro críticas de nível 1 (vermelho) e nível 2 (azul). Elaborado pela autora, 2025.

Esta situação que foi exposta na definição das regiões e, subsequentes diagnósticos encontrados em relação às variáveis de estudo, demonstram que há a necessidade de repensar sobre a deflagração do fogo para evitar piores situações. Uma delas, que é menos perceptível aos olhos humanos, mas bastante sentido no corpo humano e na organização social, as mudanças climáticas.

2.3.5 E o clima nesta história?

No arco do desmatamento, há preponderância de formações florestais significativas, conforme evidenciado nos dados, todavia, não há qualquer garantia da manutenção delas.

A relação floresta “em pé” e clima já é largamente discutida pela comunidade científica ([FEARNSIDE, 2008](#); [LUO et al., 2018](#)), em razão da manutenção do clima, que pode influenciar regionalmente ou em outros biomas. Um exemplo disto, é o efeito do desmatamento na Amazônia no bioma Pantanal ([BOTTINO et al., 2024](#)) que, nos últimos anos, vem sofrendo com uma estiagem extrema e prolongada ([CUNHA et al., 2024](#)).

É complicado discutir esta situação, a partir da abrangência longitudinal do arco do desmatamento, em especial sobre os efeitos das mudanças climáticas em cada região aqui definida, seja piro crítica ou piro sensível.

De todo modo, a discussão, mesmo que generalista, é importante para responder à pergunta do tópico. A análise de anomalia de chuvas, de 1991 a 2022, já evidência uma queda da quantidade de precipitação (Figura 44). A partir de 2005, por coincidência, quando houve um dos *booms* de desmatamento, são verificados mais anos com valores de chuva abaixo da média, em relação toda a série histórica.

O gráfico de tendência arremata esta interpretação, sendo evidenciada uma queda mais significativa a partir de 2013 (Figura 45).

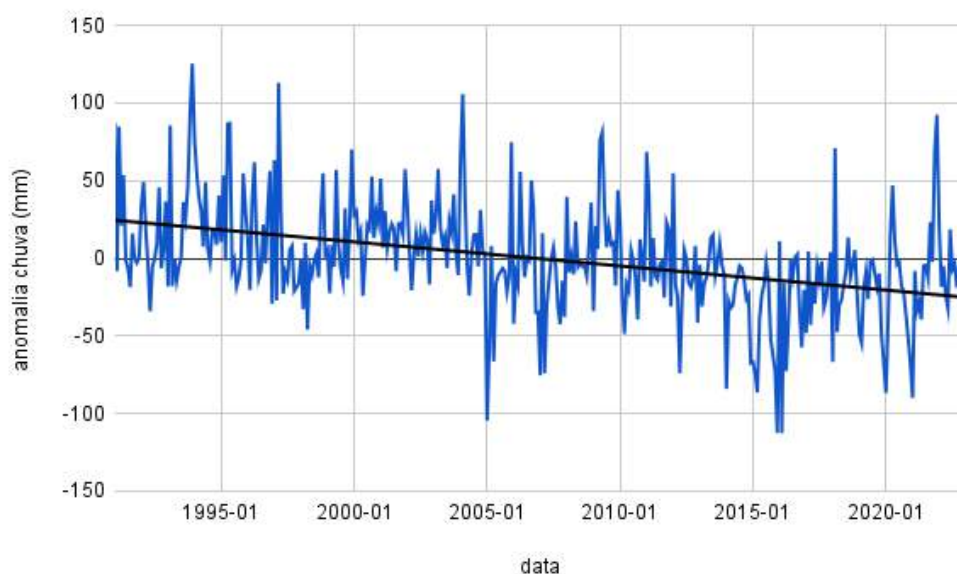


Figura 44. Anomalia de chuvas (mm) no período de 1991 a 2022. Elaborado pela autora, 2025.

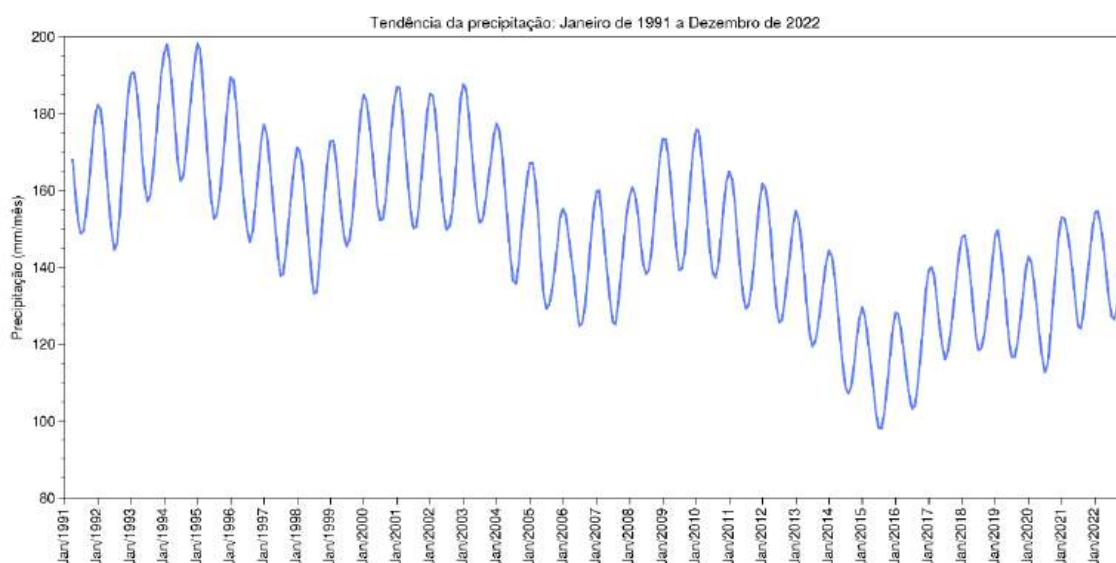


Figura 45. Tendência de precipitação (mm) ao nível de 95% de significância. Análise realizada para o período de 1990 a 2022. Elaborado por Guilherme Martins, 2025.

A anomalia e tendência das temperaturas máxima já é mais preocupante, em razão de evidenciar valores mais altos, comparados com a média, e uma mudança de padrão mais explícita (Figuras 46 e 47). Os maiores picos históricos estão a partir de 2010 e isto não é um fator positivo para os povos e comunidades tradicionais, que dependem das áreas e da ecologia local para sobrevivência e subsistência ([MENEZES e SANTOS BRUNO, 2017](#)).

Para corroborar as informações resultantes, alguns outros autores também já publicaram sobre no ano de 1989 ([LEAN e WARRILOW, 1989](#)).

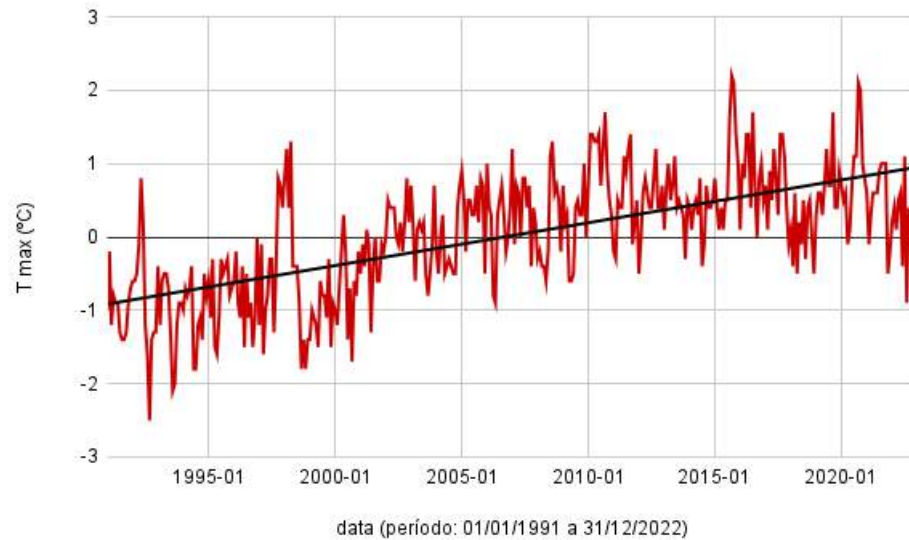


Figura 46. Anomalia de temperatura máxima (°C) no período de 1991 a 2022. Elaborado pela autora, 2025.

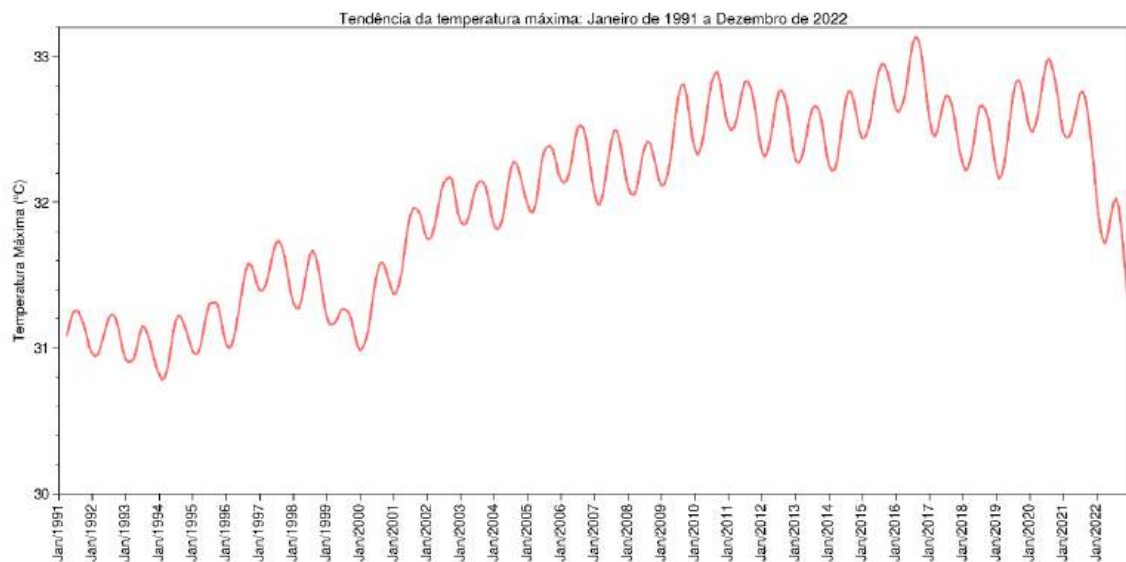


Figura 47. Tendência de temperatura máxima (°C) ao nível de 95% de significância. Análise realizada para o período de 1990 a 2022. Elaborado por Guilherme Martins, 2025.

Estes resultados podem ser também resultantes de um efeito específico das mudanças climáticas, que é o aumento das ocorrências dos eventos El Niño e La Niña em um curto espaço do tempo ([WANG et al., 2023](#); [LI DING, 2024](#)).

Ambos os eventos são naturais e impactam o clima globalmente, a partir do aquecimento (El Niño) e resfriamento (El Niña) de regiões específicas do oceano Pacífico; contudo, o El Niño se caracteriza pelo aumento de chuvas na região sul, sudeste e parte do centro-oeste, e aumento de secas na região norte, nordeste e parte norte da região centro-oeste. O efeito La Niña, em território brasileiro, tem padrão oposto ([CPTEC, 2024](#)).

Com anos mais secos na Amazônia, a tendência é o aumento dos incêndios florestais, já que, proporcionalmente, aumenta a quantidade de combustível orgânico e a perda de controle do fogo ([JUNIOR et al., 2024](#)).

Para se retroalimentar, os incêndios também contribuem para o aumento significativo de emissões de gás carbônico (CO₂), a partir da queima de biomassa, que tem o carbono armazenado nela ([ALENCAR et al., 2006](#); [LEHSTEN et al., 2009](#)). Ademais, as queimadas descontroladas tem efeitos duradouros que repercutem na capacidade de regeneração da vegetação nativa; por consequência, na capacidade de absorver carbono.

Apesar de tudo, existem meios para desacelerar esta realidade, por meio da regionalização da Amazônia.

2.3.5 Como mudar o cenário do fogo no arco do desmatamento a partir do uso das piro regiões na definição e execução de políticas públicas?

O impacto do fogo no arco do desmatamento suscita preocupações ambientais significativas, já que a região é complexa e o problema do fogo está longe de acabar. Algumas áreas já tem seu uso consolidado e outras passam a ser novas fronteiras de recorrência, como o Acre e Rondônia.

Proteger áreas que resguardam as formações florestais e os povos tradicionais tem o seu papel de importância, mas, em pesquisa bibliográfica, não foi localizado nenhum dispositivo (legal ou político) que antevêja os incêndios nas regiões piro sensíveis. As políticas, de um

modo geral, são movidas na escala da emergência ambiental em **determinadas** (grito da autora) terras indígenas e unidades de conservação ([MORELLO et al., 2020](#); [OLIVEIRA et al., 2022](#); [SILVÉRIO et al., 2022](#)). Anterior a Lei Complementar (LC) 140 de 08 de dezembro de 2011 ([BRASIL, 2011](#)) e a criação do Instituto Nacional Chico Mendes e de Conservação da Biodiversidade - Icmbio, ainda ocorriam ações a nível municipal, mas isto passou a ser desconsiderado. Apesar de diversas contribuições científicas sobre risco e vulnerabilidade dos incêndios (algumas delas: [Aeda et al. \(2011\)](#), [Lemos et al. \(2021\)](#) e [Silva et al. \(2024\)](#)), além de modelos criados, como do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais⁶ e da Universidade Federal do Rio de Janeiro⁷, nada convém sobre áreas de atuação que dispõe as variáveis apresentadas.

De forma muito clara e como previsto, os resultados demonstraram que as formações florestais e muitas áreas protegidas estão desamparadas. Não por menos, as áreas não destinadas estão altamente vulneráveis, dada a incidência do fogo e a falta de gestão pública. Ademais, já existem diversas vicinais e vias que abrem as “escamas de peixe” de desmatamento nas áreas piro sensíveis, além de estarem em bordas de áreas onde já ocorrem desmates. Essa prática não apenas contribui para a degradação ambiental, mas também impacta a biodiversidade local e as emissões de gases de efeito estufa, o que reforça a necessidade de políticas de proteção e manejo sustentável no arco do desmatamento ([CSILLIK et al., 2024](#)).

Antever os incêndios nelas reduz, significativamente, os custos ambientais antes de serem detectadas como corte raso ou degradação. Uma outra forma, a médio prazo, para isto se resolver, é decretar novas unidades de conservação, regularizar as terras indígenas e dar finalidade às áreas não destinadas. Isto também envolve um aporte de recurso vultoso; todavia, acordos internacionais provenientes das convenções das partes (COPs), cooperações internacionais e trabalhos junto a iniciativa privada podem subsidiar este investimento ([SOARES-FILHO et al., 2010](#)). Além disso, o resultado a longo prazo, é a redução de emissões, a conservação ambiental e o cumprimento de metas de acordos e tratados resultantes das COPs.

Quanto as regiões piro críticas, estas estão mais absortas às finalidades econômicas e a manutenção social, já que parte das variáveis tem relação com empreendimentos (rodovias e linhas de transmissão) e desmatamento (muitas das vezes causado pelos usos agrícola e

⁶ Disponível em: <<https://panorama.sipam.gov.br/painel-do-fogo/>> Acesso em: 27 dez. 2024.

⁷ Disponível em: <<https://alarmes.lasa.ufrrj.br/>> Acesso em 27 dez. 2024.

agropecuário). Um possível caminho para mudar a criticidade é o trabalho com o setor privado. E.g.: com a construção e pavimentação de uma rodovia, a concessionária responsável pode prever atividades e ações ambientais junto com a comunidade e organizações civis locais.

Outrossim, ainda que é prevista a existência do fogo nelas, estas regiões não deixam de alavancar inquietações, visto que há também ocupação de variáveis sensíveis nela; assim como, a ocorrência contínua do fogo encaminha para redução da biodiversidade e desmatamento. O investimento do paradigma do manejo integrado do fogo nelas é imprescindível. Não há como reduzir os incidentes sem repensar o uso do fogo, através de instrumentos como a educação ambiental, as queimas prescritas, o uso tradicional do fogo etc ([BOAVENTURA et al., 2020](#); [SANTOS et al., 2021](#)).

De forma geral (para ambos os tipos de piro regiões), é necessário pensar a cooperação entre os três poderes – federal, estadual e municipal – para a execução de políticas e ações ambientais. Devido à abrangência municipal e estadual do arco do desmatamento, e da existência de áreas da união, não há corpo técnico suficiente para trabalho e atendimento em todas as áreas. O Icmbio e o Ibama têm programas de contratação de brigadas; contudo, são em nível estadual, poucos estados que tem contratação de brigadas. Na modalidade municipal, não foram localizadas brigadas contratadas pelo município (geralmente, as ações e organização são da sociedade civil, de forma voluntária). Antes de tudo, é necessário pensar em uma política cooperativa e com aporte de recursos.

Conjuntamente, os orçamentos anuais dos órgãos de comando e controle precisam ser revistos com urgência. A cada ano, a demanda e o trabalho aumentam, então, os servidores ficam sobrecarregados. Já existem políticas eficazes que não podem ser desmerecidas, como as operações de fiscalização e de combate e prevenção aos incêndios florestais, que tem um trabalho sobrenatural para fazer dar certo. Contudo, o Ministério do Meio Ambiente - MMA ainda engatinha para conseguir resolver o problema dos incêndios, que ficou evidente nas regiões piro críticas.

Corpos de Bombeiro Militares também tem sua capacidade reduzida, já que a função de cada bombeiro não é única e exclusiva do combate aos incêndios. É válido pensar em programas do CBM para ter equipes específicas para atuar na pauta dos incêndios também são fundamentais.

Caso o cenário se mantenha e mais florestas sejam impactadas por fogo, enquanto os resultados de tendências demonstram redução de chuva e aumento de temperatura, pode-se esperar uma maior suscetibilidade aos incêndios, mudança dos modos de vida dos povos tradicionais, mais incidentes envolvendo mega incêndios, mais calor e menos chuva.

Então, dentro do que foi discutido até aqui, a delimitação das piro regiões pode ser um passo para a elaboração de um programa específico, com vias a entender onde, como, porque e quem para atuar contra os incêndios. Isto vai muito além do que existe hoje e este é o diferencial deste trabalho. Ainda que não seja objeto desta tese, ter a delimitação delas também auxilia o formulador de políticas a investigar a fundo o que tem dentro destas áreas à nível socio territorial, o que subsidia melhor os passos de atuação.

O estudo se fecha, mas a inquietude jamais: será que o Brasil vai mudar a forma de agir, a fim de manter as regiões piro sensíveis resguardadas e as regiões piro críticas mitigadas, ou a realidade é um *déjà vu* do futuro das políticas ambientais?

4 CONSIDERAÇÕES

As piro regiões estão em todos os estados que compõe o arco do desmatamento. A distribuição delas variou conforme distribuição e peso das variáveis e houve valiosas observações, perante os resultados. Uma delas, a importância da delimitação das regiões piro-sensíveis. Onde elas foram localizadas e o que as compõe foi valioso para compreender o nível de vulnerabilidade em relação ao fogo e como é importante ter o olhar de antever o incidente, não apenas considerando instrumentos de prevenção em áreas com recorrência de fogo. Muitas áreas inclusive, tem registro de povos indígenas isolados, o que aumenta a vulnerabilidade e preocupação das atividades em relação às ameaças territoriais.

Por outro lado, as regiões piro críticas estão em áreas de uso econômico, adjacentes as regiões piro críticas (em alguns casos) e tem taxas de detecção de fogo ativo. Ações de manejo integrado do fogo, dentro da expertise muito bem desenvolvida pelos órgãos de comando controle brasileiros, são imprescindíveis. Contudo, é importante frisar que a recorrência dos incêndios também é uma realidade, bem cruel, diga-se de passagem.

O cenário, quanto aos valores de chuva e precipitação, não se demonstrou nada favorável, em caso de aumento de desmatamento e de incêndios. A quantidade de gases de efeito estufa que possa vir a ser emitido vai ser diretamente proporcional a perda florestal. Ficou claro que, em caso de não ocorrer alguma forma de proteção das áreas florestadas, áreas protegidas, áreas não destinadas e espécies ameaçadas de extinção, por mais que existam algumas políticas para estas áreas (excetuando as and), a biodiversidade amazônica está em risco e o Brasil longe de atingir as metas globais de redução de gases de efeito estufa.

Infelizmente, dialogando com a hipótese da tese e, tirando as atuações do Prevfogo e do Icmbio, que são em algumas terras indígenas e unidades de conservação, há uma grande necessidade de avançar para cooperações técnicas entre as três esferas de poder (federal, estadual e municipal). Apesar dos custos envolvidos, os benefícios ecológicos e econômicos da conservação superam os custos, o que justifica investimento contínuo.

Por fim, diversas recomendações foram feitas no último tópico do capítulo do desenvolvimento, mas reitera-se a necessidade de políticas específicas para estas piro regiões.

REFERÊNCIAS

ABRANCHES, S. Biological megadiversity as a tool of soft power and development for Brazil. **Brazilian Political Science Review**, v. 14, n. 2, p. e0006, 2020.

AEDA, E. et al. Fire risk assessment in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and change vector analysis. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 76-84, 2011.

ALENCAR, A. et al. **Amazônia em Chamas: Desmatamento e Fogo nas Florestas Públicas Não Destinadas**. Brasília, abril de 2021. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia: Nota técnica n°7. Disponível em: <<https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Amazo%CC%82nia-em-Chamas-7-Florestas-pu%CC%81blicas-na%CC%83o-destinadas.pdf>> Acesso em 13 de mai. 2024.

ALENCAR, A. et al. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, n. 6, p. 1-17, 2006.

ALVES DE OLIVEIRA, B. F. et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 2, n. 1, p. 207, 2021.

ANDELA, N. et al. Tracking and classifying Amazon fire events in near real time. **Science advances**, v. 8, n. 30, 2022.

ANDRADE, A. S. R. et al. Implementation of Fire Policies in Brazil: An Assessment of Fire Dynamics in Brazilian Savanna. **Sustainability**, v. 13, n. 20, 2021.

ANDRADE, R. P. "Conquistar a terra, dominar a água, sujeitar a floresta": Getúlio Vargas e a revista "Cultura Política" redescobrem a Amazônia (1940-1941). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 5, p. 453-468, 2010.

ANEEL. 2022. **Transmissão elétrica**. Disponível em: <<https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/item.html?id=3ee2fe1d374a40b483440104857df021>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 2018.

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1779-1785, 2008.

ARCHIBALD, S. et al. Climate and the inter-annual variability of fire in southern Africa: a meta-analysis using long-term field data and satellite-derived burnt area data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 6, p. 794-809, 2010.

ARVOR, D. et al. Mapping and spatial analysis of the soybean agricultural frontier in Mato Grosso, Brazil, using remote sensing data. **GeoJournal**, v. 78, p. 833-850, 2013.

ATHAYDE, S. et al. The same, but different: Indigenous knowledge retention, erosion, and innovation in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 45, n. 4, p. 533-544, 2017.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários. **Parcerias estratégicas**, v. 12, n. 1, p. 135-59, 2001.

BIZZO, E.; FARIAS, A. Priorização de municípios para prevenção, monitoramento e controle de desmatamento na Amazônia: uma contribuição à avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (Ppcdam). **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 42, p. 135-159, 2017.

BOAVENTURA, K. J. et al. Educação ambiental e percepção acerca do fogo e seus impactos no cerrado: Uma pesquisa qualitativa. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n. 3, p. 355-379, 2020.

BOND, W. J.; PARR, C. L. Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. **Biological conservation**, v. 143, n. 10, p. 2395-2404, 2010.

BORGES, L. R. M. **Políticas Territoriais na Fronteira: o programa de aceleração do Crescimento e as transformações em Rondônia no início do séc. XXI**. 2012. 244 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BOTTINO, M. J. et al. Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season length and temperature extremes over Brazil. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 5131, 2024.

BRAGA, R. M. Carbono orgânico no solo sob mata nativa e florestas plantadas em longo prazo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, 2022.

BRASIL. **Constituição Federal**, 5 de outubro de 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 27 jan. 2024.

BRASIL. **Decreto-lei nº 291**, 28 de fevereiro de 1967. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del0291.htm>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Decreto-lei nº 356**, 15 de agosto de 1968. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0356.htm>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Lei complementar 140**, 08 de dezembro de 2011. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm>. Acesso em: 23 dez. 2024.

BRASIL. **Lei Complementar nº 31**, 11 de outubro de 1977. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp31.htm>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 1.806**, 06 de janeiro de 1953. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/11806.htm>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em 18 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, 25 maio 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 3 fev. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.944**, 31 de julho de 2024. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm>. Acesso em 18 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 4.771**, 15 set. 1965. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.html>. Acesso em: 21 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 5.173**, 27 de outubro de 1966. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15173.htm>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, 31 ago. 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm> Acesso em: 2 fev. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.605**, 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 3 fev. 2024.

BRONZ, D. O desmonte ambiental pela via dos incêndios florestais na Amazônia brasileira. **Horizontes Antropológicos**, v. 29, p. e660401, 2023.

BRUSTOLIN, C. **Reconhecimento e desconsideração**: a regularização fundiária dos territórios quilombolas sob suspeita. 2009. 277 f. Tese (Doutorado em Sociologia) – Programa de Pós-graduação em Sociologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26194>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

BUISSON, E. et al. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. **Biological Reviews**, v. 94, n. 2, p. 590-609, 2019.

BUSH, M. B. et al. A regional study of Holocene climate change and human occupation in Peruvian Amazonia. **Journal of biogeography**, v. 34, n. 8, p. 1342-1356, 2007.

CANO-CRESPO, A. et al. Characterization of land cover-specific fire regimes in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 23, n. 1, p. 19, 2023.

CARRERO, G et al. **Entendendo as queimadas e incêndios florestais em Apuí, Sul do Amazonas**. Manaus: Idesam, 2019.

CASTRO AZEVÊDO, Á. S.; VIEIRA, T. A. Análise dos crimes ambientais registrados nas regiões do Baixo Amazonas e Tapajós, Pará, no período de 2012 a 2015. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 46, 2018.

CATRY, F. X. Efeitos do fogo na vegetação. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**, p. 49-86, 2010.

CHAZAN, M. Toward a long prehistory of fire. **Current Anthropology**, v. 58, n. S16, p. S351-S359, 2017.

CLARO, P. B. O. et al. **As principais causas diretas do desmatamento na Amazônia**. 2019. 29f. Monografia (Ciências Econômicas). Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.insper.edu.br/server/api/core/bitstreams/9ea464ea-9ae9-4106-a4ea-d908f713249b/content>>. Acesso em 23 dez. 2024.

COCHRANE, M. A et al. Investigating positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Deforestation and land use in the Amazon**, p. 285-298, 2002.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Synergisms among fire, land use, and climate change in the Amazon. **A Journal of the Human Environment**, v. 37, n. 7, p. 522-527, 2008.

COIAB; OPI. 2024. **Monitoramento das Ameaças dos Povos Indígenas Isolados (Mapi)**. Disponível em: <<https://plataforma.povosisolados.org/mapa>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

CORDEIRO, S. L.; SILVA, W. S. Antiga Amazônia Presente: uma experiência imagética sobre arqueologia amazônica. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, p. 102-125, 2024.

CORDEIRO, W. C. **Políticas de desenvolvimento de estado para a Amazônia a partir do Estado Novo**. 2015. 20f. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CORREA, C. M. A. et al. Rainfall seasonality drives the spatiotemporal patterns of dung beetles in Amazonian forests in the arc of deforestation. **Journal of Insect Conservation**, v. 25, p. 453-463, 2021.

COSENTINE, P. **Cerrados amazônicos: uma breve discussão sobre a vegetação de cerrado na Amazônia brasileira durante o quaternário**. 2018. Monografia. Universidade Estadual do Amazonas, 2018. Disponível em: <https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UEA_3433c170f22971af8053992b9a15393c>. Acesso em: 25 dez. 2024.

COSTA, M. H.; PIRES, G. F.. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 13, p. 1970-1979, 2010.

COSTA, N. V. S. B. Responsabilidade Civil nos Casos de Incêndios Florestais Ocorridos no Brasil no Ano de 2024. In: Congresso Internacional de Direito Aplicado, 2024, Natal. **Anais eletrônicos** [...] Natal: Insigne Acadêmica, 2024. p. 51-60. Disponível em: <<https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/anaisdocida/issue/view/8/14>>. Acesso em 13 mar. 2024.

COSTA, N. V. S. B. Responsabilidade Civil nos Casos de Incêndios Florestais Ocorridos no Brasil no Ano de 2024. In: Congresso Internacional de Direito Aplicado, 2024, Natal. **Anais eletrônicos** [...] Natal: Insigne Acadêmica, 2024. p. 51-60. Disponível em: <<https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/anaisdocida/issue/view/8/14>>. Acesso em 13 mar. 2024.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 149-165, 2015.

COUTINHO, L. M. Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência hoje**, v. 12, n. 68, p. 23-30, 1990.

CPTEC. 2024. **El Niño e La Niña: Condições Atuais Do Enos - Neutralidade**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 27 dez. 2024.

CRAVEIRA, K. **Queimadas e incêndios florestais no processo de transformação do uso e cobertura da terra na zona de influência da BR-163, no estado do Pará**. 2022. Dissertação (Geografia). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

CRISTANCHO, S.; VINING, J.. Perceived intergenerational differences in the transmission of traditional ecological knowledge (TEK) in two indigenous groups from Colombia and Guatemala. **Culture & Psychology**, v. 15, n. 2, p. 229-254, 2009.

CSILLIK, O. et al. A large net carbon loss attributed to anthropogenic and natural disturbances in the Amazon Arc of Deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 121, n. 33, p. e2310157121, 2024.

CUNHA, A. P. M.A. et al. Changes in compound drought-heat events over Brazil's Pantanal wetland: an assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. **Climate Dynamics**, v. 62, n. 1, p. 739-757, 2024.

DADOS GOV. 2024. **Portal de Dados Abertos: unidades de conservação**. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/unidadesdeconservacao>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

DERANI, C. **Política pública e a norma política**. Políticas públicas: reflexões sobre o conceito jurídico. São Paulo: Saraiva, p. 131-142, 2006.

DERANI, C.; SCHOLZ, M. C. A injustiça ambiental das externalidades negativas das monoculturas para commodities agrícolas de exportação no Brasil. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental**, v. 3, n. 2, p. 1-25, 2017.

DIAS, B. S. A crise final do governo Getúlio Vargas sob o olhar de Assis Chateaubriand: uma análise das edições de agosto e setembro de 1954 da revista O Cruzeiro. **Encontro Estadual e História**, v. 9, 2008.

DICKINSON, R. E.; KENNEDY, P. Impacts on regional climate of Amazon deforestation. **Geophysical Research Letters**, v. 19, n. 19, p. 1947-1950, 1992.

DIEGUES, Antônio Carlos Sant'Ana. **The myth of untamed nature in the Brazilian rainforest**. Universidade de São Paulo, Research Center on Human Population and Wetlands, 1998.

DRUMMOND, J. A. O monopólio real português e a dinâmica do desmatamento no Brasil Colonial. Resenha de Fruitless Trees. **Diálogos**, v. 1, p. 237-244, 2000.

DURIGAN, G. et al. No net loss of species diversity after prescribed fires in the Brazilian savanna. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 13, 2020.

DUTRA, D. J. et al. Burned area mapping in Different Data Products for the Southwest of the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 75, p. 1-16, 2023.

EHLERS, R.S. **Análise de Séries Temporais**. Curitiba: 2007 Disponível em: <<http://www.each.usp.br/rvicente/AnaliseDeSeriesTemporais.pdf>>. Acesso em 02 jan. 2024.

ELLWANGER, J. H. et al. Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. e20191375, 2020.

ELLWANGER, J. H.; NOBRE, C. A.; CHIES, J. A. B. Brazilian biodiversity as a source of power and sustainable development: a neglected opportunity. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 482, 2022.

ELOY, L. et al. Manejo do fogo por povos indígenas e comunidades tradicionais no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 7, p. 72-93, 2021.

FAGUNDES, G. M. Fazer o fogo fazer:: manipulações e agenciamentos técnicos na conservação do Jalapão (TO). **Equatorial–Revista do Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social**, v. 6, n. 10, p. 16-49, 2019.

FALLEIRO, R. et al. As contribuições do Manejo Integrado do Fogo para o controle dos incêndios florestais nas Terras Indígenas do Brasil. **Biodiversidade brasileira**, v. 6, n. 2, p. 88-105, 2016.

FALLEIRO, R. et al. Histórico, Avaliação, Oportunidades e Desafios do Manejo Integrado do Fogo nas Terras Indígenas Brasileiras. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 75-98, 2021.

FALLEIRO, R. Resgate do manejo tradicional do cerrado com fogo para proteção das terras indígenas do oeste do Mato Grosso: um estudo de caso. **Biodiversidade brasileira**, v. 1, n. 2, p. 86-96, 2011.

FEARNSIDE, P. F. Containing destruction from Brazil's Amazon highways: now is the time to give weight to the environment in decision-making. **Environmental Conservation**, v. 33, n. 3, p. 181-183, 2006.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. Infraestrutura na Amazônia: as lições dos planos plurianuais. **Caderno CRH**, v. 25, p. 87-98, 2012.

FEARNSIDE, P. M. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, p. 101-114, 2008.

FEARNSIDE, P. M. et al. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2013.

FEARNSIDE, P. M. et al. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 208-233, 2009.

FEELEY, K. J.; SILMAN, M. R. Extinction risks of Amazonian plant species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 30, p. 12382-12387, 2009.

FERNANDES, R. M. S. A política mineral do governo Bolsonaro para a Amazônia Legal: Um balanço a partir dos processos minerários ativos. **Ambientes: revista de geografia e ecologia política**, v. 4, n. 2, p. 149-172, 2022.

FERRAZ, N. C. **Queimadas**: avaliação de políticas públicas ambientais de prevenção e controle de incêndios – caso de Mato Grosso. 2013. 109f (Ciência Política). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

FERREIRA BARBOSA, M. L. et al. Compound impact of land use and extreme climate on the 2020 fire record of the Brazilian Pantanal. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 10, p. 1960-1975, 2022.

FIORI, M. F. BR-364: do desenvolvimento ao desmatamento. **Revista Eletrônica Veredas Amazônicas**, v. 2, n. 1, 2012.

FIRMS. [s.d.]. Nasa-firms. **Archive download**. Disponível em: <<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>>. Acesso em: 3º mar. 2024.

FONSECA-MORELLO, T. et al. Fires in Brazilian Amazon: Why Does Policy Have a Limited Impact?. **Ambiente & sociedade**, v. 20, p. 19-38, 2017.

FUNAI. 2024. **Terras Indígenas**: Dados Geoespaciais e Mapas. Disponível em: <<https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>>. Acesso em: 30 mar. 2024.

FURQUIM, L. et al. O testemunho da arqueologia sobre a biodiversidade, o manejo florestal e o uso do fogo nos últimos 14.000 anos de história indígena. In: CUNHA, C; MAGALHÃES, S.; ADAMS, C. (org.). **Povos tradicionais e biodiversidade no Brasil**:

contribuições dos povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais para a biodiversidade, políticas e ameaças. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 202

GAMA, R. G.; STRAUCH, J. C. M. Análise espacial de indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Aplicação do índice de Moran. **Proceedings os**, v. 12, 2009.

GARRIOCH, D. Towards a fire history of European cities (late Middle Ages to late nineteenth century). **Urban History**, v. 46, n. 2, p. 202-224, 2019.

GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia Legal. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, p. 93-109, 2012.

GIGLIO, L. et al. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. **Remote sensing of environment**, v. 217, p. 72-85, 2018.

GILL, A. M. How fires affect biodiversity. In: Conference Fire and Biodiversity: The Effects and Effectiveness of Fire Management,. Melbourne, 1994. **Proceedings [...]** Australia. 1994.

GILL, A. M.; ZYLSTRA, P. Flammability of Australian forests. **Australian forestry**, v. 68, n. 2, p. 87-93, 2005.

GLIKSON, A. Fire and human evolution: the deep-time blueprints of the Anthropocene. **Anthropocene** 3, 89-92. 2013.

GOLLNOW, F. et al. Scenarios of land-use change in a deforestation corridor in the Brazilian Amazon: combining two scales of analysis. **Regional Environmental Change**, v. 18, p. 143-159, 2018.

GOVENDER, N.; TROLLOPE, W. S.W.; VAN WILGEN, B. W. The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 4, p. 748-758, 2006.

GOWLETT, J. A. J. The discovery of fire by humans: a long and convoluted process. Philosophical Transactions of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 371, n. 1696, p. 20150164, 2016.

GUALBERTO, A. J. P. História e Memória da Carpintaria Naval Ribeirinha da Amazônia. In: VI Simpósio Nacional de História Cultural, 2012, Terezina. **Anais eletrônicos [...]**. Terezina: Universidade Federal do Piauí, 2012, p. 1-14. Disponível em: <<https://gthistoriacultural.com.br/VIsimposio/anais/Antonio%20Jorge%20Pantoja%20Gualberto.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GUIMARÃES, B. S. et al. **Desmatamento nas florestas públicas não destinadas da Amazônia Legal: dinâmica, determinantes espaciais e impactos futuros.** 2023. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/62445>>. Acesso em: 25 dez. 2024.

GUO, Y. et al. Determination of the power transmission line ageing failure probability due to the impact of forest fire. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 12, n. 16, p. 3812-3819, 2018.

HARRIS, J. Emerging third world powers: China, India and Brazil. **Race & class**, v. 46, n. 3, p. 7-27, 2005.

HECK, C. R.. A expansão produtiva agropecuária no estado de Mato Grosso e seus impactos fundiários e ambientais A Partir Dos Anos 2000. **Informe Gepec**, v. 25, n. 2, p. 62-84, 2021.

HEINRICH, V. H. A. et al. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p. 1785, 2021.

HOMMA, A. K. O. et al. A dinâmica dos desmatamentos e das queimadas na Amazônia: uma análise microeconômica. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 31. Ilhéus. **Anais...**Brasília, DF: SOBER, 1993. p. 663-676.

ICMBIO. 2024. **Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais>. Acesso em: 31 dez. 2024.

INCRA. [s.d.]. **Exportar shapefile**. Disponível em: <https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py>. Acesso em: 31 dez. 2024.

INPE b. [s.d.]. **Downloads**. Disponível em: <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>>. Acesso em: 31 dez. 2024.

INPE. **Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2023. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 7 abr. 2024.

IUCN. 2024. **Spatial data download**. 2024. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/resources/spatial-data-download>>. Acesso em: 31 dez. 2024.

JHA, D. K.; SAMRAT, R.; SANYAL, P.. The first evidence of controlled use of fire by prehistoric humans during the Middle Paleolithic phase from the Indian subcontinent. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 562, p. 110151, 2021.

JONG, P. et al. Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil. **Energy**, v. 100, p. 401-415, 2016.

JUNIOR, F. O. G. C. et al. As queimadas no estado do Pará, Brasil: Impactos ambientais, sociais e econômicos. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 9, p. e5416-e5416, 2024.

KHAN, N. et al. Performance assessment of general circulation model in simulating daily precipitation and temperature using multiple gridded datasets. **Water**, v. 10, n. 12, p. 1793, 2018.

KITAMURA, P. C. As novas tendências mundiais para a busca de sustentabilidade na agropecuária mundial. In: VILELA, D.; BRESSAN, M.; FERNANDES, E. N.; ZOCCAL, R.; MARTINS, M. C.; NOGUEIRA NETTO, V. **Gestão ambiental e políticas para o agronegócio do leite**. Juiz de Fora: Embrapa, 2003, p. 110-115. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/13825/1/NovasKitamura.pdf>>

Acesso em 1 jun. 2024.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v. 16, p. 37-61, 2002.

LEAN, J.; WARRILOW, D. A. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. **Nature**, v. 342, n. 6248, p. 411-413, 1989.

LEHSTEN, V. et al. Estimating carbon emissions from African wildfires. **Biogeosciences**, v. 6, n. 3, p. 349-360, 2009.

LEMONS, N. S. A.; CUNHA, J. M.. Analysis of fire risk in the Amazon: a systematic review. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, n. 3, p. e2706, 2021.

LENTON, T. M. The role of land plants, phosphorus weathering and fire in the rise and regulation of atmospheric oxygen. **Global Change Biology**, v. 7, n. 6, p. 613-629, 2001.

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. **Estudos Avançados**, v. 14, p. 231-250, 2000.

LÉVI-STRAUSS, Claude. **O cru e o cozido**. Editora Schwarcz. Companhia das Letras, 2021.

LEVIS, C. et al. How people domesticated Amazonian forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, p. 171, 2018.

LI, X.; Y., J.; DING, R.. El Niño-La Niña asymmetries in the changes of ENSO complexities and dynamics since 1990. **Geophysical Research Letters**, v. 51, n. 6, p. e2023GL106395, 2024.

LIEBMANN, Brant; MARENGO, JoséA. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 22, p. 4308-4318, 2001.

LIMA, B.; DO SOCORRO, M. expansão da cadeia da soja na Amazônia Setentrional: os casos de Roraima e Amapá. **Boletim de Geografia**, v. 38, n. 2, 2020.

LITTELL, J. S. et al. Climate and wildfire area burned in western US ecoprovinces, 1916–2003. **Ecological Applications**, v. 19, n. 4, p. 1003-1021, 2009.

LUO, P. et al. Impact of forest maintenance on water shortages: Hydrologic modeling and effects of climate change. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 1355-1363, 2018.

LUZARDO, A. J. R.; CASTAÑEDA FILHO, R. M.; RUBIM, I. B. Análise espacial exploratória com o emprego do Índice de Moran. **Geographia**, v. 19, n. 40, p. 161-179, 2017.

LYU, J. et al. Fire history of the western Amazon basin recorded by multiple pyrogenic carbon proxies. **Quaternary Science Reviews**, v. 310, p. 108111, 2023.

MACHADO-SILVA, F. et al. Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. **Ecological Indicators**, v. 109, p. 105817, 2020.

MAPBIOMAS a. 2023. **Dados de infraestrutura**. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/dados-de-infraestrutura/>>. Acesso em: 31 dez. 2024.

MATAVELI, G. et al. Record-breaking fires in the Brazilian Amazon associated with uncontrolled deforestation. **Nature Ecology & Evolution**, v. 6, n. 12, p. 1792-1793, 2022

MCCAULEY, B.; COLLARD, M.; SANDGATHE, D.. A cross-cultural survey of on-site fire use by recent hunter-gatherers: Implications for research on Palaeolithic pyrotechnology. **Journal of Paleolithic Archaeology**, v. 3, p. 566-584, 2020.

MCLAUCHLAN, K. K. et al. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. **Journal of Ecology**, v. 108, n. 5, p. 2047-2069, 2020.

MEKONNEN, Z. A. et al. Expansion of high-latitude deciduous forests driven by interactions between climate warming and fire. **Nature plants**, v. 5, n. 9, p. 952-958, 2019.

MENEZES, T. C. C. Colunas de fogo, cortinas de fumaça e narrativas inflamáveis: multiplicação de incêndios florestais e as novas dinâmicas sociais da expansão da fronteira agropecuária amazônica. **Revista Trabalho Necessário**, v. 20, n. 41, p. 01-26, 2022.

MENEZES, T. C. C.; SANTOS BRUNO, A. C. Mudanças Climáticas: efeitos sociais sobre povos e comunidades tradicionais da Amazônia. **Núcleo de Altos Estudos Amazônicos**, v. 20, n. 3, p. 53-80, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. [s.d.] **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento/amazonia-ppcdam-1>>. Acesso em: 8 abr. 2024.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. **Columbia University Press**, 2002. p. 51-68.

MISTRY, Jayalaxshmi. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. **Progress in Physical Geography**, v. 22, n. 4, p. 425-448, 1998.

MOREIRA, Francisco et al. Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**, p. 1-323, 2010.

MOREIRA, J. S.; TRENTIN, A. B.; TRENTIN, C. B. diagnóstico de focos e cicatrizes de incêndio em período seco do bioma Amazônia no nordeste do estado de Rondônia. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 182-197, 2020.

MORELLO, T. et al. Fire, tractors, and health in the Amazon: a cost-benefit analysis of fire policy. **Land Economics**, v. 95, n. 3, p. 409-434, 2019.

MORELLO, T. F. et al. Predicting fires for policy making: Improving accuracy of fire brigade allocation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 169, p. 106501, 2020.

MORGAN, D. R. World on fire: two scenarios of the destruction of human civilization and possible extinction of the human race. **Futures**, v. 41, n. 10, p. 683-693, 2009.

MOROSKI, B. K.; AMBROSIO, F. A. R. Danos ambientais causados pelo garimpo ilegal e os reflexos atrelados à crise humanitária dos indígenas. **Academia de Direito**, v. 6, p. 3777-3794, 2024.

MURTHY, C. S. et al. A composite index for drought hazard assessment using CPC rainfall time series data. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 9, p. 1981-1988, 2017.

NEPSTAD, D. et al. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation biology**, v. 20, n. 1, p. 65-73, 2006.

NETO, Arlindo de Paula Machado et al. Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 10-15, 2015.

NETO, T. O.; THÉRY, H. A expansão da produção de grãos e a infraestrutura de circulação no Brasil. **Revista Política e Planejamento Regional**, v. 2019, n. 3, p. 284-305, 2018.

NEU, V.; SANTOS, M. A. S.; MEYER, L. F. F. Banheiro ecológico ribeirinho: saneamento descentralizado para comunidades de várzea na Amazônia. **Revista em Extensão**, v. 15, n. 1, p. 28-44, 2016.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia**. São José dos Campos, São Paulo, 2014. Articulação Regional Amazônica: Relatório de Avaliação Científica. Disponível em: <https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/o_futuro_climatico_da_amazonia_versao_final_para_lima.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

OLIVEIRA, L. C.; RODRIGUES, D. Amazônia, terra de avivamento religioso. **Novos Rumos Sociológicos**, v. 10, n. 17, p. 112-133, 2022.

OLIVEIRA, M. R. et al. Indigenous brigades change the spatial patterns of wildfires, and the influence of climate on fire regimes. **Journal of Applied Ecology**, v. 59, n. 5, p. 1279-1290, 2022.

OLIVEIRA, N. A. “Conquistando o Oeste”: Amazônia legal brasileira e o caso de Nova Xavantina/MT. **Fronteiras: revista de história**, v. 17, n. 30, p. 248-272, 2015.

OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S. Impactos da instalação de linhas de transmissão sobre ecossistemas florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 5, p. 184-191, 2024.

OLIVEIRA, T. J. A. Interações produtivas agropecuária no Estado do Tocantins: Uma análise espacial. In: Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade, 2013, Ponta Porã. **Anais eletrônicos** [...]. Ponta Porã: Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, 2013, p. 1-15. Disponível em: <<https://anaisonline.uems.br/index.php/ecaeco/article/view/2750/2823>>. Acesso em: 05 set. 2024.

PASCHE, D. F.; PASSOS, E.; HENNINGTON, É. A. Cinco anos da política nacional de humanização: trajetória de uma política pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 4541-4548, 2011.

PEDRO, S. N.; SOUZA, G. Políticas Públicas para a Terceira Idade no Município de São Caetano do Sul. **Revista Pluri Discente**, v. 1, n. 3, 2021.

PIVELLO, V. R. et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233-255, 2021.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 20, p. 601-636, 2011.

PROJETO MAPBIOMAS. **Territórios quilombolas estão entre as áreas mais preservadas no Brasil**. [s.d.] Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/2023/12/13/territorios-quilombolas-estao-entre-as-areas-mais-preservadas-no-brasil/#:~:text=Um%20levantamento%20in%C3%A9dito%20do%20MapBiomias,contra%2017%25%20em%20%C3%A1reas%20privadas.>>>. Acesso em: 7 abr. 2024.

PYNE, S. J. **Fire: a brief history**. University of Washington Press, 2019.

QUEIROZ, C. **Censo de 2022 revela mapeamento inédito da população quilombola**. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/censo-de-2022-revela-mapeamento-inedito-da-populacao-quilombola/>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

RAMALHO, A. H. C. et al. Compreendendo a ação do fogo nos ecossistemas brasileiros. **Biodiversidade Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 8-25, 2024.

REDDINGTON, C. L. et al. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 10, p. 768-771, 2015.

REIS, M. et al. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 288, p. 112310, 2021.

REIS, R. G.; LEAL, M. L. M. Análise das relações de focos de calor e desflorestamento no município de Lábrea, sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

ROBERTS, G.; WOOSTER, M. J. Global impact of landscape fire emissions on surface level PM_{2.5} concentrations, air quality exposure and population mortality. **Atmospheric Environment**, v. 252, p. 118210, 2021.

ROBLEDO-MARTINEZ, A.; GUZMAN, E.; HERNANDEZ, J. L. Dielectric characteristics of a model transmission line in the presence of fire. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, v. 26, n. 4, p. 776-782, 1991.

ROTTA, E.; REIS, C. N. As práticas do desenvolvimentismo brasileiro: Plano de Metas e Programa de Aceleração do Crescimento. **Textos & Contextos (Porto Alegre)**, v. 17, n. 1, p. 151-166, 2018.

SAAD, S. I. et al. Can the deforestation breeze change the rainfall in Amazonia? A case study for the BR-163 highway region. **Earth Interactions**, v. 14, n. 18, p. 1-25, 2010.

SALAINI, C. J.; FAGUNDES JARDIM, D. Batalha dos papéis: notas sobre as tensões entre procedimentos escritos e memória na regularização fundiária de terras de quilombos no Brasil. **Universitas Humanística**, n. 80, p. 189-212, 2015.

SANTOS, A. et al. **Diálogos: Soberania e Clima**. Centro Soberania e Clima, v. 71, p. 1-99, 2024.

SANTOS, F. L. M. et al. Prescribed burning reduces large, high-intensity wildfires and emissions in the Brazilian savanna. **Fire**, v. 4, n. 3, p. 56, 2021.

SCHMIDT, I. B. et al. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016.

SCHÖNENBERG, R. New criminal domains in the Brazilian Amazon. *International Social Science Journal*, v. 53, n. 169, p. 397-406, 2001.

SCHROEDER, W. et al. A Distribuição Espacial e Variabilidade Interanual do Fogo na Amazônia. **Geophysical Monograph Series**, v. 186, p. 43-60, 2009.

SCOTT, A. C.; GLASSPOOL, I. J. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 29, p. 10861-10865, 2006.

SETZER, A. The INPE Program for Vegetation Fires. **Biodiversidade Brasileira**, v. 9, n. 1, p. 247-247, 2019.

SFB. 2022. **Cadastro Nacional de Florestas Públicas: Atualização 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/florestal/pt-br/assuntos/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/cadastro-nacional-de-florestas-publicas-atualizacao-2022>>. Acesso em: 31 dez. 2024.

SILVA JÚNIOR, L. A. S. et al. Fire dynamics in extreme climatic events in western amazon. **Environmental Development**, v. 32, p. 100450, 2019.

SILVA, J. L. G. et al. Impacts of climate change and deforestation on fire risk in the Amazon basin. **Climate Research**, v. 93, p. 75-88, 2024.

SILVA, M. E. S.; PEREIRA, G.; ROCHA, R. P. Local and remote climatic impacts due to land use degradation in the Amazon “Arc of Deforestation”. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 125, p. 609-623, 2016.

SILVA, R. M. et al. Deforestation and fires in the Brazilian Amazon from 2001 to 2020: Impacts on rainfall variability and land surface temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116664, 2023.

SILVA, S. S. et al. Incêndios florestais e queimadas na Amazônia sul ocidental. **Realización**, p. 27, 2019.

SILVÉRIO, D. V. et al. Intensification of fire regimes and forest loss in the Território Indígena do Xingu. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 4, p. 045012, 2022.

SINGH, Sumedha Surbhi; JEGANATHAN, C. Using ensemble machine learning algorithm to predict forest fire occurrence probability in Madhya Pradesh and Chhattisgarh, India. **Advances in Space Research**, v. 73, n. 6, p. 2969-2987, 2024.

SMOUTS, M. Tropical forests, international jungle: the underside of global ecopolitics. **Springer**, 2003.

SOARES-FILHO, B. et al. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 24, p. 10821-10826, 2010.

SOMBROEK, W. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 30, n. 7, p. 388-396, 2001.

SORRENTINO, M. et al. Educação ambiental como política pública. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 02, p. 287-299, 2005.

SOUZA, C. A. A construção da estratégia brasileira de REDD: a simplificação do debate na priorização da Amazônia. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, p. 99-116, 2013.

SOUZA, T. N.; DE SOUZA BRAGA, C. E.; GUTJAHR, A. L. N. Mamíferos aquáticos e semiaquáticos com ocorrência na Amazônia brasileira: diversidade, habitats e extinção. **Concilium**, v. 24, n. 5, p. 67-81, 2024.

STEINKE, V. A.; FRANCA, R. R.; STEINKE, E. T. Transformações na paisagem regional e a variação na temperatura do ar em Alexânia e Abadiânia-Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 724-752, 2022.

STERNBERG, Hilgard O'Reilly. O “pulmão verde”. **Geografia**, p. 1-13, 1986.

SURVIVAL INTERNATIONAL. **As restrições de uso e o futuro de povos indígenas isolados**. Disponível em: <<https://www.survivalbrasil.org/campanhas/assinafunai>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

TEIXEIRA, I. F. et al. **Estudo da paisagem da Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS, Brasil**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3736>>. Acesso em: 6 ago. 2024.

TOMAS, W. M. et al. Challenges in the conservation and management of legal reserve areas in Brazilian grassland and savanna ecosystems in the face of global climate change. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 59, p. e03491, 2024.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. **Ecology**, v. 71, n. 2, p. 437-449, 1990.

UPADHYAY, R. K. et al. Markers for global climate change and its impact on social, biological and ecological systems: A review. **American Journal of Climate Change**, v. 9, n. 03, p. 159, 2020.

VALVERDE, O. Geografia da pecuária no Brasil. **Finisterra**, v. 2, n. 4, 1967.

VAN MARLE, M. J. E. et al. Fire and deforestation dynamics in Amazonia (1973–2014). **Global biogeochemical cycles**, v. 31, n. 1, p. 24-38, 2017.

WANG, B. et al. Understanding the recent increase in multiyear La Niñas. **Nature Climate Change**, v. 13, n. 10, p. 1075-1081, 2023.

WRANGHAM, R. Control of fire in the Paleolithic: evaluating the cooking hypothesis. **Current Anthropology**, v. 58, n. S16, p. S303-S313, 2017.

XERENTE, P. P.; OLIVEIRA, R. C. S. Abordagem Indígena sobre manejo integrado do fogo em terras indígenas no Estado do Tocantins–Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 67-74, 2021.

XU, W. et al. Active fire dynamics in the Amazon: new perspectives from high-resolution satellite observations. **Geophysical Research Letters**, v. 48, n. 20, p. e2021GL093789, 2021.

ZOHURI, B. et al. The electricity: An essential necessity in our life. Advanced smaller modular reactors: An innovative approach to nuclear power, p. 1-21, 2019.