UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ERISLÂNIA SOUSA SILVA

REGIME DO FOGO E USO E COBERTURA DA TERRA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO

Teresina
2024

ERISLÂNIA SOUSA SILVA

REGIME DO FOGO E USO E COBERTURA DA TERRA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PPGDMA/UFPI), como requisito à obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente;

Orientadora: Prof.ª. Dr.ª Giovana Mira de Espindola

Teresina
2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

S586r Silva, Erislânia Sousa.
Regime do fogo e uso da cobertura da terra em uma unidade de conservação no nordeste brasileiro / Erislânia Sousa Silva. -- 2024.
58 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2024.
"Orientadora: Prof.ª. Dr.ª Giovana Mira de Espindola".

1. Unidade de Conservação. 2. Incêndios florestais. 3. Dinâmica do Fogo. 4. Parque Nacional Serra das Confusões. I. Espindola, Giovana Mira de. II. Título.

CDD 333.72

Bibliotecária: Francisca das Chagas Dias Leite – CRB3/1004

ERISLÂNIA SOUSA SILVA

REGIME DO FOGO E USO E COBERTURA DA TERRA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Profª. Dra. Giovana Mira de Espindola

Aprovado em 27 de agosto de 2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
GIOVANA MIRA DE ESPINDOLA
Data: 29/08/2024 15:51:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profª. Dra. Giovana Mira de Espindola (UFPI)
Orientadora

Documento assinado digitalmente
JULIANA DO NASCIMENTO BENDINI
Data: 30/08/2024 09:57:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profª. Dra. Juliana do Nascimento Bendini (UFPI)
Examinadora Interna

Documento assinado digitalmente
VALDIRA DE CALDAS BRITO VIEIRA
Data: 06/09/2024 14:30:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profª. Dra. Valdira de Caldas Brito Vieira (IFPI)
Examinadora Externa

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela força concedida ao longo desta jornada e pela presença das pessoas que colocou em meu caminho, tornando possível a realização deste sonho. Sem o apoio e a orientação dessas pessoas, esta conquista não teria sido possível.

Sou profundamente grata à minha amada companheira, Amanda Bezerra Matias, pelo apoio incondicional e compreensão ao longo de todo o processo. Sua presença foi essencial para a conclusão deste trabalho.

A minha orientadora, Giovana Mira de Espindola, minha sincera gratidão pelas orientações valiosas e pela paciência ao longo da elaboração desta dissertação. Sua dedicação e comprometimento foram verdadeiramente inspiradores e tiveram um impacto profundo em minha jornada acadêmica.

Agradeço profundamente ao meu amigo, Prof. Reurysson Chagas de Sousa Morais, por suas contribuições e conselhos indispensáveis ao longo da elaboração deste trabalho. Sua orientação não apenas foi decisiva para o desenvolvimento desta dissertação, mas também desempenhou um papel crucial em meu crescimento acadêmico. Sou imensamente grata por todo o apoio e dedicação.

RESUMO

As Unidades de Conservação (UC) desempenham um papel fundamental na proteção e preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais. Seu objetivo principal é assegurar a conservação de espécies, habitats e processos ecológicos, garantindo que áreas naturais ou seminaturais sejam preservadas para as gerações futuras. No entanto, apesar dos esforços, essas áreas enfrentam riscos como incêndios descontrolados, e mudanças no uso e cobertura da terra ao longo dos anos, o que compromete sua eficácia e desafia sua missão de conservação. Com base nesse pressuposto, este trabalho foi realizado no Parque Nacional Serra das Confusões (PNSC). O estudo investiga como a criação de uma unidade de conservação de proteção integral no bioma Caatinga afeta a redução de incêndios florestais e as mudanças no uso da terra decorrentes desses eventos. A hipótese é que os incêndios têm um impacto significativo, alterando a estrutura dos biomas e exigindo adaptações às mudanças ambientais. O objetivo foi avaliar a eficácia dessa unidade na diminuição dos incêndios analisando as mudanças no uso e cobertura da terra ao longo do tempo. Para isso, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e análises estatísticas para mapear e comparar as áreas afetadas por incêndios em ambos os períodos. Os resultados mostraram que 48% da área do PNSC (5.789 km²) já havia sido atingida por queimadas. Embora houvesse um aumento na frequência de queimadas após a criação do parque, as diferenças médias nas áreas queimadas antes e depois da implantação do PNSC não foram estatisticamente significativas, e nenhuma tendência clara foi observada ao longo dos anos. Além disso, os dados do projeto MapBiomas, que acompanha mudanças na cobertura do solo, revelaram que a Formação Savânica e a Formação Florestal dominam no PNSC e áreas vizinhas. A Formação Savânica aumentou de 48,03% da área em 1998 para 57,37% em 2021, enquanto a Formação Florestal diminuiu de 46,66% para 35,86% no mesmo período. As análises de regressão mostraram uma tendência crescente significativa para a Formação Savânica em 1998, uma tendência decrescente em 2010, e variações não significativas em 2015 e 2021. Por outro lado, a Formação Florestal apresentou uma tendência decrescente consistente em todos os anos analisados. Esses resultados indicam que a diminuição contínua da Formação Florestal e as variações na Formação Savânica destacam a necessidade de monitoramento constante e de estratégias eficazes para prevenir e controlar incêndios, assegurando a conservação e recuperação ambiental na região.

Palavras-chave: Unidade de Conservação. Incêndios florestais. Dinâmica do Fogo. Parque Nacional Serra das Confusões.

ABSTRACT

Conservation Units (CUs) play a crucial role in protecting and preserving biodiversity and natural ecosystems. Their main goal is to ensure the conservation of species, habitats, and ecological processes, preserving natural or semi-natural areas for future generations. However, despite these efforts, such areas face risks such as uncontrolled fires, and changes in land use and land cover over the years challenge their effectiveness and conservation mission. Based on this premise, this study was conducted at the Serra das Confusões National Park (PNSC). The research investigates how the establishment of a fully protected conservation unit in the Caatinga biome impacts the reduction of forest fires and changes in land use resulting from these events. The hypothesis is that fires have a significant impact, altering biome structure and requiring adaptations to environmental changes. The objective is to evaluate the effectiveness of this unit in reducing fires and to analyze changes in vegetation cover over time. Geoprocessing techniques and statistical analyses were used to map and compare the areas affected by fires in both periods. The results showed that 48% of the PNSC area (5,789 km²) had already been affected by fires. Although there was an increase in the frequency of fires after the park was established, the average differences in burned areas before and after the creation of the PNSC were not statistically significant, and no clear trend was observed over the years. Additionally, data from the MapBiomas project, which monitors land cover changes, revealed that the Savanna Formation and Forest Formation dominate the PNSC and surrounding areas. The Savanna Formation increased from 48.03% of the area in 1998 to 57.37% in 2021, while the Forest Formation decreased from 46.66% to 35.86% over the same period. Regression analyses showed a significant increasing trend for the Savanna Formation in 1998, a decreasing trend in 2010, and non-significant variations in 2015 and 2021. On the other hand, the Forest Formation showed a consistent decreasing trend in all developed years. These results indicate that the continuous decrease in the Forest Formation and the variations in the Savanna Formation highlight the need for constant monitoring and effective strategies to prevent and control fires, ensuring environmental conservation and recovery in the region.

Keywords: Conservation Unit. Forest Fires. Fire Dynamics. Serra das Confusões National Park.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Unidades de Conservação federais no estado do Piauí 16
Figura 2: Localização do Parque Nacional da Serras das Confusões, Nordeste do Brasil..**Erro! Indicador não definido.**
Figura 3: Recorrência de incêndios florestais no período de 1985 a 2022 no PNSC e entorno. E a figura 3B tem as elevações por meio do Modelo Digital de Elevação para a mesma área. .. 34
Figura 4: (A) Contagem de incêndios no período de 1985 a 1998 no PNSC e área de entorno. (B) Frequência de incêndios após a criação do PNSC (1999 a 2022). 35
Figura 5: (A) Contagem de incêndios do PNSC e área de entorno antes da ampliação. (B) Incêndios do PNSC e área de entorno após ampliação. 36
Figura 6: Boxplot das áreas queimadas no interior e entorno do Parque Nacional da Serra das Confusões, antes e depois da sua implantação em 1998. 40
Figura 7: Estimativa de densidade Kernel das cicatrizes de incêndios na zona de entorno e no PNSC. 7A – Representa o ano de 1998, 7B – Ano de 2010, 7C – Ano de 2015, 7D – Ano de 2021. 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área das Unidades de Conservação federal, estadual e municipal..... 15
Tabela 2: Resumo das estatísticas do teste não-paramétrico de Mann-Kendall para análise de tendências de áreas queimadas no interior e entorno do PNSC, entre os anos de 1985 e 2022. 41
Tabela 3: Área dos incêndios representados por polígonos 49
Tabela 4:Quantidade de cicatrizes por município. 51
Tabela 5: Áreas de cada classe de uso e cobertura da terra 52
Tabela 6: Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 1995 a 2001 53
Tabela 7: Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 2007 a 2013 53
Tabela 8:Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 2012 a 2018 53
Tabela 9:Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 2018 a 2022 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAs - Áreas de Proteção Ambiental

CNUC - Cadastro Nacional de Unidades de Conservação

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

ESEC - Estação Ecológica

FLONA - Floresta Nacional

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

MK - Mann-Kendall

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PARNAs - Parques Nacionais

PNSC - Parque Nacional Serra das Confusões

PNSCa - Parque Nacional da Serra da Capivara

RESEX - Reserva Extrativista

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SR - Sensoriamento Remoto

UCs - Unidades de Conservação

UC- Unidade de Conservação

UC-PI - Unidades de Conservação de Proteção Integral

UC-US - Unidades de Conservação de Uso Sustentável

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 13
2.1 Unidades de Conservação 13
2.2 Unidades de Conservação Federais do Piauí 15
2.3 Características dos biomas Caatinga e Cerrado e Suas Unidades de Conservação 18
2.5 Dinâmica do fogo nas UCs e o uso do Sensoriamento Remoto 20
2.6 Dados de uso e cobertura da terra a partir do MAPBIOMAS 21
REFERÊNCIAS 23
ARTIGO 1: CAATINGA EM CHAMAS: ANÁLISE DA EFICÁCIA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO NA REDUÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS 28
1. INTRODUÇÃO 29
2. MATERIAIS E MÉTODOS 30
2.1 Localização e Caracterização da Área De Estudo 30
2.2 Aquisição dos Dados 32
2.3 Dados pluviométricos 32
2.4 Análise de Dados 33
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES 34
3.1. Análise espacial da ocorrência de incêndio 34
3.2 Variação temporal nas áreas incendiadas 35
3.3. Análise Estatística 39
4. CONCLUSÃO 41
REFERÊNCIAS 42
ARTIGO 2: DINÂMICA DA PAISAGEM APÓS INCÊNDIO EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL 45
1. INTRODUÇÃO 46
2. MATERIAIS E MÉTODOS 47
2.1 Localização e Caracterização da Área De Estudo 47
2.2 Identificação das áreas de incêndios e das classes de uso e cobertura da terra 47
2.3 Análise de dados 48
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES 48
3.1 Incêndios florestais no Parque Nacional Serra das Confusões 48
3.2 Variabilidade espacial de hotspots 49
3.3 Uso e cobertura da terra no período dos incêndios 51
3.4 Classes de uso e cobertura da terra no período pós-incêndios 52
3.5 Análise de Tendências nas Mudanças de Uso e Cobertura 54
4. CONCLUSÃO 56
REFERÊNCIAS 57

1 INTRODUÇÃO GERAL

A interação do ser humano com o ambiente tem sido uma constante ao longo da história, moldando e sendo moldada pelas necessidades e inovações da sociedade. Desde a dependência direta dos recursos naturais até os avanços tecnológicos e crescimento urbano, essa relação dinâmica traz consequências cada vez mais evidentes e preocupantes (Sauvé, 2002).

No entanto, no cenário atual, marcado pelo aumento populacional global, avanços tecnológicos e uma crescente sensibilização sobre os impactos ambientais das atividades humanas, impõe a necessidade de reavaliar e repensar nossa relação com a natureza. A preocupação crescente com questões ambientais como mudanças climáticas, perda de biodiversidade e degradação dos ecossistemas reflete a urgência de adotar abordagens mais sustentáveis e equilibradas em nossas interações com o meio ambiente.

Com o intuito de mitigar esses impactos, surgiram as áreas de proteção ambiental, que representam subdivisões do conceito mais amplo de "espaços ambientais". Esses territórios delimitados têm como objetivo a proteção ambiental, sendo submetidos a regimes especialmente protetivos. As áreas de proteção ambiental abrangem tanto espaços territoriais especialmente protegidos quanto o zoneamento ambiental (Lopes; Vialôgo, 2018).

No contexto brasileiro, essas áreas são formalmente designadas como Unidades de Conservação (UCs), com esferas de abrangência que podem incluir níveis federais, estaduais e municipais. No entanto, mesmo essas áreas protegidas não estão isentas de desafios como caça ilegal, expansão de pastagens, práticas agrícolas e o uso indiscriminado do fogo, que ameaçam sua integridade (Silva, 2006).

Um exemplo de Unidade de Conservação notável é o Parque Nacional Serra das Confusões (PNSC), situado no estado do Piauí, nordeste do Brasil. Criado em 1998, este parque abrange cerca de 823 mil hectares, representando um importante refúgio de biodiversidade e um reduto de ecossistemas naturais na região.

A diversidade de paisagens e ecossistemas dentro do PNSC é notável, abrangendo desde a Caatinga até o Cerrado e trechos de Mata Atlântica. A diversidade ambiental do PNSC o torna propício para abrigar uma ampla variedade de espécies vegetais e animais, algumas das quais são únicas na região (Alves *et al.*, 2020).

O PNSC enfrenta desafios dentre os quais se destacam a incidência de incêndios florestais capazes de comprometer tanto a vegetação quanto a fauna local. A crescente pressão resultante das atividades humanas, incluindo práticas agrícolas e pastoreio, também emerge como uma ameaça à integridade do ecossistema (Santos; Aquino, 2021).

O presente estudo parte dos seguintes questionamentos: Como a implantação de uma unidade de conservação de proteção integral no bioma Caatinga tem influenciado a redução dos incêndios florestais e quais são as modificações observadas no uso e cobertura da terra resultantes desses eventos de fogo dentro da unidade de conservação? Como hipótese para esta pesquisa, postulamos que os incêndios representam um fator significativo de impacto no PNSC desencadeando transformações em suas estruturas e levando a adaptações diante das mudanças ambientais.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a eficácia da implantação de uma unidade de conservação de proteção integral na redução de incêndios florestais no bioma Caatinga, analisando simultaneamente a dinâmica das mudanças na cobertura vegetal ao longo de diferentes períodos.

Para melhor organização, a presente dissertação está dividida em dois artigos científicos, cada um abordando aspectos específicos do tema proposto. O primeiro artigo, intitulado "Caatinga em Chamas: Análise da Eficácia da Implantação de uma Unidade de Conservação no Nordeste Brasileiro na Redução de Incêndios Florestais", explora a eficácia da criação da unidade de conservação na mitigação dos incêndios. O segundo artigo, intitulado "Dinâmica da Paisagem Após Incêndio em uma Unidade de Conservação no Nordeste do Brasil ", examina as transformações na cobertura vegetal e no uso da terra resultantes dos incêndios.

Os estudos sobre a eficácia de unidades de conservação na redução de incêndios e as mudanças na cobertura da terra pós-incêndio são cruciais para aprimorar a gestão ambiental. Eles ajudam a avaliar se essas áreas protegidas estão cumprindo seus objetivos, entender como os incêndios afetam a vegetação e o uso da terra, e fornecem dados essenciais para desenvolver estratégias de manejo mais eficazes. Além disso, esses estudos são fundamentais para promover a sustentabilidade da biodiversidade e orientar futuras pesquisas e políticas ambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Unidades de Conservação

Marcado por um crescente reconhecimento global das questões ambientais, o Brasil realizou, a partir da década de 1980, importantes avanços em sua legislação ambiental. Esses marcos incluíram a promulgação da Lei nº 6.931/81, que estabeleceu a Política Nacional de Meio Ambiente, bem como a Lei nº 6.938/81, que deu origem ao Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), ambas sob a supervisão do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (Allendorf *et al.*, 2005).

No final dos anos 1980, surgiu a proposta de criar o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que se tornou lei apenas em 2000 após aprovação da Lei nº 9.985/2000, pelo Congresso Nacional. Em 2007, um passo importante rumo à melhoria da gestão das Unidades de Conservação foi dado com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) como uma nova Autarquia, responsável pela administração dessas unidades, assumindo as responsabilidades que anteriormente estavam sob a alçada do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (Maciel, 2012).

A Lei nº 9.985/2000, de 18 de julho, desempenha um papel crucial na criação e regulamentação das unidades de conservação no Brasil. Esta legislação exige estudos técnicos e consultas públicas para determinar a localização e os limites adequados das unidades de conservação. As comunidades locais têm a responsabilidade de contribuir para a preservação e recuperação dessas áreas, respeitando diretrizes que proíbem práticas prejudiciais à biodiversidade. A lei também determina que os limites das unidades de conservação podem abranger o subsolo e o espaço aéreo quando afetam a estabilidade do ecossistema (Xavier, 2005).

A legislação exige Planos de Manejo para cada unidade de conservação, promovendo sua integração com comunidades locais e incentivando a gestão integrada de áreas próximas para a coexistência de biodiversidade, sociodiversidade e desenvolvimento sustentável. Também prevê limitações temporárias em áreas degradadas para futuras unidades de conservação, bem como a regulamentação do uso por populações tradicionais em Reservas Extrativistas e Reservas de Desenvolvimento Sustentável por meio de contratos regulamentados (Lei nº 9.985/2000).

Apesar dos avanços significativos para as áreas protegidas no Brasil, o SNUC é ainda visto como incompleto, não alcançando totalmente seu objetivo de integrar a criação e a gestão dessas áreas em um único sistema. A existência dos instrumentos, do sistema e das instituições responsáveis, por si só, não garante a viabilidade e a eficácia das políticas públicas (Silva e Mello, 2019).

Segundo o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 2023, o território brasileiro é abrangido por um total de 2.446 UCs, compreendendo diferentes níveis de governança, federal, estadual e municipal. Essas UCs estão devidamente distribuídas entre os seis biomas que compõem o cenário brasileiro: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Cada bioma apresenta características únicas. A Tabela 1 demonstra as áreas de proteção correspondentes a cada um deles.

Tabela 1: Área das Unidades de Conservação federal, estadual e municipal.

Biomas	**Área de Proteção Integral (ha)**	**Área de Uso Sustentável (ha)**	**Área total (ha)**
Amazônia	42.883.300	77.559.700	120.443.000
Caatinga	2.036.500	5.717.300	7.855.988
Cerrado	5.845.900	11.508.900	17.354.800
Pantanal	440.100	258.400	698.500
Mata Atlântica	2.909.100	9.103.100	12.012.200
Pampa	121.800	465.900	587.600
Total	54.236.700	104.613.400	158.850.900

Fonte: CNUC (2020).

Para criar uma unidade de conservação, são necessários estudos técnicos para definir sua categoria. No ato de criação, devem ser especificados a denominação, categoria de manejo, objetivos, limites, área, órgão responsável e população tradicional beneficiária. A escolha da categoria é fundamental, pois pode promover o desenvolvimento social e econômico das comunidades locais (Bandeira; Freitas; Estrela, 2021).

As Unidades de Conservação (UCs) que compõem o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) são definidas em dois grupos distintos: Unidades de Proteção Integral (UC-PI) e Unidades de Uso Sustentável (UC-US). O foco das UC-PIs é a preservação da natureza, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos, como para pesquisas científicas, educação ambiental, atividades recreativas em meio à natureza e turismo ecológico. Por outro lado, as UC-US têm como finalidade conciliar a proteção ambiental com o uso sustentável de parte dos recursos naturais, limitando as atividades e práticas que não comprometem a biodiversidade (Brasil, 2000).

Com a crescente criação de UCs, tanto em tipos quanto em número, e a expansão das áreas que essas unidades abrangem, surgem novos desafios. O aumento da complexidade do sistema exige recursos adicionais para capacitação, regularização fundiária, infraestrutura, fiscalização, além de esforços em pesquisa científica, turismo e educação ambiental. Para garantir a eficácia dessas unidades, é necessário um planejamento integrado que abra a gestão de todas as UCs e permita um monitoramento contínuo.

2.2 Unidades de Conservação Federais do Piauí

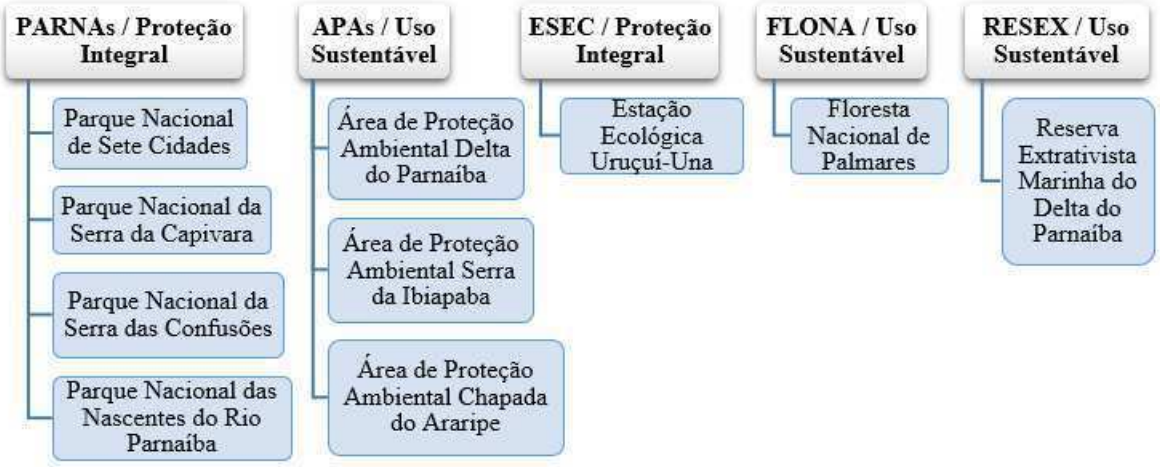
As UCs federais do estado do Piauí integram o conjunto de iniciativas de políticas territoriais de conservação da biodiversidade dos biomas do Cerrado e Caatinga, além da proteção legal de importantes mananciais hídricos, como no caso da bacia do Rio Parnaíba. A

presença de diversas espécies ameaçadas de extinção é outra justificativa importante no processo de conservação territorial destas UCs (Vallejo, 2016).

O Estado do Piauí está localizado numa área de tensão ecológica, com vegetação de transição. Por causa da elevada heterogeneidade espacial e ambiental, sua cobertura vegetal apresenta-se como um complexo mosaico de tipos vegetacionais (Souza *et al.*, 2017).

Segundo Ivanov e Lemos (2022), no estado do Piauí há a presença de UC federais desempenhando papel crucial na preservação ambiental. Destacam-se quatro Parques Nacionais (PARNAs), três Áreas de Proteção Ambiental (APAs), uma Estação Ecológica (ESEC), uma Floresta Nacional (FLONA) e uma Reserva Extrativista (RESEX), totalizando dez UCs federais, conforme a Figura 1 apresenta.

Figura 1:Unidades de Conservação federais no estado do Piauí



Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

As áreas federais de proteção no estado do Piauí representam 10,30% do território, incluindo tanto as unidades de conservação federais quanto estaduais (Souza *et al.*, 2017). No entanto, apesar desse percentual, falta qualidade na gestão dessas áreas. Muitas delas não possuem plano de manejo, conselho gestor ou consultivo instalado, além de enfrentarem deficiências de infraestrutura, orçamento e recursos humanos. Esses desafios na gestão comprometem a conservação ambiental, refletindo uma problemática também observada em outras unidades de conservação brasileiras (Carvalho; Silva; Salvio, 2022; Martins; Dias , 2017; Vallejo, 2016).

Entre as UCs do Piauí mencionadas, merecem destaque duas localizadas na região sudoeste do estado do Piauí, abrangendo a maior extensão da Caatinga: o Parque Nacional da Serra da Capivara (PNSCa) e o Parque Nacional Serra das Confusões (PNSC). Estes parques têm como propósito a preservação integral de áreas naturais que se destacam por suas características

e relevância nos âmbitos ecológico, científico e estético. Englobando sítios arqueológicos situados em cavernas e grutas, que contêm litogravuras de valor histórico, cultural, educacional e recreativo (Argibay, 2019).

O PNSCa, situado no município de São Raimundo Nonato, no sudeste do Piauí, foi estabelecido em 1979 com o propósito de preservar vestígios arqueológicos, possíveis remanescentes da cobertura humana mais antiga na América do Sul, há cerca de 50 mil anos. Devido à sua relevância, foi incluído na lista de Patrimônio Mundial da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), em dezembro de 1991, e reconhecido como patrimônio nacional pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em setembro de 1993 (Santiago;Saladino, 2016).

O PNSC consiste na maior área contínua do bioma caatinga, envolvendo ecótono entre caatinga e cerrado, e uma possível transição para a mata atlântica. Apresenta uma ampla diversidade de espécies animais e vegetais, além de abrigar sítios arqueológicos, cavernas e grutas em seu estado original. Isso reforça a necessidade da preservação e práticas sustentáveis, como o desenvolvimento do ecoturismo, dentro desses sítios arqueológicos (Rocha, 2017).

O Parque, em sua área e em seu entorno, destaca-se pela sua geodiversidade única, apresentando um patrimônio geomorfológico que remonta a bilhões de anos. Essa característica confere ao Parque um papel relevante como UC, graças ao seu notável patrimônio geológico e geomorfológico, promovendo o potencial para a prática da geoconservação e impulsionando o geoturismo no Estado (Santos; Aquino, 2021).

Apesar da relevância desses dois parques nacionais na região, alguns fatores contribuem para desafios específicos. Durante as estações de seca, um dos problemas potenciais é o surgimento de incêndios florestais. Isso ocorre devido às condições meteorológicas, especialmente quando há períodos prolongados de estiagem e baixa umidade relativa do ar, o que favorece a disseminação e propagação desses incêndios (Rodríguez; Soares, 2004).

A predominância da vegetação caatinga-cerrado é mais um fator que pode contribuir para os incêndios florestais. Por exemplo, a vegetação do cerrado frequentemente inclui gramíneas e arbustos altamente inflamáveis. Na caatinga, por sua vez, a presença de vegetação espinhosa e lenhosa também pode aumentar o risco de combustão. Além disso, atividades humanas, como a agricultura de corte e queima, podem contribuir com a propagação do fogo nessas áreas (Sousa; Botrel; Alves, 2012).

Após o fogo, a vegetação pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, como severidade/danos de incêndio e eventos climáticos extremo (Gouveia; Páscoa; Dacamara, 2012). As características das espécies de árvores, topografia, hidrologia, propriedades do solo e clima,

determinam também a taxa de recuperação de uma floresta após um incêndio florestal (Shvetsov *et al.*, 2019). Esses incêndios, que afetam aproximadamente 70% das UCs, estão frequentemente associados ao manejo de áreas agrícolas e pastagens, tanto nas bordas quanto no interior desses espaços, refletindo deficiências na gestão territorial das UCs federais (Vallejo, 2016).

2.3 Características dos biomas Caatinga e Cerrado e Suas Unidades de Conservação

Um bioma é caracterizado pelas inter-relações entre os fatores abióticos e os seres vivos de uma determinada região geográfica. Analisando os biomas é possível entender a vegetação e suas características adaptativas de cada região e os fatores abióticos (Coutinho, 2006). A Caatinga é um bioma singular, com sua paisagem definida por árvores de porte baixo, arbustos densamente ramificados e espinhos, acompanhados por folhas pequenas. Caracterizada, ainda, pela presença marcante de plantas suculentas, como cactos, e uma camada herbácea composta por plantas anuais, especialmente terófitos, bromélias terrestres e cactos rasteiros (Fernandes e Queiroz, 2018).

A diversidade da cobertura vegetal é notável, sendo influenciada por fatores climáticos, edificados, topográficos e antropogênicos. Além das formações dominantes de caatingas, o bioma abriga também florestas perenifólias e subperenifólias em brejos de altitude, encostas úmidas, florestas semi-decíduas, florestas ripárias e cerrados (Alves, 2007). Essa região é caracterizada por vastas superfícies planas, com altitudes variando entre 300 e 500 metros. O clima predominante é o semiárido, com temperaturas médias anuais mantendo-se relativamente constantes, variando entre 25°C e 30°C em toda a área. O ciclo de chuvas divide o ano em dois períodos bem distintos: o chuvoso e o seco (Tabarelli *et al.*, 2018). Os meses de maior pluviosidade ocorrem entre janeiro e abril, enquanto os índices mais baixos de precipitação são registrados entre junho e setembro (Saboya *et al.*, 2022).

A Caatinga, como único bioma exclusivamente brasileiro, abrange cerca de 844.453 km², o que corresponde a aproximadamente 10,1% do território nacional (Castelletti *et al.*, 2003). A área total sob proteção de Unidades de Conservação equivale a 7.855.988 hectares, aproximadamente 8,9% da extensão da Caatinga. Ao considerar as categorias distintas dessas áreas, estudos realizados por Cerezini e Castro (2017) revelaram que as Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UC-US), de caráter mais flexível, abrangem 5,8 milhões de hectares, equivalente a 6,27% da área protegida no bioma. Em contrapartida, as Unidades de Conservação de Proteção Integral (UC-PI), externas para uma proteção mais abrangente da biodiversidade, abrangem 2 milhões de hectares, representando 2,6% da área total protegida por essas unidades.

Apesar de ser o único bioma exclusivamente brasileiro, é um dos menos pesquisados, em parte devido à predominância da atenção voltada para florestas densas e úmidas. No entanto, essa falta de investigação é motivo de preocupação, uma vez que a região enfrenta problemas como desmatamento e incêndios, tornando-se altamente vulnerável às mudanças climáticas. Isso demanda urgente atenção por parte da comunidade científica e a implementação de políticas de conservação ambiental (Ganem *et al.*, 2020).

A vulnerabilidade climática da Caatinga está diretamente associada às características do clima semiárido predominante na região Nordeste do Brasil (NEB). Essa área é particularmente sensível às variações climáticas extremas, que já afetam significativamente seus ecossistemas e a vida das populações locais. Projeções globais e regionais sobre as mudanças climáticas indicam que, nas próximas décadas, a região poderá enfrentar um aumento na aridez e uma redução ainda mais acentuada nos índices pluviométricos, o que agravará os desafios relacionados à conservação ambiental e à sustentabilidade socioeconômica (Marengo *et al.,* 2011; Moura *et al.,* 2023).

De acordo com as pesquisas de Moura *et al.* (2023) as mudanças climáticas terão um impacto drástico na biodiversidade vegetal da Caatinga, com projeções indicando que cerca de 90% das espécies de plantas perderão áreas adequadas para sua sobrevivência, especialmente aquelas com distribuição geográfica restrita.

Com o aumento da temperatura e a intensificação da aridez projetada para a região, há uma maior probabilidade de ocorrência e propagação de incêndios, que podem alterar drasticamente as paisagens naturais. Segundo Schmidt *et al.* (2016), ecossistemas não adaptados ao fogo, como a Caatinga, abrigam espécies vegetais que muitas vezes não evoluíram com mecanismos de adaptação ao fogo, o que as torna mais suscetíveis aos impactos negativos desses eventos, resultando em perdas graves de biodiversidade e dificuldade na recuperação.

O Brasil destaca-se como um dos países com maior biodiversidade no mundo, abrigando aproximadamente 10% de toda a vida terrestre do planeta. Dados compilados de diversos estudos sugerem que, dependendo do grupo taxonômico considerado, entre 20% e 50% das espécies brasileiras podem ser encontradas no Cerrado. O Cerrado apresenta ainda um notável número de endemismos para várias espécies de animais e plantas, enriquecendo ainda mais sua biodiversidade (Machado *et al.*, 2004).

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, que abrange 22% do território brasileiro. De acordo com a EMBRAPA, ele cobre uma área de 2.036.448 km², que corresponde a 204 milhões de hectares. O clima dessa região é estacional, onde um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro. A precipitação média

anual é de 1.500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22ºC e 27ºC em média (Klink; Machado, 2005). O SNUC do MMA destaca que o Cerrado, embora seja o segundo maior bioma da América do Sul, possui a menor porcentagem de áreas protegidas.

Segundo Ribeiro e Borges (2021), observa-se que apenas 8,72% da área do bioma Cerrado encontra-se protegida. Comparando com outros biomas, o Cerrado possui uma área protegida maior que a do Pampa (2,94%) e Pantanal (4,63%), no entanto, menor que a da Caatinga (8,9%), Mata Atlântica (9,84%) e Amazônia (28%).

Essa parcela de área protegida enfrenta desafios provenientes da ação humana, semelhantes aos das UC da Caatinga. Ambos os biomas lidam com efeitos diretos, como incêndios, desmatamento, caça e exploração desordenada de recursos (Sampaio; Schmidt, 2014). Especificamente, o aumento do desmatamento, sobretudo em áreas com atividades agropecuárias e próximas a rodovias, tem provocado a substituição da vegetação natural por extensas áreas cultivadas. Essa transformação resulta em consideráveis prejuízos para a biodiversidade e as funções do ecossistema (Silva; Mello; Steinke, 2012). Entender os elementos das UCs e suas interações naturais ou humanas é um desafio notável na gestão. Isso requer analisar o passado, os impactos atuais e as possíveis implicações futuras (ICMBIO, 2010).

2.5 Dinâmica do fogo nas UCs e o uso do Sensoriamento Remoto

Apesar do fogo apresentar influências positivas na vegetação, como a germinação de sementes e o controle de espécies invasoras, sua ocorrência pode ter efeitos negativos sobre a reprodução e floração de diversas espécies. A intensidade e frequência dos incêndios podem levar à perda de biodiversidade, alterando a composição das comunidades vegetais e comprometendo a estabilidade dos ecossistemas (Rosot *et al.*, 2007; Fidelis; Zirondi, 2021).

A ocorrência frequente desse problema pode gerar impactos negativos significativos, afetando intensamente a qualidade dos solos (por exemplo, perda de nutrientes, compactação e erosão), bem como a fauna e a flora local, e ainda prejudicar a qualidade do ar em áreas vizinhas, além de poder se propagar para regiões adjacentes (Freitas *et al*., 2005; Klink; Machado, 2005).

Os levantamentos ambientais terrestres tradicionais são muitas vezes difíceis e caros de realizar devido a várias limitações, tais como: a complexidade da morfologia do terreno, extensão da área a ser coberta e condições climáticas adversas. Especificamente, na detecção de áreas queimadas, essa tarefa se torna quase impossível (Liu *et al.*, 2020). Satélites de monitoramento remoto são capazes de identificar prontamente focos de incêndio ao analisar imagens de sensoriamento remoto em várias épocas, abrangendo toda a área afetada pelo incêndio (Teodoro e Amaral, 2019).

De acordo com Pezzopane, Neto e Vilela, (2001), as geotecnologias não apenas ampliam a eficiência dos estudos, mas também os tornam mais abrangentes no que se refere à prevenção e combate a problemas ambientais, como os incêndios florestais. A incorporação dessas tecnologias modernas nos estudos ambientais viabiliza uma abordagem mais eficaz e holística na gestão e proteção do meio ambiente (Freitas *et al.*, 2005).

Essa evolução tecnológica tornou-se evidente a partir da década de 1980, com um significativo desenvolvimento e aprimoramento de diversas técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) para análise e mapeamento de áreas queimadas nos trópicos. Essas técnicas, conforme apontado por Chu e Ghu (2013), são aplicadas de forma preventiva contra incêndios florestais, além de servirem para avaliação e monitoramento. Elas têm como foco três diferentes estágios temporais do fogo: as condições prévias ao incêndio, as características dos incêndios em atividade e as respostas do ecossistema após o fogo.

O SR é uma ferramenta importante para mapeamento e estudo da superfície terrestre, fornecendo dados essenciais para entender nosso planeta. Com a constante expansão dos arquivos de dados do SR, impulsionada pela crescente disponibilidade de satélites e o aprimoramento das resoluções das imagens em termos radiométricos, espectrais, espaciais e temporais (Tassi; Vizzari, 2020), os usuários têm acesso a conjuntos de dados de séries temporais extensas. Esse acesso expandido e a capacidade de análise são especialmente cruciais para a gestão de grandes áreas, como as UCs brasileiras, onde as geotecnologias desempenham um papel fundamental na obtenção de informações atualizadas de maneira ágil (Borges *et al.*, 2021).

As geotecnologias, em particular os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o SR, tornaram-se essenciais na gestão de territórios extensos. Essas tecnologias computacionais de geoprocessamento abrem possibilidades significativas para análises espaciais e temporais relacionadas ao fogo (Pezzopane, Neto e Vilela, 2001).

2.6 Dados de uso e cobertura da terra a partir do MAPBIOMAS

A cobertura da terra reflete as atividades humanas na superfície terrestre e está diretamente ligada ao uso e manejo da terra. Estudos que correlacionam a caracterização da cobertura da terra com a análise de seus diferentes usos são ferramentas importantes para identificar a intensidade e o tipo de mudanças em determinadas áreas (Seabra; Cruz, 2013).

A avaliação do Uso e Cobertura da Terra desempenha um papel fundamental na compreensão dos processos naturais e antropogênicos que moldam as paisagens. Esses processos são frequentemente representados por meio de classes temáticas, que permitem uma análise detalhada das mudanças e das interações entre os elementos naturais e as atividades humanas (Gusmão; Barros; Messias, 2024).

A dinâmica temporal das mudanças na cobertura e uso da terra afeta os recursos naturais e a biodiversidade tanto em escala local quanto global. Esses impactos negativos podem ser ainda mais acentuados em zonas áridas e semiáridas, onde a vegetação é mais sensível às mudanças devido à disponibilidade limitada de água (Sousa *et al.*, 2021).

Nas regiões semiáridas, o uso extensivo da terra se manifesta principalmente por meio de práticas agropecuárias e pastagens. Essas áreas são frequentemente identificadas pela escassez de recursos hídricos, o que torna a gestão sustentável do solo ainda mais crucial. No entanto, a ausência de suporte técnico e assistência adequada força a população local a adotar práticas agrícolas arcaicas e ineficientes. Essas práticas não apenas resultam no empobrecimento do solo, mas também são prejudiciais para a manipulação ambiental e a redução da produtividade agrícola a longo prazo (Batista; Santos, 2011).

O uso e cobertura da terra em florestas secas como a Caatinga são fortemente influenciados por variáveis ambientais que determinam a demanda e a produtividade agrícola. Em ambientes semiáridos, fatores como variações climáticas e temperatura, são os principais influenciadores da dinâmica do cenário (Santos, 2021).

Além da produtividade agrícola, a produção de lenha e carvão modificam o uso e cobertura da terra nas regiões de Caatinga e provocam a perda de biodiversidade, erosão do solo e alterações nos ciclos hidrológicos, além de reduzir a capacidade de sequestrar carbono e aumentar as emissões de gases de efeito estufa (Santos; Macêdo, 2023).

Para monitorar e analisar essas mudanças em grandes escalas, o processamento e a classificação de imagens de satélite são essenciais. No entanto, esses métodos requerem uma compreensão profunda dos processos de modelagem. Com o objetivo de superar esses desafios, o projeto MapBiomas desenvolveu mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o território brasileiro, com resolução de 30 × 30 metros, abrangendo o período de 1985 até o presente (Sousa *et al.*, 2021).

Essa resolução espacial de 30 metros permite detectar mudanças relativamente pequenas no uso e cobertura da terra , com maior precisão em comparação com produtos globais, Assim, o MapBiomas oferece uma visão detalhada das transformações no uso da terra, tanto no espaço quanto no tempo, em todo o território nacional (Rosan *et al.*, 2021).

REFERÊNCIAS

ALLENDORF, F. W. *et al.* Conservation Units. ***Conservation and the Genomics of Populations***, v. 1, p. 451–486, 2005.

ALVES, J. J. A. Geoecologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro RN/PB/SE km^2. ***Climatologia e Estudos da Paisagem***, v. 2, p. 58–71, 2007.

ALVES, L. E. R. *et al.* Parâmetros biofísicos aplicados no parque nacional da serra das confusões, piauí-brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p. 597–604, 2020.

ARGIBAY, D. S. Regime de Fogo no Mosaico Capivara-Confusões (PI-Brasil). 2019. p 1-151. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Mestrado) da Universidade Federal do Piauí. 2019.

BANDEIRA, A. N. T.; FREITAS, P. Â. B.; ESTRELA, T. F. Da positivação à antropização degradante da Mata do Louzeiro : uma análise socioambiental à luz da lei de SNUC. ***Research, Society and Development.*** p. 1–11, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11272/10237>. Acesso em: 05 mai 2024.

BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. Análise da dinâmica do uso e \sada terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro: o caso de Teofilândia. **Revista de Geografía Norte Grande**, v. 49, p. 139–155, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n49/art09.pdf>. Acesso em 04 mai 2024.

BRASIL, Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. **Regulamenta o artigo 225, §1º, inciso I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providencias.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 20 jun 2023.

CARVALHO, G. O. T.; SILVA, N. C.; SALVIO, G. M. M. 2022. Environmental vulnerability in the Environmental Protection Areas (EPA) of the Atlantic Forest Biome in the southeastern region of Brazil. **Ciencia Florestal**. v. 32, n. 3, p. 1575–1593. https://doi.org/10.5902/1980509867261.

CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. **Ecologia e Conservação da Caatinga**, p. 777–796, 2003. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/18266/1/Caatinga.pdf>. Acesso em 04 mai 2024.

CEREZINI, M. T.; CASTRO, C. N. O sistema nacional de unidades de conservação da natureza (snuc) e a preservação da caatinga. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental-ipea** 1. v. 3, 2017.

CHU, T.; GUO, X. Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: **A review.** ***Remote Sensing***., 2013.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma_Biomas brasileiros. **Acta Botânica Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 13–23, 2006.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51–56, 2018.

FIDELIS, A.; ZIRONDI, H. L. And after fire, the Cerrado flowers: A review of post-fire flowering in a tropical savanna. ***Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*****,** v. 280, n. April, p. 151849, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151849>. Acesso em 04 mai 2023.

FREITAS, S. R. *et al.* Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul**. Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 167–185, 2005.

GANEM, K. A. *et al.* Mapeamento da Vegetação da Caatinga a partir de Dados Ópticos de Observação da Terra – Oportunidades e Desafios**. Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 829–854, 2020.

GOUVEIA, C.; PÁSCOA, P.; DACAMARA, C. Post-Fire Vegetation Recovery in lberia Based on Remote-Sensing Information. ***Intech***, p. 13, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72594>. Acesso em 25 mai 2023.

GUSMÃO, L. H. A.; BARROS, L. S.; MESSIAS, C. G. Amapá em Foco : exploração dos dados do uso e cobertura da terra nas áreas desmatadas (2008-2020). **Geografia (Londrina)**, p. 71–90, 2024.

ICMBIO, Legislação. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. v. 2, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/mda/pt-br/acesso-a-informacao/povos-e-comunidades-tradicionais/repositorio-de-marcos-regulatorios-de-regularizacao-fundiaria-de-povos-e-comunidades-tradicionais/federais/orgaos-publicos/icmbio-2010_serie-legislacao_volume-2.pdf>. Acesso em 25 mai 2023.

IVANOV, M. M. M.; LEMOS, J. R. **Unidades de conservação do Estado do Piauí**. 2022. v. 2. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mateus-Santos-33/publication/362324091_Unidades_de_conservacao_do_estado_do_Piaui_Volume_2/links/62e352e04246456b55f11be4/Unidades-de-conservacao-do-estado-do-Piaui-Volume-2.pdf#page=10>. Acesso em 20 mai 2023.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade,** v. 1, n. January 2005, p. 147–155, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Machado-4/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro/links/553a78670cf29b5ee4b64c2f/A-conservacao-do-Cerrado-brasileiro.pdf>. Acesso em 22 mai 2023.

LIU, S. *et al.* A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. ***European Journal of Remote Sensing***, v. 53, n. 1, p. 104–112, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>. Acesso em 19 jan 2023.

LOPES, J. G.; VIALÔGO, T. M. Unidades de Conservação no Brasil. **Revista JurisFIB**, v. 4, n. 4, p. 79–109, 2018.

MACHADO, R. B. *et al.* Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MACIEL, M. A. Compensação Ambiental: Instrumento Para a Implementação Do Sistema Nacional De Unidades De Conservação. Dissertação apresentada ao programa de Mestrado e Doutorado em Direito do Centro Universitário de Brasília. 2012.

MARTINS, A.; DIAS, L. C. Atores e redes na construção de territórios ambientais: o caso da APA da Baleia Franca. Ambiente e Sociedade, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 39-58, jun. 2017.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. n. 1, p. 385-422, 2011.

MOURA, M. R. *et al.* Pervasive impacts of climate change on the woodiness and ecological generalism of dry forest plant assemblages. **Journal of Ecology**, v. 111, n. 8, p. 1762-1776, 2023.

PEZZOPANE, J. E. M.; NETO, S. N. de O.; VILELA, M. de 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.

BORGES, K. M. R. *et al.* Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Subsídio ao Manejo do Fogo e ao Combate aos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação Federais. **Biodiversidade Brasileira** - *BioBrasil*, v. 11, n. 2, p. 168–178, 2021.

RIBEIRO, C. V. G.; BORGES, L. A. C. Breve análise da evoluçao e status quo das unidades de conservação no cerrado brasileiro**.** ***Fisheries Research***, v. 140, n. 1, p. 6, 2021. Disponível em: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35612/1/Trabajo de Titulacion.pdf%0Ahttps://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GUIA-METODOLOGICA-EF.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2013.04.005%0Ahttps://doi.org/10.1038 s41598->. Acesso em 26 jan 2023.

ROCHA, V. C. A valorização do semiárido a partir do Parque Nacional Serra das Confusões-PI. **Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco***,* 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47079/1/DISSERTAÇÃO Vanessa Custódio da Rocha.pdf>. Acesso em 05 jul 2023.

RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V. Análisis Comparativo Entre Los Incendios Forestales En Monte Alegre, Brasil Y Pinar Del Río, Cuba**.** ***Floresta***, v. 34, n. 2, p. 101–107, 2004.

ROSAN, T. M. *et al.* A multi-data assessment of land use and land cover emissions from Brazil during 2000-2019. ***Environmental Research Letters***, v. 16, n. 7, 2021.

ROSOT, Nelson Carlos *et al.* Ações de recuperação em área degradada por fogo em Floresta Ombrófila Mista : resultados parciais. **Pesquisas da Flora Brasileira**, n. 55, p. 23–30, 2007. SAMPAIO, Alexandre Bonesso; SCHMIDT, Isabel Belloni. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, n. 2, p. 32–49, 2014. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/351>. Acesso em 05 jul 2023.

SABOYA, L. M. F,. et al. Probabilidade de chuvas em Bom Jesus-Piauí, Brasil. **Research,**

Society and Development, v. 11, n. 3, p. e32411326609-e32411326609, 2022.

SANTIAGO, D. G.; SALADINO, A. OS TEMPOS E SUAS SENTENÇAS : diretrizes no tombamento de IPHAN. **Revista Memorare**, p. 178–201, 2016.

SANTOS, D. J. USO DA TERRA, FUNCIONAMENTO ECOSSISTÊMICO E DEGRADAÇÃO NA CAATINGA: O papel do clima e fatores socioeconômicos. **Tese apresentada ao Programa de PósGraduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco**, n. 1, p. 136, 2021. Disponível em: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35612/1/Trabajo de Titulacion.pdf%0Ahttps://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GUIA-METODOLOGICA-EF.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2013.04.005%0Ahttps://doi.org/10.1038/s41598-020->. Acesso em 05 jun 2024.

SANTOS, J. P. de O.; MACÊDO, M. L. A.. Land use and occupation and anthropic pressures in a seasonally dry tropical forest in the eastern Cariri of Paraíba, Brazil. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 4, 2023.

SANTOS, J. S.; AQUINO, C. M. S.. GEOMORFOLOGIA E GEOTURISMO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO ESTADO DO PIAUÍ: Estudos de caso na Serra da Capivara, Sete Cidades e Serra das Confusões. ***Revista GeoSertões***, v. 6, n. 12, p. 10–32, 2021.

SAUVÉ, L. Environmental education : possibilities and constraints. **Connect**, v. XXV11, p. 1–4, 2002

SCHMIDT, I. B. *et al.* Experiências Internacionais de Manejo Integrado do Fogo em Áreas Protegidas – Recomendações para Implementação de Manejo Integrado de Fogo no Cerrado. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 41–54, 2016.

SEABRA, V. da S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio são joão, RJ. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, v. 25, n. 2, p. 411–426, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v25n2/a15v25n2.pdf>. Acesso em 05 jun 2024.

SHVETSOV, E. G. *et al.* Assessment of post-fire vegetation recovery in Southern Siberia using remote sensing observations. ***Environmental Research Letters***, v. 14, n. 5, 26 abr. 2019.

SILVA, A. R.; MELLO, J. S. A. Viabilidade de políticas públicas no Sistema Nacional das Unidades de Conservação da Natureza - *SNUC (Lei Nº 9.985/2000)*. **Revista Processus de Políticas Públicas e Desenvolvimento Social**., 2019, v. I, n.2.

SILVA, G. B. S.; MELLO, A. Y. I.; STEINKE, V. A. Unidades de conservação no bioma cerrado: desafios e oportunidades para a conservação no Mato Grosso. **Revista Geografia**. p. 541–554, 2012. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/942126/1/Bayma.pdf>. Acesso em 05 jun 2024.

SOUSA, J. R. L. De; BOTREL, R. T.; ALVES, A. R. Ocorrência de incêndios florestais na região de Bom Jesus, Sul do Estado do Piauí. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1–5, 2012.

SOUSA, M. da C. *et al.* Spatio-temporal dynamics of land use changes of an intense anthropized basin in the Brazilian semi-arid region. ***Remote Sensing Applications: Society and Environment*****,** v. 24, n. October, p. 100646, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100646>. Acesso em 05 jun 2024.

SOUZA, M. P. De *et al.* Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 210, 17 jun. 2017.

TABARELLI, M. *et al.* Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura,** v. 70, n. 4, p. 25–29, 2018. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v70n4/v70n4a09.pdf>. Acesso em 01 jun 2023.

TASSI, A.; VIZZARI, M. Object-oriented lulc classification in google earth engine combining snic, glcm, and machine learning algorithms. ***Remote Sensing***, v. 12, n. 22, p. 1–17, 2020.

TEODORO, A.; AMARAL, A. A statistical and spatial analysis of portuguese forest fires in summer 2016 considering landsat 8 and sentinel 2A data. ***Environments*** *- MDPI*, v. 6, n. 3, 2019.

VALLEJO, L. R. Os Incêndios Nas Unidades De Conservação Federais, Estado Do Piauí - Brasil (2006-2015). ***Revista Equador***, v. 5, n. 5, p. 111–129, 2016.

XAVIER, E. M. A. A discricionariedade da administração pública na implementação de unidades de conservação de proteção integral. 2005, p. 1-182. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa-MG. Disponível em: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2242E/A2242E.PDF>. Acesso em 22 jun 2024.

Artigo 1:

CAATINGA EM CHAMAS: ANÁLISE DA EFICÁCIA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE BRASILEIRO NA REDUÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Autores: Erislânia Sousa Silva, Giovana Mira de Espindola, Reurysson Chagas de Sousa Morais

Resumo

Incêndios florestais são recorrentes no Nordeste do Brasil, sobretudo no bioma Caatinga, e a implantação de Unidades de Conservação tem sido uma das medidas adotadas para proteção de áreas de interesse ecológico, a exemplo do Parque Nacional Serra das Confusões (PNSC), localizado no estado do Piauí. O objetivo desta pesquisa foi analisar a eficácia da implantação de uma unidade de conservação de proteção integral na redução de incêndios florestais no bioma Caatinga na região Nordeste do Brasil. Para tanto, buscou-se reconstruir a cronologia dos incêndios florestais ocorridos ao longo de 37 anos no interior do PNSC e seu entorno, no intuito de observar a dinâmica do regime de fogo antes e após sua instituição. Deste modo, os dados das cicatrizes de fogos foram segmentados em dois períodos distintos: 1985 a 1998 e 1999 a 2022, período anterior e posterior à criação do PNSC. Técnicas de geoprocessamento foram utilizadas para espacialização das cicatrizes de queimadas e mapeamento da recorrência de fogo na região, enquanto testes estatísticos foram aplicados para avaliar as diferenças médias das áreas de cicatrizes nos dois períodos analisados e verificar a ocorrências de tendências nos dados. Os resultados demonstram que 48% da área do PNSC (5.789 km²) já foi atingida pelo fogo. De modo geral, as cicatrizes estão mais concentradas nas bordas do parque, onde também foram identificadas as áreas com maiores recorrências de incêndios florestais. Em termos absolutos, a maior frequência de áreas queimadas ocorreu após a implantação do Parque. Contudo, as diferenças observadas entre os valores médios das áreas de cicatrizes, no PNSC e seu entorno, não foram estatisticamente significativas ($p>0.05$), assim como não foram observadas tendências nos dados ao longo da série temporal (1985 a 2022). Dado o contexto do aumento da pressão antrópica nas áreas limítrofes do PNSC, ao longo dos últimos anos, os resultados evidenciam a eficácia da implantação do parque na redução de incêndios florestais e reafirmam a importância da implementação de medidas eficazes de prevenção e controle de incêndios.

Palavras-chave: Bioma Caatinga. Dinâmica do Fogo. Geoprocessamento. Parque Nacional Serra das Confusões.

Abstract

Forest fires are recurrent in the Northeast of Brazil, especially in the Caatinga biome, and the implementation of Conservation Units has been one of the measures adopted to protect areas of ecological interest, such as the Serra das Confusões National Park (PNSC), located in the state from Piauí. The objective of this research was to analyze the effectiveness of implementing an integral protection conservation unit in reducing forest fires in the Caatinga biome in the Northeast region of Brazil. To this end, we sought to reconstruct the chronology of forest fires that occurred over 37 years within the PNSC and its surroundings, in order to observe the dynamics of the fire regime before and after its institution. In this way, the fire scar data was segmented into two distinct periods: 1985 to 1998 and 1999 to 2022, the period before and after the creation of the PNSC. Geoprocessing techniques were used to spatialize fire scars and map fire recurrence in the region, while statistical tests were applied to evaluate the average differences in scar areas in the two periods analyzed and verify the occurrence of trends in the

data. The results demonstrate that 48% of the PNSC area (5,789 km²) has already been affected by fire. In general, the scars are more concentrated on the edges of the park, where the areas with the greatest recurrence of forest fires were also identified. In absolute terms, the highest frequency of burned areas occurred after the implementation of the Park. However, the differences observed between the average values of the scar areas, in the PNSC and its surroundings, were not statistically significant ($p>0.05$), nor were any trends observed in the data throughout the time series (1985 to 2022). Given the context of increased human pressure in areas bordering the PNSC over recent years, the results demonstrate the effectiveness of implementing the park in reducing forest fires and reaffirm the importance of implementing effective fire prevention and control measures.

Keywords: Caatinga Biome. Fire Dynamics. Geoprocessing. Serra das Confusões National Park.

1. Introdução

Os incêndios em vegetação são eventos complexos causados por fenômenos naturais ou atividades humanas, e têm impactos profundos no ecossistema. Eles podem alterar a estrutura das comunidades vegetais, causando perda de habitats e reduzindo a resiliência dos ecossistemas. A gravidade desses impactos varia conforme a sensibilidade e vulnerabilidade do ambiente, influenciadas por fatores como clima, tipo de vegetação e práticas de manejo da terra (Barros *et al.*, 2021).

A ocorrência frequente desses eventos pode gerar impactos negativos significativos, afetando intensamente a qualidade dos solos (por exemplo, perda de nutrientes, compactação e erosão), bem como a fauna e a flora local, e ainda prejudicar a qualidade do ar em áreas vizinhas, além de poder se propagar para regiões adjacentes (Freitas *et al.*, 2005; Klink, 2005).

No Brasil, dentre as políticas públicas voltadas para o combate e prevenção de incêndios florestais, destacam-se a criação de Unidades de Conservação (UC), as quais aderem aos critérios e normas estabelecidos pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Este sistema foi instituído pela Lei 9.985/2000 e regulamentado pelo Decreto 4.340/2002 (Monteiro; Chermont, 2024).

A eficácia das UCs na proteção contra incêndios florestais está intimamente relacionada à sua capacidade de prevenir e controlar queimadas de origem antrópica, ou seja, aquelas causadas pela atividade humana dentro de seus limites territoriais. Isso implica não apenas em medidas de vigilância e combate direto ao fogo, mas também em estratégias de gestão que visem à educação ambiental, ao monitoramento eficaz das áreas protegidas e à aplicação de políticas que desencorajem práticas prejudiciais ao ecossistema. Ao garantir a preservação dessas áreas contra incêndios provocados pelo homem, as UCs desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade e na manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais (Ramos; Fonseca; Morello, 2007).

O presente estudo foi realizado no PNSC, uma vasta área de beleza cênica e biodiversidade única, abrangendo o maior trecho contínuo do bioma Caatinga e servindo como um ecótono entre a caatinga e o cerrado. Além de sua riqueza natural, o PNSC contém uma variedade de sítios arqueológicos, cavernas e grutas, destacando a importância da conservação e práticas sustentáveis, como o ecoturismo (Rocha, 2017).

A localização no semiárido brasileiro confere ao PNSC características climáticas e topográficas que propiciam a propagação de incêndios florestais. Além disso, a crescente pressão antrópica associada à expansão das atividades de agricultura, pastagem extensiva e silvicultura, no seu entorno contribui para este cenário. Portanto, este artigo aborda o seguinte problema de pesquisa: A implantação do PNSC resultou na redução da ocorrência de incêndios florestais em sua área de proteção? Hipoteticamente, assumimos que o PNSC tem contribuído para a redução das áreas afetadas por incêndios florestais de origem antrópica, haja vista o aumento nas atividades produtivas em seu entorno.

Com base nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar a eficácia da implantação de uma unidade de conservação de proteção integral na redução de incêndios florestais no bioma Caatinga na região Nordeste do Brasil. Para tanto, buscou-se, incialmente, reconstruir a cronologia dos incêndios florestais ocorridos ao longo de 37 anos no interior do PNSC e seu entorno, no intuito de observar a dinâmica do regime de fogo antes e após sua instituição; mapear a ocorrência de cicatrizes de queimadas, dentro do parque e em seu entorno, no período anterior e posterior à sua implantação; e avaliar estatisticamente as diferenças nos dados levantados e ocorrência de tendências.

Ao demonstrar uma estagnação nos valores de área queimada dentro do PNSC, mesmo diante do aumento da pressão antrópica, os resultados deste estudo revelam a importância das medidas de conservação para proteção da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável da região. Destacam-se, assim, a eficiência de medidas preventivas e de manejo na redução dos impactos dos incêndios florestais.

2. Materiais e Métodos

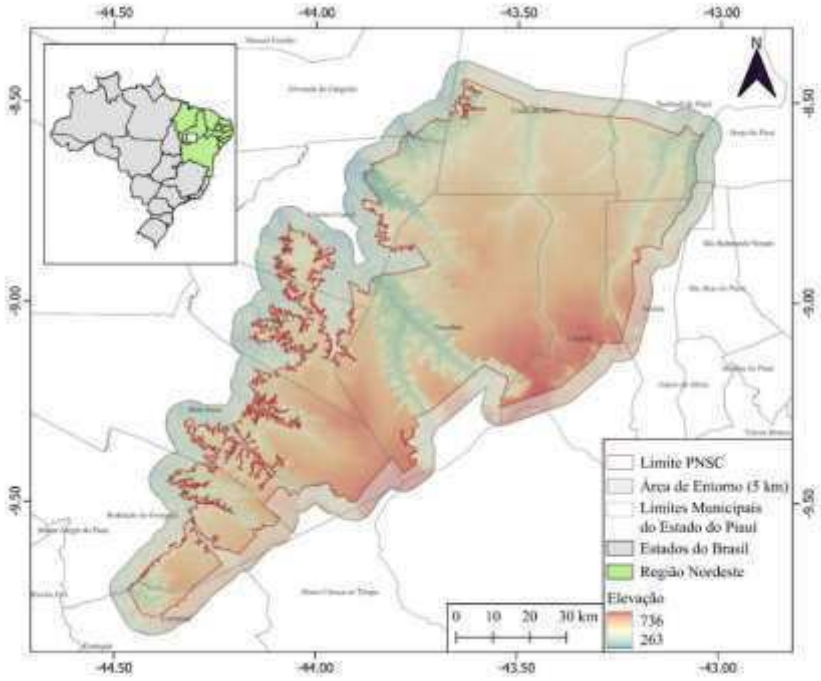
2.1 Localização e Caracterização da Área De Estudo

O PNSC está localizado no sudeste do estado do Piauí (Figura 2) e foi criado pelo Decreto de 2 de outubro de 1998 com o objetivo de proteger e preservar amostra dos ecossistemas ali existentes, e possibilitar o desenvolvimento de pesquisa científica e programas de educação ambiental. Inicialmente, a área protegida do PNSC era de 502.000 hectares. Posteriormente, por meio do Decreto s/nº de 30 de dezembro de 2010, a área foi ampliada para 823.854,54 hectares,

abrangendo os municípios de Canto do Buriti, Tamboril do Piauí, Jurema, Alvorada do Gurguéia, Bom Jesus, Guaribas e Cristino Castro.

Distribuída nas microrregiões do Alto Médio Gurguéia e São Raimundo Nonato, no Estado do Piauí, esta área de conservação representa uma das maiores reservas de biodiversidade do Brasil e é a maior dentro do bioma Caatinga.

Figura 2: Localização do Parque Nacional da Serras das Confusões, Nordeste do Brasil



Fonte: elaborado pelos autores (2024)

As principais atividades econômicas desenvolvidas pelas comunidades do entorno do PNSC incluem a prática da policultura, com cultivo sazonal de feijão e milho, e a criação de gado (Rocha, 2017). O parque encontra-se em uma zona entre o maciço cristalino da Formação Serra Grande e a Bacia Sedimentar do Parnaíba. Essa localização geográfica confere ao parque duas características distintas: primeiramente, áreas com superfícies planas e uma média de altitude de 700 metros, onde se formam amplos vales; em segundo lugar, regiões compostas por rochas cristalinas, apresentando uma altitude média de 650 metros e um relevo mais complexo (Alves *et al.*, 2020).

Trata-se de uma região que abrange um ecótono entre os biomas Caatinga e Cerrado, caracterizada pela transição entre os climas subúmido e semiárido (Rocha, 2017; Alves *et al.*, 2020). Por estar em uma região do semiárido nordestino, que é caracterizado por altas temperaturas, baixos índices pluviométricos e distribuição irregular das chuvas, resultando em um déficit hídrico significativo (Zanella, 2014). Esse déficit é especialmente evidente no segundo semestre nos meses de julho a outubro (Costa *et al.*, 2015). Por outro lado, Argibay;

Sparacino; Espindola, (2020) observam que 90% da precipitação anual é registrada entre novembro e abril. Esses meses são de extrema importância para a região, pois representam a maior parte do suprimento hídrico disponível.

Devido as características climatológicas do parque apresenta uma vegetação adaptada ao déficit hídrico anual, como vegetação espinhosa, xerofítica e/ou caducifólia própria da Caatinga, bem como pequenos fragmentos de floresta montana ombrófila ou semicaducifólia, com alturas que podem chegar até 30 m (brejos de altitude), além de vegetação típica do Cerrado (savana tropical) (Argibay, 2019; Alves *et al*., 2020).

2.2 Aquisição dos Dados

Inicialmente, os dados foram coletados através do levantamento das cicatrizes de queimadas disponibilizadas pelo MapBiomas. Para efetuar o download desses dados, foi utilizado o toolkit fornecido pelo Projeto MapBiomas referente a área de estudo. Com objetivo de desenvolver a série temporal das cicatrizes de queimadas no PNSC entre 1985 a 1998 (período antes a criação do PNSC) e 1999 a 2022 (período após a criação do PNSC).

O início em 1985 se justifica devido ao Projeto MapBiomas, que produz mapeamento anual da cobertura e uso da terra, monitoramento da superfície de água, cicatrizes de fogo, carbono no solo e mineração mensalmente com dados disponíveis de 1985 até o presente (Souza *et al.*, 2023).

Ao todo, foram feitos downloads do Google Earth Engine de 37 imagens raster correspondentes às cicatrizes dos incêndios. Em seguida, utilizando o QGIS, foram calculadas as estatísticas dos rasters. A contagem de incêndios foi realizada somando o raster anual binário. Isso envolveu a soma dos pixels detectados como queimados ao longo da série temporal, onde o valor do pixel da área queimada é igual a 1 e pixel da área não queimada é igual a 0.

Tassi e Vizzari (2020) demonstraram em sua pesquisa que o Google Earth Engine é um ambiente eficaz para construir imagens compostas multitemporais e implementar, de maneira direta, complexos processamentos de imagens e classificações. Dessa forma, a plataforma MapBiomas foi uma escolha adequada para a realização deste estudo, permitindo uma análise robusta e eficiente das cicatrizes de fogo e sua relação com os Mapas de uso e cobertura.

2.3 Dados pluviométricos

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram obtidos a partir de um banco de dados desenvolvido por Xavier et al., (2022), que integra observações terrestres interpoladas de 9.259 pluviômetros e 735 estações meteorológicas. Para a precipitação média mensal (mm), o período de análise compreendeu os anos de 1985 a 2022. A temperatura máxima mensal (ºC) foi

investigada no intervalo de 1985 a 2020, enquanto a evapotranspiração média mensal (mm) foi avaliada de 1985 a 2020.

2.4 Análise de Dados

As etapas de análise de dados foram realizadas em Python e em todos os testes estatísticos foi adotado o nível de significância de 0.05. Os dados anuais de área de cicatrizes queimada, tanto no interior do PNSC quanto em seu entorno, foram divididos em dois intervalos temporais distintos. A divisão foi baseada no ano de implantação (1998), com o objetivo de avaliar a influência de criação do parque na dinâmica dos incêndios na região. Desse modo, o primeiro intervalo engloba 24 anos de dados (1985 a 1998), enquanto o segundo intervalo abrange 14 anos de dados (1999 a 2022).

A verificação da normalidade dos dados de área queimada para cada intervalo temporal e recorte espacial foi realizada por meio do teste Shapiro-Wilk, definido em função do tamanho da amostra. A análise da homogeneidade das variâncias foi realizada por meio do teste *F* de Levene (Fávero;Belfiore, 2017).

Após a detecção dos desvios de normalidade dos dados e a identificação da homogeneidade das variâncias, optou-se pela aplicação do teste não-paramétrico de Mann-Whitney para comparação das médias (Fávero; Belfiore, 2017) Esta análise foi complementada por uma análise gráfica para identificação de outliers, baseado nos limites do *boxplot* definidos a partir do intervalo interquartil (Morettin; Bussab, 2017). Os testes descritos foram realizados com o pacote SciPy (Virtanen *et al.*, 2020) e a visualização do dados foi feita com Matiplotlib (The Matplotlib Development Team, 2024).

Posteriormente, avaliou-se a existência de tendência monotônica na série histórica dos dados de área queimada (1985 a 2022) no interior e entorno no PNSC por meio do teste não-paramétrico de Mann-Kendall (MK) (Otón *et al.*, 2021). O teste MK é amplamente utilizado em casos em que a série temporal tem distribuições desconhecidas ou não normais. Ele é baseado na hipótese nula (H_0) de que não existe nenhuma tendência e na hipótese alternativa (H_1) de que há tendência de aumento ou redução dos dados de área queimada. Complementarmente ao teste MK, foi utilizado no teste Sen's Slope para avaliar a magnitude da tendência dos dados de área queimada (García e González, 2023). Nesta etapa, foi utilizado o pacote pyMandKendall (Hussain; Mahmud, 2019).

Por fim, foi realizado o teste de correlação de Spearman para avaliar em que medida as áreas de queimadas no interior do PNSC estão associadas às áreas de queimadas no entorno do parque. Nesta análise, considerou-se toda a série histórica, sem a divisão por intervalo temporal.

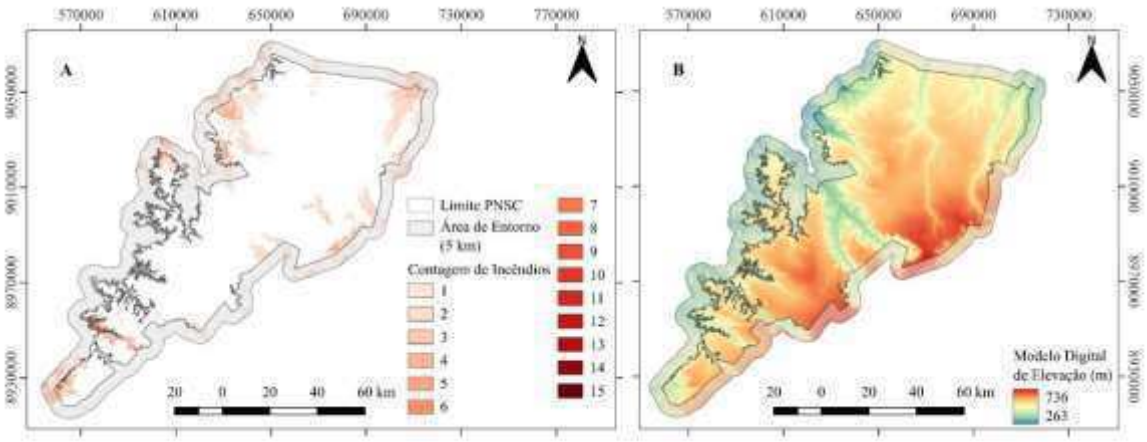
Esse teste é adequado quando os pressupostos de normalidade dos dados não são atendidos (Rogerson, 2012).

3. Resultados e Discussões

3.1. Análise espacial da ocorrência de incêndio

A análise espacial de incêndios no PNSC e seu entorno, revelou que, durante os anos de 1985 a 2022, foram afetadas uma área total 5.789,87 km², correspondendo a 48,22% da área de estudo, como mostra a Figura 3A. Desta área afetada, 2.679,37 km² ocorreram dentro do limite do PNSC e 3.110,50 km² no entorno do parque, correspondendo respectivamente a 46,3% e 53,7% da área afetada.

Figura 3: Recorrência de incêndios florestais no período de 1985 a 2022 no PNSC e entorno. E a figura 3B tem as elevações por meio do Modelo Digital de Elevação para a mesma área.



Fonte: elaborado pelos autores (2024)

No mapa da esquerda (Figura 3A) pode-se observar que as áreas queimadas coincidem em sua maioria com as áreas de menor elevação (Figura 3B). Xu *et al.* (2024) estudaram a relação de diversos fatores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais e concluíram que além dos fatores como a precipitação e a vegetação, a topografia, especialmente a altitude, também deve ser considerada. No mesmo estudo, eles observaram que a influência da topografia era maior em elevações mais baixar e diminuía quando aumentava-se as elevações.

Nas pesquisas de Tian et al. (2013) feitas na China a maioria dos incêndios florestais ocorreram em áreas de baixa altitude. Em geral, os incêndios estudados por eles foram predominantemente distribuídos em regiões com altitudes abaixo de 500 metros. Nas regiões de baixa altitude, o ar é menos rarefeito e as temperaturas são mais altas, assim a temporada de risco de incêndios é prolongada (Ribeiro, 2021). A altitude também influencia a quantidade e a umidade do material combustível, que tendem a diminuir em altitudes mais elevadas.

Consequentemente, áreas em altitudes mais elevadas apresentam menor probabilidade de incêndios, devido à maior precipitação e às temperaturas mais baixas (Nieto *et al.*, 2012).

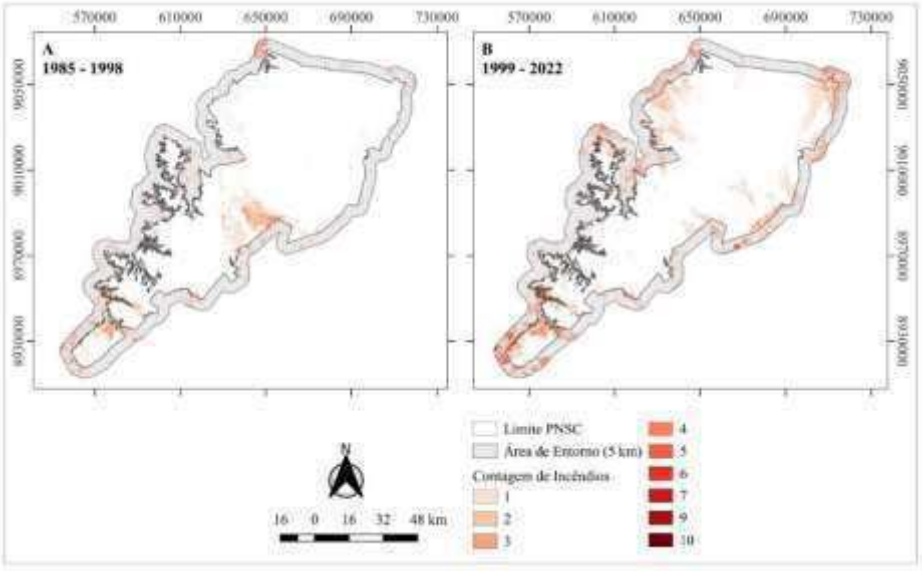
Autores como Santos; Aquino (2023); Sousa, Botrel e Alves (2012); Vallejo (2016), fizeram pesquisas na região do PNSC e identificaram que os principais agentes causadores de incêndios florestais são os moradores das áreas próximas, trabalhadores rurais, assentados, proprietários ou funcionários de fazendas. Esses estudos evidenciam o uso do fogo como ferramenta de manejo agropecuário e prática associada à caça.

O uso do fogo no meio rural é o resultado de uma forte dependência ao longo dos tempos, devido aos benefícios percebidos. Ainda hoje, é justificado como uma prática rápida e econômica. No entanto, é crucial distinguir entre o uso do fogo como instrumento de manejo sustentável e sua utilização indiscriminada que leva à destruição ambiental (Martins, 2017).

3.2 Variação temporal nas áreas incendiadas

Na Figura 4 nota-se que teve mais áreas incendiadas no período após a criação do parque, sendo 30% da área total afetada no período antes da criação e 70% após a criação. Em relação a distribuição espaço-temporal, a maior recorrência de incêndios após a criação do parque ocorreu nas áreas de entorno, especialmente em áreas do sudoeste, nordeste e oeste (Figura 4).

Figura 4: (A) Contagem de incêndios no período de 1985 a 1998 no PNSC e área de entorno. (B) Frequência de incêndios após a criação do PNSC (1999 a 2022).

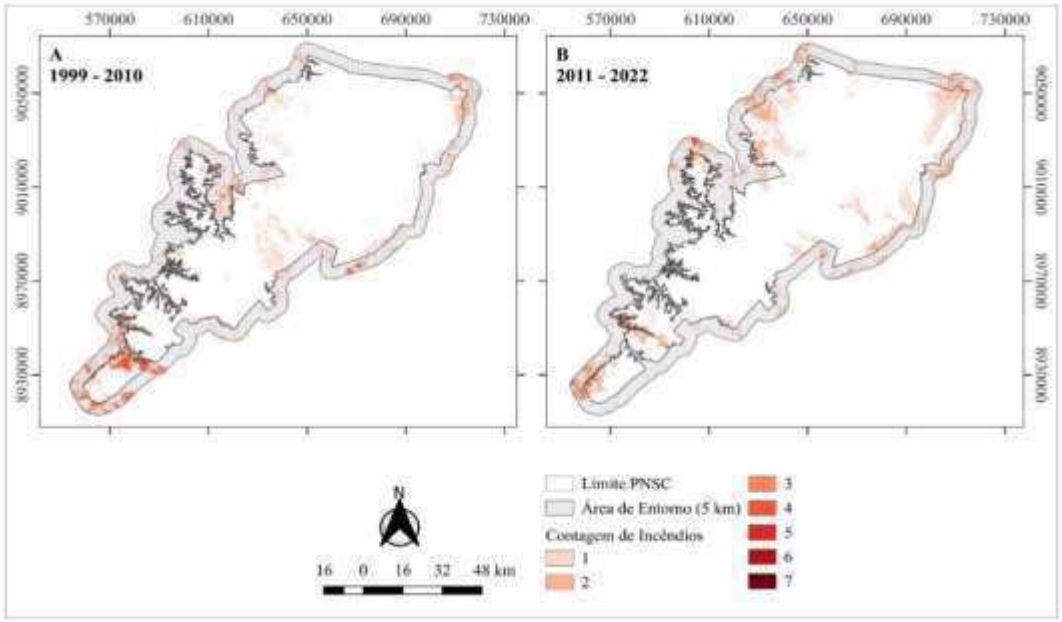


Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

É importante ressaltar que na região sudoeste temos o período em houve a ampliação, no qual, essa região foi incorporada à unidade de conservação somente em 2010 (Figura 5). Após o ano de 2010, verificou-se uma redução das áreas incendiadas na região incorporada ao parque. Este fenômeno está intimamente associado ao uso e cobertura da terra na região (Figura 5B).

Anteriormente à expansão, a região era predominantemente utilizada para pastagem e agricultura. No entanto, com a ampliação do parque, houve uma diminuição substancial dessas atividades, em virtude do aumento da área designada para preservação, conforme estabelecido pelo Decreto de 30 de dezembro de 2010 (Perez, 2008).

Figura 5:(A) Contagem de incêndios do PNSC e área de entorno antes da ampliação. (B) Incêndios do PNSC e área de entorno após ampliação.

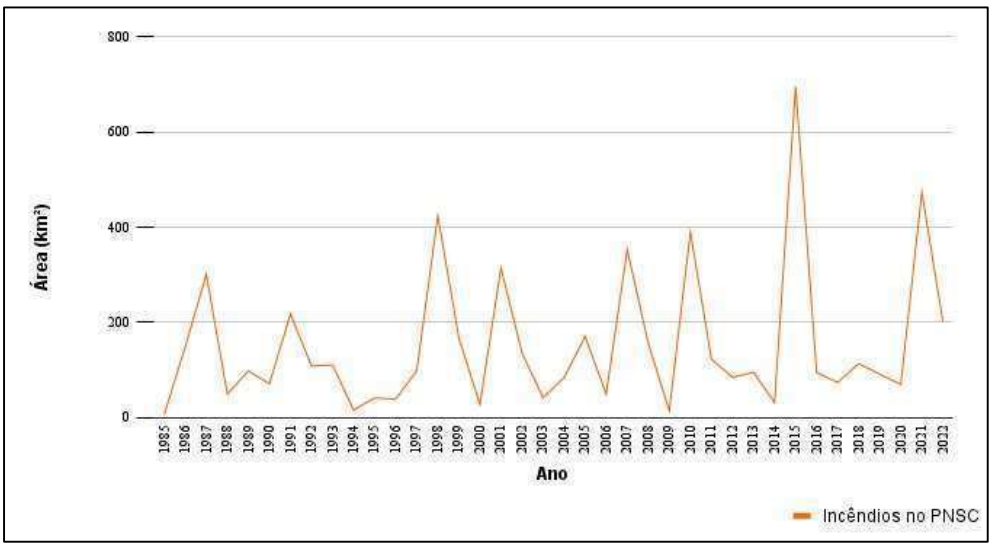


Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Além disso, o Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do PNSC (2005) revela que a região oeste da unidade apresentava um alto risco de incêndios, devido a duas atividades produtivas em conflito: a apicultura, que dependia da flora do parque, e as monoculturas de mamona, soja e milho. Nas demais áreas, o uso da terra é predominantemente voltado para a agricultura familiar.

No que diz respeito à variação temporal (Gráfico 1), o ano de 1998, antes da implementação do parque, registrou a maior extensão de áreas afetadas por incêndios, tanto dentro do parque quanto na zona de amortecimento, totalizando 423,8 km². Após a implementação do PNSC, destacam-se os anos de 2015, com 695,84 km² e o ano de 2021 com 473,72 km^2 de área afetada. Embora haja uma disparidade no tamanho das áreas afetadas antes e depois da criação do parque, não foi possível identificar uma diferença estatisticamente significativa.

Gráfico 1: Variação temporal dos incêndios no PNSC.



Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Nas pesquisas de Sparacino *et al.,* (2021) na mesma região, foi identificado que no ano de 2015 ocorreu a estação chuvosa mais curta no período climatológico de 2015-2016, com apenas 87 dias de precipitação. A redução na duração da estação chuvosa pode resultar em escassez de água e intensificar a seca, aumentando o risco de incêndios florestais.

Flannigan, Stocks, Wotton (2000); Molfetta *et al.,* (2000) propõem que os fatores climáticos desempenham um papel crucial no regime de incêndios em qualquer local, resultante de interações complexas entre combustíveis, topografia, ignições e clima. Elementos como temperatura, precipitação, vento e umidade atmosférica exercem influência direta sobre o regime do fogo, aumentando significativamente o risco de ocorrência de incêndios florestais.

Torres *et al.,* (2016) destacam que devido à diversidade climática do Brasil, as épocas de incêndios variam em diferentes regiões. No sudeste e norte, ocorrem entre junho e outubro; no sul, de julho a setembro; no centro-oeste, de junho a setembro; e no nordeste de agosto a novembro.

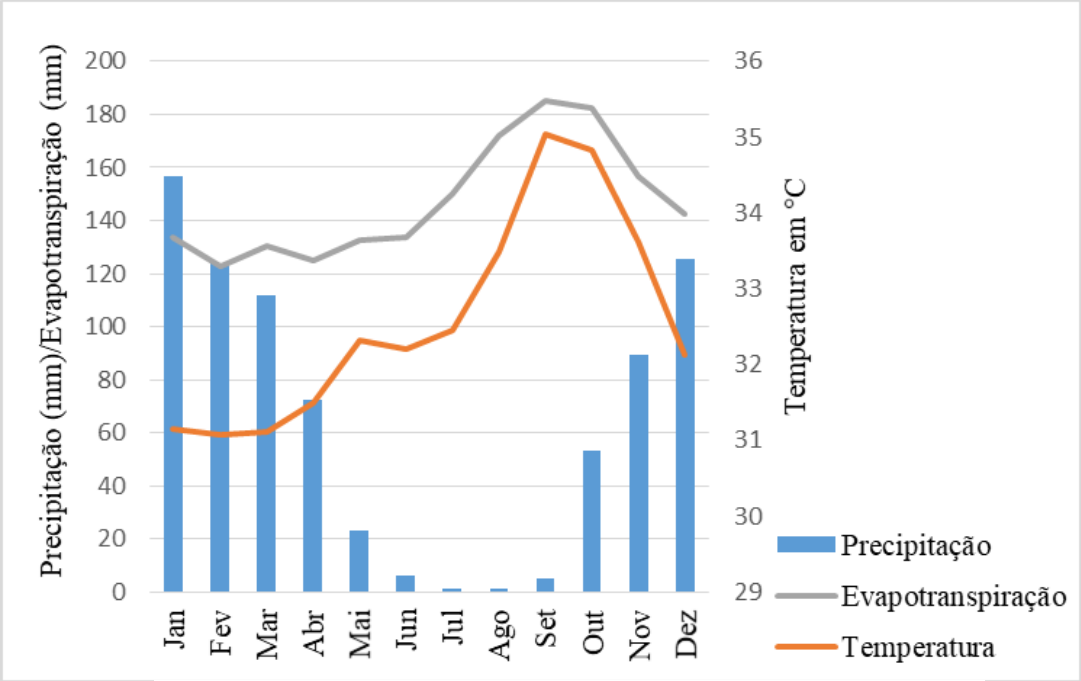
Silva *et al.,* (2021) encontraram resultados semelhantes na região de semiárido no estado do Ceará. Eles observaram que a maioria dos incêndios em vegetação ocorreu no segundo semestre de cada ano, entre julho e dezembro, com uma frequência maior nos meses de setembro e outubro. Por outro lado, no primeiro semestre, de janeiro a junho, houve uma menor quantidade de ocorrências desse tipo de incêndio no estado. O mesmo foi observado por Torres *et al.,* (2016) na Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins, que a maior concentração de área queimada ocorre entre julho e novembro.

Com relação ao tipo de bioma é possível perceber os incêndios aumentam de junho a dezembro, atingindo o pico em setembro na maioria dos biomas, como Cerrado, Amazônia, Mata

Atlântica e Pantanal. O Pampa registra seu pico em agosto, e na Caatinga é mais comum em outubro (Jesus *et al.*, 2020). No que desrespeito aos fatores ambientais climáticos (Gráfico 2), a média de precipitação pluviométrica mensal, a evapotranspiração média mensal e a temperatura máxima mensal são fatores que potencializam a ocorrência dos eventos de incêndio.

Os dados meteorológicos do PNSC revelam que os meses de junho, julho e agosto registram as menores médias de precipitação, indicando períodos mais secos ao longo do ano. Em contraste, setembro e outubro apresentam as temperaturas médias mais altas, refletindo padrões climáticos sazonais típicos da região, influenciados por variáveis como radiação solar, cobertura de nuvens e padrões de vento.

Gráfico 2: Dados meteorológicos de precipitação média mensal (mm) (1985-2022), temperatura máxima mensal (ºC) (1985-2020) e evapotranspiração média mensal (mm) (1985-2020).



Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

A evapotranspiração, por sua vez, demonstra a relação entre temperatura e disponibilidade de água. Meses como setembro, outubro e agosto exibem as maiores médias de evapotranspiração, sugerindo uma demanda hídrica aumentada devido às temperaturas elevadas e condições atmosféricas propícias à evaporação.

Durante o período estudado, foi observado que os meses de setembro, outubro e novembro são os períodos com maior incidência de incêndios tanto dentro do PNSC quanto em suas áreas de entorno. Essa observação se alinha com os dados meteorológicos que indicam que esses meses apresentam as temperaturas médias mais altas e as maiores médias de evapotranspiração caracterizando um período crítico de seca na região.

Esses resultados estão de acordo com as observações de De Carvalho *et al.* (2023), que também identificaram uma maior ocorrência de incêndios ao final da estação seca. Esse aumento pode estar relacionado ao período em que os agricultores preparam a terra para o plantio, utilizando o fogo como um método tradicional e de baixo custo para o preparo do solo. Embora essa prática seja amplamente adotada em áreas rurais por sua acessibilidade econômica, ela traz riscos ambientais significativos e gera consequências negativas a longo prazo para o ecossistema (Silva *et al.,* 2018).

Além disso, Sparacino *et al.*, (2021) com pesquisas na mesma região identificaram que a existência de anos muito secos, sem períodos de transição entre estações chuvosas e secas. Essas condições se sobrepõem ao clima sazonal intrinsecamente extremo, no qual 90% das chuvas se concentram na estação chuvosa, tornando o longo período de seca intrinsecamente propenso a incêndios. Essa tendência também é evidenciada em estudos, como o de Cardozo *et al.* (2014), que, ao investigar a distribuição temporal e espacial de incêndios na floresta Amazônica por meio de dados do sensor MODIS, observou que anos com menor precipitação estiveram associados a áreas mais extensamente queimadas.

3.3. Análise Estatística

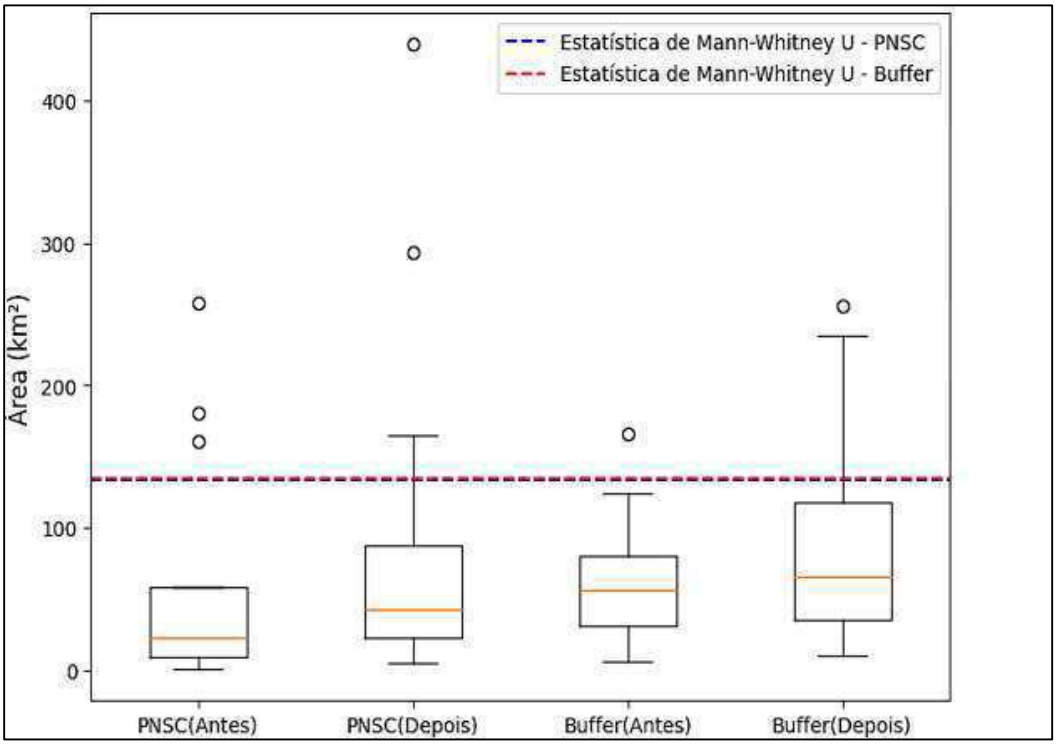
A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste Shapiro-Wilk, revelando que as áreas queimadas dentro do PNSC, tanto no período anterior quanto posterior à implantação, não seguem uma distribuição normal (S-W(14) = 0,736, $p < 0,001$; S-W(24) = 0,659, $p < 0.001$, respectivamente). Além disso, o teste de Levene para igualdade de variâncias indicou que as variâncias das duas amostras são homogêneas ($F(1, 36) = 0,019$, $p > 0.05$).

Os mesmos testes foram aplicados para a área de entorno do parque, definida por um buffer de cinco quilômetros. Para esta área, o teste Shapiro-Wilk indicou que os dados de área queimada anteriores à implantação do Parque apresentam distribuição normal (S-W(14) = 0,912, $p > 0.05$), ao passo que no período posterior, os dados não são normalmente distribuídos (S-W(24) = 0,865, $p < 0.05$). Para a região do buffer, os dados apresentam homogeneidade de variâncias ($F(1, 36) = 1,743$, $p > 0.05$).

Considerando que os dados não seguem uma distribuição normal, mesmo apresentando homogeneidade das variâncias, foi utilizado o teste Mann-Whitney para comparar as médias dos dados de área queimada nos dois períodos analisados. O teste indicou que não há diferença significativa nos dados de área queimada no interior do PNSC, quando considerado o período anterior e posterior à sua implantação ($U=134$, $p > 0.05$). O mesmo resultado foi observado para área de entorno do PNSC (buffer) ($U = 135$, $p > 0.05$).

A Figura 6 apresenta uma comparação entre os dados de área queimada no interior do PNSC e no entorno (buffer), antes e depois da sua implantação, junto com os valores do teste de comparação de médias. A Figura 6 releva, ainda, uma maior variação nos dados após a implantação do PNSC em 1998, resultante do aumento das áreas queimadas, inclusive com ocorrência de outliers para os dois recortes espaciais, com destaque para os casos ocorridos no interior do PNSC, nos anos de 2015 (439,6 km²) e 2021 (293,8 km²), e no seu entorno também em 2015 (256,3 km²).

Figura 6: Boxplot das áreas queimadas no interior e entorno do Parque Nacional da Serra das Confusões, antes e depois da sua implantação em 1998.



Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Contudo, conforme demonstrado pelo teste de Mann-Whitney, não há diferença estatística entre os valores médios de área queimada dos dois períodos analisados em nenhum dos recortes espaciais. Valores atípicos de área queimada foram identificados na área do parque antes de sua implantação (1998 (258,0 km²), 1987 (180,0 km²), 1991 (161,0 km²)) quanto em seu entorno (1998 (165,8 km²)). Esses eventos podem estar associados a condições climáticas da região.

A verificação da presença e magnitude de tendências nos dados de áreas queimadas, tanto no interior quanto no entorno do PNSC, foi conduzida utilizando os testes estatísticos não-paramétricos de Mann-Kendall e Sen's. O resumo estatístico desses testes é apresentado na

Tabela 2. Os resultados indicam que, ao nível de significância de 0,05, as áreas queimadas não exibem tendência significativa, seja no interior ou no entorno do PNSC.

Contudo, observou-se uma correlação positiva significativa entre os valores de área queimada no interior e entorno do PNSC (Spearma(ho) = 0,716, $p < 0.05$), ou seja, áreas de incêndios no interior do Parque tendem a aumentar à medida que as áreas de incêndios no entorno aumentam, e vice-versa.

Tabela 2: Resumo das estatísticas do teste não-paramétrico de Mann-Kendall para análise de tendências de áreas queimadas no interior e entorno do PNSC, entre os anos de 1985 e 2022.

Área	n	T	S	Var(S)	p-valor	Z	Slope
PNSC	38	0,166	117	6327	0,145	1,458	0,804
Buffer	38	0,092	65	6327	0,421	0,804	0,549

Nota 1: n= número de anos; τ = Kendall Tau; S = estatística do teste; Var(S) = Variância de S; p-valor = valor de probabilidade; Z = estatística do teste; Slope = inclinação estimada pelo método de Sen's.

Esses resultados corroboram com as pesquisas de Santos, *et al.* (2023), que demonstraram, por meio de análises estatísticas, que o padrão de distribuição dos incêndios mudou ao longo dos anos, concentrando-se nas áreas mais periféricas da zona de amortecimento.

4. Conclusão

Conclui-se que os meses com maior incidência de incêndios foram setembro, outubro e novembro, períodos caracterizados por temperaturas médias mais elevadas e maiores médias de evapotranspiração. Este padrão destaca a influência direta das condições climáticas na ocorrência de incêndios na região.

A análise histórica do regime de incêndios, combinada com avaliações estatísticas, revelou uma correlação significativa com fatores meteorológicos, indicando que o PNSC tem cumprido seu papel como unidade de conservação. No entanto, esses resultados não diminuem a importância de implementar medidas eficazes de prevenção e controle de incêndios, fundamentais para garantir a preservação contínua do parque.

A tendência observada, de que as áreas de incêndio dentro do parque aumentam à medida que os focos de incêndio nas áreas de entorno também se intensificam, evidencia uma fragilidade no combate ao fogo e na aplicação de ações preventivas. Isso reforça a necessidade urgente de intensificar essas ações, como o envolvimento de brigadistas capacitados e a promoção de treinamentos contínuos, visando aprimorar a eficácia no controle e mitigação dos incêndios florestais, protegendo assim o ecossistema do parque.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. E. R. *et al.* Parâmetros biofísicos aplicados no parque nacional da serra das confusões, piauí-brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p. 597–604, 2020.

ARGIBAY, D. S.; SPARACINO, J.; ESPINDOLA, G. M. A long-term assessment of fire regimes in a Brazilian ecotone between seasonally dry tropical forests and savannah. **Ecological Indicators**, v. 113. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106151>. Acesso em 17 set 2023

BARROS, V. da S. *et al.* Análise de séries temporais de focos de calor em biomas brasileiros utilizando o método Gráfico de Recorrência. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e16010413925, 2021.

COSTA, M. da S. *et al.* Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** , v. 8, n. 5, p. 1321–1334, 2015. Acesso em 17/09/2023. Disponível em: <www.ufpe.br/rbgfe>. Acesso em 22 mai 2023.

CARDOZO, F. da S. *et al.* Analysis and assessment of the spatial and temporal distribution of burned areas in the amazon forest. ***Remote Sensing***, v. 6, n. 9, p. 8002–8025, 2014.

DE CARVALHO, I. S. *et al.* How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado? *J***ournal for Nature Conservation**, v. 71, n. May 2022, 2023.

DE JESUS, J. B. *et al.* Analysis of the temporal, spatial and trend incidence of fire in biomes and conservation units of Brazil. **Ciencia Florestal**, v. 30, n. 1, p. 176–191, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/jnVZfCH6xj5QY3x49kQvtjx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mai 2024.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. Manual de análise de dados: **Estatística e Modelagem Multivariada com Excel**, *SPSS e Stata.* 1º ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2017.

FREITAS, S. R. *et al.* Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados,** v. 19, n. 53, p. 167–185, 2005.

GARCÍA, F. V.; González, A. E. Global Patterns and Dynamics of Burned Area and Burn Severity. **Remote Sensing**. 2023.

HUSSAIN, M.; MAHMUD, I. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. ***Journal of Open Source Software***, v. 42, n. 1/2, p. 80, 2019.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. January 2005, p. 147–155, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Machado-4/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro/links/553a78670cf29b5ee4b64c2f/A-conservacao-do-Cerrado-brasileiro.pdf>. Acesso em: 05 jun 2024.

MARTINS, M.C. Fogo: Visões, Possibilidades E Limites Do Seu Uso Na Agricultura, Nas Unidades De Conservação E Nas Atividades Florestais. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2017.

MOLFETTA, L. *et al.* Analysis of clinical data in patients with Girdlestone arthroplasty: A new score. **The Science of the Total Environment,** v. 17, n. 3, p. 170–175, 2000.

MONTEIRO, A. J. S. R.; CHERMONT, L. S. . Avaliação do manejo integrado do fogo nas unidades de conservação federais na amazônia. p. 4–6, 2024. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/40444/2/Dissertacao_Adarquia.pdf>. Acesso em 14 nov 2023.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. de O. **Estatística Básica** *2017 (9ed)* -. [S.l: s.n.], 2017.

NIETO, H. *et al.* Lightning-caused fires in Central Spain: Development of a probability model of occurrence for two Spanish regions. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 162–163, n. 2012, p. 35–43, 2012.

OTÓN, G. *et al.* Analysis of trends in the firecci global long term burned area product (1982–2018). ***Fire***, v. 4, n. 4, 2021.

PEREZ, S. E. A. Ecologia da onça-pintada nos Parques Nacionais Serra da Capivara e Serra das Confusões, Piauí. Ecologia, n. March 2008, p. 106, 2008. Disponível em: <http://bdtd.bce.unb.br/tedesimplificado/tde_arquivos/36/TDE-2008-06-03T111740Z-2640/Publico/2008_SamuelEnriqueAstetePerez.pdf>. Acesso em: 25 nov 2023.

RAMOS, R. M.; FONSECA, R. L.; MORELLO, T. F. Unidades de Conservação e proteção contra incêndios florestais: relação entre focos de calor e ações articuladas pelas brigadas contratadas. *IV Simpósio Sul-Americano sobre Prevenção e Combate a Incêndios Florestais e 8ª Reunião Técnica Conjunta SIF/FUPEF/IPEF sobre Controle de Incêndios Florestais*, v. 6, n. 2, p. 135–148, 2007. Disponível em: <https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/BioBR/article/view/558/485>. Acesso em: 24 nov 2023.

RIBEIRO, G. Formação e Treinamento de Brigada de Incêndio Florestal. 2021. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa Civil/manuais/ApostilabrigadadeincendioFlorestal.pdf>. Acesso em 13 mai 2024.

ROCHA, V. C. A Valorização do Semiárido a Partir do Parque Nacional Serra das Confusões-PI. **Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco**., 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47079/1/DISSERTAÇÃOVanessaCustódio da Rocha.pdf>. Acesso em: 10 mai 2024.

ROGERSON, Peter A. Métodos estatísticos para a geografia: um guia para o estudante. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**, v. 7, n. 7, p. 348, 2012.

SANTOS, J. S.; SABÓIA, de A., C. M. GEOMORFOLOGIA E GEOTURISMO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO ESTADO DO PIAUÍ: Estudos de caso na Serra da Capivara, Sete Cidades e Serra das Confusões. **Revista GeoSertões**, v. 6, n. 12, p. 10–32, 2023.

SILVA, E. M. da *et al.* Registros de Queimadas em Vegetação (Incêndios) e a Climatologia da Chuvas no Estado do Ceará: Estudo de Caso no Período de 2015 a 2019**. Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3 suppl, p. 571–577, 2021.

SILVA, E. C. G. *et al.* Análise temporal da ocorrência de incêndios florestais nas Américas e região do Caribe. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 491-496, 2018.

SOUSA, J. R. L. de; BOTREL, R. T.; ALVES, A. R. Ocorrência de incêndios florestais na região de Bom Jesus, Sul do Estado do Piauí. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1–5, 2012.

Souza, C. M. et al., 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. Remote Sensing. v.12,n.17. https://doi.org/10.3390/RS12172735.

SPARACINO, J. ARGIBAY, D. S.; ESPINDOLA, G. Caracterização de longo prazo (35 anos) das Estações Secas e Chuvosas no Semiárido Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v.36. p. 377–391, 2021.

TASSI, A.; VIZZARI, M. Object-oriented lulc classification in google earth engine combining snic, glcm, and machine learning algorithms. **Remote Sensing**, v. 12, n. 22, p. 1–17, 2020.

THE MATPLOTLIB DEVELOPMENT TEAM. *Matplotlib: Visualization with Python*. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://zenodo.org/records/10661079>. , 2024

TIAN, X. *et al.* Distribution Characteristics and the Influence Factors of Forest Fires in China. ***Forest Ecology and Management***, v. 310, p. 460–467, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.025>.Acesso em 10 mai 2024.

TORRES, F. T. P. *et al.* Perfil Dos Incêndios Florestais Em Unidades De Conservacao Brasileiras No Período De 2008 A 2012. **Floresta,** v. 46, n. 4, p. 531–542, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Fillipe-Torres/publication/312036207_PERFIL_DOS_INCENDIOS_FLORESTAIS_EM_UNIDADES_DE_CONSERVACAO_BRASILEIRAS_NO_PERIODO_DE_2008_A_2012/links/58739e5108aebf17d3b08e40/PERFIL-DOS-INCENDIOS-FLORESTAIS-EM-UNIDADES-DE-CONSER>. Acesso em: 04 nov 2023.

VALLEJO, L. R. Os Incêndios Nas Unidades De Conservação Federais, Estado Do Piauí - Brasil (2006-2015). **Revista Equador**, v. 5, n. 5, p. 111–129, 2016.

VIRTANEN, P. *et al.* SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. ***Nature Methods***, v. 17, n. 3, p. 261–272, 2020.

XAVIER, A. C., Scanlon, B. R., King, C. W., & Alves, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). International Journal of Climatology, 42(16), 8390–8404. https://doi.org/10.1002/joc.7731

XU, H. *et al.* Temporal–Spatial Characteristics and Influencing Factors of Forest Fires in the Tropic of Cancer (Yunnan Section). ***Forests*****,** v. 15, n. 4, p. 661, 2024.

ZANELLA, M. E.. Considerações Sobre o Clima e os Recursos Hídricos do Semiárido Nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 36, p. 126–142, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176.>.Acesso em 04 nov 2023.

Artigo 2:

DINÂMICA DA PAISAGEM APÓS INCÊNDIO EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL

Autores: Erislânia Sousa Silva, Giovana Mira de Espindola

RESUMO

O projeto MapBiomas é fundamental para monitorar mudanças nas paisagens das unidades de conservação, fornecendo dados detalhados sobre uso e cobertura da terra. Esses dados são vitais para identificar desmatamento, degradação e recuperação ambiental, ajudando na gestão e planejamento das áreas protegidas. A pesquisa aconteceu em uma Unidade de Conservação (UC) no estado do Piauí, no nordeste do Brasil, e teve como objetivo avaliar a dinâmica das mudanças no uso e cobertura de áreas afetadas por incêndios ao longo dos anos em estudo. Para isso, foram analisados os anos com maiores áreas de incêndio no interior do Parque Nacional Serra das Confusões (PNSC) e entorno, para verificar se houve modificações na vegetação pós-incêndio. Os anos analisados foram 1998, 2010, 2015 e 2022, com dados coletados dos três anos consecutivos antes e depois de cada ano de incêndio, por exemplo, 1995, 1996 e 1997 para 1998. O uso de geotecnologias, como imagens de satélite, foi essencial para o monitoramento e mapeamento da perda de cobertura vegetal. Os resultados mostraram uma variação nas cicatrizes de fogo ao longo dos anos, com um pico em 2015 e uma redução em 2021. Entre os municípios do entorno do parque, Cristino Castro apresentou a maior frequência de cicatrizes de fogo, com 32 ocorrências, enquanto Redenção do Gurguéia se destacou especialmente em 1998 e 2010, com 9 e 7 cicatrizes, respectivamente. A Formação Savânica e a Formação Florestal são predominantes no PNSC e em seu entorno. A Formação Savânica cresceu de 48,03% da área em 1998 para 57,37% em 2021, enquanto a Formação Florestal, que representava 46,66% em 1998, diminuiu para 35,86% em 2021. Os resultados da regressão linear mostram que em 1998 a Formação Savânica teve uma tendência crescente significativa Em 2010, exibiu uma tendência decrescente significativa. Em 2015, a tendência foi decrescente, mas não significativa. Em 2021, a Formação Savânica apresentou uma tendência ascendente não significativa. Por outro lado, a Formação Florestal mostrou uma tendência decrescente significativa em todos os anos analisados. Esses resultados indicam um declínio contínuo na Formação Florestal ao longo do tempo, enquanto a Formação Savânica apresentou variações nas tendências sem uma direção predominante clara.

Palavras-chave: Dinâmica da vegetação. Formação Savânica. Parque Nacional Serra das Confusões

ABSTRACT

The MapBiomas project is essential for monitoring changes in landscapes within conservation units, providing detailed data on land use and land cover. This data is vital for identifying deforestation, degradation, and environmental recovery, aiding in the management and planning of protected areas. The research was conducted in a Conservation Unit (UC) located in the state of Piauí, in northeastern Brazil, and aimed to assess the dynamics of changes in vegetation cover over different periods. To achieve this, years with the largest fire areas within the Serra das Confusões National Park (PNSC) and its surroundings were analyzed to determine if there were modifications in post-fire vegetation. The analyzed years were 1998, 2010, 2015, and 2022, with data collected from the three consecutive years before and after each fire year, for example, 1995,

1996, and 1997 for 1998. The use of geotechnologies, such as satellite images, was essential for monitoring and mapping the loss of vegetation cover. The results showed a variation in fire scars over the years, with a peak in 2015 and a reduction in 2021. Among the municipalities surrounding the park, Cristino Castro had the highest frequency of fire scars, with 32 occurrences, while Redenção do Gurguéia was particularly notable in 1998 and 2010, with 9 and 7 scars, respectively. The Savanna Formation and Forest Formation are predominant within and around the PNSC. The Savanna Formation increased from 48.03% of the area in 1998 to 57.37% in 2021, while the Forest Formation, which represented 46.66% in 1998, decreased to 35.86% in 2021. Linear regression results show that in 1998, the Savanna Formation had a significant increasing trend. In 2010, it exhibited a significant decreasing trend. In 2015, the trend was decreasing but not significant. In 2021, the Savanna Formation showed a non-significant increasing trend. On the other hand, the Forest Formation showed a significant decreasing trend in all analyzed years. These results indicate a continuous decline in the Forest Formation over time, while the Savanna Formation exhibited variations in trends without a clear predominant direction.
Keywords: Vegetation Dynamics, Savanna Formation, Serra das Confusões National Park.

1. Introdução

Ao longo da história, o ser humano tem sido uma parte integrante e modificadora do meio ambiente, moldando as paisagens naturais através de suas atividades. Essas modificações são resultado da interação entre elementos naturais e ações humanas, que transformam continuamente o espaço geográfico (Seabra; Cruz, 2013).

O Cerrado e a Caatinga, dois importantes biomas brasileiros, têm sofrido transformações no uso e cobertura da terra devido ao impacto do fogo ao longo dos anos. Diversos fatores contribuem para essas mudanças, incluindo práticas agrícolas e pecuárias, onde o fogo é utilizado para suprimir a vegetação nativa e preparar o solo para cultivo e pastagem. Além disso, a expansão urbana demanda a remoção da vegetação para novas construções, frequentemente facilitada pelo uso de queimadas. Portanto, este artigo aborda a seguinte problemática: Como os incêndios afetam a dinâmica da paisagem no Parque Nacional Serra das Confusões (PNSC), Nordeste do Brasil? Hipoteticamente parte-se do entendimento de que a ocorrência de incêndios florestais tem contribuído para o aumento das áreas de formação savânica no PNSC em detrimento às áreas de formações florestais.

Nesse sentido o objetivo desta pesquisa é: Analisar os efeitos dos incêndios florestais na dinâmica da paisagem em uma unidade de conservação no Nordeste do Brasil, utilizando dados de uso e cobertura terra. Para desenvolver a pesquisa, utilizou-se geotecnologias visando uma melhor aquisição de dados ambientais. O uso de tecnologias como imagens orbitais tem sido essencial no monitoramento e mapeamento da perda gradual de cobertura vegetal natural. O projeto MapBiomas desempenha um papel crucial nesse processo, fornecendo dados precisos e atualizados para estudos geoambientais (Souza; Martins; Druciaki, 2020). Os mapeamentos de

cobertura e uso da terra são importantes para compreender a dinâmica da paisagem, pois refletem as influências das atividades humanas e a ajudam a compreender a intensidade e os tipos de mudanças que as paisagens estão submetidas (Seabra; Cruz, 2013).

2. Materiais e métodos

2.1 Localização e Caracterização da Área De Estudo

O estudo foi conduzido em uma unidade de conservação de proteção integral sob gestão federal, localizada nas microrregiões de São Raimundo Nonato e Alto Médio Gurguéia, no estado do Piauí, Brasil. O PNSC recebeu seu nome devido às mudanças de cor das rochas ao longo do dia, um fenômeno que causava confusão e desorientação nas pessoas que transitavam pela área. (Rocha, 2017).

A sede administrativa do parque está localizada na cidade de Caracol-PI, que serve como ponto de acesso ao parque. Caracol, situada na divisa entre Piauí e Bahia, possui recursos econômicos limitados, refletidos em sua infraestrutura urbana. A maior parte do parque está na cidade vizinha de Guaribas. O Parque está situado no topo de um planalto, drenado por canais que fluem para o norte em direção ao Parnaíba, o principal rio do estado do Piauí (Rocha; Marçal; Guerra, 2005).

Está localizado em uma área de transição entre a Caatinga e o Cerrado, caracterizada pela predominância de três tipos de cobertura vegetal: arbórea, arbustiva e arbórea/arbustiva. A região é dominada por espécies caducifólias, além de sub-bosques de florestas semi-deciduais nas matas ciliares e em áreas onde as condições edafoclimáticas são mais favoráveis (Gonçalves, 2003).

2.2 Identificação das áreas de incêndios e das classes de uso e cobertura da terra

Para identificar as cicatrizes de incêndios e as classes de uso e cobertura da terra no PNSC e seu entorno, utilizou-se três conjuntos de dados disponíveis na plataforma MapBiomas. O primeiro conjunto de dados foi a Coleção 3.0 do mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil, que se baseia em mosaicos de imagens de satélite Landsat e no uso de inteligência artificial, com algoritmos de aprendizagem de máquina (Machine learning) e computação em nuvem (https://brasil.mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-fogo/). O período de mapeamento disponível é de 1985 a 2023, com resolução espacial de 30 metros.

Selecionou-se os anos de 1998, 2010, 2015 e 2021, por serem os anos com maior extensão de cicatrizes de incêndio na área de estudo. Para cada ano, utilizou-se o conjunto de dados anual, que agrega todas as cicatrizes ocorridas no ano de referência. Após obter os dados de cicatrizes de incêndios, converteu-se os *rasters* em polígonos no Sistema de Informação Geográfica QGIS e calculamos a área de cada polígono. Realizou-se uma filtragem dos polígonos, considerando

apenas aqueles com área maior que 1 km², a fim de reduzir os erros potenciais no processo de detecção das cicatrizes.

A partir dos polígonos foram extraídos seus centroides a fim de avaliar a variabilidade espacial dos hotspots. Esses pontos foram utilizados para gerar mapas de Densidade Kernel, proporcionando uma melhor visualização da variabilidade espacial das cicatrizes. Essa análise foi realizada no *software* QGIS, utilizando a ferramenta "Mapa de Calor" com um raio de 22.000 metros.

Para os dados de uso e cobertura da terra, utilizou-se outros dois conjuntos de dados disponíveis no MapBiomas: as classes de cada ano de ocorrência de cicatrizes selecionadas e o mapa de mudanças entre intervalos de anos. Selecionou-se os mapas de mudanças que representassem a variação das classes de uso e cobertura da terra três antes e dois anos depois dos anos das cicatrizes em estudo. Por exemplo, para o ano de 1998, analisamos as mudanças entre os anos de 1995-1996, 1996-1997, 1997-1998, 1998-1999, 1999-2000, e 2000-2001.

Para identificar as mudanças nas classes de uso e cobertura da terra antes e depois dos anos de ocorrência das cicatrizes, cada mapa de mudança foi recortado pelo polígono do ano de referência do incêndio, e as áreas correspondentes a cada combinação de mudança foram calculadas.

2.3 Análise de dados

A análise de tendência das categorias de mudança de uso e cobertura da terra foi conduzida por meio de modelos de regressão linear. Essa análise permitiu identificar e avaliar tendências significativas nas porcentagens de área. O uso da regressão linear proporciona uma compreensão quantitativa das mudanças nas categorias de uso e cobertura, contribuindo para a interpretação das dinâmicas espaciais e temporais observadas.

3. Resultados e Discussões

3.1 Incêndios florestais no Parque Nacional Serra das Confusões

A região de estudo possui uma área total de aproximadamente 12.000 km², que envolve o PNSC, com 8.238,4 km² (68,62%) e o seu entorno com 3.766,8 km² (31,38%). As cicatrizes detectadas são representadas pela quantidade de polígonos, observa-se que ao longo dos anos houve uma redução na quantidade de polígamos (Tabela 3). Com relação a área máxima das cicatrizes, percebe-se uma variação ao longo dos anos, com destaque para o ano de 2015, indicando que, apesar da diminuição no número de cicatrizes, a extensão das cicatrizes individuais foi maior.

Tabela 3: Área dos incêndios representados por polígonos

Anos	**Total de Polígonos**	**Área Total km²**	**Área Máxima km²**	**Média das Áreas**	**Desvio Padrão**
1998	48	515,0	100,0	10,7	19,9
2010	43	445,5	87,3	10,4	18,4
2015	32	819,6	300,9	25,6	57,7
2021	26	479,5	153,1	18,4	37,5

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Em 2021, houve uma redução na área máxima em comparação a 2015, mas as cicatrizes ainda foram mais extensas do que nos anos anteriores. Observa-se que o desvio padrão foi maior em 2015, refletindo uma variabilidade no tamanho das cicatrizes. Em 2021, o desvio padrão diminuiu em relação a 2015, mas ainda foi maior do que em 1998 e 2010.

O ano de 2015 foi destacado por pesquisadores como Freitas et al. (2020) e Silva et al. (2021) como o ano com as maiores cicatrizes de incêndios. De acordo com esses autores, o Nordeste brasileiro enfrentava episódios de seca severa nesse período, o que contribuiu para a ocorrência e a extensão dos incêndios. Esta região é conhecida por ter as maiores densidades de incêndios florestais (Caúla; Lyra *et al*., 2015), o que corrobora com a variabilidade observada nas cicatrizes de incêndio durante os anos em estudo.

3.2 Variabilidade espacial de hotspots

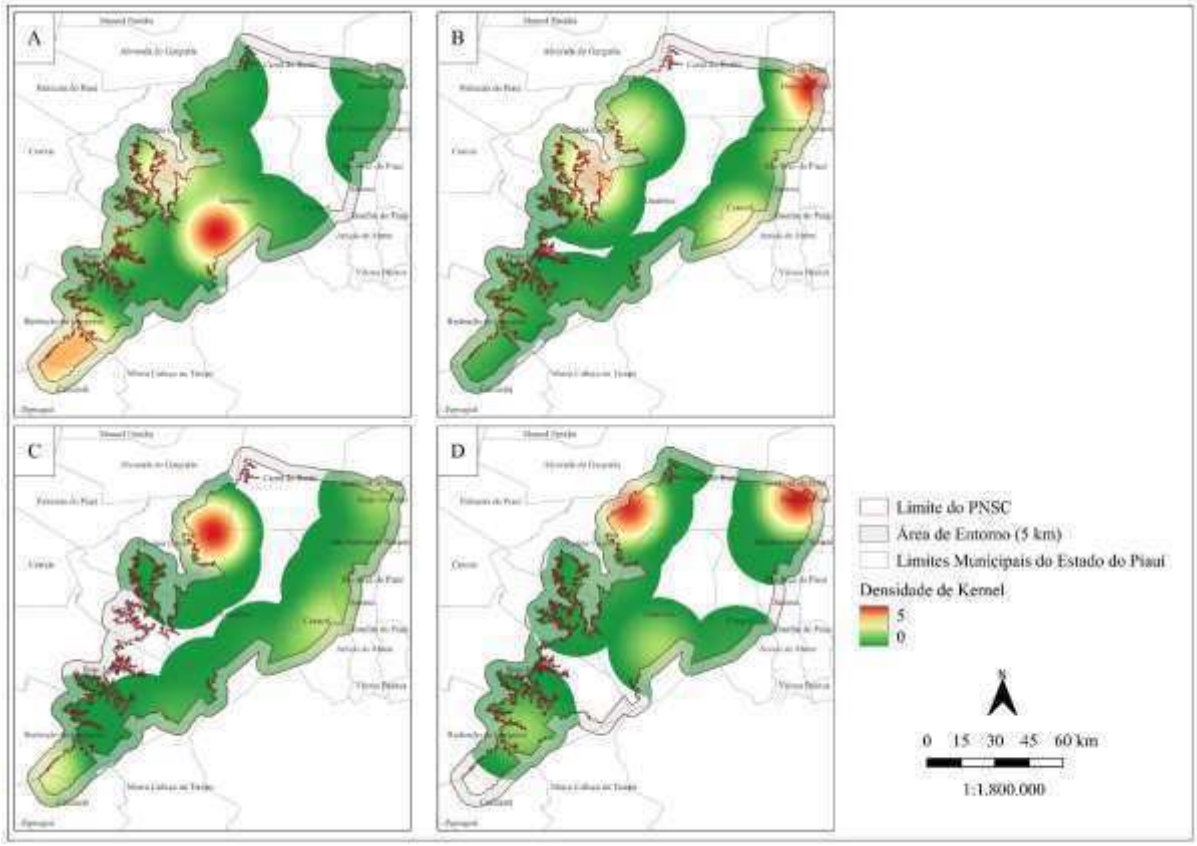
A representação dos hotspots identificados no Parque e no seu entorno durante o período de estudo é apresentada na Figura 7. Em 1998 (Figura 7A), houve a maior concentração de cicatrizes na parte sudoeste da área de estudo, com algumas ocorrências na região centro-oeste. Em 2010 (Figura 7B), a maior concentração foi observada no centro-oeste, com algumas ocorrências no sudoeste e ao longo do lado leste até o nordeste do parque.

O padrão de 2015 (Figura 7C) é semelhante ao de 2010, mas as cicatrizes de queimadas foram mais extensas. Em 2021 (Figura 7D), as concentrações se deslocaram para as regiões nordeste, noroeste e sudoeste. Observa-se que as cicatrizes de queimadas dentro do PNSC ocorreram predominantemente no ano de 1998, ano de criação do parque. Nos anos de 2010 e 2015, as cicatrizes se concentraram principalmente no entorno do parque. No entanto, em 2021, as queimadas voltaram a ocorrer dentro do PNSC, mesmo que menos extensas que os outros anos.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Santos *et al*. (2023), que observaram que, após a criação do Parque Estadual Mata da Pimenteira, localizado no município

de Serra Talhada, no estado de Pernambuco, a distribuição dos hotspots se concentrou em maior quantidade nas áreas ao redor do parque, indicando que o parque está cumprindo seu papel de preservação.

Figura 7: Estimativa de densidade Kernel das cicatrizes de incêndios na zona de entorno e no PNSC. 7A – Representa o ano de 1998, 7B – Ano de 2010, 7C – Ano de 2015, 7D – Ano de 2021.



Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

As cicatrizes de fogo estão distribuídas em alguns municípios onde o PNSC está inserido (Tabela 4). A maior frequência registrada foi no município de Cristino Castro, com 32 cicatrizes distribuídas ao longo dos anos de 1998, 2010, 2015 e 2021. A segunda maior frequência de cicatrizes foi registrada no município de Redenção do Gurguéia, especialmente nos anos de 1998 e 2010, com 9 e 7 cicatrizes, respectivamente.

Guaribas apresentou cicatrizes de incêndios em todos os anos analisados, destacando-se com um pico de 9 cicatrizes em 1998. Em comparação, os demais municípios tiveram ocorrências esporádicas, contribuindo para o panorama geral das queimadas na área de estudo. É importante destacar que, de acordo com o IBGE, Guaribas era um dos municípios com menor índice de desenvolvimento do Estado do Piauí em 2010.

Tabela 4:Quantidade de cicatrizes por município.

Município	Número de Cicatrizes 1998	2010	2015	2021
Alvorada do Gurguéia	0	0	0	2
Bom Jesus	6	6	2	1
Brejo do Piauí	0	2	0	1
Canto do Buriti	0	0	0	1
Caracol	2	4	6	1
Cristino Castro	10	8	9	5
Curimatá	3	0	0	0
Guaribas	9	2	4	2
Jurema	2	5	5	1
Morro Cabeça no Tempo	1	0	0	0
Redenção do Gurguéia	9	7	2	5
Santa Luz	5	4	0	1
Tamboril do Piauí	1	2	3	5
Estado da Bahia	0	3	1	1

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Moura (2004) realizou uma pesquisa na região de Guaribas, especificamente nas comunidades Capim, Barreiro e Tamboril. Entrevistando a população sobre o PNSC em relação à proteção ambiental. Os entrevistados informaram que, após a implementação do PNSC, receberam treinamento contra as queimadas; no entanto, não compreendem o motivo das proibições.

Essa falta de compreensão sobre a importância da criação de UC e as razões por trás das proibições é um desafio percebido em outras UC. A exemplo das pesquisas realizadas por Lourenço (2016) e por Lúcio, Pereira e Ludewigs (2013) No qual, também destacam a dificuldade de compreensão da população dos municípios na proibição do uso do fogo e dificultando a criação de animais.

Evidenciando que a pressão nas áreas de entorno acontece devido as condições socioeconômicas extremamente precárias, com total falta de infraestrutura, incluindo energia elétrica, água e saneamento básico. Essas comunidades agrícolas de subsistência, organizadas em pequenos municípios, dependem da terra para suprir suas necessidades básicas (Rocha; Marçal; Guerra, 2005).

3.3 Uso e cobertura da terra no período dos incêndios

Entre 1998 e 2021 (Tabela 5), a Formação Savânica e a Formação Florestal destacam-se como as classes de uso e cobertura da terra mais predominante na região. A Formação Savânica cresceu de 48,03% em 1998 para 57,37% em 2021. Em contrapartida, a Formação Florestal, que

representava 46,66% da área em 1998, diminuiu para 35,86% em 2021, refletindo um declínio contínuo. Essa transição sugere uma substituição de áreas florestais por formações savânicas.

Tabela 5: Áreas de cada classe de uso e cobertura da terra

Classes de Uso e Cobertura da Terra	Área de Cada Classe em km²							
	1998	%	2010	%	2015	%	2021	%
Formação Savânica	5769,62	48,03	6352,4	52,88	6686,66	55,67	6891,36	57,37
Formação Florestal	5604,73	46,66	4998,12	41,61	4620,16	38,46	4307,38	35,86
Mosaico de Usos	396,32	3,30	336,80	2,80	384,97	3,20	454,19	3,78
Pastagem	103,04	0,86	126,06	1,05	132,16	1,10	154,94	1,29
Outros	138,23	1,15	198,69	1,65	187,74	1,56	204,19	1,70

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Outras classes de uso da terra, como Mosaico de Usos, Pastagem e Formação Campestre, também apresentaram aumentos ao longo do período. O Mosaico de Usos passou de 3,30% para 3,78%, Pastagem de 0,86% para 1,29% e Formação Campestre de 0,57% para 0,94%. Essas mudanças indicam uma diversificação e intensificação das atividades agropecuárias e de uso múltiplo da terra. Classes menores, como Outras Áreas não Vegetadas e Campo Alagado e Área Pantanosa, mostraram variações menos expressivas, mantendo-se relativamente estáveis. As áreas urbanizadas e outras lavouras temporárias aumentaram levemente.

3.4 Classes de uso e cobertura da terra no período pós-incêndios

Em termos de padrões comuns de mudanças no uso e cobertura da terra antes e após os incêndios florestais, foram identificados um total de 22 tipos de combinações de mudanças nas classes de uso e cobertura, dentre elas, predominaram as classes de “Formação Savânica”, “Formação Floresta” e “Mosaico de Uso”.

Para as cicatrizes de incêndios ocorridos no ano de 1998 foi analisado os anos entre 1995 e 2001. A formação savânica demonstrou ao longo dos anos um aumento (Tabela 6). Em 1995-1996, 79,83% da área permaneceu como Formação Savânica, aumentando para 88,46% em 2000-2001. Em contraste, a Formação Florestal apresentou uma tendência de declínio, com 11,67% da área mantida em 1995-1996 reduzindo-se para 4,87% em 2000-2001. A área de Mosaico de Uso também mostrou uma ligeira diminuição, de 6,27% em 1995-1996 para 5,16% em 2000-2001.

Tabela 6: Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 1995 a 2001

Classes de Transição	Anos observados e a porcentagem de área					
	1995 - 1996	1996 - 1997	1997 - 1998	1998 - 1999	1999 - 2000	2000 - 2001
Manteve Formação Savânica	79.83	81.01	81.57	84.92	88.56	88.46
Manteve Formação Florestal	11.67	11.28	8.86	5.28	4.95	4.87
Manteve Mosaico de Uso	6.27	6.18	5.09	5.04	5.18	5.16
Alterou de Formação Florestal para Formação Savânica	0.98	0.39	2.26	3.45	0.15	0.05
Alterou de Mosaico de Uso para Formação Savânica	0.17	0.11	1.08	0.14	0.05	0.05

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

As transições de formação florestal para formação savânica variaram ao longo dos anos. Em 1995-1996, essa transição ocorreu em 0,98% da área, aumentando para 3,45% em 1998-1999 e diminuindo novamente para 0,05% em 2000-2001. A transição de Mosaico de Uso para Formação Savânica foi menos pronunciada, variando de 0,17% em 1995-1996 a 0,05% em 2000-2001. Esses resultados indicam que, embora algumas áreas tenham passado de mosaico de uso para formação savânica, essa não foi uma tendência dominante.

Tabela 7: Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 2007 a 2013

Classes de Transição	Anos observados e a porcentagem de área					
	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013
Manteve Formação Savânica	93.77	94.19	94.24	93.31	92.04	91.19
Manteve Mosaico de Uso	3.36	3.15	3.14	3.21	4.16	5.35
Manteve Formação Florestal	0.93	1.05	0.85	0.67	0.51	0.46
Manteve Pastagem	0.90	0.87	0.87	0.82	0.87	1.01
Manteve Formação Campestre	0.36	0.46	0.47	0.55	0.75	0.71
Alterou de Formação Savânica para Mosaico de Uso	0.01	0.03	0.06	0.97	1.16	0.68

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Para as cicatrizes de incêndios ocorridos no ano de 2010 foi analisado os anos entre 2007 a 2013, no qual observou-se uma diminuição na formação savânica, de 93,77% para 91,19% (Tabela 7). Em contraste, o Mosaico de Uso apresentou um aumento constante, passando de 3,36% em 2007-2008 para 5,35% em 2012-2013.

Tabela 8:Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 2012 a 2018

Classes de Transição	Anos observados e a porcentagem de área					
	2012 - 2013	2013 - 2014	2014 - 2015	2015 - 2016	2016 - 2017	2017 - 2018
Manteve Formação Savânica	93.20	93.38	93.24	94.55	92.52	90.52
Manteve Formação Florestal	5.14	4.86	2.53	2.53	2.48	2.50
Alterou de Formação Savânica para Mosaico de Uso	0.05	0.09	0.30	0.72	1.91	1.82
Manteve Mosaico de Uso	0.56	0.64	0.76	1.06	1.84	3.88
Alterou de Formação Florestal para Formação Savânica	0.16	0.26	2.31	0.01	0.04	0.00

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

As áreas mantidas como Pastagem mostraram uma pequena variação, com um leve aumento de 0,90% para 1,01%. As alterações de formação savânica para Mosaico de Uso variaram de 0,01% a 1,16% ao longo dos anos. Para as cicatrizes de incêndios ocorridos no ano de 2015 foram analisados os anos entre 2012 a 2018, onde observou-se uma redução na formação savânica, que diminuiu de 94,54% em 2015 para 90,52% em 2017 (Tabela 8). Nesse período, a Formação Florestal também apresentou uma redução, de 5,14% para 2,5%. Por outro lado, as áreas que permaneceram como Mosaico de Uso aumentaram de 0,56% em 2012-2013 para 3,88% em 2017-2018.

Tabela 9:Porcentagem de área para cada classe de transição durante os anos de 2018 a 2022

	Anos observados e a porcentagem de área			
Classes de Transição	**2018 - 2019**	**2019 - 2020**	**2020 - 2021**	**2021 - 2022**
Manteve Formação Savânica	85.32	86.73	86.73	86.68
Manteve Formação Florestal	10.91	10.86	10.86	10.83
Manteve Mosaico de Uso	1.91	1.93	1.92	1.93
Alterou de Formação Florestal para Formação Savânica	1.29	0.00	0.00	0.02

Fonte: dados da pesquisa. Autores (2024).

Os dados referentes aos incêndios de 2021 mostraram uma estabilidade nas diversas classes de cobertura do solo (Tabela 9). A formação savânica e a formação florestal mantiveram-se praticamente constantes, enquanto o mosaico de uso refletiu uma continuidade no uso diversificado do solo. As áreas que sofreram alterações de Formação Florestal para Formação Savânica não mostraram mudanças significativas, indicando uma possível resiliência ou adaptação das paisagens florestais às condições pós-incêndio.

3.5 Análise de Tendências nas Mudanças de Uso e Cobertura

Para avaliar as mudanças nas porcentagens de área para as categorias de transição, realizou-se uma análise de tendência utilizando regressão linear. Em 1998, a formação savânica apresentou uma tendência crescente significativa (coeficiente = 1.9752, $p = 0.002$, $R^2 = 0.926$), enquanto a Formação Florestal mostrou uma tendência decrescente significativa (coeficiente = -1.6158, $p = 0.005$, $R^2 = 0.892$). O Mosaico de Uso teve uma tendência decrescente marginalmente significativa (coeficiente = -0.2462, $p = 0.056$, $R^2 = 0.639$).

Em 2010, a Formação Savânica exibiu uma tendência decrescente significativa (coeficiente = -0.5805, $p = 0.024$, $R^2 = 0.759$). A Formação Florestal também apresentou uma tendência decrescente significativa (coeficiente = -0.1187, $p = 0.006$, $R^2 =0.878$). O mosaico de uso mostrou uma tendência 0.878). =0.878). O mosaico de uso mostrou uma tendência crescente marginalmente significativa (coeficiente = 0.3740, $p = 0.062$, $R^2 = 0.624$).

No ano de 2015, a formação savânica apresentou uma tendência decrescente não significativa (coeficiente = -0.4186, p = 0.222, R^2 = 0.343). A Formação Florestal manteve uma tendência decrescente significativa (coeficiente = -0.5823, p = 0.035, R^2 = 0.712), enquanto o Mosaico de Uso exibiu uma tendência crescente significativa (coeficiente = 0.5855, p = 0.028, R^2 = 0.738). Ou seja, a formação savânica não mostrou uma tendência clara de diminuição, a formação florestal teve uma redução significativa e o mosaico de uso apresentou um crescimento significativo.

No ano de 2021, a formação savânica apresentou uma tendência ascendente não significativa, com um coeficiente de 0.4096, um valor de p de 0.243, e um R^2 de 0.573. Isso indica que, embora haja um aumento observado na formação savânica, a variação não é estatisticamente significativa, sugerindo que outros fatores podem estar influenciando essa mudança.

Por outro lado, a formação florestal demonstrou uma tendência decrescente marginalmente significativa, com um coeficiente de -0.0230, um valor de p de 0.056, e um R^2 de 0.891. Esta tendência sugere uma diminuição na formação florestal que está quase atingindo significância estatística, indicando uma possível perda de área florestal que merece atenção. O mosaico de uso revelou uma tendência ascendente não significativa, com um coeficiente de 0.0046, um valor de p de 0.327, e um R^2 de 0.453, mostrando que as mudanças nos padrões de uso do solo não são estatisticamente relevantes no período analisado. Essas tendências destacam a complexidade das dinâmicas ambientais no PNSC e a necessidade de estudos contínuos para compreender melhor os fatores que influenciam essas variações.

As formações savânicas apresentam uma variedade de características em termos de estrutura e composição, manifestando diferentes tonalidades na paisagem. Essas variações resultam da interações diretas e indiretas com fatores ecológicos, que são influenciados pelas particularidades físico-naturais de cada ambiente (França, 2023).

O aumento gradativo da formação savânica também foi identificado nas pesquisas de autores como Autrán (2020) e Zemp *et al.*, (2017). Eles observaram uma expansão da área de vegetação savânica em comparação a floresta decidual na Floresta Amazônica. De acordo com os autores, esse fenômeno está correlacionado com a maior frequência e intensidade de secas extremas.

Além de indicar um aumento na formação savânica, os resultados também evidenciam que esse tipo de vegetação é o mais vulnerável a incêndios. Estudos de Daldegan *et al.* (2014); Mataveli *et al.* (2018) e Resende, Cardozo e Pereira (2017) apontam que os incêndios ocorrem com maior frequência em áreas de formação savânica. Esses estudos destacam que a extensão

das áreas queimadas está fortemente associada ao tipo de cobertura vegetal, com a formação de pastagens e savanas sendo particularmente influenciada pelos eventos de fogo.

O aumento das áreas de savana e a diminuição das formações florestais no PNSC é um problema ambiental em alguns biomas como o bioma Amazônico, esse fenômeno está associado: a savanização das florestas. Segundo Barlow e Peres (2008), França (2023) a savanização refere-se à conversão de florestas em savanas devido a ações antrópicas, especialmente o uso do fogo. Esse fenômeno resulta em uma transformação do quadro vegetal, com a substituição de áreas florestais por formações savânicas.

4. Conclusão

Com base nos resultados desta pesquisa, constatou-se um aumento significativo da Formação Savânica, tanto nas áreas de entorno quanto dentro do parque. Esse crescimento reflete a pressão antrópica intensa nas áreas de entorno, impulsionada por condições socioeconômicas extremamente desfavoráveis nos municípios em que o parque está inserido. A ausência de infraestrutura básica, força as comunidades agrícolas de subsistência a dependerem diretamente da terra para suprir suas necessidades diárias. Essa dependência cria um ciclo de exploração ambiental, evidenciando a necessidade urgente de políticas públicas que integrem soluções socioeconômicas e ambientais, promovendo tanto a conservação dos ecossistemas quanto o desenvolvimento sustentável das comunidades locais

Deve-se adotar estratégias de desenvolvimento para a população de entorno, o desenvolvimento de alternativas econômicas sustentáveis é crucial para reduzir a dependência dos recursos naturais das unidades de conservação. Projetos de agroecologia incentivam práticas agrícolas que não agridem o meio ambiente, como a agroecologia e a agrofloresta. O ecoturismo pode ser promovido como uma fonte de renda alternativa, valorizando a biodiversidade local. Além disso, apoiar a produção e a comercialização de artesanatos e produtos locais sustentáveis pode gerar renda e fortalecer a economia local.

REFERÊNCIAS

AUTRÁN, R. R. Uma máquina do tempo para frear a savanização da floresta amazônica. **Clima Com Cultura Científica - pesquisa, jornalismo e arte**, v. 17, n. 7, p. 113–132, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/263209/001174897.pdf?sequence=1>. Acesso em 14 Jun 2024.

BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1787–1794, 2008.

CAÚLA, R. H. *et al.* Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1497–1508, 2015.

DALDEGAN, G. A. *et al.* Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9873–9894, 2014.

FRANÇA, E. M. S. de. Savanização antrópica de ambientes no semiárido pernambucano. **Tese de Doutorado em Geografia apresentado à banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGEO, da Universidade Federal de Sergipe - UFS**, p. 252, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.01.002%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.100950%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.04.007%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102816%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.tra.2020.03.015%0Ahttps://doi.org/10.1016/j>. Acesso em 22 de Jul 2024.

FREITAS, W. K. *et al.* Influence of fire foci on forest cover in the Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 115, n. March, p. 106340, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106340>. Acesso em 22 de Jul 2024.

GONÇALVES, M. R. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra das Confusões**. . Brasília: [s.n.], 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/caatinga/lista-de-ucs/parna-da-serra-das-confusoes/arquivos/parna_serra_das_confusoes.pdf>. Acesso em 05 de Mai 2024.

LOURENÇO, B. F. M. Uso dos recursos naturais: desafios das populações do entorno do Parque Nacional de Ubajara *(CE)*. **Revista de Geociências do Nordeste**, 2016.
LÚCIO, S. L. B.; PEREIRA, L. E. C.; LUDEWIGS, Thomas. O GADO QUE CIRCULAVA: desafios da gestão participativa de unidades de conservação nos gerais do norte de *Minas*. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**. , 2014.

MATAVELI, G. A. V. *et al.* Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 1, p. 125–144, 2018.

MOURA, L. de S. ESTUDO DA PAISAGEM DA CAATINGA PIAUIENSE: Parque Nacional Serra das Confusões – PI. **Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí,** v. 4, n. 4, p. 121–129, 2004.

RESENDE, F. C.; CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G. Análise Ambiental da Ocorrência das Queimadas na Porção Nordeste do Cerrado. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 34, p. 31, 2017.

ROCHA, A. M.; MARÇAL, M. dos S.; GUERRA, A. J. T. Geomorfological assessment on the environmental analysis of the Serra das Confusões National Park- Piauí State - Brazil. **Sociedade & Natureza,** v. 1, n. 1, 2005.

ROCHA, V. C. da. A Valorização do Semiárido a Partir do Parque Nacional Serra das Confusões-pi. **Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco**., 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47079/1/DISSERTAÇÃO Vanessa Custódio da Rocha.pdf>. Acesso em 22 de Jul 2024.

SANTOS, E. L. *et al.* Assessment of Land Use, Cover Changes, and Fire Hotspots in a Conservation Unit: A 20-Year Analysis. **Floresta e Ambiente**, v. 30, n. 3, 2023.

SEABRA, V. da S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João, RJ. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, v. 25, n. 2, p. 411–426, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v25n2/a15v25n2.pdf>. Acesso em 20 de Jul 2024.

SILVA, E. M. da *et al.* REGISTROS DE QUEIMADAS EM VEGETAÇÃO (INCÊNDIOS) E A CLIMATOLOGIA DA CHUVAS NO ESTADO DO CEARÁ: Estudo de Caso no Período de 2015 a 2019. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3 suppl, p. 571–577, 2021.

SOUZA, J. C.; MARTINS, P. T. A.; DRUCIAKI, V. P. USO E COBERTURA DO SOLO NO CERRADO: panorama do período de 1985 a 2018. **Rev. Geo**., v. v.9, n. 2, p. 2–15, 2020.
ZEMP, Delphine Clara *et al.* Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. **Nature Communications**, v. 8, 2017.