

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Dissertação de Mestrado

RELAÇÃO ENTRE CONFLITOS DE USO DO SOLO E SUSCETIBILIDADE À
QUEIMADAS: UM DIAGNÓSTICO UTILIZANDO FERRAMENTAS DO
GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

Autor (a): Juliana Dias Pedroso

Orientador (a): Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior

Uberaba - MG

2023

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

P415r Pedroso, Juliana Dias
 Relação entre conflitos de uso do solo e suscetibilidade a queimadas: um
diagnóstico utilizando ferramentas do geoprocessamento e sensoriamento
remoto / Juliana Dias Pedroso. -- 2023.
62 f. : il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2023
Orientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior

1. Agricultura. 2. Queimada. 3. Indicadores ambientais. 4. Monitora-
mento ambiental. 5. Cobertura dos solos. I. Valle Junior, Renato Farias do.
II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 631.4:502-047.36

Leila Aparecida Anastácio CRB-6/2513

JULIANA DIAS PEDROSO

**RELAÇÃO ENTRE CONFLITOS DE USO DO SOLO E SUSCETIBILIDADE À QUEIMADAS:
UM DIAGNÓSTICO UTILIZANDO FERRAMENTAS DO GEOPROCESSAMENTO
E SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 31 de agosto de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior
Orientador - UFTM

Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira
Membro Titular - UFTM

Prof. Dr. Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva
Membro Titular - IFTM



Documento assinado eletronicamente por **Renato Farias do Valle Junior, Usuário Externo**, em 31/08/2023, às 13:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 165, de 16 de junho de 2023](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO VICENTE FERREIRA, Professor do Magistério Superior**, em 31/08/2023, às 13:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 165, de 16 de junho de 2023](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva, Usuário Externo**, em 01/09/2023, às 08:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 165, de 16 de junho de 2023](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1022927** e o código CRC **BBC7C027**.

Para meu filho Raul,
a quem dedico, desde 2019, todas as minhas
tentativas de melhorar o mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Maria Helena, por ser meu primeiro lar e por não me deixar nunca desistir dos meus sonhos.

Ao meu pai, João, de quem herdei o amor pela Ciência e pelo ofício da pesquisa, por me mostrar os caminhos e possibilidades.

Ao meu filho, Raul, pelo gás e inspiração que me dá todas as manhãs.

A todos os docentes do PPGCTA, especialmente ao Prof. Ricardo que me deu dicas valiosas ao longo da pesquisa, bem como à coordenação e a todos os servidores que se dedicam a construir um programa de excelência a cada ano.

Ao meu orientador, Prof. Renato, cuja trajetória acadêmica me inspira profundamente.

A todos os meus colegas do PPGCTA, que se tornaram amigos queridos que levarei para a vida, pelo apoio de sempre e por conseguirem o feito quase impossível de tornar as aulas on-line durante a pandemia muito mais leves e divertidas.

A todas as mulheres cientistas e pesquisadoras que vieram antes de mim, abrindo caminhos, quebrando paradigmas e transformando a Ciência em um terreno menos hostil para mim e para as futuras gerações de mulheres pesquisadoras.

Obrigada!

“I am among those who think that science has great beauty.”(Marie Curie)

RESUMO

A utilização inadequada e sem planejamento do solo, juntamente com o avanço acelerado das fronteiras agrícolas, está associada à degradação ambiental e aos conflitos ambientais de uso do solo. Esses conflitos já foram relacionados a uma maior propensão à erosão e menor fertilidade do solo, além do comprometimento da qualidade hídrica. No entanto, a relação entre conflitos de uso do solo e queimadas ainda não havia sido estudada. As principais causas de queimadas e incêndios incluem práticas agrícolas, caça, uso inadequado do solo, atividades recreativas sem precaução, pressão urbana, e falta de preocupação com a preservação florestal. Este estudo teve como objetivo analisar a relação entre conflitos ambientais de uso do solo e a ocorrência e severidade de incêndios e queimadas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba no período de 2017-2021. A APA abrange cerca de 53.500 hectares e apresenta um sistema de drenagem com padrão dendrítico, responsável pela sustentação hídrica do Rio Uberaba no período seco. No entanto, a substituição da vegetação nativa por monoculturas de cana-de-açúcar e outras atividades inadequadas estão ameaçando a preservação da área. Utilizando mapas de aptidão agrícola e de uso e ocupação do solo, foram obtidos mapas de conflito de uso do solo, identificando áreas com riscos ou limitações significativas para culturas e pastagens. Em seguida, foram analisadas as relações entre essas áreas de conflito e os focos de queimadas, bem como os índices de gravidade de queimadas (dNBR), utilizando técnicas de regressão polinomial e análise estatística para compreender a distribuição espacial dos incêndios e sua relação com os conflitos ambientais. Foi constatado que a maioria dos focos de incêndio ocorre nas áreas de conflito e em seus arredores, indicando a importância dessas áreas como pontos críticos para a ocorrência de queimadas. Além disso, os valores do índice dNBR revelaram maior severidade do fogo nessas áreas, comprovando a tendência de queimadas mais graves nessas regiões.

PALAVRAS CHAVE: Aptidão agrícola, Índice Normalizado de Queima (NBR), monitoramento ambiental, cobertura do solo

ABSTRACT

Inadequate and unplanned land use, together with the accelerated advancement of agricultural frontiers, is associated with environmental degradation and environmental conflicts over land use. These conflicts have already been linked to a higher propensity for erosion, lower soil fertility, and compromised water quality. However, the relationship between land use conflicts and wildfires had not been studied yet. The main causes of wildfires and fires include agricultural practices, hunting, inappropriate land use, recreational activities without precautions, urban pressure, and lack of concern for forest preservation. This study aimed to analyze the relationship between environmental land use conflicts and the occurrence and severity of wildfires and fires in the Environmental Protection Area (APA) of Rio Uberaba during the period 2017-2021. The APA covers about 53,500 hectares and has a drainage system with a dendritic pattern, responsible for the water supply to Rio Uberaba during the dry period. However, the replacement of native vegetation with sugarcane monocultures and other inappropriate activities is threatening the preservation of the area. Using maps of agricultural suitability and land use and occupation, maps of land use conflict were obtained, identifying areas at risk or with significant limitations for crops and pastures. Next, the relationships between these conflict areas and the fire hotspots were analyzed, as well as the severity indices of the fires (dNBR), using polynomial regression techniques and statistical analysis to understand the spatial distribution of the fires and their relation to environmental conflicts. It was found that the majority of fire hotspots occur in conflict areas and their surroundings, indicating the importance of these areas as critical points for fire occurrence. Furthermore, the dNBR index values revealed a higher severity of the fires in these areas, confirming the trend of more severe fires in these regions.

KEYWORDS: Agricultural suitability, Normalized Burn Ratio (NBR), environmental monitoring, soil coverage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba.	29
Figura 2 – Mapas de Altitude e Declividade da APA	30
Figura 3 - Mapas de Geologia e Solos da APA	31
Figura 4 – Fluxograma metodológico da pesquisa.....	32
Figura 5 – Cálculo do mapa de conflito de uso do solo (2021).....	35
Figura 6 - Variação, em hectares, das áreas de conflito ambiental de uso do solo de Classe 1 no período de 2017 a 2021.	40
Figura 7 – Registro dos focos nos mapas de a) declividade, b) altitude, c) geologia e d) solos.	42
Figura 8 - Análise de Regressão Polinomial: Pontos versus Distancia	45
Figura 9 – Focos de queimadas x Conflitos de uso do solo (Buffers).....	47
Figura 10 – Severidade de queimadas na APA (2017)	62
Figura 11 – Severidade de queimadas na APA (2018)	63
Figura 12 – Severidade de queimadas na APA (2019)	63
Figura 13 – Severidade de queimadas na APA (2020)	64
Figura 14 – Severidade de queimadas na APA (2021)	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de uso e ocupação do solo	33
Tabela 2 - Fonte dos dados utilizados na pesquisa	37
Tabela 3 - Número de focos de queimadas na APA	43
Tabela 4 – Focos registrados dentro e fora dos buffers no período.	43
Tabela 5 – Resultados estatísticos	44
Tabela 6 - Média de pontos nos buffers.....	44
Tabela 7 – Sumário do Modelo	44
Tabela 8 – Análise de Variância	44
Tabela 9 – Análise de Variância Sequencial	45
Tabela 10 – Classe de severidade (em m ² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2017).....	48
Tabela 11 – Classe de severidade (em m ² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2018).....	49
Tabela 12 – Classe de severidade (em m ² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2019).....	50
Tabela 13 – Classe de severidade (em m ² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2020).....	51
Tabela 14 – Classe de severidade (em m ² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2021).....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 GERAL	16
2.2 ESPECÍFICOS	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 CONFLITOS DE USO DO SOLO	17
3.2 PRINCIPAIS CAUSAS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS.....	18
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO NO CONTROLE E MONITORAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS.....	21
3.3.2 Programa Queimadas (INPE).....	23
3.3.1 Índice Normalizado de Queima (NBR e dNBR).....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
4.3 COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS	32
4.3.1 Conflito de uso do solo.....	32
4.3.2 Análise dos focos de queimadas.....	35
4.3.3 Áreas de conflito vs. Focos de queimadas	36
4.3.4 Áreas de conflito vs. Índices dNBR	36
5 RESULTADOS	39
5.1 CONFLITOS DE USO DO SOLO	39
5.2 ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE FOCOS NA APA.....	41
5.3 ÁREAS DE CONFLITOS VS. FOCOS DE QUEIMADAS	43
5.3 ÁREAS DE CONFLITO VS. ÍNDICES DNBR.....	48
5.3.1 Resultados dos índices por ano	48
5.3.2 Análises dos resultados.....	52
6 DISCUSSÕES.....	53
7 CONCLUSÃO	55
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A – Código em JavaScript utilizado para reclassificar as imagens do MapBiomias no Google Earth Engine	61
APÊNDICE B - Link para o código em Python para cálculo do dNBR.....	62
APÊNDICE C – Mapas de severidade de queimadas na APA (2017 – 2021).....	62

1 INTRODUÇÃO

Um uso inadequado e sem planejamento do solo, bem como o avanço cada vez mais acelerado das fronteiras agrícolas, são fatores relevantes de degradação ambiental. Conflitos ambientais de uso do solo ocorrem quando a utilização de uma determinada área não está em harmonia com suas características intrínsecas, desconsiderando suas aptidões naturais, e decorrem do choque entre as necessidades e demandas humanas e as limitações e potências do ambiente. (VALLE JUNIOR et al., 2013; VALLE JUNIOR, 2008).

Estudos anteriores relacionaram a ocorrência de conflitos ambientais de uso do solo com uma maior propensão à erosão (VALERA et al., 2016, RODRIGUES, 2019; PACHECO, 2014) e menor fertilidade do solo (VALERA et al., 2016), bem como a um comprometimento da qualidade hídrica (VALLE JUNIOR et al., 2014; VALLE JUNIOR et al., 2015). Portanto, pode-se dizer que são áreas que apresentam potencialmente maior fragilidade ambiental e estão mais suscetíveis a sofrerem degradação. Porém, até o momento, a relação entre os conflitos de uso do solo e a ocorrência de queimadas ainda não havia sido estudada.

Além das perdas econômicas, as queimadas e incêndios, associados ao desmatamento e à urbanização, são um dos principais fatores de perda progressiva da biodiversidade (TAVARES et al., 2018). Além disso, estão relacionados à emissão de uma grande quantidade de Gases do Efeito Estufa (GEEs), contribuindo para as mudanças climáticas (BARBOSA; FEARNSIDE, 1999) e para um aumento dos casos de doenças respiratórias (JOHNSTON et al., 2012).

O Brasil tem enfrentado um alarmante aumento na incidência de queimadas e incêndios desde 2019, principalmente na região Amazônica (GREENPEACE, 2021). O Cerrado, por sua vez, possui atributos evolutivos que conferem certa resiliência à ação do fogo, no entanto, esse bioma também é marcado por graves incêndios durante a estação seca (CACHOEIRA et al., 2020). Embora o fogo desempenhe um papel ecológico importante nos ecossistemas savânicos e possa ser utilizado adequadamente no manejo florestal (SIMON et al. 2009 apud. CACHOEIRA et al., 2020), seu uso inadequado e em maior frequência e intensidade do que o suportado pelo sistema resulta em empobrecimento do solo. A combustão incompleta durante o uso do fogo na prática agrícola gera dióxido de carbono, calor, monóxido de carbono e outros poluentes, como hidrocarbonetos e óxido de

nitrogênio (COSTA et al., 2011). Com frequência, essas queimas saem do controle dos produtores rurais, transformando-se em incêndios de grande porte.

A região do Triângulo Mineiro, que está inserida no bioma Cerrado e onde se localiza a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba, também tem enfrentado um aumento alarmante no número de incêndios. Em setembro de 2021, o município de Uberaba registrou 26 focos de incêndio em um único final de semana, de acordo com uma reportagem do G1 Triângulo e Alto Paranaíba (G1, 2021).

A APA possui grande importância ecológica para a região e desempenha um papel fundamental no abastecimento adequado de água para o município, sendo lar de várias nascentes. Mapear e analisar a ocorrência e a severidade das queimadas e incêndios, especialmente em áreas de interesse ambiental, como a APA, é crucial para compreender melhor os padrões do fogo, quantificar seus efeitos e desenvolver estratégias de mitigação.

As características e o impacto do fogo são influenciados por interações complexas entre fatores antrópicos, climáticos, topográficos e de vegetação. Em escala regional, o clima é a principal determinante das características dos incêndios, afetando o teor de umidade do combustível e, a longo prazo, a quantidade de biomassa. Além disso, a topografia e o uso e cobertura do solo afetam a frequência e o tamanho das queimadas, enquanto as ações humanas afetam o padrão de distribuição dos incêndios (CHANG et al., 2015).

As tecnologias desempenham um papel importante no monitoramento da ocorrência desses eventos, e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) oferecem metodologias para estudos relacionados à dinâmica dos elementos das paisagens e à espacialização desses fenômenos. O uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto possibilita a coleta, sobreposição, manipulação, visualização e análise de um grande volume de dados relacionados à ocorrência de incêndios (TORRES et al., 2017).

A metodologia aplicada consistiu em três etapas: i) a criação de mapas de conflito de uso do solo, ii) a realização de análises estatísticas relacionando essas áreas com dados de focos de queimadas do Programana Queimadas/Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e iii) o cálculo e análise do Índice de Queima Normalizado Diferenciado (dNBR) na área total do estudo e nas áreas de conflito identificadas. Os mapas de conflito foram gerados a partir da comparação entre a aptidão agrícola e o uso real do solo, enquanto as análises estatísticas utilizaram a técnica de regressão polinomial para modelar a relação entre o

número de focos de incêndio e a distância das zonas de conflito. Além disso, o índice dNBR foi calculado com um código em Python, com o intuito de se avaliar a severidade das queimadas. Essas etapas permitiram compreender melhor as dinâmicas das queimadas na APA, bem como a interação entre o uso do solo, os focos e a degradação ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este estudo tem como objetivo apresentar uma análise da relação entre conflitos ambientais de uso do solo e a ocorrência e severidade de incêndios e queimadas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba no período de 2017-2021.

2.2 ESPECÍFICOS

- Analisar a relação entre conflitos de uso do solo e focos de queimadas na APA no período de análise a partir de dados do INPE.
- Analisar a relação entre conflito de uso do solo e a gravidade das queimadas, no período de análise.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONFLITOS DE USO DO SOLO

As frequentes alterações no uso da terra, de forma desordenada e não planejada e acima da capacidade de suporte do solo, é um dos principais fatores relacionados ao aumento da degradação ambiental (VALLE JÚNIOR, 2008).

O conhecimento das características morfométricas de uma bacia hidrográfica, bem como o levantamento do uso e ocupação do solo, são fundamentais para o estabelecimento de estratégias de manejo e planejamento eficientes. Uma avaliação ambiental cuidadosa permite compreender características da área, identificando potencialidades de uso e não uso, riscos, vulnerabilidades e desempenho futuro estimado (VALLE JÚNIOR, 2008).

Quando existe uma discrepância entre o uso destinado a uma área e sua aptidão devido a suas características físicas e morfométricas, ou seja, quando a destinação recomendada não é respeitada, pode-se dizer que existe um conflito de uso do solo (VALLE JÚNIOR, 2008).

Valle Júnior *et al.* (2013), ao realizarem um diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Uberaba, afirmam que o movimento da água em uma bacia hidrográfica é determinado pelas suas características morfométricas, e por isso, conhecer essa dinâmica é fundamental para se estabelecer estratégias de manejo. O estudo dos parâmetros morfométricos, como os padrões de relevo, possibilita compreender a conformação da superfície. Um uso inadequado de áreas ambientalmente frágeis pode comprometer a conservação do solo e a gestão dos recursos hídricos (VALLE JUNIOR *et al.*, 2013; VALLE JUNIOR, 2008).

Essas áreas podem apresentar como resultado conflitos de Classe 0 (sem conflito), 1, 2 ou 3. Um estudo anterior na bacia hidrográfica na qual se encontra a APA revelou que 15% da bacia apresentou conflito de classe 1 (terras que apresentam riscos ou limitações significativas quando usadas para culturas anuais e pastagem), 1,8% apresentou conflito de classe 2 (terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem, reflorestamento ou preservação ambiental) e 0,2% apresentou conflito de classe 3 (terras impróprias para cultivos intensivos e pastagem, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental) (VALLE JUNIOR *et al.*, 2013).

Estudos anteriores relacionaram os conflitos ambientais de uso do solo com a qualidade da água e biodiversidade aquática, e concluíram que comunidades de macroinvertebrados podem estar fortemente correlacionadas às classes de conflito (VALLE JUNIOR et al., 2015). Além disso, o impacto da nitrificação foi considerado mais relevante em áreas de conflito moderado e maior, em relação a áreas sem conflito (VALLE JUNIOR et al., 2014).

Em outros estudos na Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba, os conflitos de uso do solo também foram relacionados com a perda de fertilidade do solo e susceptibilidade à erosão. Segundo os autores, nos locais onde as áreas em conflito se tornaram mais adensadas, algumas propriedades do solo foram modificadas, como o teor de matéria orgânica e a concentração de potássio trocável, comprometendo a fertilidade e favorecendo a erosão do solo (VALERA et al., 2016; PACHECO, 2014). Locais sem conflitos estão menos suscetíveis a perdas de solo, enquanto áreas conflituosas apresentaram uma maior tendência a essas perdas (RODRIGUES, 2019).

3.2 PRINCIPAIS CAUSAS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS

A exclusão total do fogo em áreas nas quais ele ocorre naturalmente – geralmente em ecossistemas savânicos, causado por raios no período de chuva - pode levar a consequências ecológicas negativas, como a mudança na estrutura e composição da vegetação e a ocorrência de extensas áreas não queimadas e homogêneas, com grande quantidade de material seco, que pode servir como combustível para incêndios de grande extensão em períodos de estiagem. Schmidt *et al.* (2016) argumentam que uma política de “Fogo Zero” não é condizente com a ecologia e história evolutiva do Cerrado (SCHMIDT et al., 2016).

Entretanto, os incêndios naturais são uma minoria dos registros. Segundo Leone *et al.* (2003), estima-se que os seres humanos são responsáveis apenas por cerca de 90% das queimadas de biomassa. (NASA, 2003 apud. LEONE *et al.*, 2003).

O conhecimento geral a respeito do fogo, como um fenômeno físico-químico complexo, é excelente e permite uma boa previsão de seu comportamento, por meio do uso de um amplo conjunto de modelos de propagação do fogo produzidos desde os anos 1950 nos Estados Unidos (BYRAM, 1959; ROTHERMEL, 1972 apud. LEONE *et al.*, 2003).

As características dos incêndios florestais são influenciadas por interações complexas entre fatores como vegetação, clima, topografia e atividades humanas ao longo do tempo. Em escalas regionais, o clima exerce um papel dominante nas características dos incêndios, determinando o teor de umidade do combustível e, em longo prazo, a quantidade de biomassa presente. Além disso, o uso e a cobertura da terra, bem como a topografia, também têm impactos na frequência e no tamanho dos incêndios. Por sua vez, as atividades humanas têm efeitos significativos nas características dos incêndios, alterando sua frequência, área queimada e padrões de ignição. No entanto, a contribuição relativa de cada um desses fatores para a variação espacial das características dos incêndios florestais ainda não é amplamente compreendida (CHANG et al., 2015).

No contexto das causas associadas às queimadas e incêndios florestais, é fundamental abordar o fator humano, que desempenha um papel preponderante nesse fenômeno ambiental. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), citado por Leone et al. em 2003, diversas razões voluntárias e involuntárias contribuem para a eclosão desses eventos. Dentre as razões enumeradas, destacam-se as necessidades relacionadas às práticas agrícolas e de pastagem, a caça descontrolada, o manejo inadequado do solo, casos de piromania, atividades agrícolas e rurais realizadas sem a adoção de medidas preventivas, acidentes decorrentes de atividades recreativas e do aumento da pressão urbana sobre áreas florestais, o crescente grau de marginalização dos recursos florestais e a lamentável falta de consciência e comprometimento com a preservação dos ecossistemas florestais (LEONE et al., 2003). Estas múltiplas causas, quando consideradas em conjunto, delineiam a complexidade do problema das queimadas e incêndios florestais, sublinhando a necessidade de abordagens multidisciplinares para mitigar esse desafio.

Costa *et al.* (2011), ao analisarem os efeitos do fogo sobre as pastagens, chamam a atenção para o fato de o fogo ser utilizado há milhares de anos em sistemas de pastagens por povos ao redor de todo o mundo, uma vez que queimadas controladas podem beneficiar os atributos químicos do solo, “proporcionando a mineralização de seus nutrientes e os disponibilizando para as plantas, promovendo assim maior crescimento.” (COSTA et al., 2011).

Leone *et al.* (2003) também destacam o uso do fogo na agricultura tradicional em pequena escala - agricultura itinerante ou rotativa - para limpar e fertilizar o solo e como

auxílio à caça. Tradicionalmente esses usos envolviam apenas pequenas áreas de terra e os impactos eram pequenos. Quando o fogo era usado, ele era bem manejado, graças às habilidades adquiridas e transmitidas ao longo de gerações. À medida que as populações aumentaram e a necessidade por terras cresceu, o fogo passou a ser chamado de "trator dos pobres": colonos com pouca ou nenhuma habilidade para manejar o fogo como uma ferramenta para limpar a terra tentam, com pouco sucesso, imitar o uso do fogo pelos povos indígenas (LEONE *et al.*, 2003).

Costa *et al.* (2011) afirmam que, caso a queima seja realizada sem os devidos cuidados, pode reduzir a quantidade de matéria orgânica no solo e comprometer suas qualidades físicas e biológicas. Esse tipo de prática é arriscado, pois se os devidos procedimentos de segurança não forem observados, a queimada pode sair do controle e dar origem a um incêndio, comprometendo o equilíbrio ecológico e causando sérios danos ao ecossistema (COSTA *et al.*, 2011).

Em um estudo sobre as práticas tradicionais de uso do fogo no Cerrado mato-grossense, as autoras afirmam que os moradores de áreas rurais tradicionais conhecem bem a dualidade do fogo, e sabem que existe um “fogo bom”, presente nas práticas culturais e agropecuárias passadas entre as gerações, e um “fogo ruim”, que cobra seu preço quando é utilizado de forma descuidada e fora da época ideal, impactando no meio ambiente e na própria segurança da comunidade (BERTIER *et al.*, 2020).

Leone *et al.* (2003) argumentam, sobre o fogo, que houve uma “transição de um instrumento de manejo agrícola para um elemento de agressão e alteração” (LEONE *et al.*, 2003). Nesse processo, as florestas passaram a ser convertidas em plantações em escala industrial, e o fogo a ser usado como uma ferramenta barata e eficaz para remover biomassa indesejada e para degradar ilegalmente uma floresta afim de torná-la elegível para essa conversão. O crescimento da indústria madeireira também contribuiu para o problema (LEONE *et al.*, 2003).

Nesse sentido, é interessante pensar no fenômeno através de um paradigma de prevenção, e para isso, são necessários recursos e procedimentos para lidar com as causas e tentar eliminá-las, ou pelo menos reduzir seu impacto. Esses esforços passam por previsões do comportamento do fogo, mudanças nos combustíveis, e mudanças no comportamento humano através da conscientização ambiental. O conhecimento

insuficiente das razões por trás das causas dificulta qualquer possibilidade de prevenção (LEONE *et al.*, 2003).

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO NO CONTROLE E MONITORAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS

Os dados de incêndios são a base para a análise da ocorrência em escala local, regional, nacional ou global, e podem ser representados, por exemplo, pelo número de incêndios, superfície queimada, tamanho médio do incêndio, tipo de vegetação queimada, estação e mês do ano, número de incêndios por causa, etc. Os dados primários de ocorrência fornecem informações sobre a localização dos pontos de ignição, a extensão das áreas queimadas e as condições ambientais, topográficas e climáticas no momento da ignição. Esses dados são então utilizados para criar dados secundários, como estatísticas de incêndios, que permitem analisar os padrões de ocorrência em diferentes escalas espaciais e conteúdos temáticos (ALLGÖWER *et al.*, 2003).

Uma forma de mapear a área queimada de maneira menos cara e rápida é usar sensoriamento remoto por satélite (ALLGÖWER, *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2019, PEREIRA, 2017). O Sensoriamento Remoto tem se mostrado eficiente no monitoramento de recursos ambientais, uma vez que seu uso oferece baixos custos e possibilita estudos com ampla área de cobertura, sendo mais eficiente que muitos métodos convencionais. A expansão do uso dessas tecnologias se deve a quantidade de produtos disponíveis que podem ser adquiridos, muitas vezes de forma gratuita e online pelos usuários, o que facilita seu uso para estudos e análises dos recursos naturais terrestres (LIMA *et al.*, 2019).

No caso das queimadas e incêndio, o sensoriamento remoto desempenha um papel importante na construção de bancos de dados de modelos de combustível, topografia e monitoramento da umidade dos combustíveis vivos. Para dados climáticos, contribui na estimativa de precipitação, temperatura e radiação solar na superfície e é também utilizado em Sistemas de Avaliação de Perigo de Incêndio (ALLGÖWER *et al.*, 2003).

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com o sensoriamento remoto é fundamental para a análise de topografia, modelagem espacial e processos de propagação de incêndios. Além disso, essas tecnologias permitem a detecção

do fogo em tempo quase real, tanto por meio de satélites quanto de outros métodos, como radar Doppler e detecção de raios (ALLGÖWER *et al.*, 2003).

Esses recursos facilitam análises espaciais e temporais que auxiliam no combate e prevenção de incêndios (PEZZOPANE *et al.*, 2001), bem como no monitoramento de áreas queimadas. Os índices espectrais de imagens de satélite de alta resolução espacial e a modelagem ecológica são ferramentas importantes que vem sendo utilizadas na avaliação da prontidão do fogo e para antecipar seu comportamento e possíveis impactos nos ecossistemas (MBOW *et al.*, 2004).

Desde a década de 70, com o lançamento do primeiro satélite da série Landsat - o Earth Resources Technology Satellite 1 (ERTS 1) -, são realizados estudos e mapeamentos de áreas queimadas através do sensoriamento remoto. Porém, devido às limitações e restrições tecnológicas, os primeiros estudos foram direcionados a parâmetros locais com o objetivo de se conhecer o comportamento espectral das queimadas (PEREIRA, 2017).

No Brasil, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) é pioneiro nesse tipo de estudo, quando, ainda na década de 70, adquiriu um sistema de processamento de imagens chamado “IMAGE-100”, que possibilitou o primeiro passo para monitorar áreas queimadas. Porém, até a década de 90 esses estudos eram limitados a dados de “poucas informações coletadas nas Unidades de Conservação e pelas empresas florestais, por meio de formulários.” (PEREIRA, 2017).

Apenas nos anos 90 foi possível estimar as queimadas em nível regional, com a utilização de satélites com baixa resolução espacial, porém alta frequência temporal. No entanto, “a diversidade das características e do comportamento espectral dos diferentes usos e ocupação do solo, a permanência das cicatrizes das queimadas nas imagens e as diferentes resoluções” seguem sendo desafios para a precisão desses mapeamentos. Por isso, no geral é recomendado que se façam estudos adicionais utilizando métodos de validação de resultados obtidos (PEREIRA, 2017).

Contudo, alcançar a automação total desse processo, sem a exigência de intervenção humana, continua sendo um desafio devido a diversos fatores, tais como: a variedade dos ecossistemas em todo o mundo e suas distintas reações ao fogo, a diversidade de usos do solo, a similaridade espectral entre incêndios e diferentes elementos (como sombras, corpos

d'água e rochas), a permanência das marcas deixadas pelos incêndios e a presença persistente de nuvens nas imagens (PEREIRA, 2017).

3.3.2 Programa Queimadas (INPE)

O Programa Queimadas do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) tem a finalidade de realizar

pesquisa, desenvolvimento tecnológico e a inovação de produtos, processos e geoserviços para o monitoramento e a modelagem da ocorrência e propagação e classificação do fogo ativo na vegetação, seu risco, extensão e severidade, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelagem Numérica (INPE, 2022).

Os dados do programa são atualizados diariamente para a América, África e Europa, e o acesso à informação é livre, por meio de tabelas, mapas e gráficos (INPE, 2022).

Segundo seu site, o Programa Queimadas utiliza todos os dez satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4µm. A Divisão de Geração de Imagens - DGI e na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA fazem o processamento operacional das imagens dos satélites polares, as AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi e NOAA-20 e, as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-16 e MSG-3 (INPE, 2022).

Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram seis imagens por hora, sendo que no total o INPE processa automaticamente mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. As recepções são feitas nas estações de Cachoeira Paulista, SP (próximo à divisa com o RJ) e de Cuiabá, MT (INPE, 2022).

O Programa indica a existência de focos de incêndio, ou a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 375 m x 375 m até 5 km x 4 km, dependendo do satélite, no qual pode haver uma ou mais frentes de fogo ativo distintas, e a indicação será de um único foco ou ponto. Ao mesmo tempo, um evento muito extenso pode ser detectado em vários pixels, de forma que vários focos podem estar associados a um único grande evento. Em alguns casos, pela variação do tamanho dos

pixels entre os satélites, o mesmo evento pode ser indicado com uma certa diferença de distância, a depender do satélite (INPE, 2022).

As contagens de focos de incêndio são bons indicadores da ocorrência de fogo, porém, não devem ser considerados como medida absoluta da ocorrência de fogo, uma vez que se estima que o número real de eventos é subestimado por essas metodologias. Além disso, não é tarefa simples quantificar o que seria “uma queimada” ou “um incêndio florestal”, pois esses eventos podem variar muito em tempo de duração, extensão e impacto. Uma possibilidade seria, então, considerar a extensão da superfície queimada na comparação de eventos (INPE, 2022).

As informações contidas no banco de dados do Programa Queimadas se divide em alguns produtos, dentre eles o “SIG BDQueimadas” - o qual permite visualizar os focos em um Sistema de Informação Geográfica On-Line, com opções de filtragem dos focos em períodos, regiões de interesse, satélites, planos de informação (por exemplo desmatamento, hidrografia, estradas), etc., além da exportação dos dados em formatos csv, shapefile e kml – e “Área Queimada”, - dados apresentados no formato de polígonos representando as estimativas das cicatrizes das áreas queimadas geradas a partir de imagens de resolução espacial 30m (aq30m) e 1km (aq1km) (INPE, 2022).

A utilização de dados do INPE em estudos brasileiros a respeito de queimadas é vasta. Rocha; Nascimento (2022), empregaram uma metodologia que partiu da obtenção e organização dos registros de focos de queimadas no Cerrado entre 1999 e 2018 a partir do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas). Esses dados foram georreferenciados e analisados por meio de princípios geográficos e técnicas de autocorrelação espacial, como o Índice I de Moran e Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA). Para identificar padrões espaciais e tendências temporais, utilizou-se a análise de pontos quentes emergentes. Essa abordagem permitiu avaliar de forma abrangente a distribuição e dinâmica dos focos de queimadas no Cerrado, destacando áreas quentes e frias e classificando os padrões de ocorrência ao longo do tempo e espaço (ROCHA; NASCIMENTO, 2022).

Esse estudo revelou uma alta concentração de focos de queimadas nas microrregiões do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), Mato Grosso (Arco de Desmatamento) e norte de Goiás, que são áreas reconhecidas como fronteiras de

expansão agrícola. O estudo destaca também a importância de adotar medidas sustentáveis de exploração e conservação do Cerrado, reconhecendo seu valor em termos de biodiversidade e cultura, e ressaltando a necessidade de compreender as práticas de manejo do fogo nesse bioma, em vez de simplesmente excluí-lo, devido à sua natureza pirofítica (ROCHA; NASCIMENTO, 2022).

Em uma outra pesquisa, realizada na cidade de Bom Jesus, no extremo sul do Piauí, foram utilizados dados de focos de fogo entre 2016 e 2022, obtidos a partir do Programa Queimadas. Para analisar a distribuição espacial desses focos, foram utilizadas interpolações espaciais pelo método Inverse Distance Weighting (IDW) e o algoritmo Kernel para estimar a densidade de focos em diferentes níveis. Os resultados revelaram uma concentração de focos no segundo semestre, especialmente entre agosto e novembro, devido às condições climáticas favoráveis. A região oeste do município apresentou as maiores intensidades de focos, principalmente devido à vegetação de Cerrado e à baixa umidade durante o período seco (SILVA et al., 2023).

3.3.1 Índice Normalizado de Queima (NBR e dNBR)

As informações sobre a severidade das queimadas possuem várias aplicações práticas para a gestão territorial e de recursos. Por exemplo, as equipes de Resposta a Emergências de Área Queimada Interagencial dos Estados Unidos (BAER) utilizam mapas de gravidade de queimaduras para direcionar respostas e minimizar os efeitos potencialmente prejudiciais de um incêndio florestal. Esses modelos também são úteis para estimar os efeitos dos incêndios em comunidades de vegetação e populações de animais selvagens (ALLEN; SORBEL, 2008). Algumas abordagens para mapear a gravidade das queimadas já foram avaliadas e testadas, e dentre as mais utilizadas está o Normalized Burn Ratio (NBR).

Normalized Burn Ratio (NBR), ou Índice Normalizado de Queima, surgiu como um meio de mapear a gravidade da queimadura utilizando o sensoriamento remoto. O NBR utiliza as diferentes respostas das bandas de Landsat 4 (infravermelho próximo, 0,76–0,90 μ m) e 7 (infravermelho médio, 2,08–2,35 μ m) para gerar um índice escalonado de gravidade da queimadura. (KEY; BENSON, 2006)

Para isolar queimadas de áreas não queimadas e fornecer uma medida quantitativa de mudança, o conjunto de dados da NBR derivado após a queima é subtraído do conjunto de dados da NBR obtido antes da queima (KEY; BENSON, 2006).

O dNBR é calculado da seguinte forma:

$$dNBR = \left[\left(\frac{R4-R7}{R4+R7} \right)_{pré} - \left(\frac{R4-R7}{R4+R7} \right)_{pós} \right] \quad a)$$

Verifica-se aumento da reflectância na banda 7 e a diminuição da reflectância da banda 4 em situações de queimadas. A combinação desses traços parece fornecer a melhor contraste entre a vegetação fotossinteticamente saudável e uma vegetação queimada (CARDOZO *et al.*, 2011).

Esta mudança medida na NBR (delta NBR ou dNBR), indica a magnitude da mudança ambiental causada pelo fogo. Supondo que o terreno não queimado seja relativamente semelhante em fenologia e umidade entre as duas datas amostrai, as áreas de fundo assumem valores próximos de zero no dNBR. Da mesma forma, as áreas queimadas assumem valores fortemente positivos ou negativos (KEY; BENSON, 2006).

O dNBR fortemente positivo é mais típico, no entanto, em áreas florestadas e dominadas por arbustos, onde o fogo geralmente cria conversões mais duradouras de biomassa para estados sucessórios menos produtivos ou anteriores. Em ambos os casos, as áreas queimadas podem ser adequadamente distinguidas da não queimada, e o potencial existe para uma ampla gama de dNBR dentro da cicatriz (dependendo das características reais do fogo do sujeito). Esta faixa parece resolver a amplitude dos efeitos do fogo, revelando a complexidade e heterogeneidade espacial da queima. Também parece fornecer uma gama mais ampla do que outros índices radiométricos testados, como o NDVI diferenciado (KEY; BENSON, 2006).

Um exemplo da aplicação do índice dNBR pode ser observado no estudo de Mohammad *et al.* (2023), no qual os autores utilizaram índices espectrais, como o NDVI e o dNBR, com dados de sensoriamento remoto, a fim de mapear as áreas afetadas pela queima de restolho. Esses índices auxiliaram na identificação das regiões onde essa prática é prevalente. O estudo enfatiza a necessidade de conscientizar os agricultores sobre os

impactos negativos da queima de restolho e explorar alternativas sustentáveis, ao mesmo tempo em que destaca a importância do monitoramento contínuo por meio de dados de satélite para avaliar e gerenciar as ameaças associadas à queima de restolho agrícola (MOHAMMAD et al., 2023).

Miller; Thode (2007) propuseram um Índice Relativo dNBR, chamado de RdNBR, argumentando que um índice relativo ofereceria uma definição mais consistente de gravidade de queima. Segundo os autores, no estudo de caso realizado em Sierra Nevada, Califórnia, foi possível demonstrar que o uso de um limiar baseado em uma imagem de detecção de mudança relativa é mais apropriado do que uma imagem de mudança absoluta para mapear a gravidade de incêndios florestais, especialmente quando se consideram os efeitos do fogo na vegetação. No entanto, a precisão global não é necessariamente melhorada, e a classificação de alta severidade é mais crucial para identificar áreas gravemente afetadas pelo fogo, sendo benéfica para gestores de terras. O estudo também destaca que a combinação de índices absolutos e relativos pode fornecer uma visão mais completa dos efeitos do fogo, embora a escolha do índice dependa do contexto e do ambiente em questão (MILLER; THODE, 2007).

Contrariando esse estudo, outra pesquisa conduzida na região sudeste da China, especificamente na província de Fujian, avaliou a capacidade dos índices dNBR e RdNBR na estimativa da gravidade da queima em incêndios florestais e constatou que o dNBR é um índice melhor e mais confiável para mapear a gravidade da queima do que o RdNBR. O uso do RdNBR para estimar a gravidade da queima provavelmente leva a uma subestimação. Além disso, a pesquisa destacou que as diferenças nos resultados de detecção entre dNBR e RdNBR estão relacionadas às condições locais variadas e que o RdNBR deve ser usado com cautela na estimativa da gravidade da queima em locais específicos (CAI; WANG, 2020).

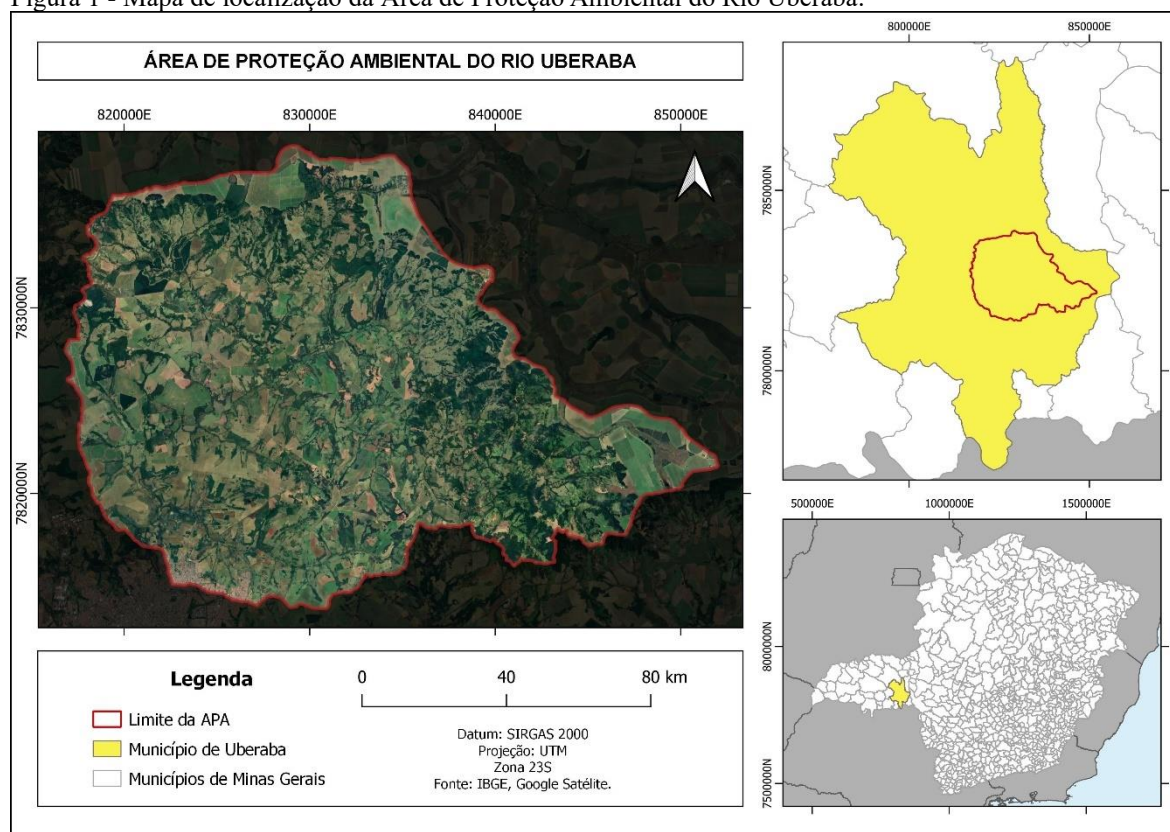
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Uberaba está situado em um planalto basáltico na Bacia do Rio Paraná, com uma topografia caracterizada por superfícies planas ou suavemente onduladas, em rochas sedimentares. A região apresenta um clima tropical quente e úmido com inverno frio e seco, onde a precipitação é baixa em 4-5 meses do ano. De acordo com Abdala (2012), a precipitação anual varia entre 1300 e 1700 mm, com o período chuvoso ocorrendo de outubro a março e a estação seca de abril a setembro, sendo que os meses de dezembro e janeiro apresentam a precipitação mais intensa.

A Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Uberaba (Figura 1) foi instituída pela Lei Municipal nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005, em virtude da presença de formações vegetais naturais, mananciais de relevância regional, sua importância como principal manancial de captação de água para a população de Uberaba, uma rica fauna e uma área com potencial interesse turístico (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E TURISMO, 2013). A APA corresponde ao alto curso do rio Uberaba, que percorre aproximadamente 140 km antes de desaguar no Rio Grande, inserido na Região Hidrográfica do Paraná (OLIVEIRA, 2021). Ela abrange uma superfície de cerca de 53.500 hectares, incluindo 8% de área urbana, e está localizada a montante do ponto de captação de águas do município, fazendo parte da região que integra a Bacia do Rio Uberaba (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E TURISMO, 2013).

Figura 1 - Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba.

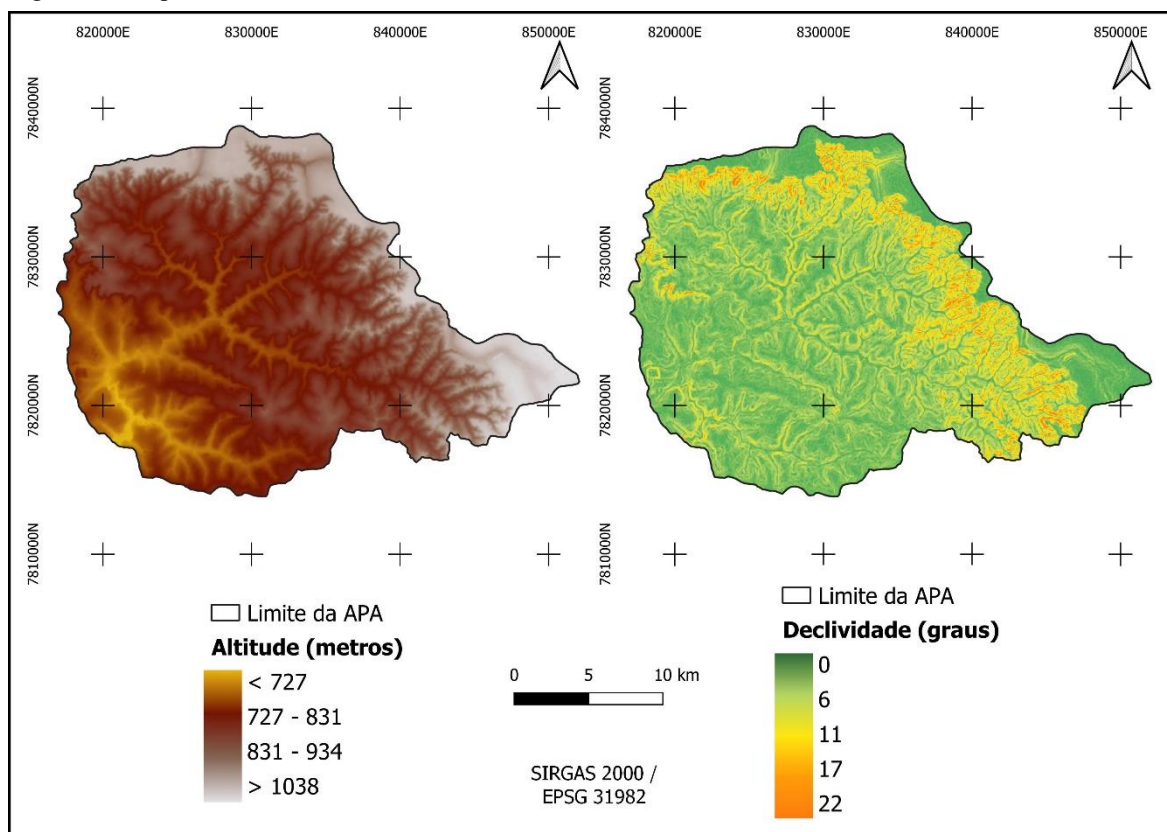


Fonte: da autora, 2023.

O Rio Uberaba tem sua nascente em uma região de coval a nordeste do município, constituída por uma área plana e inundável no período das chuvas, onde se encontram inúmeros morrotes, segundo Oliveira (2021). Esses covais têm grande importância ecológica no ciclo hidrológico dessas regiões. A declividade predominante é menor que 11° (Figura 2 a)), e as altitudes variam de 520 a 1000 m (Figura 2 b)).

De acordo com Abdala (2012), o sistema de drenagem possui padrão dendrítico, com maior número de nascentes concentradas nas áreas de maior altitude, na chapada ou nas proximidades desta, de forma que os córregos que possuem nascentes na borda da chapada são responsáveis pela sustentação hídrica do rio no período da seca. Porém, essa recarga hídrica pode estar sendo ameaçada pela substituição da vegetação nativa por monoculturas de cana-de-açúcar nessas áreas de chapada, ou por outros usos que não correspondem às aptidões naturais da região. Abdala (2012) e Oliveira (2021) apontam um alto potencial de erosão nessas áreas, o que pode causar a perda de solo e o assoreamento dos rios (ABDALA, 2012; OLIVEIRA, 2021).

Figura 2 – Mapas de Altitude e Declividade da APA



Fonte: TopoData (2023), elaborado pela autora, 2023.

A Bacia do Rio Uberaba está inserida na unidade do planalto do Brasil Central e Bacia Sedimentar do Paraná. Estratigraficamente, a área de estudo apresenta “rochas do Grupo São Bento (basaltos da Formação Serra Geral) sobreposto pelos arenitos e conglomerados do Grupo Bauru (arenitos de Formação Uberaba e Formação Marília), com boa parte da área coberta por sedimentos cenozóicos (sedimentos aluviais recentes)” (VALLE JÚNIOR et al., 2013) (Figura 2 c)).

Os solos da região apresentam textura média, variando de arenoso a argiloso, e com níveis de fertilidade distintos. De acordo com Valle Júnior et al. (2019), são classificados como Latossolos, Argissolos e Gleissolos (Figura 2 d)). Na área da APA, a predominância de Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo vermelho e Argissolo vermelho pode ser identificada (VALLE JÚNIOR et al., 2019).

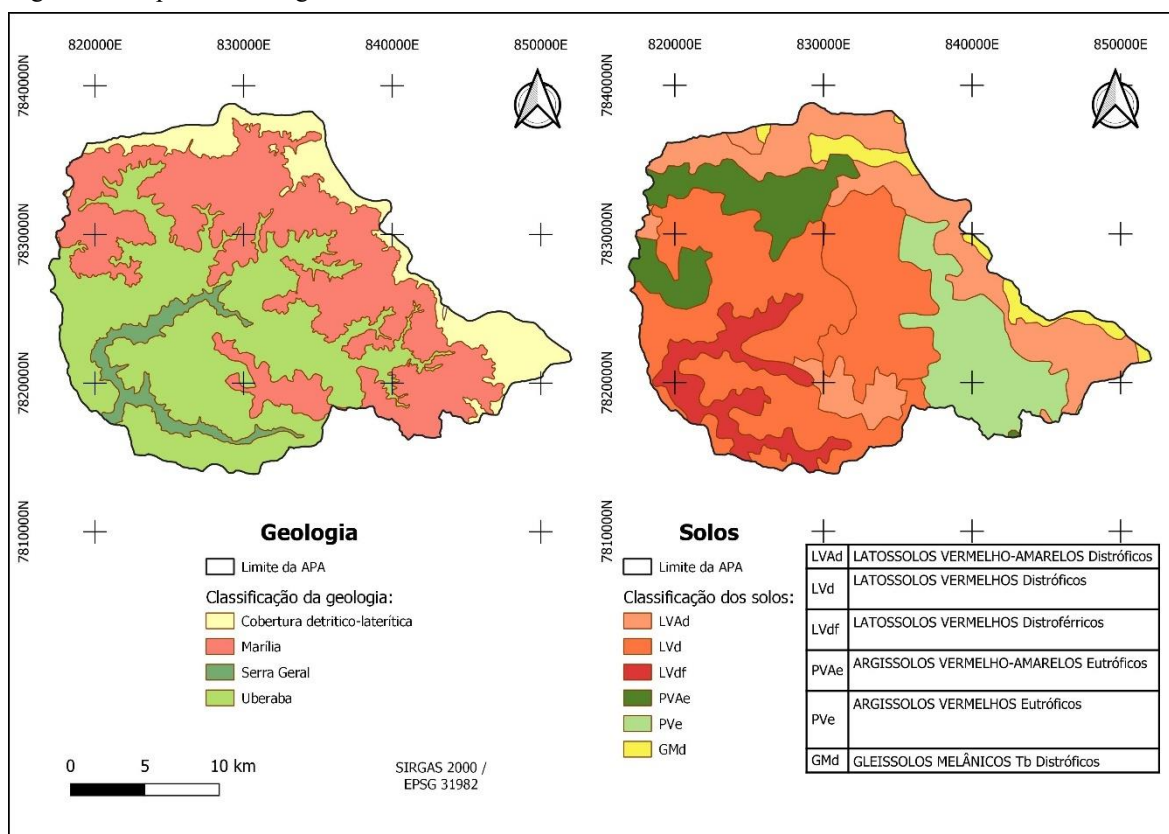
Segundo Valle Junior (2008), latossolos são solos que apresentam avançado estágio de intemperismo baixa reservas de nutrientes, porém, podem ser bastante produtivos desde que sejam bem manejados. A maioria dos latossolos está situada em relevos aplainados e

suavemente ondulados, sendo considerados de fácil preparo para plantio (VALLE JÚNIOR et al., 2013).

Os Argissolos, por sua vez, são solos profundos, bem drenados e moderadamente porosos e normalmente estão associados a terrenos ondulados (OLIVEIRA, 2005 apud VALLE JÚNIOR et al., 2013).

Os Gleissolos situam-se nas veredas, comuns na região. Por se tratar de um ambiente de encharcamento, apresentam níveis elevados de matéria orgânica e espécies hidrófilas. Favorecem o aparecimento de covais. Geralmente essa ordem de solos é mantida como área de preservação ambiental (PEDROSO NETO, 2009).

Figura 3 - Mapas de Geologia e Solos da APA



Fonte: EMBRAPA (2018); elaborado pela autora (2023).

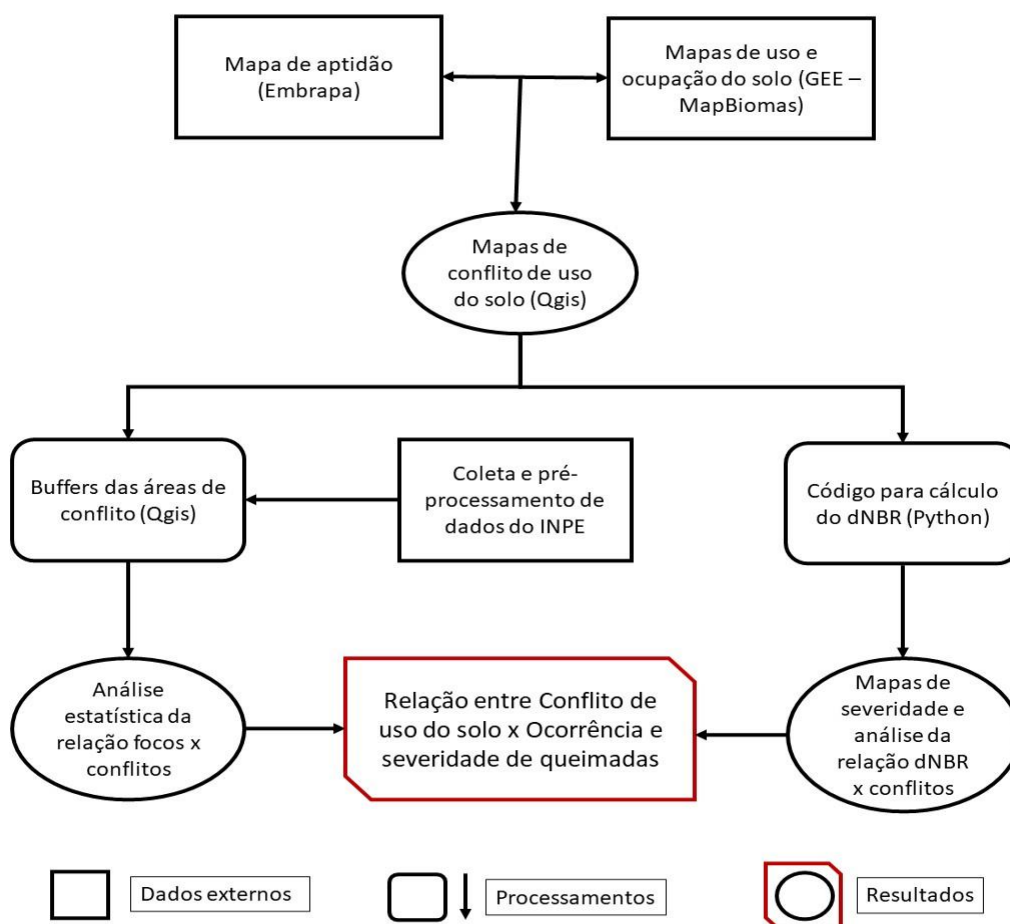
O uso do solo predominante na APA é para pastagem, seguido pela agricultura. Estudos anteriores sobre a degradação de pastagens na APA apontaram que a área ocupada

por pastagens degradadas é de aproximadamente 160,1 km² (VALLE JÚNIOR et al., 2019), o que indica uma alta vulnerabilidade ambiental da região.

4.3 COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

O fluxograma apresentado a seguir (Figura 4) descreve resumidamente as etapas da pesquisa, que serão descritas nessa sessão.

Figura 4 – Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: da autora, 2023.

4.3.1 Conflito de uso do solo

(A) Mapa de aptidão

O projeto Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais atualizou o mapeamento de solos do Estado e buscou avaliar a aptidão agrícola das terras, os níveis de possibilidades de mecanização, de exigência das terras para a aplicação de fertilizantes e corretivos e para a aplicação de práticas conservacionistas. A metodologia utilizada para a avaliação da aptidão agrícola seguiu a formulada por Ramalho Filho et al. (1995) (EMBRAPA, 2004).

Um dos resultados do projeto foi o mapa de aptidão do estado de Minas Gerais, disponibilizado em mídia digital para facilitar o acesso e a utilização das informações pelos usuários. A partir dele, foi realizado o recorte da área da APA, obtendo-se o mapa de aptidão que foi utilizado neste trabalho.

(B) Mapas de uso e ocupação do solo

Para essa etapa, foram utilizados os dados de uso e ocupação do solo do *toolkit* do MapBiomias na plataforma Google Earth Engine (GEE).

O MapBiomias é um projeto colaborativo que busca mapear e monitorar as mudanças no uso da terra no Brasil. O *toolkit* disponibiliza uma ampla gama de dados e algoritmos no GEE, permitindo aos usuários acessar e analisar informações detalhadas sobre o uso da terra em diferentes regiões e períodos de tempo (MapBiomias, 2021).

Dentro da própria plataforma, os mapas foram recortados e reclassificados. A plataforma GEE permite a manipulação dos dados pela linguagem de programação java. Esse pré-processamento foi realizado dentro do GEE (APÊNDICE A), obtendo-se mapas de uso e ocupação do solo já reclassificados para os anos de 2017-2021. As classes utilizadas estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de uso e ocupação do solo

Classe	Reclassificação	Classes (MapBiomias)
1	Agricultura	20, 39, 40, 41, 46, 47, 48
2	Pastagem	15, 21
3	Floresta	3, 4, 11, 12
4	Silvicultura	9
5	Zona Urbana	24
6	Mineração	30
7	Rios	33

Fonte: da autora, (2023).

Posteriormente, esses mapas foram exportados para o QGis, onde foi inserido uma nova coluna de atributos, dessa vez atribuindo-se pesos de acordo com a metodologia desenvolvida por Valle Júnior (2008):

1 – Agricultura,

2 – Pastagem

4 - Floresta, Silvicultura

0 - Zona Urbana, Mineração, Rios

A classe 3, que corresponderia a mosaico de agricultura/pastagem, não foi identificada.

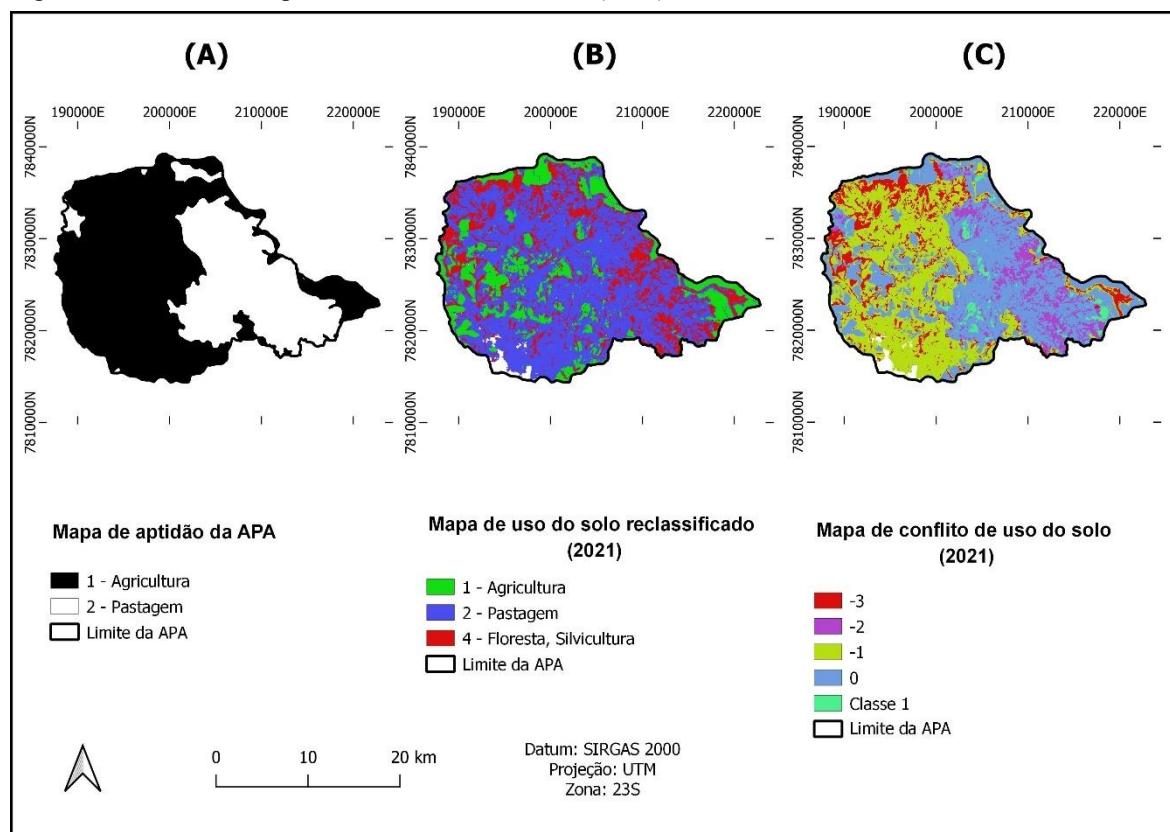
(C) Mapas de conflito de uso do solo

Os mapas de conflito foram obtidos com a utilização da ferramenta “calculadora raster” no Software QGis. A representação abaixo (Figura 3), referente ao ano de 2021, ilustra os mapas utilizados e o resultado dessa etapa. A expressão utilizada, conforme a metodologia adotada, foi:

$$(C) = (A) - (B),$$

onde: (A) = Aptidão, (B) = Uso real e (C) = Conflito

Figura 5 – Cálculo do mapa de conflito de uso do solo (2021).



Fonte: da autora, 2023.

Os mapas de conflito referentes aos anos 2017-2021 obtidos foram vetorizados, e os valores iguais a 1 foram considerados, enquanto os outros valores foram desprezados, obtendo-se, dessa forma, os mapas de conflito de uso do solo. No caso desse estudo, foram identificadas áreas de conflito de Classe 1, que corresponde a terras que apresentam riscos ou limitações significativas quando usadas para culturas anuais e pastagem.

4.3.2 Análise dos focos de queimadas

Nessa parte da análise, o software QGIS foi utilizado, onde a ferramenta de “contagem de pontos” foi empregada para registrar o número de focos de incêndio em relação aos mapas de solo e geologia. Para os mapas de declividade e altitude, utilizou-se o plug-in "point sampling tool" para realizar a contagem correspondente. Posteriormente, os dados obtidos foram exportados para o software Excel, onde foram conduzidas as análises.

4.3.3 Áreas de conflito vs. Focos de queimadas

Para avaliar a relação entre os focos de queimadas e as zonas de conflito, foi aplicada a ferramenta "multidistance buffer" com distâncias de 10 m, 510 m, 1010 m, 1510 m e 2010 m. Essa técnica permitiu a criação de áreas circundantes às zonas de conflito para análise da distribuição dos focos de queimadas.

Os dados dos focos de queimadas dentro do perímetro da APA foram obtidos no banco de dados do Programa Queimadas, do INPE. Esses dados são disponibilizados gratuitamente na plataforma e podem ser baixados em diversos formatos, filtrados por data e município ou unidade da federação. Após sua obtenção por ano de análise, os dados foram organizados no software Excel. Cada registro de foco de incêndio inclui dados cruciais, como a data e hora da ocorrência, bem como as coordenadas geográficas de latitude e longitude. Dessa forma, foram obtidos os dados do município de Uberaba, e posteriormente foi realizado a filtragem para selecionar os focos dentro da área de estudo.

É importante ressaltar que o próprio INPE pontua que esses dados são subdimensionados, uma vez que os satélites só são capazes de capturar queimadas de, no mínimo, 30 x 30 m, o que corresponde a 1 pixel. Dessa forma, os focos menores não são captados e contabilizados pelo INPE (INPE, 2022).

A ferramenta "Contagem de pontos em polígono" foi utilizada para realizar a contagem de focos de incêndio dentro dos buffers, a fim de se obter dados sobre a distância desses focos para as zonas de conflito. Os focos fora dos buffers foram desconsiderados.

A análise estatística utilizou a técnica de regressão polinomial para modelar a relação entre o número de focos de incêndio dentro do buffer e a distância das zonas de conflito ambiental.

4.3.4 Áreas de conflito vs. Índices dNBR

Para essa etapa, foi desenvolvido um código (APÊNDICE B) no Google Colab em linguagem Python, considerando a análise da área total, seguida pela comparação dos resultados das áreas dos buffers de 500 metros e das áreas de conflito. O link para acessar o código encontra-se nos apêndices deste trabalho.

O código seleciona uma coleção de imagens, no caso, do sensor Copernicus Sentinel-2, filtrando as imagens que estão dentro da área de interesse, capturadas durante o ano da análise e com uma porcentagem de cobertura de nuvens abaixo de 5%. Aplica-se uma série de funções para pré-processar as imagens, incluindo a divisão dos valores dos pixels por um fator de escala, a seleção da banda NBR (Normalized Burn Ratio) e o cálculo do índice NBR para cada imagem na coleção, referente ao ano de análise.

Para selecionar as datas, foram utilizados os dados do INPE que possibilitaram identificar a data dos primeiros e últimos focos de incêndio no ano. Foram buscadas imagens de datas mais próximas possíveis do primeiro e último foco registrado para que fossem utilizados no cálculo dos índices. Com a definição das datas pré e pós-fogo para cada um dos anos da análise, foi calculado os índices dNBR (diferença entre o NBR pré-fogo e o NBR pós-fogo).

Posteriormente os índices foram reclassificados em classes de severidade de queimada, utilizando valores de referência. As classes em questão são: Não queimado (0), Severidade Baixa (1), Moderada-Baixa (2), Moderada-Alta (3) e Alta (4). As imagens reclassificadas foram recortadas dentro dos limites da região de interesse e baixadas para posteriormente serem tratadas no QGIS.

O código também calcula a área total e a área por classe de severidade de queimada para o índice dNBR utilizando a função "reduceRegion" para obter a soma das áreas de cada classe.

Foram aplicados buffers de 500m nos focos de queimadas detectados para cada ano de análise e esses buffers, bem como os shapefiles das áreas de conflito do uso do solo obtidos nas etapas anteriores, foram adicionados ao "assets" do GEE, de forma que puderam ser exportados para o código. Recortes e análises específicas dessas áreas foram realizados utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente, a fim de se obter os resultados estatísticos para essas áreas e comparar os resultados.

A Tabela 2 traz as fontes e links dos dados utilizados na pesquisa.

Tabela 2 - Fonte dos dados utilizados na pesquisa

Dados	Fonte	Link
Mapa de aptidão do Estado de Minas Gerais	EMBRAPA	https://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/1062

Dados de uso e ocupação do solo	MapBiomias	https://mapbiomas.users.earthengine.app/view/mapbiomas-user-toolkit
Dados de focos de queimadas	BD Queimadas / INPE	http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/
Dados de topografia	TopoData	http://www.dsr.inpe.br/topodata/

Fonte: da autora, (2023).

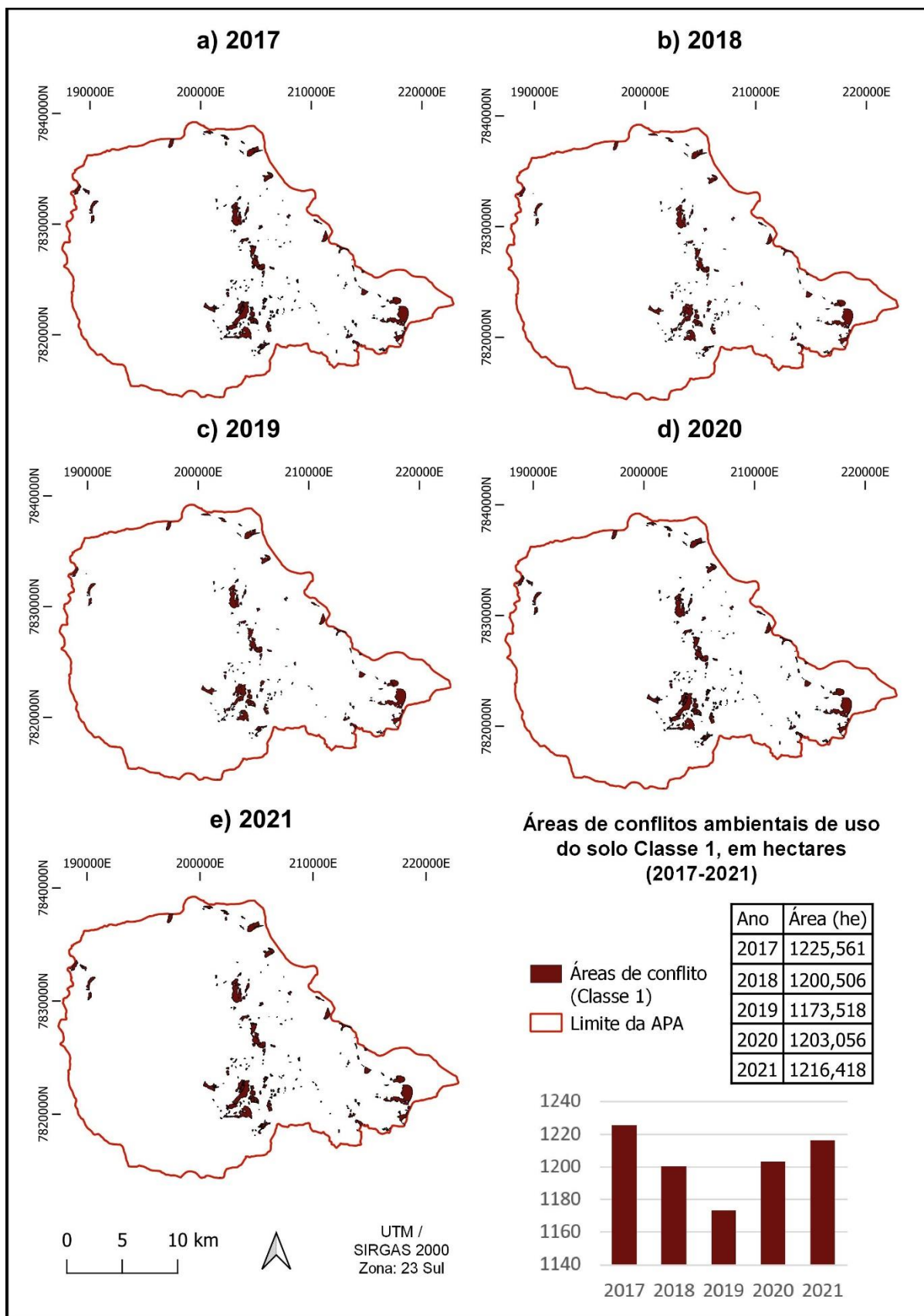
5 RESULTADOS

5.1 CONFLITOS DE USO DO SOLO

A análise dos mapas de conflito de uso do solo (Figura 5) mostra manchas de conflito de Classe 1 na APA. Essa classe inclui áreas que, quando destinadas a culturas anuais e pastagens, possuem desafios significativos e permanentes. Nessas áreas, é fundamental adotar abordagens combinadas de conservação do solo, que envolvem medidas tanto relacionadas à vegetação quanto à engenharia, a fim de mitigar esses desafios e preservar a qualidade do solo (VALLE JUNIOR, 2008).

Houve pouca variação entre as zonas de conflito durante o período. A área total de conflitos em 2017 foi de 1225,56 hectares, diminuindo para 1200,51 hectares em 2018 e para 1173,52 hectares em 2019. Em 2020, a área de conflitos de uso do solo apresentou um aumento, com 1203,06 hectares, e em 2021 houve também um pequeno aumento, totalizando 1216,42 hectares. A figura abaixo mostra anualmente essa variação.

Figura 6 - Variação, em hectares, das áreas de conflito ambiental de uso do solo de Classe 1 no período de 2017 a 2021.



Fonte: da autora, 2023.

5.2 ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE FOCOS NA APA

Ao relacionar os focos registrados no período de análise, nota-se uma especial vulnerabilidade dos Latossolos. A classe "Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos (LVAd)" apresentou uma suscetibilidade elevada, totalizando 15 incidentes. Os "Latossolos Vermelhos Distróficos (LVd)" também demonstram ser propensos a incêndios, principalmente a categoria "LVd1," que registrou 14 focos. Os "Latossolos Vermelhos Distróferricos (LVdf)" também apresentam risco de incêndios, com 9 focos. Os "Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos (PVAe)" e os "Argissolos Vermelhos Eutróficos (PVe)" registrou 8 focos. Em contraste, os "Gleissolos Melânicos Tb Distróficos (GMd)" não registraram nenhum foco de incêndio. Essas conclusões destacam a importância de adaptar estratégias de prevenção e gestão de incêndios com base nas características específicas de cada tipo de solo e nas condições ambientais locais.

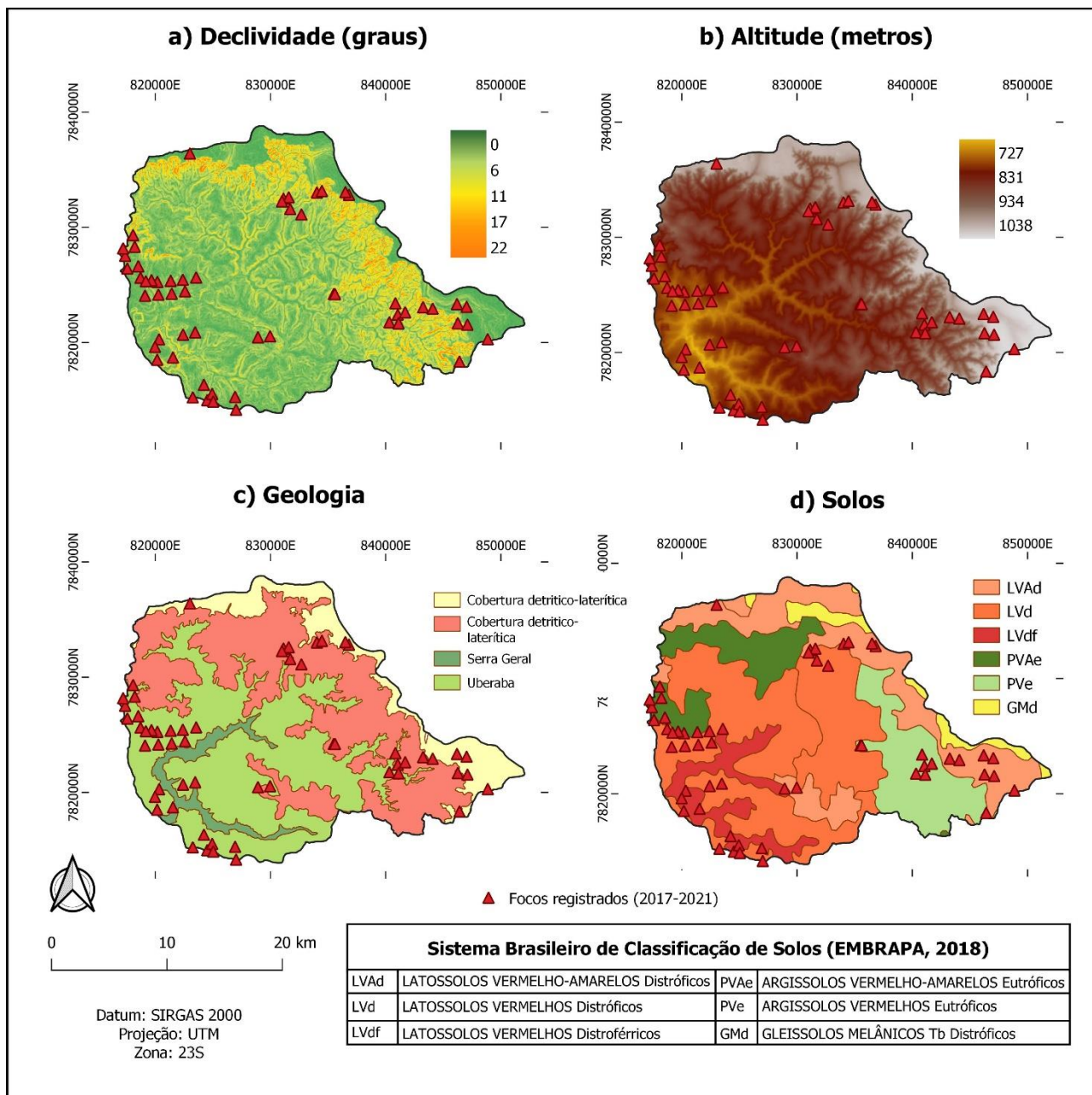
Por sua vez, os dados relacionando o número de focos de incêndio com cada uma das formações geológicas da APA do Rio Uberaba indicaram que a formação Uberaba se destaca com o maior número de focos, totalizando 33 incidentes, enquanto na formação Marília foram registradas 14 ocorrências. Na formação Cobertura detritico-laterítica registrou 9 focos de incêndio. Por outro lado, a formação Serra Geral demonstrou ser menos suscetível a incêndios, com apenas 1 foco registrado. Isso pode sugerir que essa formação geológica possui características ambientais ou geográficas que a tornam menos propensa a incêndios.

Em relação à altitude, observamos que a média de altitude dos locais com focos de incêndio é de aproximadamente 860.12 metros acima do nível do mar, com uma variação significativa que abrange desde o mínimo de 743.85 metros até o máximo de 1026.20 metros. A mediana, que representa o ponto médio dos dados, é de 839.14 metros. O desvio padrão de 78.61 metros indica a dispersão dos dados em torno da média, sugerindo que há áreas com altitudes substancialmente diferentes na APA.

No que diz respeito à declividade, a média é de cerca de 3.88 graus, com uma mediana de 2.82 graus. Novamente, há uma variação considerável nos valores, com um mínimo de 0.59 graus e um máximo de 9.91 graus. O desvio padrão de 2.17 graus mostra a dispersão dos dados em relação à média.

Portanto, com base nesses resultados, podemos concluir que a topografia da APA do Rio Uberaba apresenta uma alta variabilidade tanto em termos de altitude quanto de declividade. As áreas com altitudes entre 800 e 899 metros e declividades entre 2 e 3 graus parecem ser mais suscetíveis a incêndio.

Figura 7 – Registro dos focos nos mapas de a) declividade, b) altitude, c) geologia e d) solos.



Fonte: da autora, 2023.

5.3 ÁREAS DE CONFLITOS VS. FOCOS DE QUEIMADAS

A contagem de pontos no buffer criado possibilitou uma estimativa da distância dos focos registrados pelo INPE das áreas de conflito identificadas anteriormente.

O número de focos registrados dentro e fora do buffer no período analisado, bem como a porcentagem dos focos dentro dos buffers com relação ao total de focos registrados na APA podem ser observados nas Tabela 2 e Tabela 3:

Tabela 3 - Número de focos de queimadas na APA

Total de focos na APA	57
Total focos nos buffers	26
% focos nos buffers	45,61

Fonte: da autora, 2023.

Tabela 4 – Focos registrados dentro e fora dos buffers no período.

Buffer	2017	2018	2019	2020	2021
10 m	1	0	0	0	1
510 m	5	0	0	0	1
1010 m	1	0	0	3	4
1510 m	2	1	1	0	2
2010 m	1	0	0	0	3
Soma no buffer	10	1	1	3	11
Pontos fora da área do buffer	3	0	5	18	5
Total	13	1	6	21	16
% no buffer	76,92	100	16,66	14,28	68,75

Fonte: da autora, 2023.

Esses dados indicam que, no período de 2017 a 2021, foram registrados um total de 57 focos de incêndio na APA. Desses, 26 ocorreram dentro do buffer de 2010 metros, o que representa 45,61% do total de focos registrados na APA.

Ao analisar os dados de cada ano, observamos que em 2017 foram registrados 10 focos de incêndio dentro do buffer de 2010 metros, representando 76,92% do total de focos registrados nesse ano. Em 2018, todos os focos (100%) foram registrados dentro do buffer. Em 2019 e 2020, apenas 1 foco em cada ano ocorreu dentro do buffer, representando 16,67% e 14,29% dos focos registrados nesses anos, respectivamente. Já em 2021, foram registrados 11 focos dentro do buffer, representando 68,75% do total de focos registrados nesse ano.

As estatísticas estão representadas a seguir (Tabela 4), bem como os valores médios anuais no período analisado (Tabela 5):

Tabela 5 – Resultados estatísticos

Variável	Distance	Média	Desvpad	Mínimo	Mediana	Máximo
Pontos	10	0,400	0,548	0,000	0,000	1,000
	510	1,200	2,168	0,000	0,000	5,000
	1010	1,600	1,817	0,000	1,000	4,000
	1510	1,200	0,837	0,000	1,000	2,000
	2010	0,800	1,304	0,000	0,000	3,000

Fonte: da autora, 2023.

Tabela 6 - Média de pontos nos buffers.

Distancia	Pontos médios
10	0,4
510	1,2
1010	1,6
1510	1,2
2010	0,8

Fonte: da autora, 2023.

As análises estatísticas utilizaram a técnica de regressão polinomial, que é utilizada para encontrar a melhor equação matemática que descreve a relação entre duas variáveis. Essa equação é chamada de modelo de regressão polinomial. Nesse caso, a análise de regressão polinomial tem como objetivo modelar a relação entre o número de focos de incêndio dentro do buffer (Pontos) e a distância das zonas de conflito ambiental (Distância).

Análise de Regressão Polinomial: Pontos versus Distancia

A equação de regressão é:

$$\text{Pontos} = 0,4029 + 0,002007 \text{ Distancia} - 0,000001 \text{ Distancia}^2$$

Tabela 7 – Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)
0,135225	95,60%	91,21%

Tabela 8 – Análise de Variância

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
-------	----	----	----	---	---

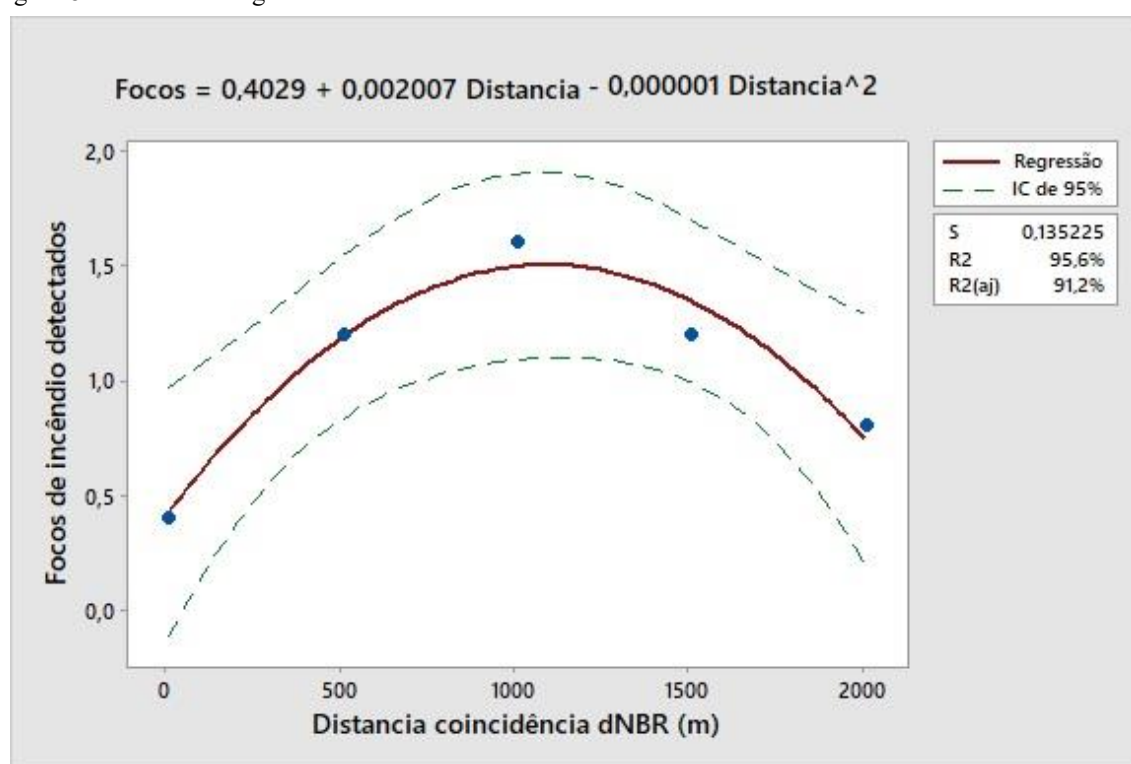
Regressão	2	0,795429	0,397714	21,75	0,044
Erro	2	0,036571	0,018286		Signif. P<0,05
Total	4	0,832000			

Tabela 9 – Análise de Variância Sequencial

Fonte	GL	SQ	F	P
Linear	1	0,064000	0,25	0,651
Quadrático	1	0,731429	40,00	0,024

Fonte: da autora, 2023.

Figura 8 - Análise de Regressão Polinomial: Pontos versus Distancia



Fonte: da autora, 2023.

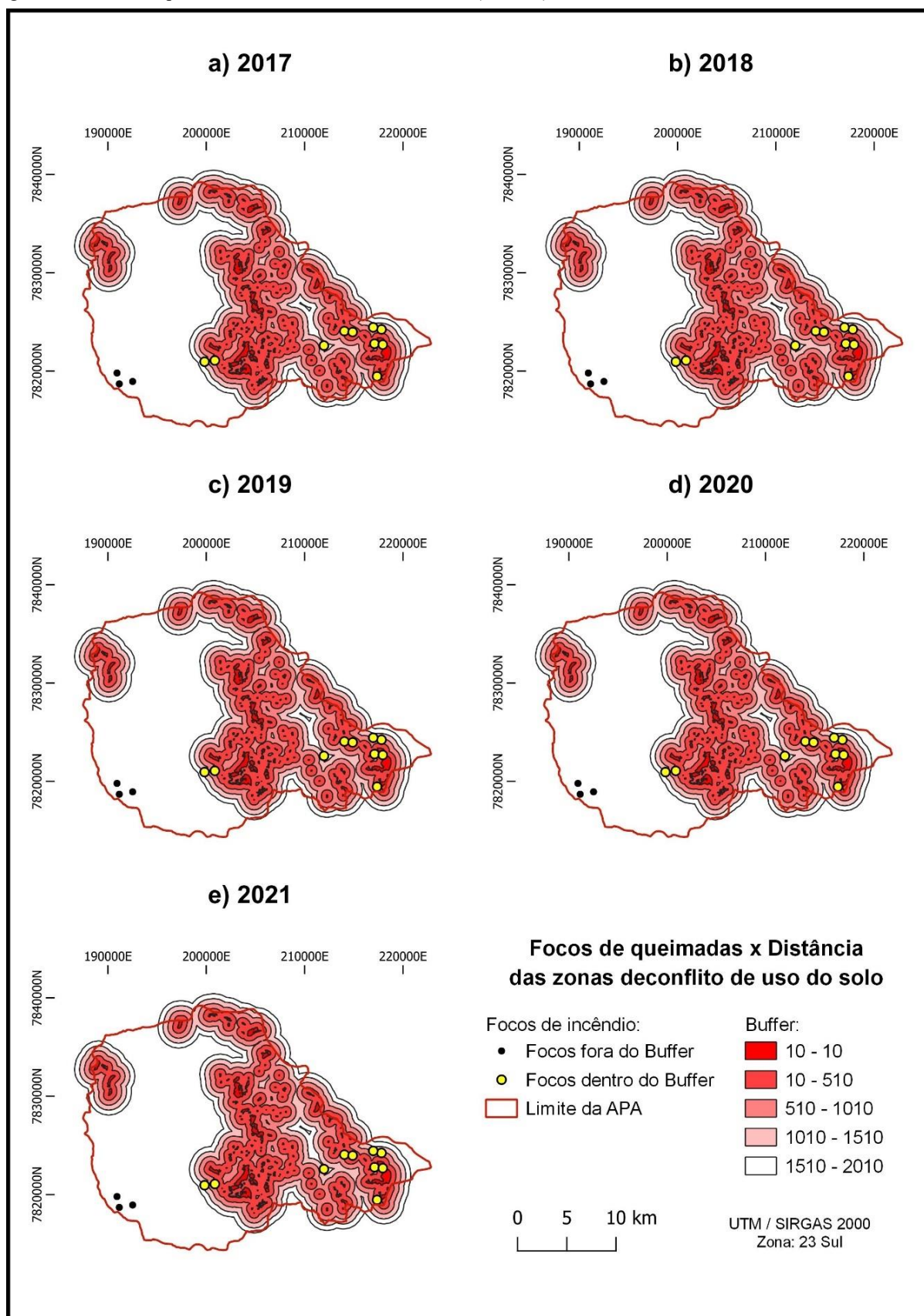
Essa equação indica que o número de focos de incêndio na área aumenta com a distância das zonas de conflito ambiental, mas em um ritmo decrescente. Isso significa que, à medida que a distância das zonas de conflito aumenta, o aumento no número de focos de incêndio na área é menor.

Os resultados da ANOVA mostram que a regressão polinomial é estatisticamente significativa, pois o valor F é maior do que 1 e o valor de p é menor do que 0,05 (nível de significância padrão). Isso indica que há uma relação significativa entre a distância e os pontos de incêndio na área estudada.

O coeficiente de determinação (R^2) é de 0,9560, o que significa que o modelo explica cerca de 95,6% da variação no número de focos de incêndio na área. O R^2_{aj} é de 0,9121, o que indica que o modelo ajustado explica cerca de 91,2% da variação no número de focos de incêndio na área.

Além disso, a análise de regressão polinomial sugere que existe um ponto ótimo de distância das zonas de conflito ambiental (por volta de 1000 m), a partir do qual o número de focos de incêndio começa a diminuir. Na Figura 7 é possível identificar a localização dos focos em relação à distância das áreas de conflito.

Figura 9 – Focos de queimadas x Conflitos de uso do solo (Buffers).



Fonte: da autora, 2023. Dados dos focos de Queimadas extraídos de INPE (2023).

5.3 ÁREAS DE CONFLITO VS. ÍNDICES DNBR

Com o código desenvolvido, foi possível calcular o índice dNBR e obter estatísticas para a área total da APA, para as áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e para as áreas de conflito ambiental de classe 1 previamente identificadas. Ao analisar os dados obtidos, foram observados alguns padrões consistentes ao longo do período analisado.

5.3.1 Resultados dos índices por ano

2017:

Na área total da APA, em 2017, a classe de severidade baixa foi a mais predominante, ocupando 46,4% da área, seguida pela classe de severidade moderado-baixo com 34%, enquanto classe de severidade não queimado abrangeu apenas 11,4% da área total. Nos anos seguintes, esse percentual foi maior, girando em torno da 30% da área total. Esse resultado está ligeiramente fora dos padrões e pode ser explicado pela dificuldade de encontrar imagens com um percentual de nuvens menores que 5%, uma vez que a coleção de imagens utilizadas no cálculo do índice ainda não possuía muitos dados nos anos de 2017 e 2018, obrigando a utilização de imagens com um percentual de nuvens maior no cálculo do índice. É possível que a maior quantidade de nuvens tenha interferido nesse resultado, superestimando as áreas queimadas. As classes de severidade moderado-alto e alta representaram 7,6% e 0,7% da área, respectivamente.

No caso dos buffers dos focos de incêndio, a classe de severidade baixa foi a mais expressiva, ocupando 39,7% da área. A classe de severidade moderado-baixo representou 35% da área, enquanto as classes moderado-alto e alta foram menos significativas, com 16,1% e 0,2% da área, respectivamente.

Quanto às áreas de conflito ambiental, a classe de severidade baixa também foi a mais predominante, abrangendo 34,4% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 20%, 22,3% e 0,4% da área, respectivamente. Esses dados podem ser observados na Tabela 9, e o mapa referente ao ano de 2017 encontra-se no Apêndice C.

Tabela 10 – Classe de severidade (em m² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2017)

Área total	Área Buffer	Área conflito ambiental
------------	-------------	-------------------------

Classe de severidade	dNBR	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%
Não queimado	0	60.118,8	11,4	0,9	9,0	3.262,0	22,8
Severidade baixa	1	245.139,3	46,4	4.097,9	39,7	4.914,8	34,4
Moderado-Baixo	2	179.771,0	34,0	3.604,1	35,0	2.860,9	20,0
Moderado-Alto	3	39.962,7	7,6	1.658,5	16,1	3.193,5	22,3
Alta	4	3.619,1	0,7	0,0	0,2	0,1	0,4
Total		528.610,9	100,0	10.311,4	100,0	14.293,3	100,0

Fonte: da autora, 2023.

2018:

Em 2018, a classe de severidade baixa continuou sendo a mais predominante na área total da APA, ocupando 43,9% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 17,8%, 6,5% e 1,1% da área, respectivamente. A classe de severidade não queimado abrangeu 30,8% da área total. Nesse ano, como no anterior, a coleção de imagens utilizadas no cálculo foi menor, o que pode levar a algumas imprecisões.

Nos buffers dos focos de incêndio, a classe de severidade baixa foi a mais expressiva, representando 24,7% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta ocuparam 17,6%, 14% e 4,1% da área, respectivamente.

Na análise das áreas de conflito ambiental em 2018, a classe de severidade baixa ocupou 15,1% da área, seguida pelas classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta, com 17,1%, 10,8% e 0,8% da área, respectivamente. Esses dados podem ser observados na Tabela 10, e no mapa presente no Apêndice D.

Tabela 11 – Classe de severidade (em m² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2018).

	dNBR	Área total		Área Buffer		Área conflito ambiental	
		Área	%	Área	%	Área	%
Não queimado	0	162.859,0	30,81	0,2	26,89	2.358,1	16,9
Severidade baixa	1	231.783,5	43,85	0,2	27,36	3.518,5	25,21
Moderado-Baixo	2	93.809,3	17,75	0,2	30,76	3.246,0	23,26
Moderado-Alto	3	34.596,0	6,54	0,1	15	3.946,2	28,28
Alta	4	5.563,1	1,05	0,0	0	0,9	6,36
Total		528.610,9	100	0,6	100	13.956,4	100

Fonte: da autora, 2023.

2019:

Em 2019, a classe de severidade baixa continuou sendo a mais predominante na área total da APA, abrangendo 35,9% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 21,4%, 9,4% e 5,3% da área, respectivamente. A classe de severidade não queimado ocupou 28,1% da área total.

Nos buffers dos focos de incêndio, a classe de severidade baixa foi a mais significativa, ocupando 24,7% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 17,6%, 14% e 4,1% da área, respectivamente.

No caso das áreas de conflito ambiental em 2019, a classe de severidade baixa ocupou 15,1% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 17,1%, 10,8% e 0,8% da área, respectivamente. A Tabela 11 e Apêndice E representam os dados de 2019.

Tabela 12 – Classe de severidade (em m² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2019).

	dNBR	Área total		Área Buffer		Área conflito ambiental	
		Área	%	Área	%	Área	%
Não queimado	0	148.267,8	28,1	1.616,8	39,7	4.527,6	33,0
Severidade baixa	1	189.654,7	35,9	1.005,6	24,7	2.066,1	15,1
Moderado-Baixo	2	113.107,4	21,4	0,7	17,6	2.347,3	17,1
Moderado-Alto	3	49.445,0	9,4	0,6	14,0	3.288,4	24,0
Alta	4	28.136,0	5,3	0,2	4,1	1.487,1	10,8
	Total	528.610,9	100,0	4.070,8	100,0	13.716,5	100,0

Fonte: da autora, 2023.

2020:

Em 2020, a classe de severidade baixa foi a mais predominante na área total da APA, ocupando 41,2% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 20,1%, 10,4% e 4,2% da área, respectivamente. A classe de severidade não queimado abrangeu 24,1% da área total.

Nos buffers dos focos de incêndio, a classe de severidade baixa foi a mais expressiva, ocupando 23% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta ocuparam 17,3%, 20,2% e 24,5% da área, respectivamente.

Na análise das áreas de conflito ambiental em 2020, a classe de severidade baixa ocupou 14,7% da área, enquanto as classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 18,4%, 34,4% e 6,9% da área, respectivamente, como indicado pela Tabela 12 e Apêndice F.

Tabela 13 – Classe de severidade (em m² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2020).

	dNBR	Área total		Área Buffer		Área conflito ambiental	
		Área	%	Área	%	Área	%
Não queimado	0	127.394,9	24,1	2.280,1	15,0	3.594,1	25,5
Severidade baixa	1	217.898,5	41,2	3.485,7	23,0	2.072,2	14,7
Moderado-Baixo	2	106.253,9	20,1	2.631,6	17,3	2.593,1	18,4
Moderado-Alto	3	55.108,3	10,4	3.064,5	20,2	4.839,4	34,4
Alta	4	21.955,2	4,2	3.727,8	24,5	1,0	6,9
Total		528.610,9	100,0	Total	15.189,8	14.072,5	100,0

Fonte: da autora, 2023.

2021:

A classe de severidade baixa foi a mais predominante, abrangendo 40,8% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 12%, 2,6% e 0,4% da área, respectivamente. A classe de severidade não queimado ocupou 44,3% da área total.

Nos buffers dos focos de incêndio, a classe de severidade baixa foi a mais expressiva, ocupando 37,5% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 17,4%, 7,6% e 0,5% da área, respectivamente.

Na análise das áreas de conflito ambiental em 2021, a classe de severidade baixa ocupou 26,7% da área. As classes de severidade moderado-baixo, moderado-alto e alta representaram 19,4%, 6,7% e 0,6% da área, respectivamente. A Tabela 13 e Apêndice G representam os dados de 2021.

Tabela 14 – Classe de severidade (em m² e % de área): área total da APA, áreas dos Buffers de 500m dos focos de incêndio e áreas de conflito ambiental de Classe 1 previamente identificadas (2021)

	dNBR	Área total		Área Buffer		Área conflito ambiental	
		Área	%	Área	%	Área	%
Não queimado	0	233.960,8	44,3	4.545,3	37,1	6.650,4	46,7
Severidade baixa	1	215.500,9	40,8	4.605,0	37,5	3.802,6	26,7
Moderado-Baixo	2	63.272,5	12,0	2.128,2	17,4	2.759,5	19,4
Moderado-Alto	3	13.693,4	2,6	0,9	7,6	0,9	6,7
Alta	4	2.183,3	0,4	0,1	0,5	0,1	0,6
Total		528.610,9	100,0	12.268,1	100,0	14.240,0	100,0

Fonte: da autora, 2023.

5.3.2 Análises dos resultados

O primeiro ponto observado com esses resultados é que, provavelmente, as áreas as quais o índice classificou como “baixa severidade”, podem ter sido superestimadas de forma que, na verdade, correspondem a áreas que sofreram outros tipos de degradação ou já estavam degradadas anteriormente, bem como podem ter sofrido a influência de outros fatores nessa classificação, como a presença de nuvens. Portanto, é importante ressaltar que não necessariamente essas áreas de fato sofreram com queimadas de baixa intensidade. No entanto, as áreas classificadas como de severidade moderada alta e alta em grande parte coincidem com os buffers dos focos registrados em todos os anos de análise, o que indica que esse método é sim eficiente pra identificar cicatrizes de queimadas, se considerarmos as classes de dNBR 3, 4 e 5 como cicatrizes verdadeiras.

Em todos os anos da análise, as áreas de conflito ambiental apresentam uma proporção maior de áreas queimadas nas classes de severidade moderado-alto (dNBR 3) e alta (dNBR 4) em comparação com a área total da APA, sendo que em 2020 essa diferença chegou a 24% na classe moderada-alta.

Quanto às áreas não queimadas, nas áreas de conflito a porcentagem também é relativamente menor em comparação com a área total da APA e até mesmo na comparação com os buffers de 500m, indicando que essas áreas apresentam uma menor capacidade de proteção contra o fogo.

Uma das surpresas da análise foi que, ao contrário do esperado, em alguns anos, as áreas de conflito ambiental também mostraram uma proporção maior de áreas queimadas classificadas como alta severidade em comparação com os buffers em torno dos focos de incêndio registrados, e as porcentagens de área queimada foram geralmente mais altas em comparação com os buffers de 500m. O que se esperava é que as áreas dos buffers apresentassem maior severidade, já que se tratam das proximidades dos focos registrados pelo INPE que contemplam incêndios e queimadas de pelo menos 30 m².

Esses resultados apontam para uma maior gravidade de queimadas na área de conflito de classe 1, reforçando a relação entre as áreas de conflito de uso do solo e queimadas de severidade moderada-alta e alta.

6 DISCUSSÕES

O primeiro ponto a ser destacado dessa análise é uma significativa vulnerabilidade dos Latossolos, especialmente o LVAd e o LVd1, à ocorrência de focos de incêndio. A formação geológica Uberaba, por sua vez, se destaca como mais suscetível. Quanto à topografia, altitudes entre 800 e 899 metros e declividades de 2 a 3 graus demonstram maior suscetibilidade a incêndios.

Os resultados obtidos na análise da incidência dos focos revelam importantes informações sobre a relação entre essas ocorrências e as áreas de conflito ambiental de Classe 1. A identificação de 26 focos dentro do buffer de 2010 metros, correspondendo a 45,61% do total de ocorrências registradas na APA, destaca a relevância dessas áreas como pontos críticos para o surgimento de incêndios. Além disso, a análise de regressão polinomial indica que o número de focos de incêndio na área aumenta nas áreas de conflito ambiental e em até 1000 metros do seu entorno. A tendência observada de diminuição na proporção de focos de incêndio à medida que a distância das zonas de conflito ambiental aumenta indica que essas áreas podem estar especialmente sujeitas a ocorrência de queimadas.

. A análise dos resultados do índice dNBR na área total da APA, nas áreas de conflito ambiental e nos entornos dos focos registrados revela alguns pontos sobre a dinâmica das queimadas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba. Ao constatar que há uma maior probabilidade da ocorrência de focos em áreas de conflito, é possível se inferir que essas áreas tendem a apresentar mais cicatrizes de queimadas. Isso explica por que, nas zonas de conflito, os valores de dNBR tendem a ser mais elevados, comprovando uma maior severidade do fogo e degradação da área.

Foi constatado que as classes de severidade baixa e moderada-baixa representam uma parte significativa da área total da APA e áreas de conflito ambiental, áreas essas que podem estar sendo superestimadas. No entanto, nas áreas de conflito, observa-se uma proporção maior de áreas queimadas nas classes de severidade moderado-alto e alta em comparação com a área total da APA, indicando um maior impacto do fogo nessas áreas. Essa diferença foi particularmente expressiva em 2020, com uma proporção significativa de áreas classificadas como de severidade moderada-alta. Nesse ano, foram registrados 21 focos de queimadas pelo INPE, maior número de focos anuais registrados no período analisado.

Além disso, surpreendentemente, as áreas de conflito apresentaram proporções mais altas de áreas queimadas de alta severidade em comparação com os buffers de 500m dos focos de incêndio registrados pelo INPE, o que contraria as expectativas, o que indica maior degradação nessas áreas. É importante ressaltar que o INPE registra queimadas e incêndios de no mínimo 30x30m, ou 1 pixel. Focos menores não são contabilizados, mas pequenas queimadas realizadas nas propriedades rurais também podem deixar cicatrizes na vegetação e causar impactos ambientais.

O cálculo do índice dNBR no período de 2017 a 2021 revela a existência de uma relação direta entre as áreas de conflito de uso do solo e a severidade das queimadas. No entanto, embora seja o índice mais utilizado na literatura para mensurar a gravidade de queimaduras pós-fogo, é importante ressaltar que as conclusões sobre a utilização e precisão desse e de outros índices variam. Enquanto alguns estudos enfatizam a superioridade do dNBR na estimativa da gravidade da queima em incêndios florestais, outros destacam que o RdNBR pode ser mais apropriado em certos casos. Essa divergência ressalta a importância de considerar as condições locais e o contexto específico ao escolher o índice apropriado para avaliar a severidade das queimadas. Os resultados do cálculo do índice dNBR revelam a complexidade e a relevância desse índice na gestão e monitoramento do fogo. No entanto, revelam também novas possibilidades de testes e melhorias que serão trabalhadas posteriormente.

A análise dos focos de incêndio na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba, juntamente com o cálculo do dNBR e das áreas de conflito de uso do solo leva a considerar o papel crítico dos conflitos nesse fenômeno ambiental. Conforme discutido por Valle Júnior (2008), a destinação inadequada de áreas em desacordo com suas características físicas e morfométricas constitui um dos principais fatores desencadeadores da degradação ambiental. Nesse contexto, as áreas de conflito ambiental, que apresentam discordância entre seu uso planejado e as características do ambiente, surgem como pontos de interesse. Os resultados obtidos indicam que essas áreas não apenas concentram uma parcela significativa dos focos de incêndio, mas também tendem a apresentar uma maior severidade do fogo, comprovando as duas hipóteses iniciais desse trabalho.

Os conflitos ambientais podem gerar impactos significativos sobre o meio ambiente e a sociedade, como a degradação do solo, a perda da biodiversidade, comprometimento dos recursos hídricos diminuição da produção agrícola. Podem, também, favorecer a

ocorrência de incêndios e queimadas de maior gravidade, causando ou agravando impactos ambientais e socioeconômicos já existentes. Esses resultados corroboram que as áreas de conflito ambiental de uso do solo apresentam especial fragilidade e vulnerabilidade ambiental.

Especificamente, as áreas de conflito ambiental de Classe 1, caracterizadas por riscos e limitações permanentes e severas quando destinadas a culturas anuais e pastagens, emergem como um ponto crítico nessa dinâmica. Essas áreas requerem abordagens que utilizem técnicas de conservação do solo (VALLE JÚNIOR, 2008), o que não vem ocorrendo de forma efetiva na região, tornando as áreas de conflito ambiental de Classe 1 mais vulneráveis a incêndios de maior intensidade, devido à sua fragilidade intrínseca e ao fato de exigirem um manejo delicado, incompatível com a utilização do fogo como recurso econômico. Isso realça a importância de um planejamento territorial consciente, que leve em conta as características do ambiente, visando não apenas à prevenção de incêndios, mas também à preservação do solo e da biodiversidade, além de minimizar os impactos socioeconômicos na região.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto, conforme discutido por Allgöwer et al. (2003), emerge como uma ferramenta valiosa. O Programa Queimadas do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) é um exemplo relevante, pois utiliza tecnologias de sensoriamento remoto para detectar focos de incêndio e fornecer dados atualizados. A análise desses dados em contextos e escalas regionais, como realizada neste trabalho e por Rocha e Nascimento (2022) e Silva et al. (2023), contribui para a compreensão dos padrões espaciais e temporais das queimadas, identificando áreas de maior intensidade e ressaltando a importância do monitoramento como parte das estratégias de prevenção e gestão desses eventos.

7 CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos na APA do Rio Uberaba revelou uma forte relação entre os conflitos ambientais de uso do solo e a ocorrência e severidade de incêndios e queimadas. Os focos de incêndio registrados ocorreram predominantemente nas áreas de conflito e em seu entorno, indicando sua relevância como pontos críticos para o surgimento dos mesmos. Além disso, os valores do índice dNBR demonstraram uma maior severidade do fogo nessas áreas, corroborando a tendência observada de maior proporção de áreas sujeitas a queimadas mais severas.

A presença de áreas de conflito aumenta o risco de queimadas mais intensas e impacta negativamente a capacidade de proteção da vegetação contra o fogo. Portanto, a adoção de medidas específicas de prevenção, controle e mitigação nessas áreas se torna essencial para reduzir os impactos negativos das queimadas ao ecossistema.

Os resultados corroboram estudos anteriores que já apontaram que a identificação e o monitoramento dos conflitos ambientais podem desempenhar um papel fundamental na gestão e preservação ambiental. O uso de ferramentas como o sensoriamento remoto e a linguagem de programação para coleta e análise de dados, a utilização de índices espectrais para mensurar a degradação ambiental e o monitoramento das áreas de conflito podem, portanto, subsidiar a implementação de estratégias de gestão da APA voltadas para um manejo sustentável e seguro da região.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou resultados positivos que fornecem contribuições relevantes para uma melhor compreensão do fenômeno dos conflitos ambientais de uso do solo e do comportamento do fogo na área de estudo. No entanto, é importante mencionar algumas limitações desse estudo. Em primeiro lugar, os dados obtidos do INPE para identificação das queimadas têm como restrição a captura de incêndios com tamanho superior a 1 pixel, o que pode subestimar a quantidade de focos. Nesse sentido, seria interessante considerar a inclusão de dados provenientes do corpo de bombeiros, que poderiam fornecer dados mais detalhadas sobre a região. Além disso, uma análise em uma área de estudo maior, como uma bacia hidrográfica, permitiria uma compreensão mais ampla dos padrões espaciais e dos impactos dos incêndios em uma escala regional. Por fim, vale ressaltar que não foi viável a realização de trabalhos de campo para validação dos dados e análises in loco, o que aumentaria a confiabilidade e robustez do estudo. No entanto, ao levantamento de dados mostrou que existem muitas possibilidades de continuidade para essa pesquisa, com o incremento de dados de clima, precipitação e evapotranspiração, o que será feito posteriormente.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. L. Diagnóstico Hídrico Do Rio Uberaba-MG Como Subsídio Para A Gestão Das Áreas De Conflito Ambiental. 2012. Tese de doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- ALLEN, J. L.; SORBEL, B. Assessing the differenced Normalized Burn Ratio's ability to Burn Ratio's ability to map burn severity in the boreal forest and tundra ecosystems of Alaska's national parks. *International Journal of Wildland Fire*, v. 17, n. 4, p. 463–475, 2008.
- ALLGOWER, B.; CARLSON, J. D.; van WAGTENDONK, J. W. Introduction to Fire Danger Rating and Remote Sensing — Will Remote Sensing Enhance Wildland Fire Danger Rating? In: CHUVIECO, Emilio (Ed.). *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping: The Role of Remote Sensing Data*. Series in Remote Sensing, Vol. 4. University of Alcalá, Spain., 2003.
- BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Incêndios Na Amazônia Brasileira: Estimativa Da Diferentes Ecossistemas De Roraima Na Passagem Do Evento “El Nino” (1997/98). *ACTA AMAZONICA* 29(4), 1999., P. 513–534.
- BERTIER, F. L.; SILVA, R. A. DA; NORA, G. D. Fogo No Mato, Perigo De Fato? Ponderações Comunitárias Sobre O Uso Do Fogo No Cerrado Mato-Grossense. *REnCiMa*, v. 11, n. 2, p. 144–157, 2020. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0002-8890-7832>.
- CACHOEIRA, J. N. et al. Prediction of the variables of fire behavior at sensu stricto Cerrado in southern Tocantins. *Adv For Sci*, n. 2, p. 939–946, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3406>.
- CARDOZO, F. S. et al. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, 2011.
- CHANG, Y. et al. Environmental controls on the characteristics of mean number of forest fires and mean forest area burned (1987–2007) in China. *Forest Ecology and Management*, v. 356, p. 13–21, 15 nov. 2015.
- COSTA, R. G. F. et al. Uso do fogo em pastagens naturais. *PUBVET - Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 5, n. 9, 2011. Acesso em: 17 out. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 63, Rio de Janeiro, RJ, , Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, ISSN 1678-0892, 2004.
- G1 TRIÂNGULO E ALTO PARANAÍBA. VÍDEO: bombeiros registram mais de 20 incêndios em Uberaba no fim de semana | Triângulo Mineiro | G1. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2021/09/06/video-bombeiros-registram-mais-de-20-incendios-em-uberaba-no-fim-de-semana.ghtml>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- GREENPEACE BRASIL. Queimadas na Amazônia se intensificam em agosto. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/queimadas-na-amazonia-intensificam-e-agosto/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Programa Queimadas. Disponível em: <
<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/apresentacao>>. Acesso em 01/12/2022.

JOHNSTON, F. H. et al. Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environmental Health Perspectives*, v. 120, n. 5, p. 695–701, 2012.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. . [S.l: s.n.], 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/241687027>.

LEONE, V.; KOUTSIAS, N.; MARTINEZ, J.; VEGA-GARCIA, C.; ALLGOWER, B. The Human Factor in Fire Danger Assessment. In: CHUVIECO, Emilio (Ed.). *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping: The Role of Remote Sensing Data*. Series in Remote Sensing, Vol. 4. University of Alcalá, Spain, 2003.

LIMA, N. A. S. DA et al. Spectral Indices for remote sensing with the LANDSAT-5 and SENTINEL-2 satellites around the Poço Cruz reservoir-PE. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* v, v. 9, n. 5, p. 299–309, 2019. Disponível em: <www.periodicos.ufpe.br/revistas/jhrswww.ufpe.br/jhrs>.

MapBiomias. (2023). MapBiomias: Mapeamento da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>

MBOW, C.; GOÏTA, K.; BÉNIÉ, G. B. Spectral indices and fire behavior simulation for fire risk assessment in savanna ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, v. 91, n. 1, p. 1–13, 15 maio 2004.

OLIVEIRA, A. C. et al. Avaliação de Áreas Provedoras de Serviços Ambientais na APA Municipal do Rio Uberaba, Minas Gerais. *Rev. Bras. Cartografia*, vol. 73, n. 1, 2021.

PACHECO, F. A. L.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. F. S.; VALLE JUNIOR, R. F. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of the Total Environment*, v. 485, p. 110-120, Elsevier, 2014.

PEDROSO NETO, J. C. Solos da Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba. Editora UFLA, Lavras, 2009.

PEREIRA, A. A. Mapeamento Automático De Queimadas No Bioma Cerrado Utilizando Sensores Orbitais. 2017. Tese de doutorado – UFLA, Lavras - MG, 2017.

PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVEIRA NETO, S. N.; VILELA, M. F. Risco De Incêndios Em Função Da Característica Do Clima, Relevo E Cobertura Do Solo. *Floresta e Ambiente*, v. 8, n. 1, p. 161–166, 2001.

RODRIGUES, V. S. A avaliação da erosão hídrica usando a Modelagem de Mínimos Quadrados Parciais: um estudo em uma área legalmente protegida com conflitos ambientais de uso da terra. 2019. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.

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.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E TURISMO, S. Plano de Manejo Emergencial - Área de Proteção Ambiental Municipal do Rio Uberaba. Prefeitura de Uberaba. Uberaba: [s.n.], 2013

TAVARES, M. DE F. D. et al. Paisagens protegidas e incêndios florestais em Brasília: produção voluntária de informações geográficas e sistema de alerta. *Territorium*, n. 26(I), p. 63–86, 16 maio 2018.

TORRES, F. T. P. et al. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente*, v. 24, 2017.

VALERA, C. A. et al. The role of environmental land use conflicts in soil fertility: A study on the Uberaba River basin, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 562, p. 463–473, 15 ago. 2016.

VALLE JÚNIOR, R. F. DO et al. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 14, p. 20–33, 1 abr. 2019.

VALLE JUNIOR, R. F. DO et al. Diagnóstico do Conflito de Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Uberaba *Environmental*, v. 6, n. 1, p. 40–52, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263367591>.

VALLE JÚNIOR, R. F. DO. Diagnóstico De Áreas De Risco De Erosão E Conflito De Uso Dos Solos Na Bacia Do Rio Uberaba. 2008. Tese de doutorado – UNESP, Jaboticabal, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F., VARANDAS, S. G. P., PACHECO, F. A. L., PEREIRA, V. R., SANTOS, C. F., CORTES, R. M. V., & SANCHES FERNANDES, L. F. (2015). Impacts of land use conflicts on riverine ecosystems. *Land Use Policy*, 43, 48-62. Elsevier, 2015.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of The Total Environment*, v. 493, p. 812-827, Elsevier, 2014.

APÊNDICE A – Código em JavaScript utilizado para reclassificar as imagens do MapBiomas no Google Earth Engine

```
var mapbio = ee.Image ('projects/ee-d202120094/assets/mapbiomas-brazil-collection-70-unknownareatype-2021')
```

```
Map.addLayer(mapbio)
```

```
var roi = ee.FeatureCollection('projects/ee-d202120094/assets/Limite_4326')
```

```
var reclass = ee.Image (0)
```

```
  .where(mapbio.gt(16).and(mapbio.lte(20.5)), 1)
```

```
  .where(mapbio.gt(38).and(mapbio.lte(49)), 1)
```

```
  .where(mapbio.gt(13).and(mapbio.lte(15.5)), 2)
```

```
  .where(mapbio.gt(20.5).and(mapbio.lte(21.5)), 2)
```

```
  .where(mapbio.gt(2).and(mapbio.lte(5)), 4)
```

```
  .where(mapbio.gt(8.5).and(mapbio.lte(12.5)), 4)
```

```
  .where(mapbio.gt(23).and(mapbio.lte(25)), 0)
```

```
  .where(mapbio.gt(29).and(mapbio.lte(31)), 0)
```

```
  .where(mapbio.gt(32).and(mapbio.lte(34)), 0)
```

```
Map.addLayer(reclass)
```

```
var projection = reclass.projection().getInfo();
```

```
print(projection)
```

```
var vector = reclass.addBands(reclass).reduceToVectors({
```

```
  geometry: roi,
```

```
  scale: 10,
```

```
  geometryType: 'polygon',
```

```
  eightConnected: false,
```

```
  labelProperty: '2021_reclass',
```

```
  maxPixels: 1e8,
```

```

reducer: ee.Reducer.mean()

})

```

```

Export.table.toDrive({
  collection: vector,
  description: '2021_reclass'})

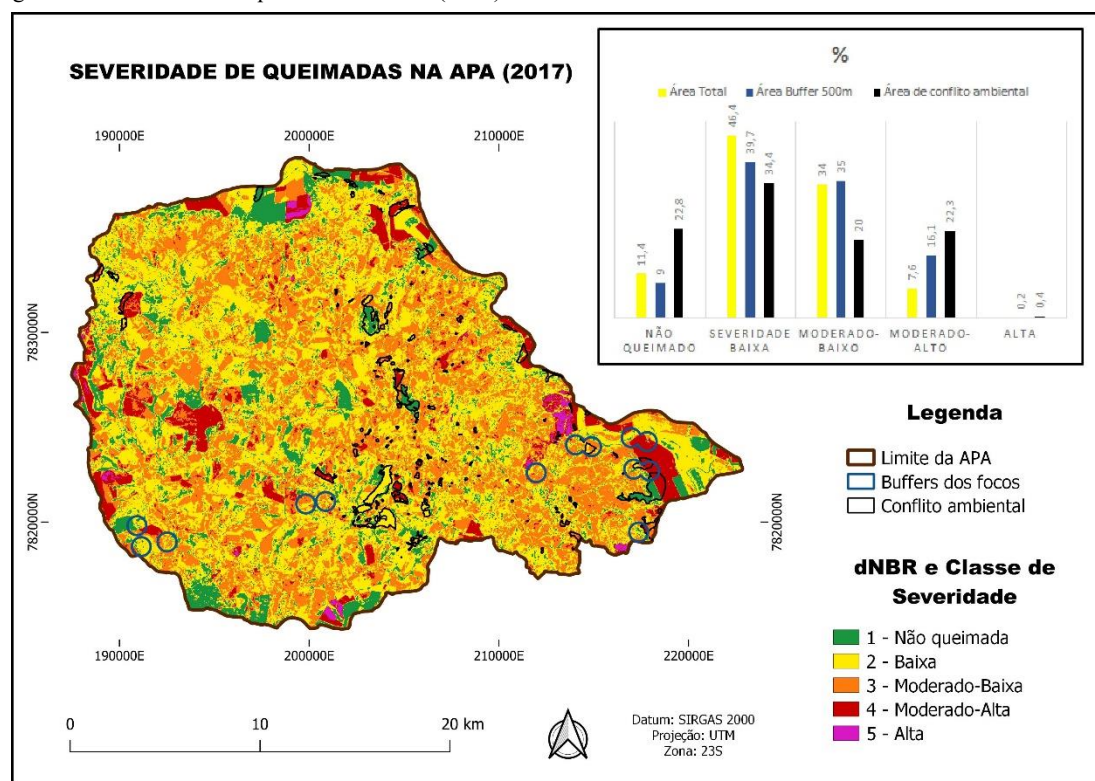
```

APÊNDICE B - Link para o código em Python para cálculo do dNBR

<https://colab.research.google.com/drive/1-LHp0YpWW248dVTp7awbX43MAfjJkQnv>

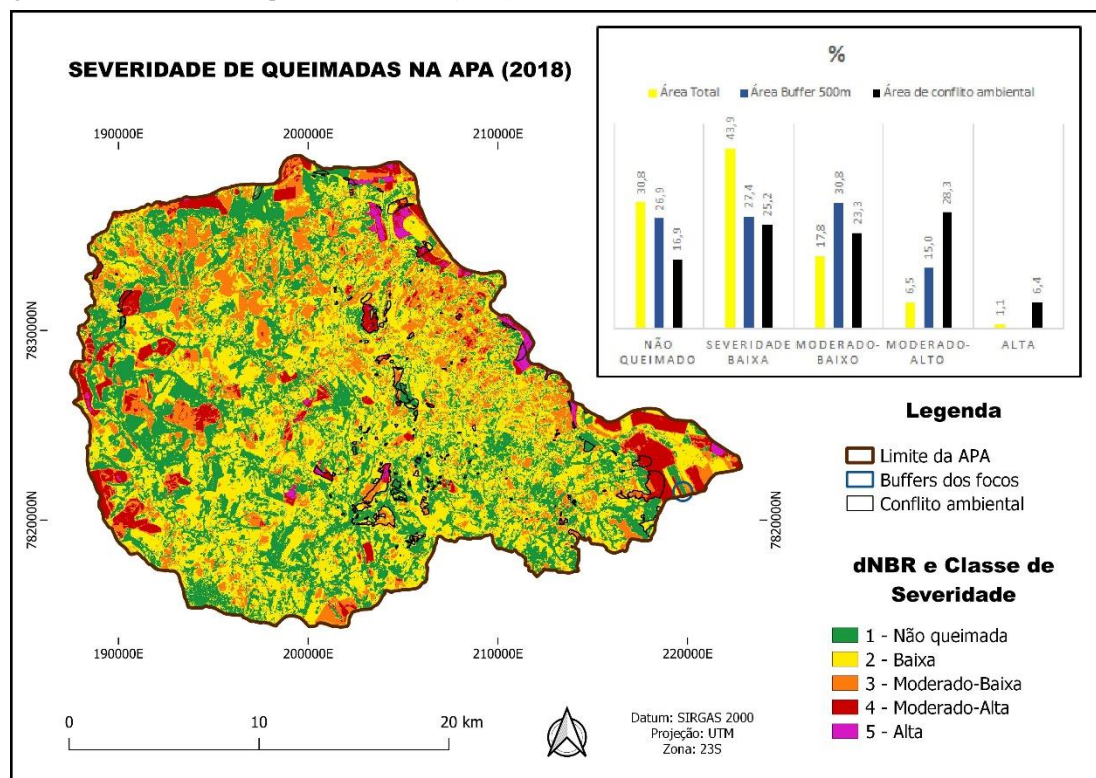
APÊNDICE C – Mapas de severidade de queimadas na APA (2017 – 2021)

Figura 10 – Severidade de queimadas na APA (2017)



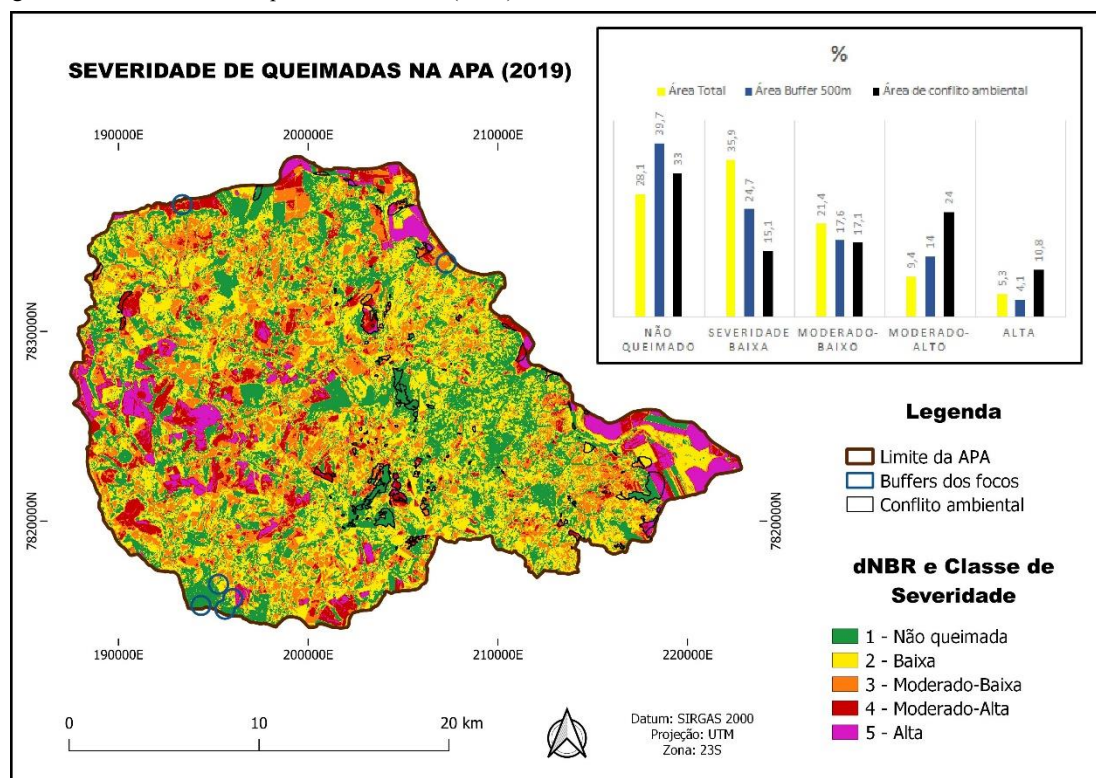
Fonte: da autora, 2023.

Figura 11 -- Severidade de queimadas na APA (2018)



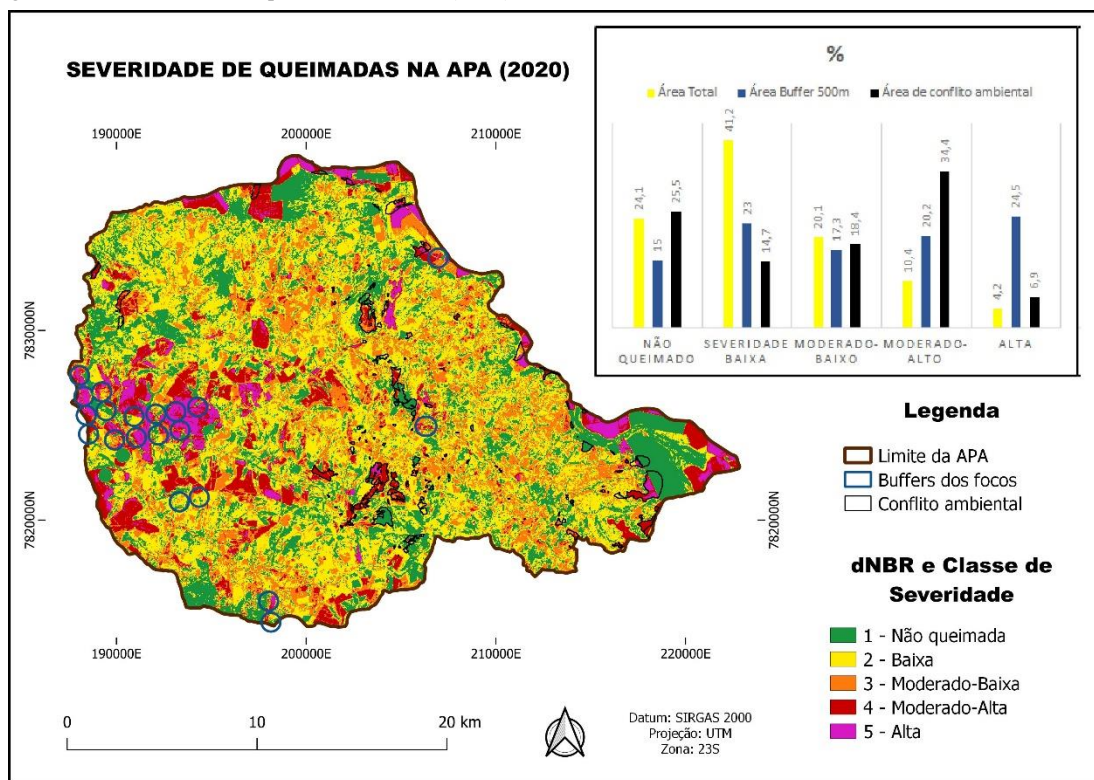
Fonte: da autora, 2023.

Figura 12 -- Severidade de queimadas na APA (2019)



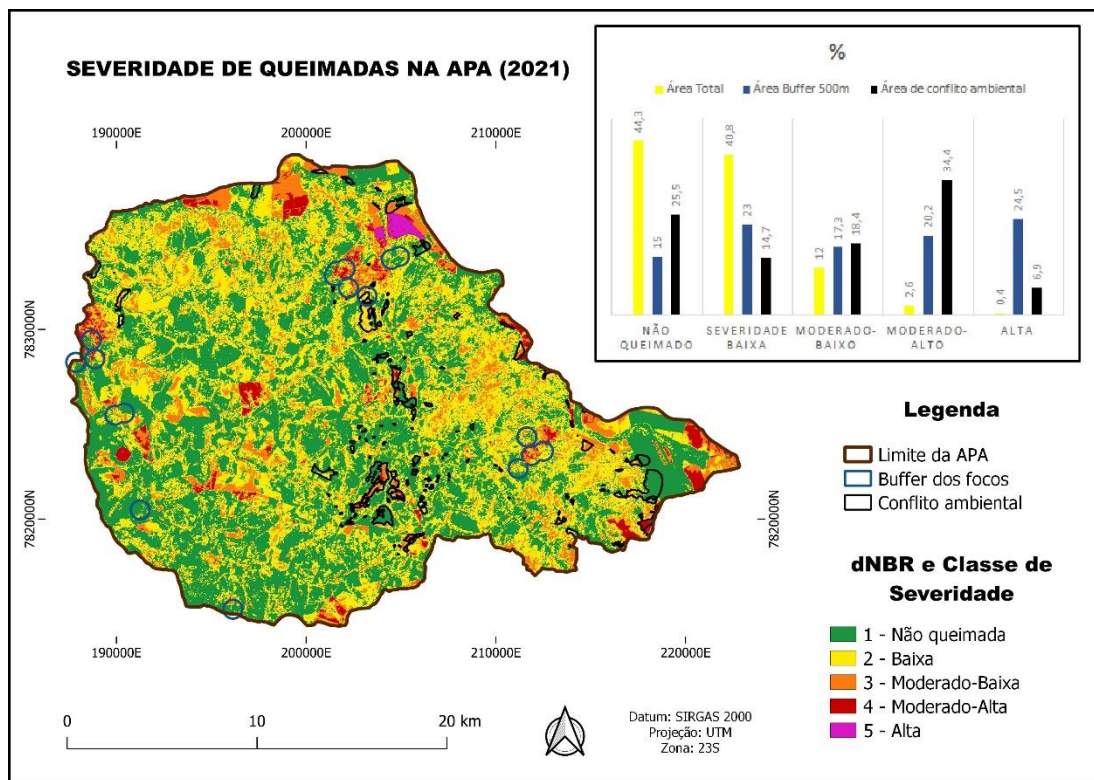
Fonte: da autora, 2023.

Figura 13 -- Severidade de queimadas na APA (2020)



Fonte: da autora, 2023.

Figura 14 -- Severidade de queimadas na APA (2021)



Fonte: da autora, 2023.