

CAMPUS DE TRÊS LAGOAS - CPTL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FELIPE MARTINS PEREIRA

MAPEAMENTO DE INCÊNDIOS NA RPPN CISALPINA

Três Lagoas/MS

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL - UFMS
CAMPUS DE TRÊS LAGOAS - CPTL PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

FELIPE MARTINS PEREIRA

**MAPEAMENTO DE INCÊNDIOS E RISCOS DE INCÊNDIOS NA
RPPN CISALPINA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas (CPTL), como requisito para Defesa de Mestrado. Orientador: Prof. Dr. Climbiê Ferreira Hall.

**Três Lagoas/MS
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família pelo incentivo e apoio que sempre me deram independente do caminho que eu seguisse.

Agradeço ao meu orientador Climbiê Ferreira Hall que está comigo desde a graduação, sendo sempre paciente e compreensivo.

Agradeço a todos meus amigos que me apoiaram, especialmente ao Bruno Henrique Machado da Silva que foi um grande professor e mago dos mapas.

Agradeço a Leticia Monteiro minha companheira de vida que me levantou em todos tombos e me ajudou a não desistir.

Agradeço a banca Mauro Henrique e Éder Junior pela orientação durante a qualificação.

Agradeço o professor Vitor Bacani pelo acolhimento no LASER.

Agradeço ao CNPq pelo o privilégio de ser bolsista.

Agradeço à UFMS e o Programa de pós-graduação em Geografia pela oportunidade de ser estudante.

Por fim, agradeço todos os demais que, de alguma forma, contribuíram com esse projeto.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRATCT.....	9
1.INTRODUÇÃO.....	10
2.OBJETIVOS.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 Vegetações.....	13
3.1.1 Formações Pioneiras Com Influência Fluvial E Ou Lacustre.....	15
3.1.2 Savana Arborizada.....	15
3.1.3 Floresta Estacional Semidecidual.....	15
3.1.4 Contato Savana / Floresta Estacional Semidecidual.....	17
3.1.5 Campo Antrópico.....	18
3.2 Incêndios.....	18
3.3 Geoprocessamento.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Área De Estudo	28
4.2 Coleta de dados.....	31
4.3 Exclusão de Dados.....	31
4.4 Google Earth Engine.....	33
4.5 Índices Espectrais.....	34

4.4.1 NDVI.....	35
4.4.2 NBR.....	35
4.4.3 NDWI.....	36
5. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Ocorrência de fogo na RPPN Cisalpina.....	37
5.2 Ocorrência de fogo em 2003.....	41
5.3 Ocorrência de fogo em 2004.....	43
5.4 Ocorrência de fogo em 2008.....	46
5.5 Ocorrência de fogo em 2015.....	51
5.6 Ocorrência de fogo em 2019.....	53
5.7 Discussão.....	55
6. Considerações finais.....	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área queimada nos diferentes biomas brasileiros entre os anos de 2003 e 2019.....	10
Figura 2: Características do satélite Landsat.....	27
Figura 3: Mapa de localização da RPPN Cisalpina.....	30
Figura 4: Classificação das fitofisionomias segundo o IBGE.....	30
Figura 5: Prancha Cisalpina sentido amplo.....	31
Figura 6: Características orbitais, temporais, e canal termal dos satélites utilizados.....	32
Figura 7: Fluxograma Model Builder.....	33
Figura 8: Base fisiológica para o desenvolvimento de Índices de Vegetação.....	35
Figura 9: Focos antes da retirada de dados redundantes.....	38
Figura 10: Esquema de retirada da redundância de dados.....	39
Figura 11: Focos de calor na RPPN Cisalpina de 2001 a 2021.....	40
Figura 12: Ocorrência de incêndios na RPPN Cisalpina entre os anos de 2003 à 2010.....	41
Figura 13: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2003.....	42
Figura 14: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2003.....	43

Figura 15: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2004.....	44
Figura 16: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2004.....	45
Figura 17: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 21/07/2008.....	47
Figura 18: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 21/07/2008.....	49
Figura 19: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 26/08/2008.....	50
Figura 20: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 26/08/2008.....	51
Figura 21: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2015.....	52
Figura 22: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2015.....	53
Figura 23: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2019.....	55
Figura 24: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2019.....	55

RESUMO

Incêndios florestais estão entre os maiores fatores de alteração de áreas naturais. O fogo é, portanto, uma das principais formas de destruição da vegetação e ameaça à biodiversidade, gerando diversos impactos. A Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Cisalpina, localizada no município de Brasilândia – MS, assim como toda área de conservação ambiental possui papel na conservação da flora e fauna local. Assim, O objetivo geral deste trabalho é de contabilizar e mapear os incêndios ocorridos na RPPN Cisalpina, utilizando dados de focos de calor e imagens de satélite para mapear áreas afetadas, aplicando índices espectrais, como NDVI, NBR e NDWI, para analisar as mudanças na vegetação ao longo de um período de duas décadas (2000-2020). Utilizando a metodologia Model Builder para filtrar pontos de calor e o Google Earth Engine (GEE) para gerar imagens Landsat com índices espectrais NDVI, NBR e NDWI. A filtragem reduziu os focos de 20.887 para 430, eliminando 93,7% dos focos redundantes e dessa maneira foi possível identificar as áreas e datas das queimadas. Os focos de incêndio se concentraram principalmente próximos à rodovia e áreas mais baixas de vegetação campestre. Por outro lado, houve uma baixa quantidade de focos próximos aos rios e em vegetação florestal. Observou-se um padrão sazonal nas ocorrências de incêndios relacionado a baixa precipitação e aumento da temperatura. Esses resultados indicam a importância de políticas de prevenção e combate a incêndios, especialmente nas áreas próximas à rodovia e às zonas de fácil acesso, além de destacar a relevância da análise de índices espectrais na detecção e monitoramento de queimadas.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Brasilândia-MS, queimada.

ABSTRACT

Forest fires are among the major drivers of alteration in natural areas. Fire is, therefore, one of the primary means of vegetation destruction and a threat to biodiversity, causing various impacts. The Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Cisalpina, located in the municipality of Brasilândia – MS, like all environmental conservation areas, plays a crucial role in preserving local flora and fauna. Thus, the general objective of this study is to quantify and map the fires that have occurred in RPPN Cisalpina, using data on heat spots and satellite images to map affected areas. This involves applying vegetation indices such as NDVI, NBR, and NDWI to analyze vegetation changes over a two-decade period (2000-2020). The methodology employed Model Builder to filter heat points and Google Earth Engine (GEE) to generate Landsat images with spectral indices NDVI, NBR, and NDWI. The filtering reduced the heat spots from 20887 to 430, eliminating 93.7% of redundant spots, thereby enabling the identification of areas and dates of the wildfires. The fire hotspots were mainly concentrated near the highway and lower-lying grassland areas. Conversely, there were few hotspots near rivers and in forested vegetation. A seasonal pattern in fire occurrences related to low precipitation and increased temperature was observed. These results emphasize the importance of fire prevention and control policies, especially in areas near the highway and easily accessible zones. Furthermore, they underscore the relevance of spectral index analysis in fire detection and monitoring.

Keywords: Geoprocessing, Brasilândia-MS, Fire.

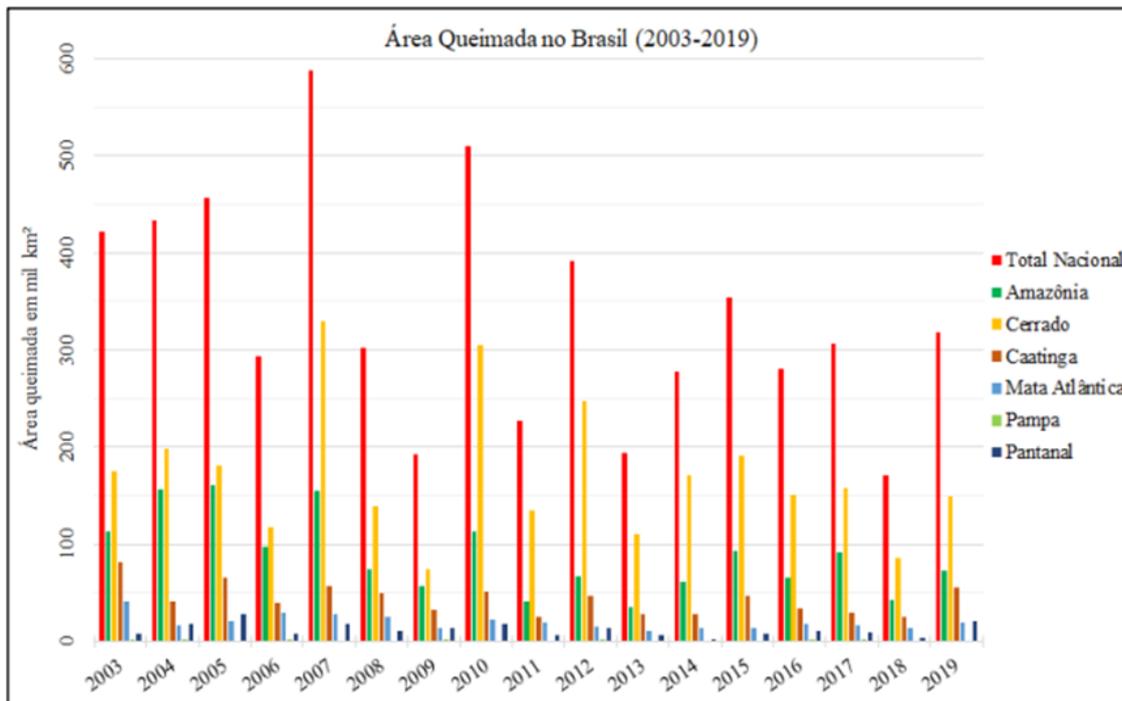
1. INTRODUÇÃO

Incêndios florestais estão entre os maiores fatores de alteração de áreas naturais. O fogo é, portanto, uma das principais formas de destruição da vegetação e ameaça à biodiversidade (MEDEIROS & FIEDLER, 2004; ALENCAR et al., 2011).

Dentre os maiores impactos causados pelos incêndios nas florestas podem ser incluídas a ação sobre a fauna, a emissão de gases e a desestruturação dos solos (BARBOSA & FEARNSTIDE, 2000). Na vegetação florestal, as consequências dos incêndios podem ainda ser notadas na alteração da estrutura da vegetação, com reflexos na composição florística (CASTELLANI & STUBBLEBINE, 1993; COCHRANE, 2003).

No Brasil, entre 2003 e 2019 os incêndios florestais consumiram uma área somada de aproximadamente 5.722.721 km² (INPE, 2020), castigando sobretudo o Cerrado, com área queimada somada de 2.919.618 km², seguido pela Amazônia (1.497.936 km²), a Caatinga (736.813 km²), a Mata Atlântica (340.626 km²), o Pantanal (204.275 km²) e o Pampa (23.453 km²). Destes, a área queimada somada entre 2003 e 2019 é maior do que a área total do próprio bioma no caso do Cerrado (diferença de 883.170 km²) e do Pantanal (diferença de 53.920 km²), indicando a ampla vulnerabilidade de tais biomas aos incêndios florestais. Uma visão geral da área queimada total no Brasil e nos seus respectivos biomas entre 2003 e 2019 (INPE, 2020) pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1: Área queimada nos diferentes biomas brasileiros entre os anos de 2003 e 2019.



Assim, tendo em vista os severos impactos dos incêndios florestais e a sua constante ocorrência no Brasil e no mundo, o desenvolvimento de meios de prevenção apresenta relevância ímpar, oportunizando instrumentos capazes de otimizar esforços em sua contenção e na mitigação de seus efeitos negativos.

Tais meios ganham maior importância numa perspectiva baseada em uma visão sistemática do ciclo do fogo, invertendo a atuação das autoridades públicas em relação aos incêndios: de uma atuação meramente de remediação, alicerçada no combate aos incêndios florestais, para uma ação preventiva, direcionada à identificação de áreas mais susceptíveis, ao controle dos materiais combustíveis e ao próprio manejo do fogo como mecanismo de controle de grandes incêndios.

Tendo vista estas considerações, a identificação de áreas sujeitas a

incêndios florestais permite o desenvolvimento de ações preventivas para o controle da ocorrência, da intensidade e da magnitude dos incêndios (VETTORAZZI & FERRAZ, 1998), seja por meio da contenção dos materiais combustíveis (ponto de vista preventivo), ou da instalação de infraestruturas de apoio ao combate e à propagação dele (ponto de vista remediativo). Então, propostas metodológicas baseadas na interação das mais diversas variáveis que contribuem para o desenvolvimento de incêndios florestais oportunizam subsídios para o planejamento ambiental, permitindo um melhor gerenciamento do território e uma melhor utilização dos recursos públicos.

Atualmente, diversos trabalhos contidos na literatura têm utilizado técnicas de geoprocessamento para a detecção de áreas susceptíveis a incêndios florestais. Neste contexto, Paz e colaboradores (2011) salientam que o mapeamento de risco a incêndios florestais originado por meio de técnicas de geoprocessamento permite aos planejadores desenvolver estratégias para a prevenção, mitigação e remediação dos possíveis efeitos negativos dos mesmos, oportunizando uma ferramenta ímpar para o planejamento territorial ambiental, sobretudo para grandes áreas, de difícil acesso e de valor ambiental e social inestimável.

A Reserva Particular do Patrimônio Natural Cisalpina (RPPN Cisalpina) é uma unidade de conservação de uso sustentável, criada em 1993 como parte integrante dos programas ambientais da Companhia Energética do Estado de São Paulo (CESP). A RPPN está localizada ao leste do Estado de Mato Grosso do Sul nas margens dos rios Paraná e Verde, dentro dos limites do município de Brasilândia.

Sobre a área total de 22.886 hectares de mata nativa marginal aos rios

Paraná e Verde, durante a confecção de seu Plano de Manejo, a proposta inicial foi de transformar a área em uma unidade de conservação de proteção integral, porém, depois de muitas negociações com os órgãos IBAMA e IMASUL/SEMADE a área, finalmente foi declarada RPPN, sendo reduzida para 3.857,6965 hectares em 2016, o que corresponde a apenas 16% do total daquela unidade de conservação, e no plano de manejo publicado mais recente (IMASUL 2022), consta uma área de 3.857,6965 hectares, de uma área total de 17.395,35 hectares da propriedade que inclui as áreas de manejo.

Segundo estudos realizados pelo Instituto Cisalpina (FEITOSA et al., 2009) nas áreas mais elevadas da Reserva, onde não existe suscetibilidade à inundação, há certa mistura entre formações vegetais de mata, cerrado e cerrado.

Estudos sobre incêndios mostram que as respostas das plantas aos impactos do fogo variam conforme a intensidade, a frequência e a duração dos incêndios e com a formação vegetacional atingida (e.g. COUTINHO, 1978; 1990; UHL et al., 1990; OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002; COCHRANE, 2003). Em algumas formações, como o cerrado, várias espécies resistem à ocorrência do fogo ou são até mesmo favorecidas por ele (COUTINHO, 1978; 1990; OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002). Por outro lado, as florestas são bem mais sensíveis aos efeitos do fogo (UHL et al., 1990; COCHRANE, 2003).

Com base nisso o presente trabalho desempenha um papel essencial na conservação da RPPN Cisalpina, que é importante não somente para flora e fauna, mas também para as populações humanas locais, além de ser o primeiro a avaliar o impacto das queimadas ocorridas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é de contabilizar e mapear os incêndios ocorridos na RPPN Cisalpina, localizada no município de Brasilândia-MS, utilizando dados de focos de calor e imagens de satélite para mapear áreas afetadas, aplicando índices espectrais, como NDVI, NBR e NDWI, para analisar as mudanças na vegetação ao longo de um período de duas décadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar a ocorrência de incêndios na RPPN Cisalpina, no Município de Brasilândia, no período 2000 a 2020;
- Analisar a espacialização dos focos de incêndios ocorridos na RPPN Cisalpina no período selecionado;
- Mapear as fitofisionomias atingidas pelo fogo;
- Compreender a relação e os impactos dos incêndios e a cobertura vegetal na superfície da RPPN Cisalpina.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Vegetações

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro ocupando uma área de 2 milhões de km², o que corresponde a 23% do território nacional, abrangendo estados em todas as regiões do país (OLIVEIRA & RATTER 2002). Segundo Ribeiro e Walter (1998) o Cerrado apresenta três grandes grupos de vegetações:

campestres, savânicas e florestais. Quanto as formações campestres temos três tipos campo limpo, campo sujo e campo rupestre. Dentre as formações savânicas encontram-se as fitofisionomias de cerrado rupestre e cerrado sentido restrito, que é a fitofisionomia mais característica do bioma. Existem também as formações florestais que são constituídas pelo cerradão, mata de interflúvio, mata ciliar e mata de galeria. Do ponto de vista florístico o bioma apresenta mais de 12.000 espécies de plantas vasculares (MENDONÇA et al., 2008), e muitas delas vêm sofrendo forte ameaça (RATTER et al., 1997).

Estudos fitossociológicos têm fornecido informações essenciais para a compreensão dos padrões biogeográficos do Cerrado, determinando também áreas prioritárias para a conservação (FELFILI et al., 2002). Padrões florísticos e estruturais evidenciados por esses estudos, relacionados à variação na densidade, riqueza e diversidade-beta, entre diferentes áreas, são excelentes ferramentas para elaborar estratégias de conservação ao nível local e regional (FELFILI et al., 2004).

A destruição total das árvores de grande porte não é muito frequente, principalmente entre as espécies do cerrado, mas provoca morte de plântulas e árvores de pequeno diâmetro (WADE e LUNDSORD, 1990). Além disso, o fogo afeta diretamente o crescimento, sobrevivência e reprodução das plantas, além de causar impactos no banco de sementes (HOFFMANN, 1996). Entretanto, a resposta das plantas a esse impacto varia conforme o regime do fogo, caracterizado pela frequência, época de ocorrência (estação do ano) e duração dos incêndios, e o estágio de sucessão e a formação vegetacional atingida. Em certas formações, várias espécies resistem à ocorrência do fogo ou são até mesmo favorecidas por ele, principalmente as espécies que possuem sementes

com quebra de dormência em altas temperaturas. (COUTINHO, 1978, 1990; COCHRANE & SCHULZE, 1999; GERWING, 2002).

a vegetação na RPPN Cisalpina é bastante heterogênea, com ocorrência de diversas fitofisionomias. Nas áreas mais secas e não suscetíveis aos regimes de inundação, a vegetação apresenta maior porte, ocorrendo as formações de Savana Arborizada, Floresta Estacional Semidecidual e áreas de contato entre estas formações. Assim, a composição florística é formada por elementos de floresta estacional, cerrado aberto e cerrado.

3.1.1 Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre

Nas planícies fluviais e ao redor das depressões aluviais (pântanos, lagunas e lagoas) ocorrem, com frequência, terrenos instáveis cobertos por vegetação em constante sucessão. Esta vegetação de primeira ocupação e caráter edáfico, denominada como Formação Pioneira, ocupa terrenos rejuvenescidos pelas deposições sucessivas formadoras dos solos ribeirinhos aluviais e lacustres e, não necessariamente, dirige-se através da sucessão ecológica para o clímax (IBGE, 2012).

As comunidades vegetais que ocupam as planícies aluviais toleram os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou o alagamento anual das depressões. Os principais fatores que determinam a composição das comunidades vegetais são a quantidade de água empoçada e o seu tempo de permanência no local. De maneira geral, são formadas por plantas herbáceas ou sublenhosas, anuais, com ocorrência em áreas campestres.

3.1.2 Savana Arborizada

A Savana (Cerrado) é conceituada como uma vegetação xeromorfa, ou

seja, com características morfológicas que indicam adaptação a ambientes secos, como caules tortuosos recobertos de espessas cascas e folhas coriáceas, ocorrendo em diferentes climas e recobrendo solos lixiviados aluminizados (IBGE, 2012). A estrutura da vegetação de Savana é caracterizada pela dominância compartilhada das sinúsias arbórea e herbácea. Ou seja, predominam, ao mesmo tempo, espécies com forma de vida arbórea, representada por árvores de porte médio ou baixo (de 3 a 10 m), ocorrendo de forma espaçada e com copas amplas e ramificação baixa; e espécies com forma de vida herbácea, ocorrendo de forma contínua, formando um tapete entre as árvores e arbustos (IBGE, 2012).

A Savana Arborizada é subgrupo de formação natural ou antropizado caracterizado pela presença de uma fisionomia rala formada por árvores baixas e outra fisionomia contínua formada por herbáceas (gramíneas), sujeitas ao fogo anual. Ocorrem fisionomias mais abertas, denominada de Campo Cerrado, ou mais adensadas, conhecida como Cerrado propriamente dito. Possui composição florística formada por espécies dominantes que caracterizam os ambientes de acordo com o espaço geográfico ocupado (IBGE, 2012).

3.1.3 Floresta Estacional Semidecidual

A Floresta Estacional Semidecidual ou Semicaducifólia, um subtipo florestal do Bioma Mata Atlântica, tem como característica fundamental a ocorrência de espécies arbóreas cujas folhas são decíduas, caindo na estação seca como resposta à falta de água dos meses de inverno (RAMOS et al., 2008). Segundo o IBGE (2012), em seu Manual Técnico da Vegetação Brasileira, a porcentagem de árvores decíduas no conjunto florestal varia entre 20% e 50%.

Outra característica estrutural importante desta vegetação é a alta

incidência de espécies de lianas, como consequência da maior entrada de luz proporcionada pela deciduidade foliar (RAMOS et al., 2008), com predomínio das famílias botânicas Fabaceae, Bignoniaceae, Sapindaceae e Apocynaceae.

A densidade arbórea por hectare calculada por Durigan e colaboradores (2012) para DAP \geq 5 cm de inclusão é aproximadamente 1.000 árvores por hectare. Dentre as espécies predominantes destacam-se os jequitibás (*Cariniana* spp.), perobas (*Aspidosperma* spp.), cedros (*Cedrela* spp.) e canafístula (*Pelotophorum dubium*).

Os exemplares de grande porte podem atingir mais de 20 metros de altura e mais de 100 cm de diâmetro nos raríssimos remanescentes de vegetação em estágio avançado, testemunhos do que representava a Floresta Estacional Semidecidual no passado. Nessa linha, a Floresta Estacional Semidecidual, também conhecida como Mata Atlântica do Interior, distribuía-se originalmente de maneira expressiva nos Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, até a Argentina e Paraguai (Ramos et al., 2008).

Segundo o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul (Yonamine, 2015), a Floresta Estacional Semidecidual ocupa 0,44% do Estado (1.580,56 km²), distribuídos em 1.804 fragmentos, via de regra, de dimensões reduzidas, seguindo o padrão encontrado para os remanescentes de todo o Bioma Mata Atlântica.

3.1.4 Contato Savana / Floresta Estacional Semidecidual

O Sistema de Tensão Ecológica ocorre entre duas regiões fitoecológicas ou tipos de vegetação, neste caso a Savana e a Floresta Estacional Semidecidual, sendo formado por comunidades indiferenciadas, onde as floras

se interpenetram, constituindo as transições florísticas (IBGE, 2012). Apesar de a Savana e a Floresta Estacional Semidecidual apresentarem estruturas fisionômicas diferentes, existe muita dificuldade em realizar o mapeamento e a diferenciação da vegetação por simples fotointerpretação, já que os elementos que se misturam são indivíduos isolados e dispersos, formando conjuntos geralmente muito homogêneos ou uniformes. Para tanto, faz-se necessário realizar levantamento florístico nos fragmentos com o intuito de delimitar em mapeamento e classificar as áreas de contato (IBGE, 2012).

As Áreas de Contato ou Tensão Ecológica entre Savana e Floresta Estacional Semidecidual caracterizam-se por apresentar fisionomia florestal, semelhante à Savana Florestada, porém com densidade menor e árvores maiores, mas que raramente atingem 20 metros de altura. Na composição florística predominam espécies generalistas. Entretanto, ocorrem espécies típicas do Cerrado e típicas da Floresta Estacional, mas com abundância reduzida (DURIGAN et al., 2012).

3.1.5 Campo Antrópico

As áreas de campo antrópico são formadas por vegetação herbácea, principalmente espécies exóticas, e exemplares arbóreos isolados. São pouco representativas na RPPN Cisalpina, com 17,24 hectares.

3.2 Incêndios

Soares (1985) já apontava que, quando bem conduzido, o fogo gera significativos benefícios para as atividades humanas e ao ambiente, constituindo mesmo, parte componente de sistemas ambientais, como o Cerrado brasileiro, conforme identificado por Nascimento (2006) há espécies que estão fisiológica e

morfologicamente adaptadas para encarar eventos de fogo natural.

Em algumas áreas as queimadas são importantes processos naturais e, sem elas, estas não seriam verdadeiramente naturais (PARSON, 2000). O fogo dá forma aos ecossistemas do mundo, influenciando na distribuição de espécies animais e vegetais (AVITABILE et al., 2013). Os ambientes mais inflamáveis são os campos naturais e savanas, que apresentam secas sazonais severas e presença de vegetação herbácea, que fornece combustível fino abundante próximo ao solo, oxigenado pelo vento (NEPSTAD et al., 1999).

Entretanto, o manejo do fogo sem planejamento, e mesmo sua ocorrência natural ou criminosa sem controle, torna-o um grande risco para a manutenção da biodiversidade natural e para as atividades antrópicas, impondo severos prejuízos financeiros, sociais, ambientais e mesmo em vidas humanas; sobretudo quando as áreas atingidas se localizam em regiões de vegetação savânica e campestre (MIRANDA et al., 1996; GONÇALVES et al., 2011; FRANCA-ROCHA et al., 2017; LEITE et al., 2017).

Tendo isso em mente, podem-se destacar como principais impactos dos incêndios florestais sem controle, a degradação e empobrecimentos dos solos (ROUW, 1994), a diminuição da qualidade da atmosfera local (SILVA et al., 2003) e mesmo global (BARBOSA & FEARNSSIDE, 1999), a redução da biodiversidade (SOARES, 1992), a perda de qualidade da água (MENESES, 2013), entre outros.

Rebelo (1996) vai dizer que em nível global, todas as grandes regiões partilham de ocorrências de incêndios florestais, tais como: a zona intertropical, no qual destacam-se incêndios na Austrália (DOWDY et al., 2017), na Espanha (MOLINA & GALIANA-MARTÍN, 2016), Grécia (GOUVEIA et al., 2016),

Amazônia (VAN MARLE et al., 2017) e na África (ZUBKOVA et al., 2019); o domínio do mediterrâneo, em que se destacam países como Portugal (TURCO et al., 2019), entre outros; e mesmo em zonas fria e temperadas, como nos estados norte-americanos da Califórnia (STEEL et al., 2015) e do Alaska (GIBSON et al., 2016), na Sibéria russa (KUKAVSKAYA et al., 2016) e no Quebec canadense (PAYETTE et al., 2017).

No Brasil, entre 2003 e 2019 os incêndios florestais consumiram uma área somada de aproximadamente 5.722.721 km² (INPE, 2020), castigando sobretudo o Cerrado, com área queimada somada de 2.919.618 km², a Amazônia (1.497.936 km²), a Caatinga (736.813 km²), a Mata Atlântica (340.626 km²), o Pantanal (204.275 km²) e o Pampa (23.453 km²). Destes, a área queimada somada entre 2003 a 2019 é maior do que a área total do próprio bioma no caso do Cerrado (diferença de 883.170 km²) e do Pantanal (diferença de 53.920 km²), indicando a ampla vulnerabilidade de tais biomas aos incêndios florestais.

Os impactos que os incêndios florestais causam são diversos, por isso é de suma importância a utilização e o desenvolvimento de meios de prevenção, ao ponto de conter e mitigar os efeitos negativos. Tais meios ganham maior importância na perspectiva baseada em uma visão sistemática do ciclo do fogo, mudando a atuação das autoridades públicas em relação aos incêndios: de uma atuação meramente de remediação, alicerçada no combate aos incêndios florestais, para uma ação preventiva, endereçada à identificação de áreas mais susceptíveis, ao controle dos materiais combustíveis e ao próprio manejo do fogo como mecanismo de controle de grandes incêndios.

Mantendo em vista as considerações feitas acima, a identificação de

áreas sujeitas a incêndios florestais permite o desenvolvimento de ações preventivas para o controle da ocorrência, da intensidade e da magnitude dos incêndios (VETTORAZZI & FERRAZ, 1998), seja por meio da contenção dos materiais combustíveis (ponto de vista preventivo), ou da instalação de infraestruturas de apoio ao combate e à propagação do mesmo (ponto de vista remediativo).

Neste sentido, propostas metodológicas baseadas na interação das mais diversas variáveis que contribuem para o desenvolvimento de incêndios florestais oportunizam subsídios para o planejamento ambiental, permitindo um melhor gerenciamento do território e uma melhor utilização dos recursos públicos.

No âmbito da prevenção diversos trabalhos na literatura têm utilizado técnicas de geoprocessamento para a detecção de áreas susceptíveis a incêndios florestais. Bacani (2016) analisa o risco a incêndio florestais no município de Bodoquena-MS, combinando o uso e cobertura da terra, exposição das vertentes à luz solar, declividade, precipitação, distância de centros urbanos e assentamentos rurais, estradas, rede de drenagem e *hotspots*.

Os incêndios florestais podem ter origem em eventos naturais, contudo, em ampla maioria são provocados por atividades antrópicas, causando prejuízos ambientais e econômicos nos mais diversos contextos (LEWIS, 1989; MORRISON & COOKE, 2003; KEITH et al., 2002). O aumento na frequência de incêndios, extrapolando os padrões naturais, pode gerar perdas à biodiversidade em diversos níveis da organização biológica e, além disso, alterar os ciclos biogeoquímicos, representando consequências potencialmente negativas para os serviços ambientais fornecidos pela natureza (SILVA et al., 2003).

No Brasil, os fatores indicados como responsáveis pela ocorrência de incêndios florestais são agrupados, principalmente, nas seguintes categorias: queima de áreas para fins agropastoris (63,7% da área queimada), queima criminosa ou provocada por incendiários (14,7%), fogos e recreação ou acidental (11,6%), outras causas (4,4%), fumantes (2,9%), associados a estradas de ferro (0,5%) e eventos naturais, sendo responsáveis por apenas 0,2% (SOARES, 1992).

Em Unidades de Conservação Federal, por exemplo, 93% dos incêndios ocorridos nos anos de 1979 a 2005 foram oriundos de ações antrópicas, enquanto apenas 7% foram de causas naturais (IBAMA, 2006). Por serem decorrentes de raios e conseqüentemente precederam períodos de chuvas, a maioria dos eventos naturais têm impactos menores, quanto à área atingida, aos efeitos secundários e à intensidade do fogo.

O Cerrado, por apresentar altos índices de inflamabilidade, tem nos incêndios florestais um fator de enorme relevância (KLINK & MACHADO, 2005). Amostras de carvão, datadas entre 27.100 e 41.700 anos atrás, indicam a ocorrência de fogo no cerrado brasileiro, no entanto, os incêndios ocorriam com menor frequência do que os observados atualmente (MEDEIROS, 2002). Tais ocorrências, quando naturais, exercem papel no estabelecimento e fundamentação das savanas (BOWMAN et al., 2009). O aumento da frequência de incêndios florestais na região de transição entre a floresta e savana proporciona a invasão de gramíneas nativas em ecossistemas florestais (SILVÉRIO et al., 2013). Regimes não naturais, como os estabelecidos em decorrência do crescimento e a expansão de atividades agropastoris, promovem a destruição do bioma (SCHMIDT et al., 2018). Quando analisadas em

contraponto aos eventos naturais, a frequência (intervalo entre os eventos) dos incêndios antrópicos é menor e ocorrem em períodos potencialmente prejudiciais. Segundo dados do INPE (2019), as queimadas no Cerrado cresceram cerca de 44% em relação a 2018 (setembro de 2018 a setembro de 2019), atingindo cerca de 140 mil km² de área queimada, principalmente em regiões associadas à ação humana.

Estudos anteriores estabeleceram variáveis importantes para a ocorrência de incêndios florestais, dos quais é possível destacar dois grupos de variáveis que influenciam tanto eventos de origem natural quanto aqueles de origem antrópica:

- (i) Aspectos constantes (e.g. material combustível, relevo e vegetação);
- (ii) Aspectos variáveis (e.g. velocidade do vento, umidade relativa e temperatura).

3.3 Geoprocessamento

A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são fundamentais para a viabilização do controle do fogo. Essas características interferem nos cursos das operações de combate e atenuação dos danos. Além disso, localização inexata ou desconhecimento sobre a precisão da localização do incêndio prejudica a estimativa do impacto do fogo no ambiente (BATISTA, 2004).

A disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre a localização e tamanho das áreas queimadas é importante para avaliar perdas econômicas e efeitos no ambiente, monitorar mudanças no uso e cobertura da terra e elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos à queima

de vegetação. O sensoriamento remoto representa uma ferramenta extremamente útil para obter essas informações, principalmente em áreas grandes que foram afetadas pelo fogo e/ou áreas de difícil acesso (PEREIRA et al., 1997).

A computação, ao longo das últimas décadas, tem evoluído consideravelmente, sobretudo com relação ao desenvolvimento de gráficos e modelos de banco de dados. Além do uso de uma série de ferramentas de uso generalizado, como editores de textos, planilhas, banco de dados, etc., desenvolveram-se também os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). (THOMÉ, 1998) Câmara e colaboradores (1996) definem SIGs como sistemas computacionais que permitem a captura, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente. Segundo Lillesand e Kiefer (1994), Sensoriamento Remoto (SR) é a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno, ou seja, está localizado remotamente. Slater (1980) apresenta o SR como um conjunto de atividades de coleta de informações relacionadas à superfície terrestre, utilizando sensores instalados em satélites ou aeronaves, sendo as medições feitas em campo e laboratório. Sensores são equipamentos capazes de coletar energia e convertê-la em sinal passível de registro e extração de informações.

A série LANDSAT (Figura 2) começou na década de 60 como o projeto ERTS da NASA, focado na observação dos recursos naturais da Terra, sendo renomeado para Landsat em 1975. Imagens mais recentes foram obtidas através dos satélites Landsat 7 (lançado em 1999) e Landsat 8 (lançado em 2013). O

sensor ETM+ no satélite Landsat 7, sucedeu o instrumento TM, mantendo configurações técnicas similares, aumentando a resolução espacial da banda 6 para 60 metros, habilitando a banda pancromática e melhorando a precisão do sistema. Após problemas em 2003, as cenas do Landsat 7 foram enviadas em modo SLC-Off, exigindo correções e análises adicionais. Posteriormente, o sensor OLI do Landsat 8 incorporou avanços tecnológicos, incluindo quantização de 12 bits e ampliou a coleta de dados em faixas espectrais visíveis, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e uma banda pancromática. O sensor TIRS do Landsat 8 continuou a coletar dados na faixa do infravermelho termal, com resolução espacial de 100 metros e 12 bits de resolução radiométrica, co-registrados com os dados do sensor OLI, mantendo a continuidade das operações de sensoriamento remoto iniciadas na década de 1970 com a missão Landsat (EMBRAPA, 2023).

Para a identificação de queimadas ativas e pretéritas, Liu (2006) propõe o uso de produtos de sensores orbitais de alta e média resolução espacial, tais como IKONOS, QuickBird, SPOT e Landsat. Segundo este autor, em Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir de uma composição 7R/5G/4B, gerada por imagem Landsat 7/ETM+, as queimadas podem ser visualizadas em cores marrom intenso, marrom, cinza, laranja vermelha e vermelha pálida, o que depende do estágio do evento. Avitabile e colaboradores (2013) utilizaram imagens Landsat MSS, TM e ETM+, para realizar o mapeamento do fogo entre 1972 a 2007, na região de Murray Mallee, Nova Gales do Sul, Austrália.

Bastarrika e colaboradores (2011) mapearam áreas queimadas em seis cenas Landsat, de regiões do Mediterrâneo. Primeiramente tratou-se da determinação de pixels pós-fogo, baseada em um método de critério de decisão

iterativa, usando o banco de dados de amostras queimadas e não queimadas. Foram obtidos 70.000 pixels queimados, mostrados em forte cor magenta nas composições 7R/4G/1B. Na segunda fase, foram aplicados algoritmos de crescimento de regiões, a fim de se incorporarem propriedades espaciais para a discriminação de manchas de queimadas. Os autores inferem que foi possível obter um mapeamento automático preciso na obtenção de queimadas.

Figura 2: Características do satélite Landsat.

Missão Land Remote Sensing Satellite (Landsat)								
Instituições Responsáveis	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)							
País/Região	Estados Unidos							
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center (KSC)
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Inativo (05/10/1993)	Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003)	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103 min	103 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min	99 min
Horário de Passagem	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	10:00 AM	1:40 PM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: Embrapa (2023).

Chuvieco (1999) mensurou mudanças na paisagem após um grande incêndio na costa mediterrânea da Espanha. Para a execução do trabalho, foram utilizadas imagens multitemporais Landsat 5/TM e NOAA/AVHRR, com as quais foi calculado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

Constatou-se que os índices de vegetação são reduzidos após o incêndio, devido à diminuição do teor de clorofila. Miller e Thode (2007) estudaram 14 incêndios ocorridos na Serra Nevada, Estados Unidos, aplicando o Normalized Burn Ratio (NBR). Em seguida, calculou-se a diferença entre o NBR em uma imagem pré-fogo e NBR e em outra pós-fogo, avaliando a severidade da queimada. Por fim, desenvolveram um índice relativo (RdNBR), o qual permite maior precisão no mapeamento de categorias de maior severidade em paisagens heterogêneas.

Para reconstruir o histórico de incêndios no Parque Nacional da Serra do Cipó e na APA Morro da Pedreira, Minas Gerais, Brasil, Alvarado e colaboradores (2017) utilizaram produtos Landsat TM, entre 1984 e 2014. Para cada ano, foram utilizadas todas as imagens possíveis, entre junho e dezembro. As queimadas foram identificadas por meio de interpretação visual em composições falsa-cor 5R/4G/3B (TM e ETM+) e 6R/5G/3B (OLI). As queimadas de cada ano foram convertidas em imagens binárias e somadas, tendo como produto o mapa de frequência de incêndios.

De acordo com Liu (2007), a detecção de fogos via satélite é controlada por vários fatores, dentre eles, o ângulo de visada dos sensores, iluminação e propriedades da superfície e sub superfície. Esses fatores podem ser caracterizados, por exemplo, como a variação de cinco relevos, podendo as áreas serem côncavas ou convexas, diferentes altitudes, emissividade dos alvos principalmente decorrente da data e horário de ocorrência da queimada, cobertura de vegetação, umidade, condutividade e capacidade calorífica do solo e mudanças atmosféricas como a presença de nuvens intensidade e direção de ventos.

Segundo Gontijo e colaboradores (2011), o INPE vem melhorando o seu sistema de detecção de queimadas. São feitas por meio de imagens de sensores a bordo de satélites em órbita polar ou geoestacionária. Quando um sensor detecta uma área mínima de 900m² da superfície, uma temperatura superior a 47°C gera um ponto geográfico chamado “foco de calor”. Entretanto, nem todo “foco de calor” é uma queimada. Algumas queimadas podem ser despercebidas pelos sensores. Por isso, é de grande importância fazer pesquisas que tenham como objetivo validar esses produtos, aperfeiçoando a tecnologia do monitoramento de queimadas.

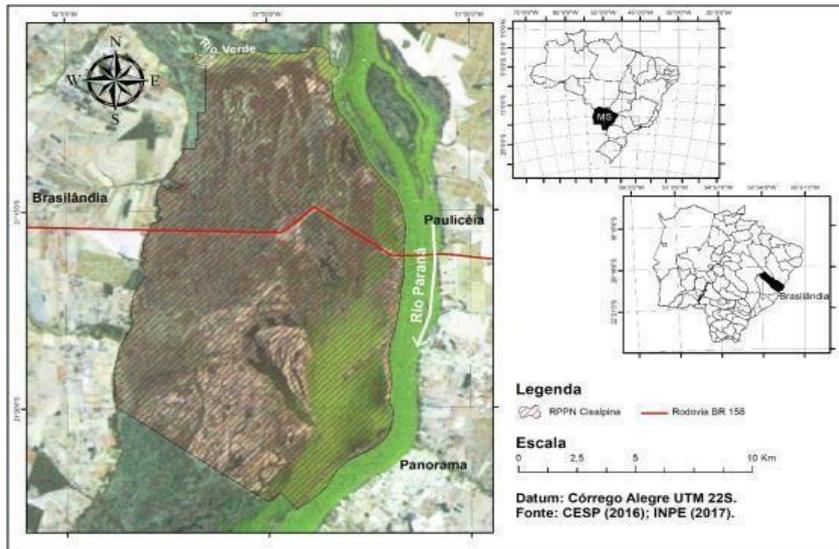
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A RPPN Cisalpina (Figura 3 e 4) apresenta uma área de 3.857,6965 hectares, de uma área total de 17.395,35 hectares da propriedade que inclui as áreas de manejo. No presente trabalho discutiremos a RPPN nesse sentido mais amplo, até pelo histórico da área que possuía uma delimitação mais ampla no passado e na literatura (Figura 3 e 4). A área apresenta um mosaico (Figura 5) de formações vegetais, como: floresta estacional decidual aluvial; savana arbórea (cerradão); savana (cerrado) e campos de várzea. A reserva está localizada no município de Brasilândia-MS, a 14 km do centro da cidade, além de a 13 km de Paulicéia-SP e a 20 km de Panorama-SP, confrontando-se ao norte com o Rio Verde, ao leste e ao sul com o Rio Paraná e a oeste com os reassentamentos Pedra Bonita e Santana, tendo como meios de acesso a MS 040, partindo de Brasilândia MS ou cruzando a ponte sobre o rio Paraná (CESP, 2014).

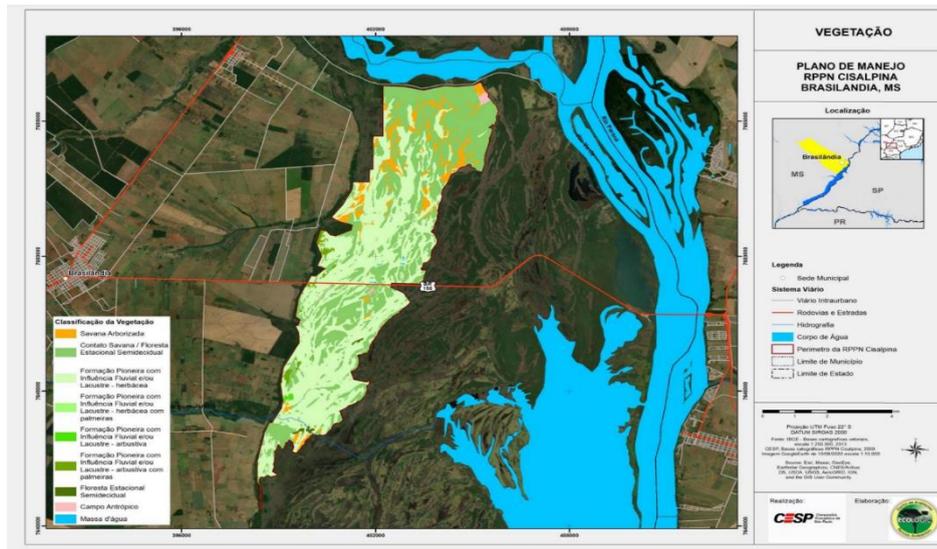
Figura 3: Mapa de localização da RPPN Cisalpina com as áreas adicionais de manejo.

Fonte: Almeida et al. (2020).



A RPPN Cisalpina está inserida integralmente nos domínios do Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004a), onde predominam Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre (IBGE, 2004b) (Figura 4 e 5).

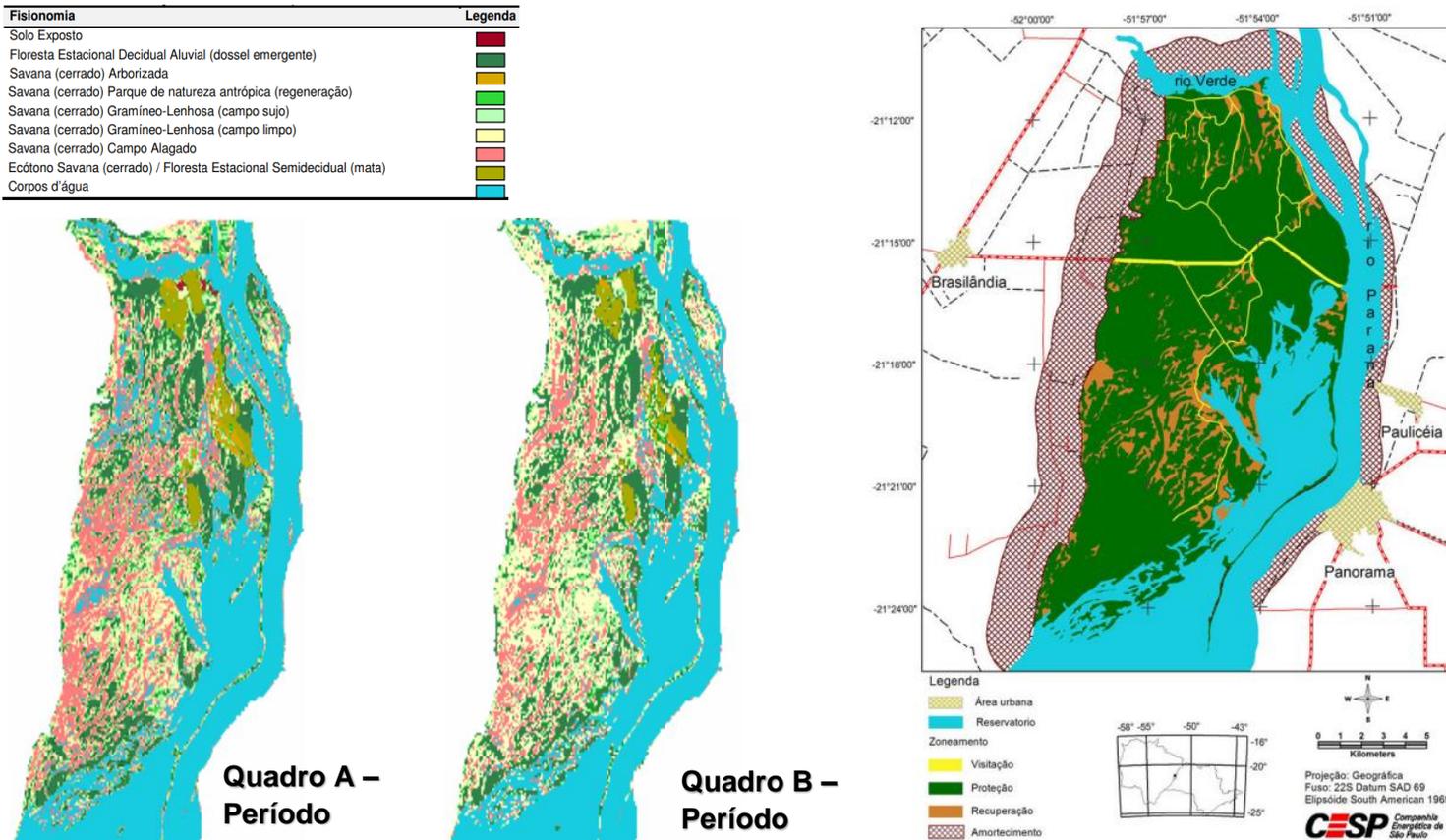
Figura 4: Classificação das fitofisionomias segundo o IBGE (Extraído do Plano de Manejo da RPPN).



Segundo o PROBIO (MMA, 2006), destacam-se as Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre e as áreas de contato entre Savana e Floresta Estacional Semidecidual, além de fragmentos de Floresta Estacional

Semidecidual Submontana, áreas de pastagem e de agricultura em menores proporções. Historicamente, a vegetação da RPPN Cisalpina sofreu diversos impactos ocasionados, principalmente, pelas alterações do regime hídrico impostas pelo enchimento do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta e pelo uso e ocupação do solo ao longo dos anos, onde foram realizados cultivos agrícolas, como o arroz, e introdução de espécies herbáceas exóticas para implantação de pastagens (Figura 5 e 6)

Figura 5: Prancha Cisalpina sentido amplo (Extraído do Plano de Manejo da RPPN 2009).



4.2 Coleta de dados

Foi utilizado o banco de dados do site do BDQueimas (INPE, 2022), que permite ao usuário fazer o download de focos em um sistema SIG com opções de período e regiões de interesse. Nesse trabalho foram usados somente os dados de focos de calor no município de Brasilândia no formato shapefile(*.shp) no período de 01/01/2000 até 31/12/2020, utilizando todos os satélites disponíveis (Figura 6). Optamos por usar todos os satélites para complementar todos os intervalos na captura de imagem. Como podemos ver na figura 6.

Figura 6: Características orbitais, temporais, e canal termal dos satélites utilizados (Fonte: INPE 2023).

Satélites	Órbita	Resolução espacial* (km)	Frequência temporal	Canal termal
AQUA/TERRA	Polar	1 x 1	2x2/dia	20 (3,66-3,84um)
NOAAs	Polar	1,1 x 1,1	2x2/dia	3 (3,55-3,93um)
GOES	Geoestacionária	4 x 4	96x/dia	2 (3,8-4um)
METEOSAT	Geoestacionária	3 x 3	96x/dia	4 (3,48-4,36um)

Para a confecção dos mapas vegetacionais comparativos das áreas que foram impactadas, foi utilizado os programas QGIS 3.16.7. O sistema de projeção utilizado no mapeamento é o UTM (Universal Transversa de Mercator), no fuso 22° S e utilizando o Datum Horizontal legal brasileiro - SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico das Américas) – conforme resolução da Presidência IBGE 01/2015.

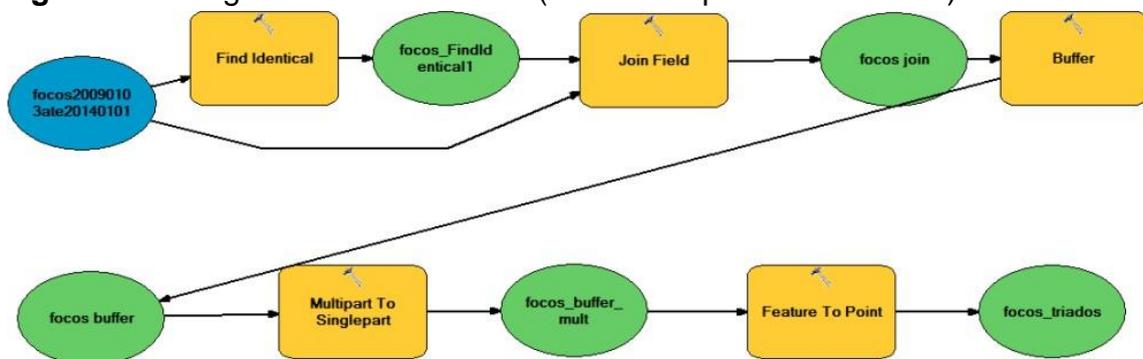
4.3 Exclusão de dados

Com o objetivo de filtrar os focos de calor observados por mais de um satélite obtidos numa mesma data, gerando dados mais próximos à realidade, os dados disponibilizados pelo site do BDQueimadas foram processados no software ArcMap 10.6.1.

Inicialmente, os dados da tabela de atributos do shapefile dos focos de calor tiveram que ser corrigidos, como a resolução espacial de cada satélite ajustada para metros quadrados, e a data dos focos ajustadas para o formato de data, pois o BDQueimadas nos fornece o campo das datas no formato de texto e o software só aceita essa informação no formato data-DD/MM/AAAA. Por isso, foi necessário a edição dos dados no software Microsoft Excel 2013. Após ajustada, a data foi recolocada na tabela de atributos.

Para a validação dos focos de calor foi utilizada metodologia desenvolvida por Santos (2015), a qual elaborou um modelo automatizado (Model Builder) para exclusão de focos redundantes no software ArcGIS (Figura 7) e consiste em: 1) Identificar focos com a mesma data (ferramenta Find Identical); 2) Gerar um buffer a partir da resolução espacial do sensor de detecção do foco; 3) União dos polígonos que estão num mesmo alcance da resolução espacial; 4) Desmembrar (ferramenta Multipart to Singlepart) as informações referentes a cada polígono na tabela de atributos; 5) Transformação do polígono para ponto (Feature to point), criando um ponto central referente ao novo foco sem duplicidade de informação.

Figura 7: Fluxograma Model Builder. (Elaborado por Santos. 2015).



A partir da exclusão dos focos redundantes foi possível visualizar as datas do

eventos envolvendo o fogo, a partir dessas informações baixamos os focos de calor um mês antes do fogo e um mês, assim cruzando com o NBR gerado identificar onde fogo começou.

4.4 Google Earth Engine

Foi utilizado “GEE” (Google Earth Engine), para obtenção das imagens LANDSAT 7, 8 e também para os cálculos dos índices espectrais. O “GEE” é uma plataforma online de processamento, visualização e manipulação de dados geográficos (GORELICK et al., 2017). Graças a sua grande capacidade de processamento será possível desenvolver uma rotina capaz de realizar as análises necessárias para os períodos em estudo, o que mitiga o grande tempo de manipulação de dados exigido nos meios convencionais de processamento no sensoriamento remoto.

Para o desenvolvimento da metodologia, foi-se necessário identificar períodos em que ocorreram eventos de fogo dentro RPPN Cisalpina. Sendo assim, identificou-se, com o auxílio dos dados disponíveis do BDQueimadas e a filtragem de pontos de calor desenvolvida por Santos (2015). Depois utilizou-se cenas pós-fogo do Satélite Landsat 7 e 8, com índices espectrais de NDVI e NBR para mapear as áreas queimadas.

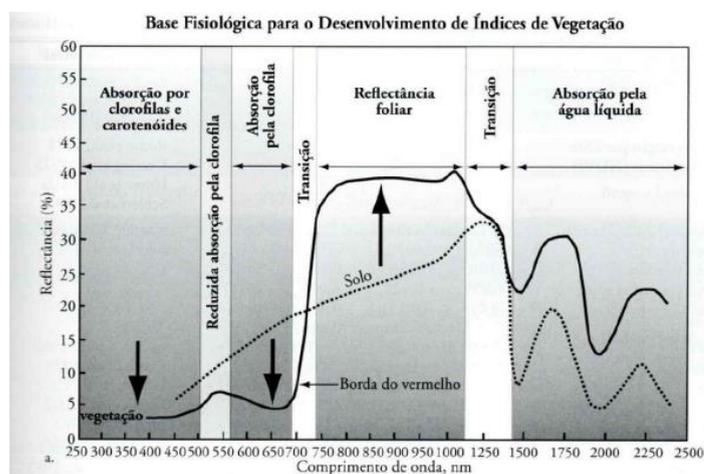
Visando aperfeiçoar os processos automáticos construídos dentro da plataforma, mitigando os efeitos negativos oriundos do uso de índices espectrais, utilizou-se de máscaras espaciais para filtrar os elementos em questão, permitindo que apenas as regiões com material vegetal fossem analisadas. Para isso, utilizou índices espectrais para identificação de nuvens, sombra de nuvens, água e por fim, como forma de garantir que as regiões analisadas não sofram com interferência não-vegetais.

4.5 Índices Espectrais

As imagens de satélite possuem inúmeros usos, desde planejamento urbano até acompanhamento meteorológico, de acordo com as características do satélite. Um desses usos é a geração de índices de vegetação, que são medidas radiométricas adimensionais, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde. Dessa maneira incluem métricas como: índice de área foliar (IAF); porcentagem de cobertura verde; teor de clorofila; biomassa verde; e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA, ou APAR, em Inglês) (JENSEN, 2011).

É importante, antes de tudo, compreender a assinatura espectral (ou comportamento espectral) da vegetação (Figura 8). Devido à clorofila, a absorção de uma folha verde saudável nas regiões do azul e do vermelho é alta (frequência 0,45 a 0,65 μm), apresentando pico de reflectância (8%) no verde (frequência 0,55 μm). Na região do infravermelho próximo (frequência 0,90 μm), a reflectância foi de 40%. Numa folha verde sadia típica, a reflectância no infravermelho próximo aumenta muito na região entre 0,70 μm e 1,20 μm (JENSEN, 2011).

Figura 8: Base fisiológica para o desenvolvimento de Índices de Vegetação (JENSEN, 2011, p.385.)



4.5.1 NDVI

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) significa, em Português, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Foi desenvolvido por Rouse e colaboradores (1974). Ele é utilizado como índice de secura ou seca, quando diferenciado temporalmente. (KEY & BENSON, 2006) É um dos índices espectrais mais aplicados e é usado para monitorar mudanças na vegetação sazonal e depende de suas propriedades de reflectância (TEODORO & AMARAL, 2019).

A fórmula é: **(banda do infravermelho próximo – banda do vermelho) / (banda do infravermelho próximo + banda do vermelho)**

No Landsat 7 (a partir de 1999), temos a fórmula: **(B5-B3) / (B5+B3)**

No caso do Landsat 8 (a partir de 2013), temos a fórmula: **(B5-B4) / (B5+B4)**

4.5.2 NBR

Como o objetivo deste trabalho era avaliação de queimadas, foi feito também um NBR (Normalized Burn Ratio – Índice de Queimada Normalizada). De acordo com Epting e colaboradores (2005), uma modificação no NDVI foi proposta por LopezGarcia e Caselles (1991). Eles concluíram que as bandas do infravermelho médio e do infravermelho próximo, no caso as bandas 7 e 4 do Landsat 5, sensor TM, eram as bandas que mudavam substancialmente após um incêndio. Koutsias e Karteris (1998) substanciaram esta descoberta e concluíram que o índice era efetivo para mapear áreas queimadas. Por fim, Key e Benson (1999) batizaram este índice de NBR (Normalized Burn Ration) e arremataram que o NBR bitemporal é mais altamente correlacionado com as

estimativas de campo da gravidade da queimada do que o TM4, TM7 e o NDVI bitemporal.

A fórmula é: **(NIR- SWIR)/(NIR+SWIR)**. NIR é a banda do infravermelho próximo (near infrared). SWIR (short-wave infrared) é a banda do infravermelho de ondas curtas.¹⁰ Neste caso do Landsat 8, a fórmula ficou: **(B5-B7) / (B5+B7)**. E no caso do Landsat 7: **(B4-B7) / (B4+B7)**.

4.5.3 NDWI

O Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI), proposto por McFeeters (1996) é utilizado para destacar as características da água numa imagem de satélite. Para consegui-lo, a reflectância do solo e da vegetação é consideravelmente reduzida, permitindo que a massa de água “se destaque”. Sua principal utilização hoje em dia é a detecção e monitoramento de ligeiras mudanças no teor de água das massas de água. Aproveitando as bandas espectrais NIR (infravermelho próximo) e GREEN (verde visível), o NDWI é capaz de realçar as massas de água numa imagem de satélite. A desvantagem do índice é que é sensível às estruturas construídas, o que pode levar a uma sobrestimação das massas de água.

Cálculo do NDWI: **NDWI = (Green – NIR) / (Green + NIR)**

Para os dados de Landsat 7:

NDWI = (Band 2 – Band 4)/(Band 2 + Band 4).

Para os dados de Landsat 8:

NDWI = (Band 3 – Band 5)/(Band 3 + Band 5).

Os valores do NDWI correspondem aos seguintes intervalos:

0,2 – 1 – Superfície de água,

0,0 – 0,2 – Inundação, humidade,

-0,3 – 0,0 – Seca moderada, superfícies sem água,

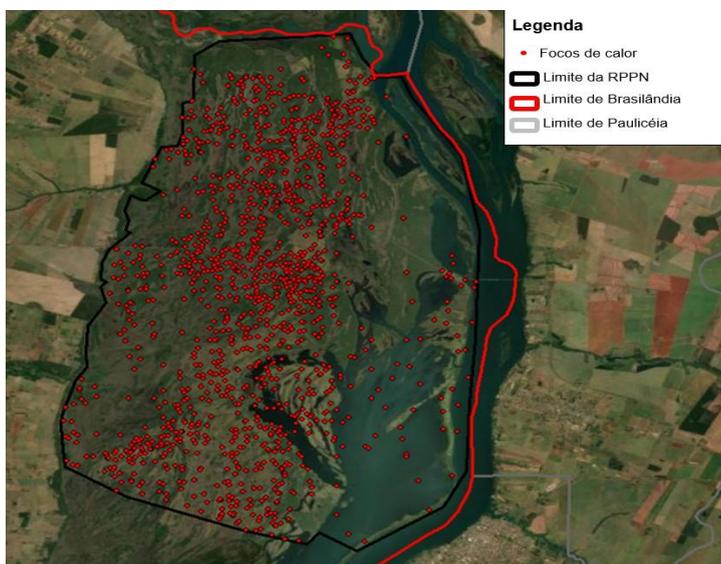
-1 – -0,3 – Seca, superfícies sem água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ocorrência de fogo na RPPN Cisalpina

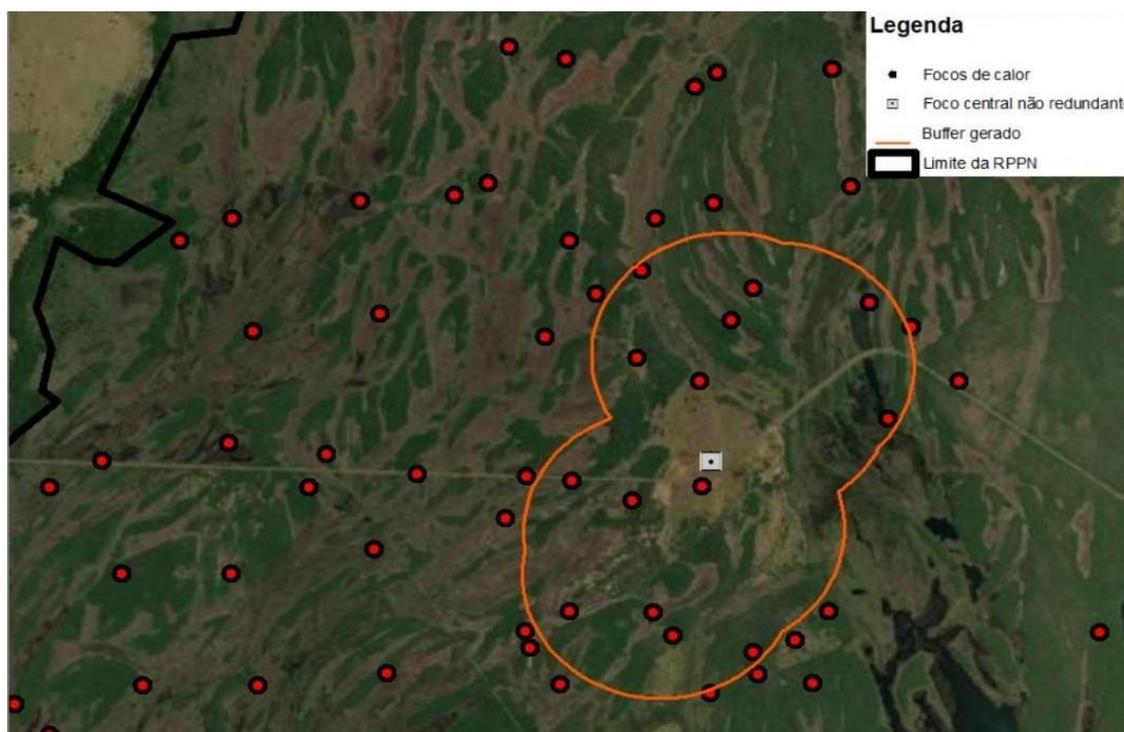
A Figura 7 mostra os focos de calor antes da aplicação da metodologia responsável por retirar focos redundantes. Antes da aplicação do filtro, existiam 2088427 focos com alguns na mesma data representando incêndios, na RPPN Cisalpina. Dessa forma existiria uma super estimativa do número de queimadas da área.

Figura 9: Focos antes da retirada de dados redundantes (elaborado pelo autor. Base de dados BDQueimadas e Almeida et al. 2020).



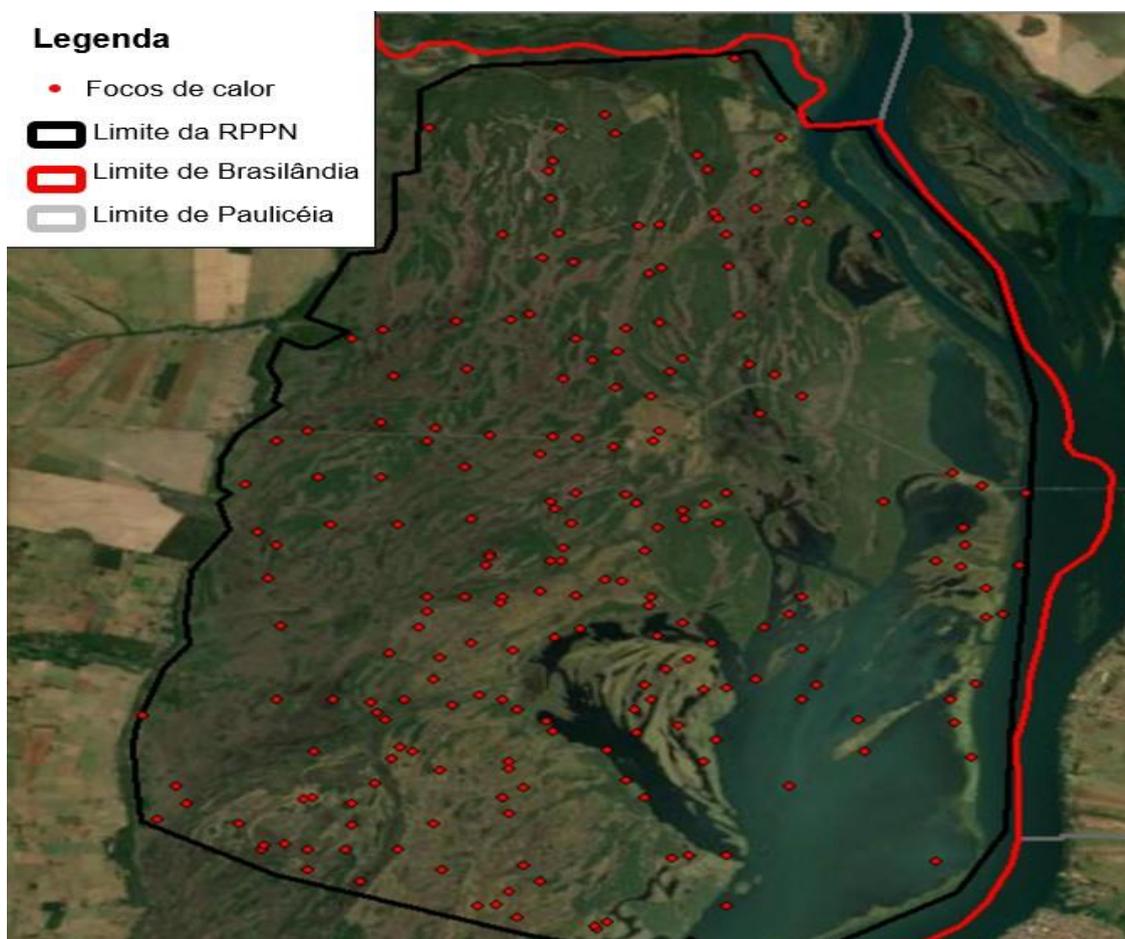
Após esses pontos receberem um buffer correspondente a resolução espacial do satélite que captou o foco e logo após foi gerado um ponto no centro do buffer, que representa os focos eliminando a redundância dos dados (Figura 8).

Figura 10: Esquema de retirada da redundância de dados. Elaborado pelo autor. Base de dados INPE, Google. Metodologia aplicada com base em Santos (2015.)



Os focos adquiridos pelo BDQueimadas para a RPPN Cisalpina somam 200887 no espaço de tempo do dia 01/01/2000 até 31/12/2020. Nas figuras 8 e 10 podemos ver respectivamente a distribuição dos focos de calor adquiridos pelo BBQueimadas (INPE), e os focos de calor após a triagem de focos redundantes.

Figura 11: Focos de calor na RPPN Cisalpina de 2001 a 2021 (elaborado pelo autor. Base de dados INPE).



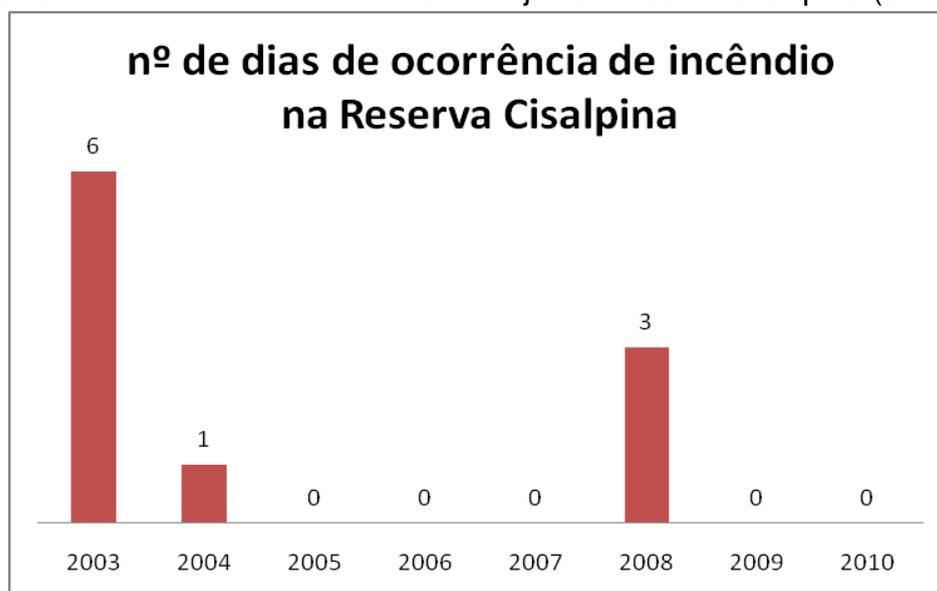
Os focos passaram de 20887 para 430, indicando uma redução de 93,7% dos focos redundantes. Após a eliminação total dos focos redundantes ou não considerados incêndios foi possível descobrir o dia e mês que os incêndios ocorreram. Sendo esses: 31/05/2003 01/06/2003, 02/06/2003, 11/09/2004, 21/07/2008, 26/08/2008, 27/08/2008, 23/08/2015, 14/07/2019.

A distribuição espacial dos focos após filtragem se concentrou mais próxima a rodovia, nas áreas de mais fácil acesso da Unidade de conservação, e nas áreas mais baixas de vegetação campestre. Por outro lado, o número de

focos próximo aos corpos d'água e áreas mais úmidas é bastante reduzida, principalmente nas porções leste e norte da RPPN, que são limítrofes com dois grandes rios. Esses rios de grande porte servem como barreiras naturais protegendo parte da Cisalpina de queimadas externas que poderiam se propagar para dentro da Unidade de Conservação. Além da baixa quantidade de focos próximo aos rios, também é evidente a baixa proporção de focos em vegetações florestais, tanto as próximas aos rios, quanto as distantes, e mesmo que essas componham um mosaico de vegetação com as áreas campestres bastante impactadas pelo fogo. Dessa maneira, fica evidente a importância de políticas de prevenção e combate aos incêndios com especial atenção às faces oeste e sul da RPPN que fazem divisa com fazendas, além de nas áreas próximas à rodovia que corta a reserva.

Comparando as datas obtidas pela metodologia proposta por Santos (2015) com o gráfico (Figura 11) presente no plano de manejo da RPPN, temos as mesmas datas, indicando sucesso na execução da metodologia.

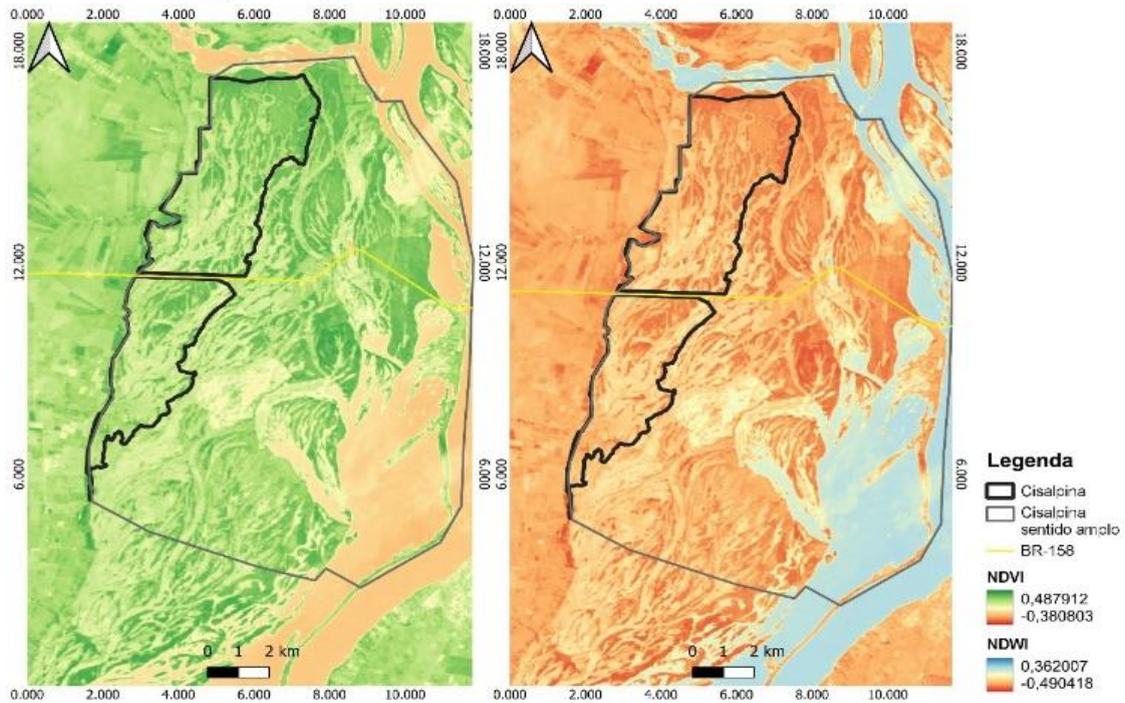
Figura 12: Ocorrência de incêndios na RPPN Cisalpina entre os anos de 2003 à 2010. Gráfico retirado do Plano de Manejo da Reserva Cisalpina (CESP).



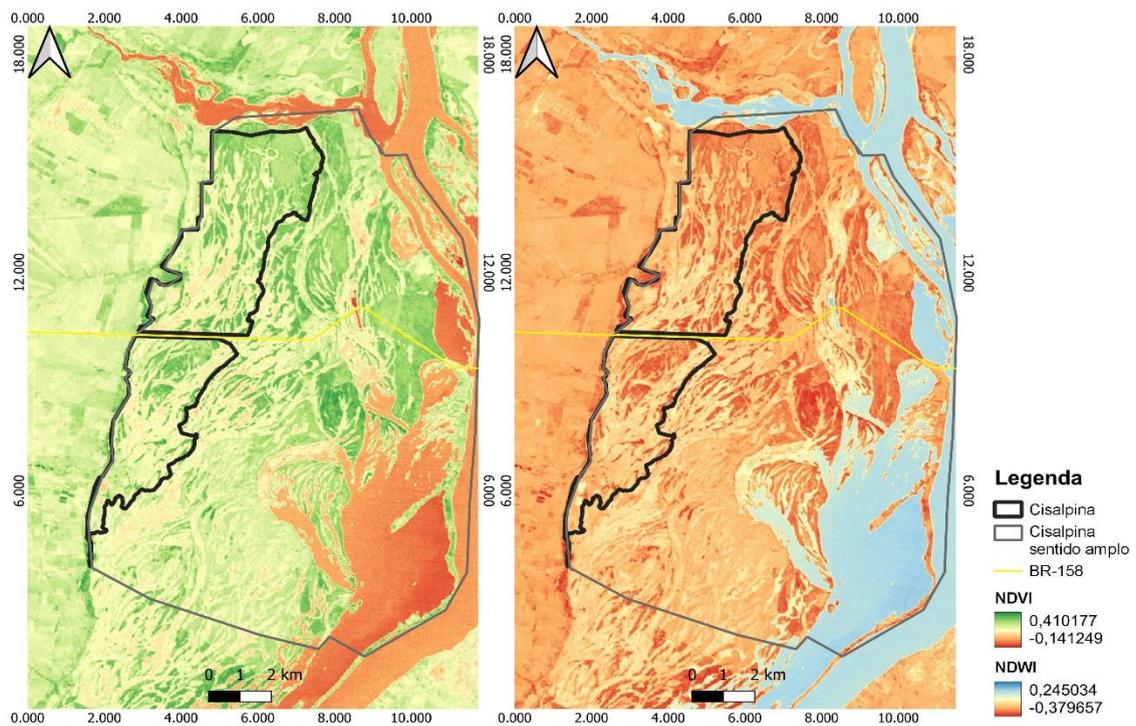
5.2 Ocorrência de fogo em 2003

Figura 13: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2003 (Elaborado pelo autor).

NDVI e NDWI pré-fogo 2003



NDVI e NDWI pós-fogo 2003

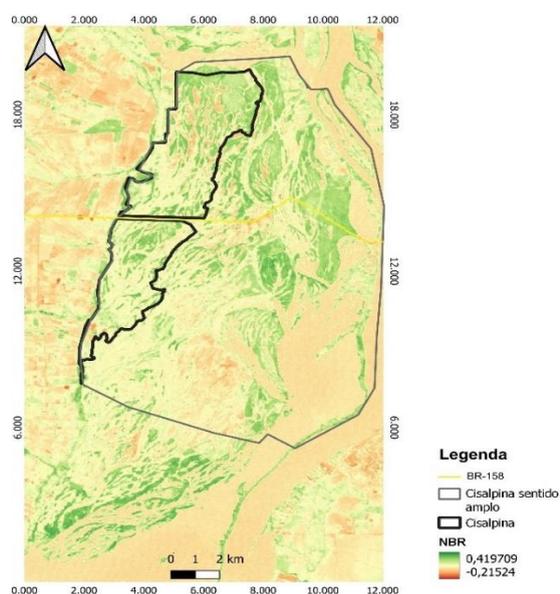


Em 2003 o NDVI apresentou resultados dentro do esperado nas imagens de pré-fogo e pós-fogo a ocorrência do fogo. Os valores de NDVI próximos a 1, foram maiores antes do fogo do que após o fogo, indicando que havia mais biomassa na cena pré-fogo, variando de 0,48 a -0,38. Na cena pós-fogo o índice oscilou entre 0,41 a -0,14 (Figura 12), evidenciando perda de biomassa, já que o valor próximo a 1 é menor e o valor próximo a -1 é maior, como podemos ver na prancha de imagens. Comparando o NDVI (Figura 12) pré e pós, podemos notar perda de vegetação nas regiões norte, sul da RPPN e próximo a BR-158.

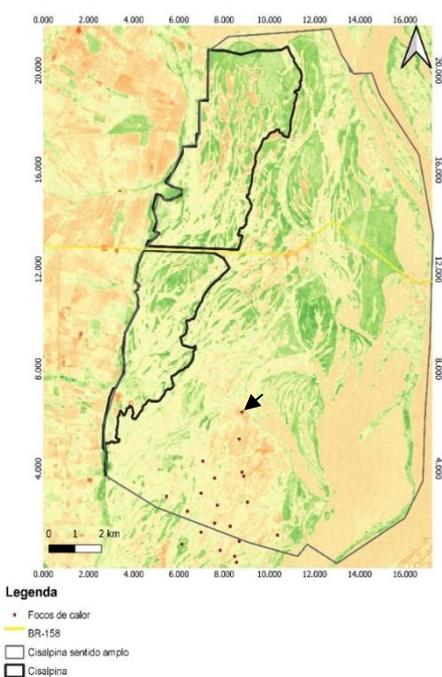
O NDWI indicou o valor de 0,36 e -0,49 na cena pré-fogo e na cena pós-fogo os valores variaram de 0,24 a -0,37. Comparando o NDWI de ambos períodos, temos na cena pré-fogo maior índice de água 0,36 (Figura 13), enquanto que na cena pós-fogo o valor é de 0,24, ou seja há maior presença de água na vegetação/solo antes do incêndio. O menor valor de água presente na cena pós-fogo pode representar a água perdida junto a biomassa queimada.

Figura 14: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2003 (Elaborado pelo autor).

NBR pós-fogo 2003



Focos de calor sobrepostos ao NBR pós-fogo 2003



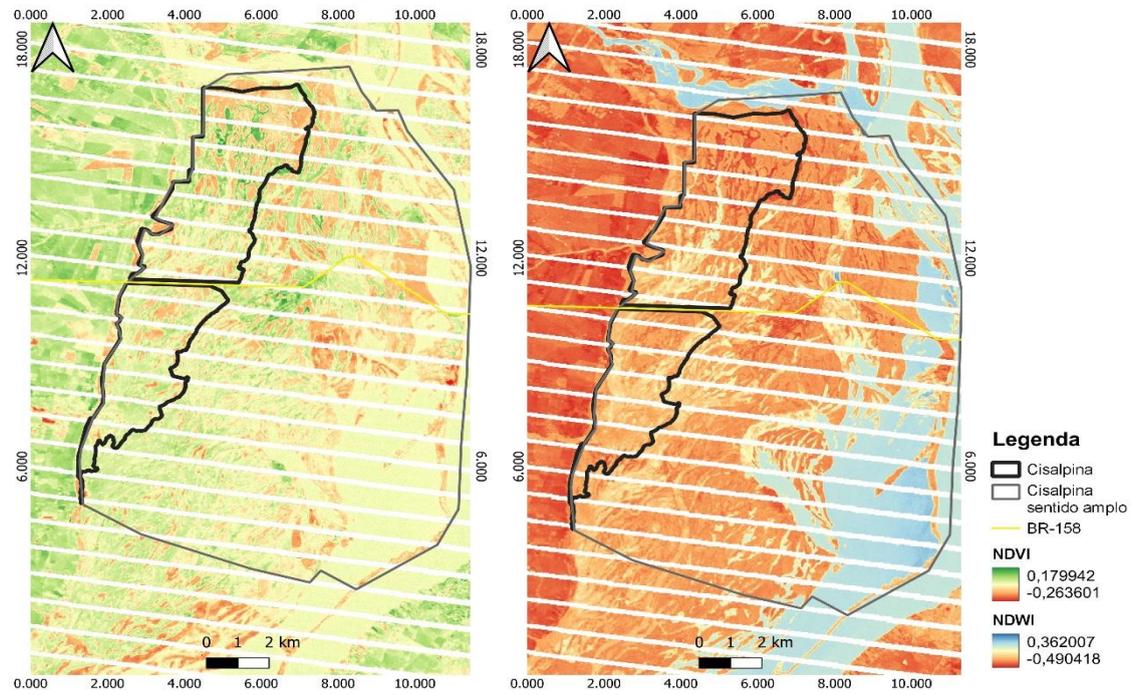
O valor de -0,21 (mais próximo a - 1) do NBR apontou as áreas que sofreram com o evento de queimada e os valores de 0,41 (mais próximo de 1) são as áreas que não sofreram com o evento da queimada, ou apresentaram uma recuperação vegetal muito alta. Com isso foi possível visualizar a cicatriz do fogo nas áreas atingidas, coincidindo com as áreas que perderam vegetação no NDVI pós-fogo.

Os focos de calor sobrepostos com o NBR foi possível descobrir as regiões em que o fogo se iniciou e o caminho que ele fez dentro da RPPN. No evento de 2003 o primeiro registro de foco de calor data do dia 30 de Maio, na área sul da RPPN apontado pela seta (Figura 14). O último foco registrado data do dia 02 de Junho, o que pode indicar que o fogo durou 3 dias. Comparando com o mapa de zoneamento elaborado pela Cesp no Plano de Manejo de 2009, podemos observar que as áreas mais impactadas foram as de recuperação, através dos pontos de calor observamos que o fogo teve início próximo as áreas de visitação (Figura 13).

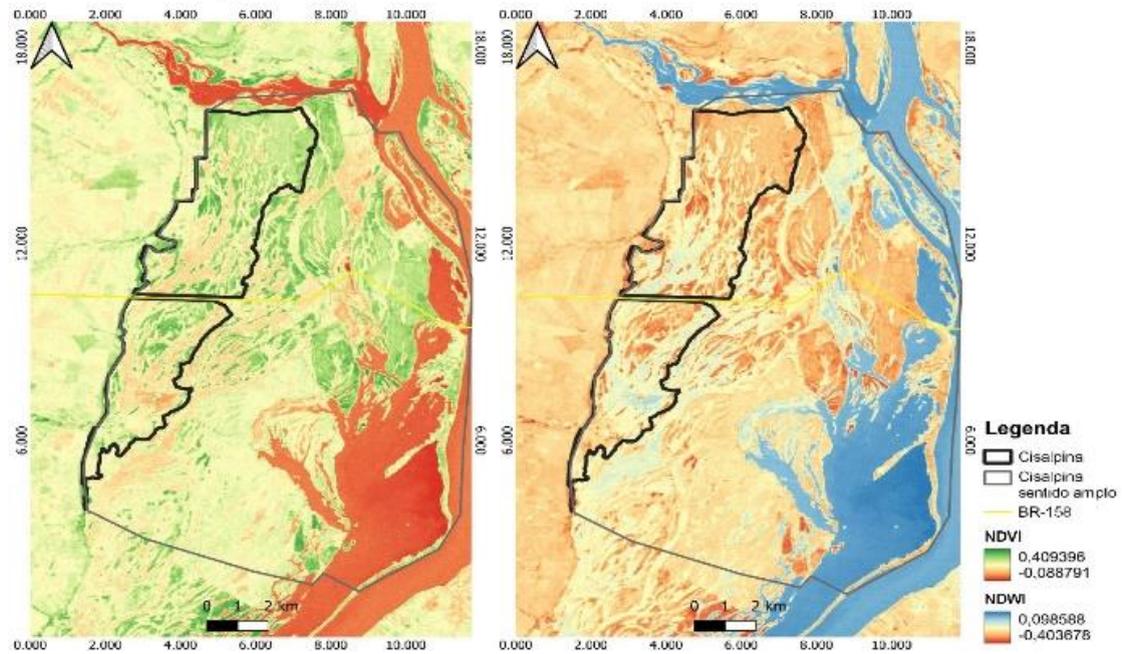
5.3 Ocorrência de fogo em 2004

Figura 15: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2004 (Elaborado pelo autor).

NDVI e NDWI pré-fogo 2004



NDVI e NDWI pós-fogo 2004



O NDVI pré-fogo apresentou os valores de 0,17 e -0,28, em contra o pós-fogo apontou valores de 0,40 e -0,08, diferente do esperado o índice de vegetação pós-fogo foi maior que o pré-fogo, ou seja, segundo o índice há uma vegetação mais densa na cena pós-fogo, isso pode indicar que a vegetação afetada teve uma alta taxa regenerativa (Figura 15). Como vimos, valores mais próximos de -1 podem indicar ausência de vegetação, como corpos d'água, áreas degradadas, e solo exposto (ROUSE, 1973). Comparando as duas cenas, a pós-fogo apresenta um valor próximo de -1 menor.

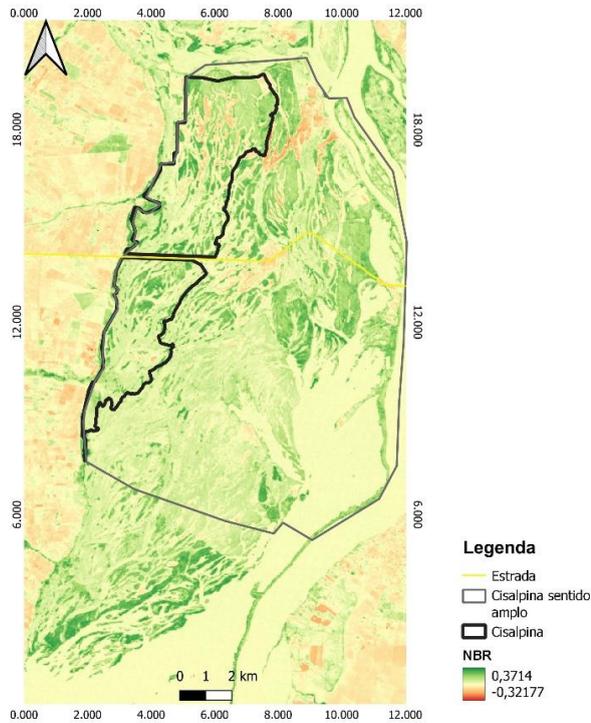
Os valores do NDWI variaram entre 0,36 e -0,49, já na cena pós-fogo os valores variaram entre 0,09 e -0,40. De acordo com os valores apresentados temos um teor de água maior na cena pré-fogo 0,36.

Machado et al. (2014) constatou que as variações obtidas pelos índices de NDVI e NDWI são bastante expressivas, respondendo as modificações na intensidade da precipitação pluviométrica, os autores traçam grande relação entre os índices NDVI e NDWI, eles afirmam que nos períodos em que há maior teor de água identificada pelo NDWI, são os períodos de maior robustez vegetal, onde a vegetação se apresentou mais densa e saudável. No evento de 2004 tivemos dados contrários.

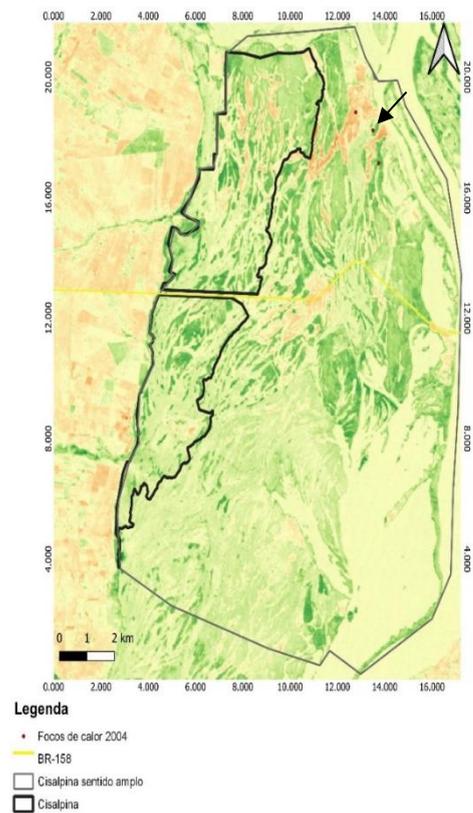
O NDWI também indicou uma alto índice de água na região sudoeste dentro da Cisalpina, na mesma área que o mapa das fitofisionomias (Figura 15), apontou para uma região alagavel no período chuvoso.

Figura 16: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2004 (Elaborado pelo autor).

NBR pós-fogo 2004



Focos de calor sobreposto ao NBR pós-fogo 2004



O NBR pós-fogo (Figura 16), apresentou valores variando entre 0,37 e -0,32. As áreas que apresentaram os valores mais próximas a 1, coincidiram com as áreas próximas de corpos d'água.

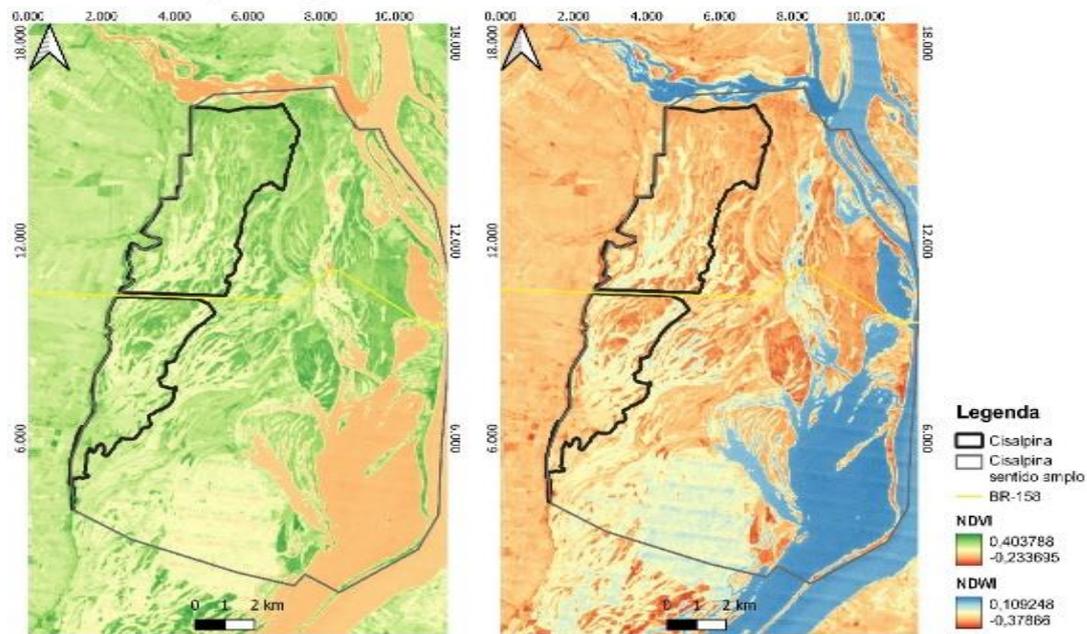
A sobreposição dos focos de calor possibilitou descobrir que o início do fogo foi na região nordeste da Cisalпина no sentido amplo, na fitofisionomia Savana (cerrado) Parque de natureza antrópica (regeneração), como podemos ver na figura 5. Novamente próximos as áreas de acesso e visitação, durante o dia 11 a 12.

5.4 Ocorrência de fogo em 2008

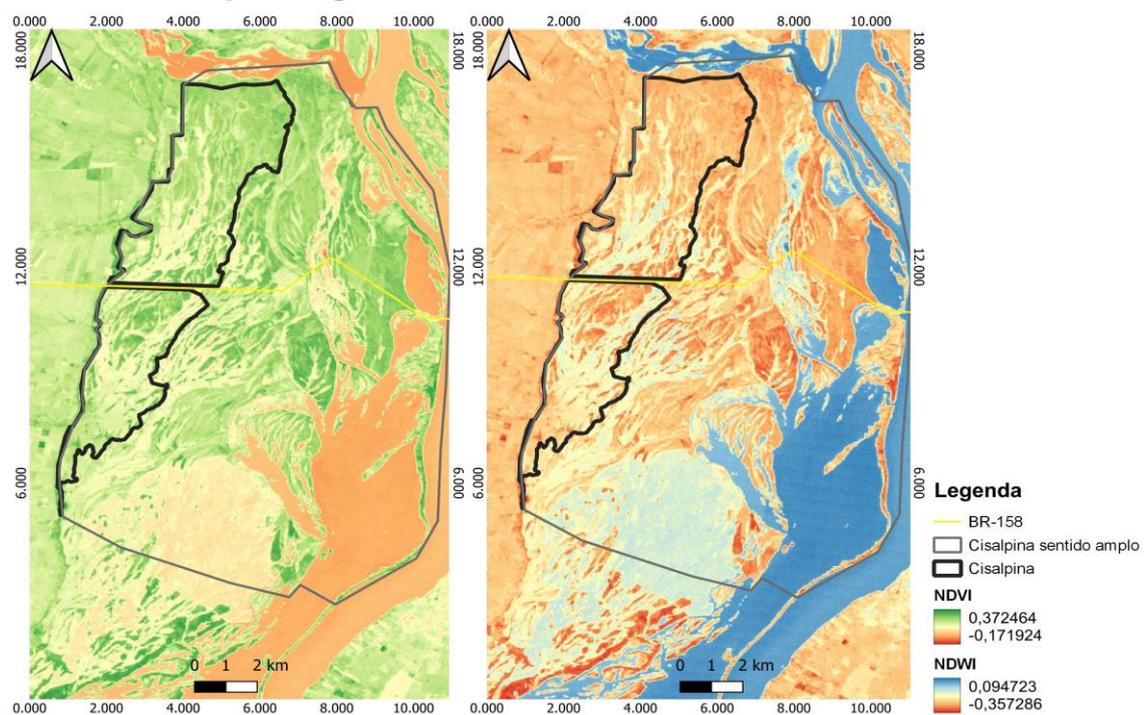
A metodologia de filtragem de pontos, indicou para 2008 foram dois eventos de fogo, o primeiro ocorreu no dia 21 de julho (Figura 17) e dia 26 de agosto (Figura 19).

Figura 17: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 21/07/2008 (Elaborado pelo autor).

NDVI e NDWI pré-fogo 2008



NDVI e NDWI pós-fogo 21/07/2008



Na cena pré-fogo os valores do NDVI variam entre 0,403 e -0,23, enquanto na cena pós-fogo os valores variaram entre 0,37 e -0,15. Houve diminuição tanto nos valores próximos 1, quanto nos valores -1, mesmo que de forma não muito expressiva, como podemos ver pelos valores e visualizando os mapas.

Comparando com a figura 5 podemos ver que as áreas em vermelho nas regiões nordestes e sudeste da Cisalpina no sentido amplo, são correspondentes as fitofisionomias de savana (cerrado) parque de natureza antrópica (regeneração), floresta estacional decidual aluvial (dossel emergente), savana (cerrado) gramíneo-Lenhosa (campo sujo), savana (cerrado) gramíneo-lenhosa (campo limpo) e campo alagado.

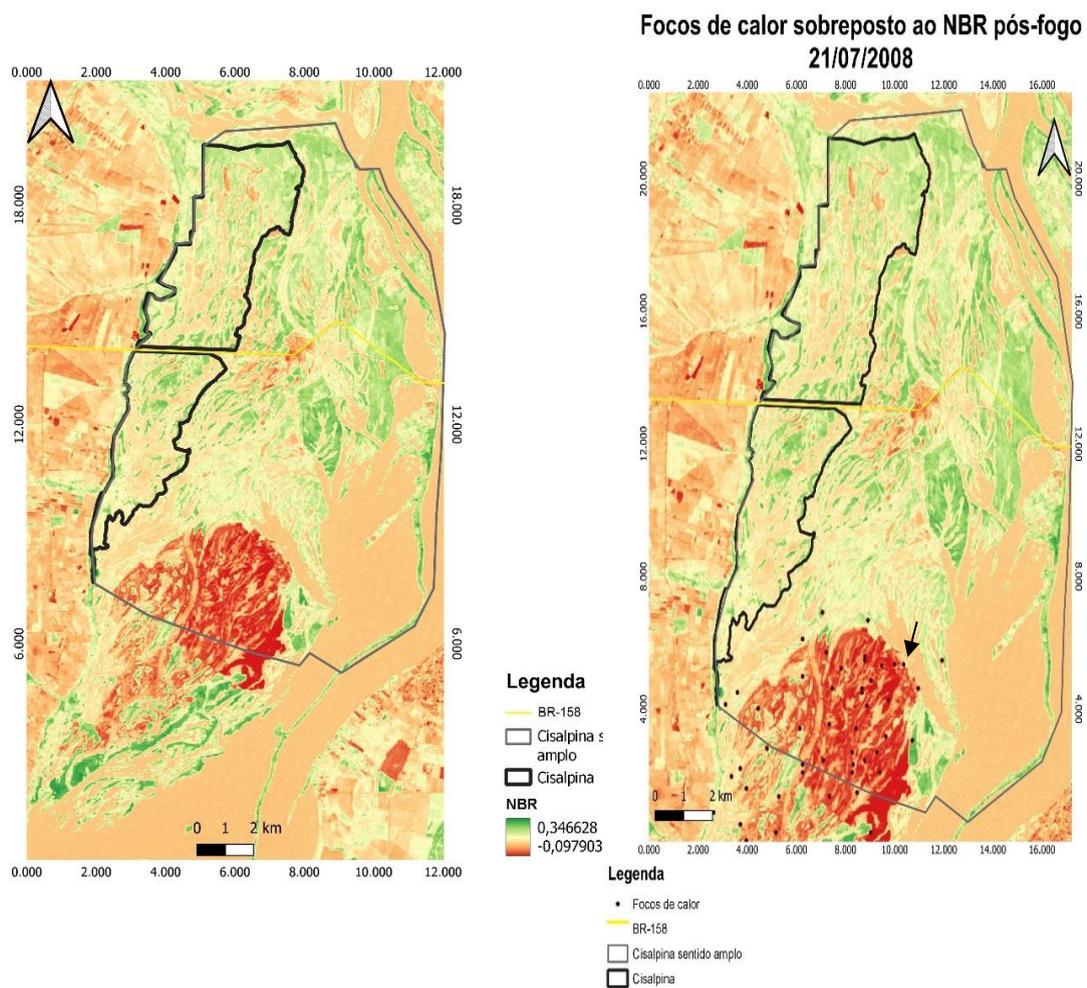
O NDWI registrou valores variando de 0,10 e -0,37 na cena pré-fogo, na cena pós-fogo os valores foram 0,17 e -0,38. Ou seja, na cena pós-fogo temos um maior teor de água nas plantas 0,17. Analisando NDWI e NDVI juntos (Figura 16), índices complementares (Ceccato et al., 2002), podemos ver que as áreas classificadas como em vermelho pelo NDVI (áreas com vegetação menos densa, solo exposto ou corpos d'água), foram classificadas com alto teor de água pelo NDWI, o que pode estar relacionado a taxa regenerativa da fitofisionomia atingida, principalmente das gramíneas da região, além das áreas estarem próximas de corpos d'água. As áreas indicadas como campo alagado (Figura 5), também apresentaram um maior teor de água pelo NDWI, o NDVI classificou os pixels vermelhos nas regiões sul da Cisalpina sentido amplo e sudoeste da Cisalpina (Figura 16), como esperado por se tratar de áreas alagadas.

Os valores do NBR feito pós-fogo no primeiro evento variaram entre 0,34 e -0,09 (Figura 17), a maior cicatriz do fogo até então. As fitofisionomias (Figura 5) mais atingidas nesse evento foram a savana (cerrado) parque de natureza antrópica

(regeneração), floresta estacional decidual aluvial (dossel emergente), savana (cerrado) gramíneo-Lenhosa (campo sujo), savana (cerrado) gramíneo-lenhosa (campo limpo) e campo alagado.

Figura 18: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 21/07/2008 (Elaborado pelo autor).

NBR pós-fogo 21/07/2008

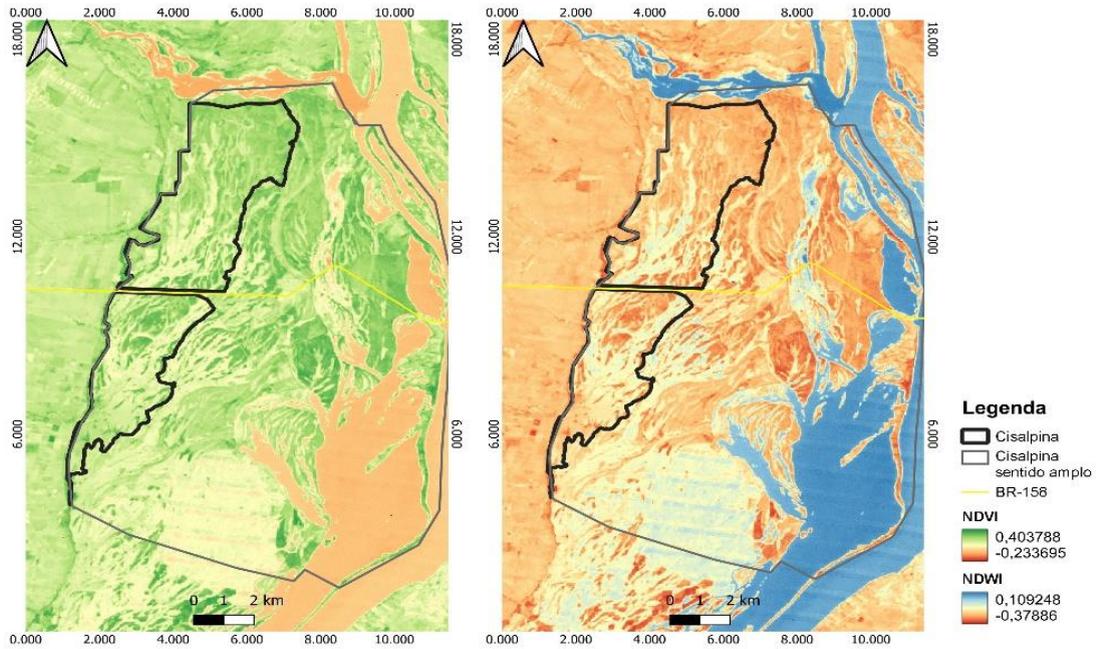


Após sobrepor os focos de calor no NBR pós-fogo foi possível identificar onde o fogo se iniciou, na Figura temos o ponto indicado por uma seta. Os focos de incêndio se distribuem na região da Cisalpina sentido amplo, atingindo principalmente as áreas em recuperação e de fácil acesso, seguindo um padrão

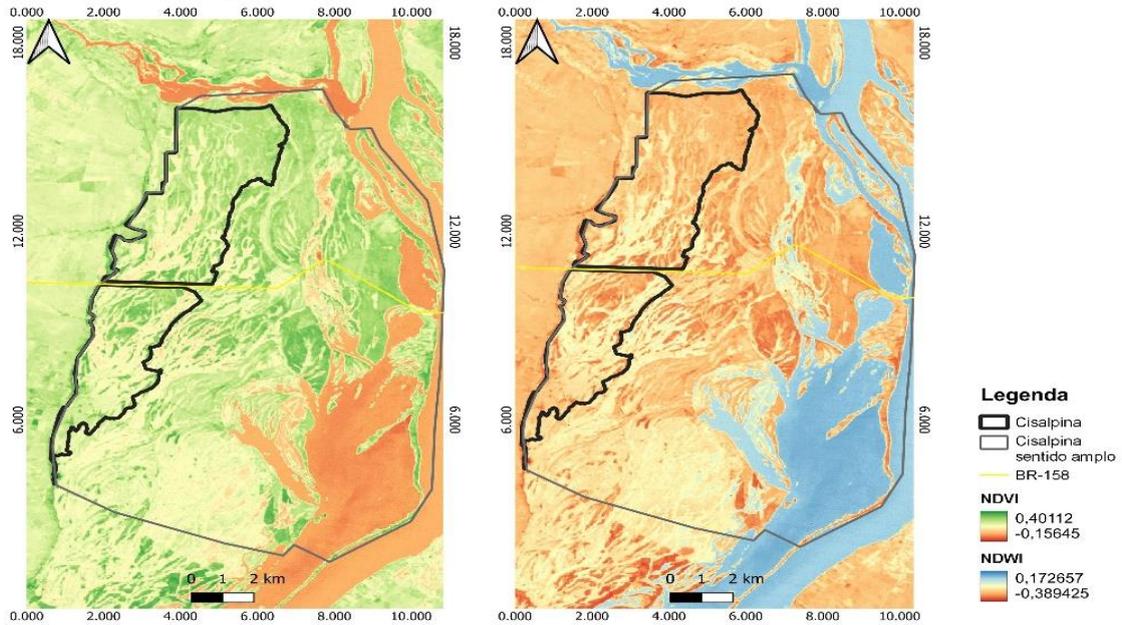
com os eventos anteriores. Os focos de calor se iniciam no dia 21 e são registrados até o dia 23, indicando que o fogo durou dias.

Figura 19: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 26/08/2008 (Elaborado pelo autor).

NDVI e NDWI pré-fogo 2008



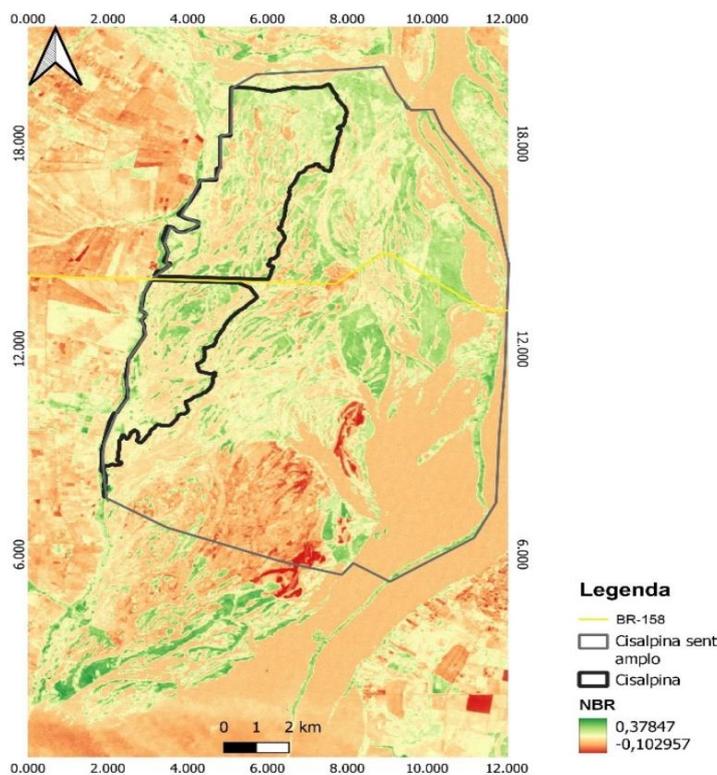
NDVI e NDWI pós-fogo 26/08/2008



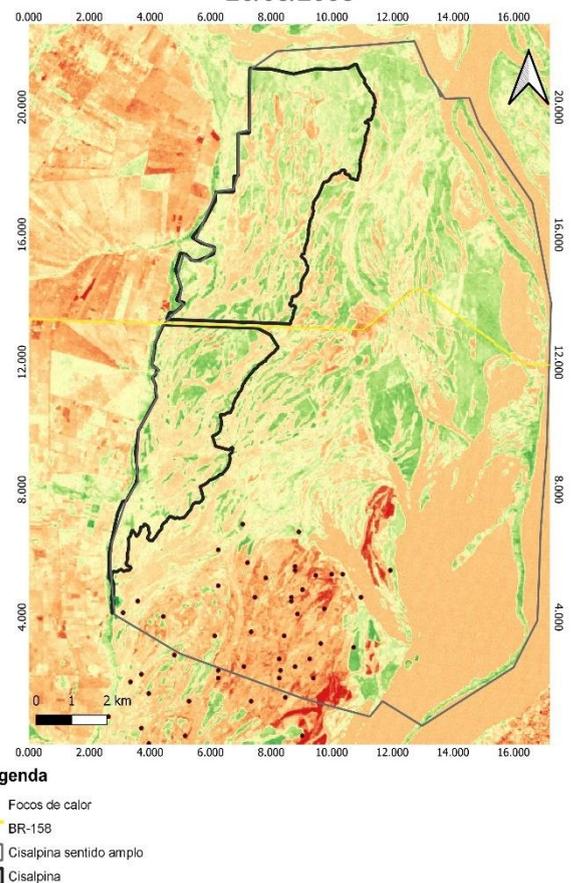
A cena do dia 26 de agosto apresentou valores diferentes da primeira cena, variando de 0,401 à -0,15 na cena pós-fogo (Figura 19). A menor diferença de valores próximos de 1 até então, isso pode estar relacionado ao intervalo de um evento para outro ou a dimensão da área atingida pelo fogo. Nesse evento a área apontada pelo NDVI com menor densidade vegetal está a nordeste da Cisalpina sentido amplo. O valor do NDWI também aumentou de uma cena para outra, sendo 0,17 e -0,38 no dia 26 de agosto (Figura 19), esse maior teor de água pode estar relacionado a regeneração da vegetação visualizada pelo NBR (Figura 19).

Figura 20: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 26/08/2008 (Elaborado pelo autor).

NBR pós-fogo 26/08/2008



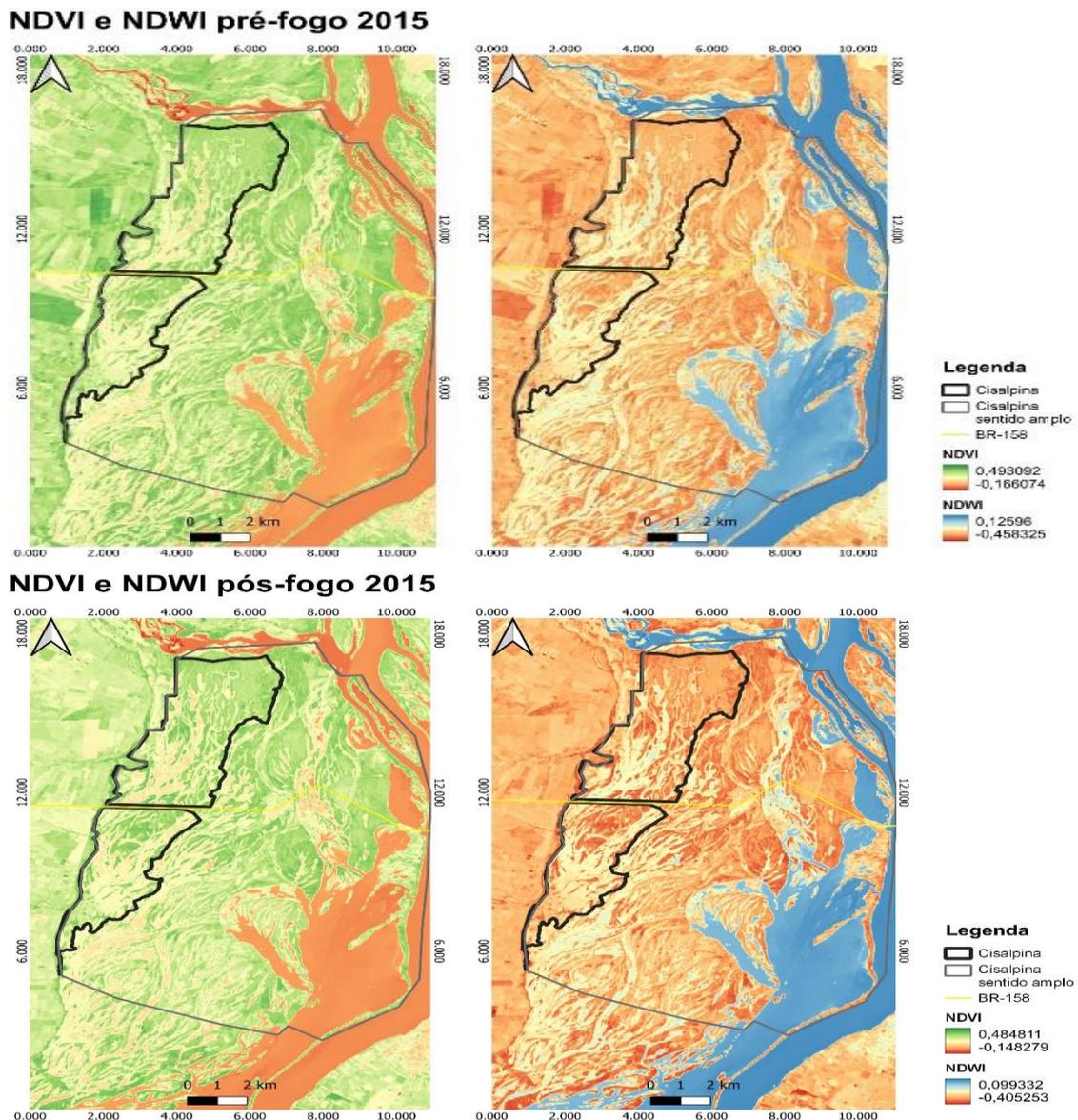
Focos de calor sobreposto ao NBR pós-fogo 26/08/2008



A sobreposição dos focos de calor no NBR do dia 26 de agosto, revelou que ocorreu fogo somente do dia 21 ao 23. Porém o NBR feito no dia 26 (Figura 20) apresentou valores próximos a 1 maiores que o NBR anterior (Figura 20). Como sabemos o NBR detecta presença ou ausência de clorofila, em outras palavras no segundo NBR temos maior presença de clorofila, o que pode estar relacionado a regeneração das áreas atingidas.

5.5 5.4 Ocorrência de fogo em 2015

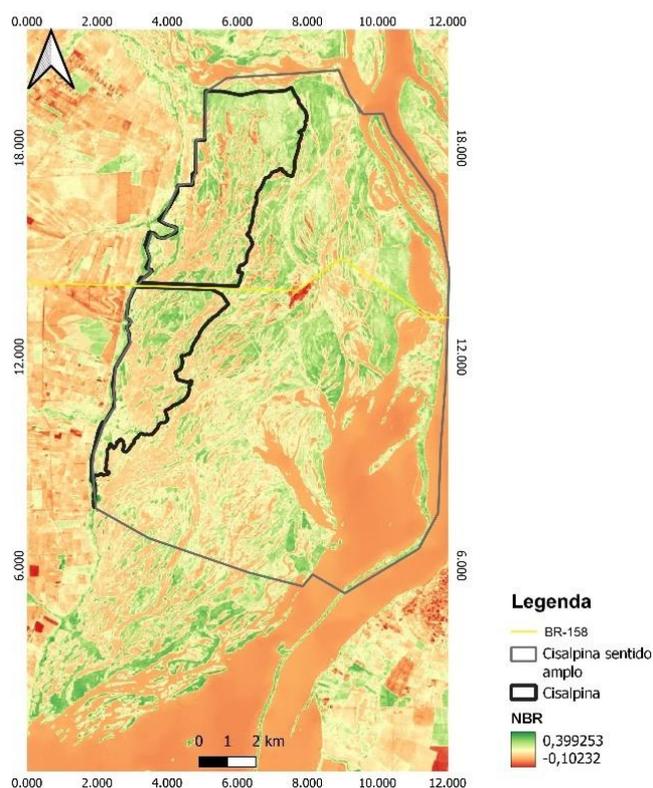
Figura 21: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2015 (Elaborado pelo autor).



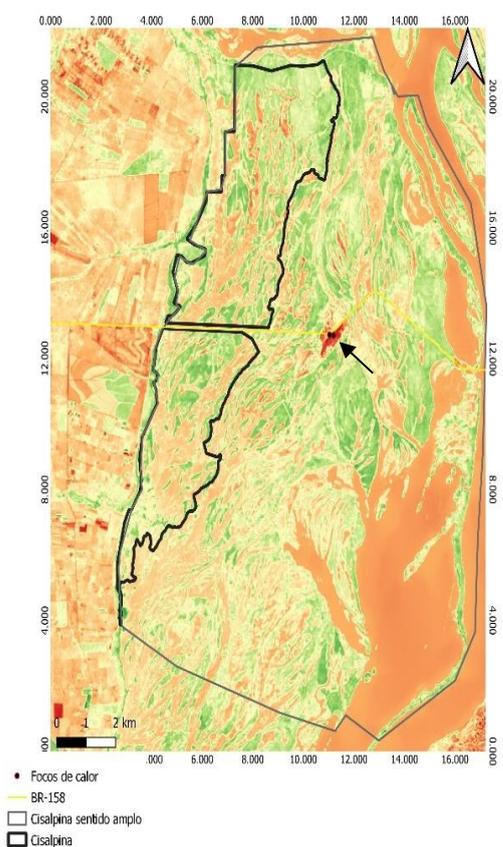
Em 2015 tivemos o menor evento envolvendo o fogo, isso pode ser visualizado através do mapa e dos valores registrados. Na cena pré-fogo os valores do NDVI variam entre 0,49 e -0,16, enquanto na cena pós-fogo temos valores variando entre 0,48 e -0,14, a menor variação de valores até então (Figura 21), neste caso as áreas com menor densidade vegetal estão próximas a sede e a BR-158, novamente na Cisalpina sentido amplo.

Figura 22: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2015 (Elaborado pelo autor).

NBR pós-fogo 2015



Focos de calor sobreposto ao NBR pós-fogo 2015



O NBR apresentou valores que variaram de 0,39 à -0,10. Apesar de haver várias áreas vermelhas na Cisalpina e Cisalpina sentido amplo, segundo a visualização

do NBR, sobrepondo os dados de focos de calor com o NBR (Figura 22) e relacionado com o NDWI (Figura 20), visualizamos que o fogo ocorreu somente na região apontada pela seta. As outras áreas com baixa clorofila (vermelhas), mas que não houve pontos de calor, podem ser áreas alagadas ou que sofreram com o fogo e não foram contempladas com o período analisado nesse trabalho.

5.6 Ocorrência de fogo em 2019

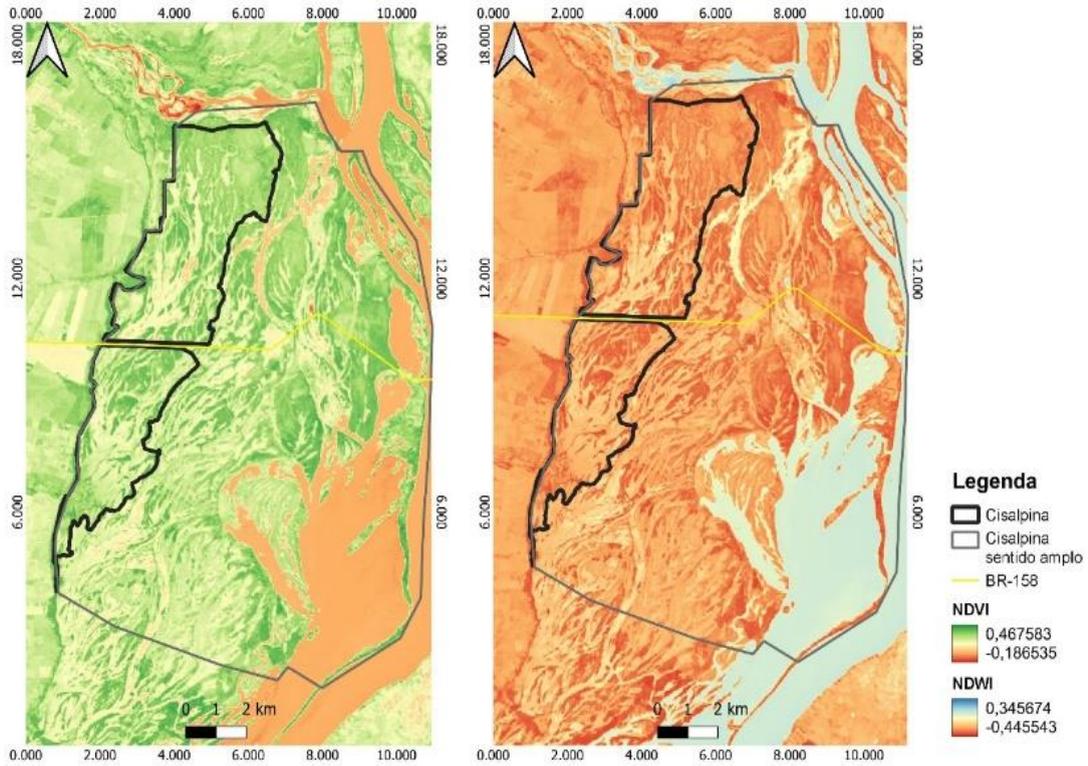
Em 2019 tivemos um incêndio ocasionado pelo acidente de dois veículos na BR-158, segundo entrevista dos trabalhadores da RPPN para o G1. Os valores do NDVI na cena pré-fogo variaram entre 0,4675 e -0,18 (Figura 23), já na cena pós-fogo os valores foram 0,4682 e -0,17 (Figura 23). Diferente do esperado o valor de densidade vegetal apresentou menor valor na cena pré-fogo, o que pode estar relacionado as fitofisionomias (Figura 5) atingidas pelo fogo, como sabemos no cerrado certas espécies são favorecidas pelo fogo.

Diferentes fatores antrópicos também são possíveis agravantes para o aumento de risco de fogo. Um deles é o padrão entre as áreas de acesso da reserva com as áreas apontados como queimadas pelos mapas de sobreposição de focos de calor. Cochrane (2003), vai dizer também que fragmentos florestais e áreas degradadas sujeitas a mudanças microclimáticas tornam-se mais secas e, portanto, mais sujeitas a incêndios.

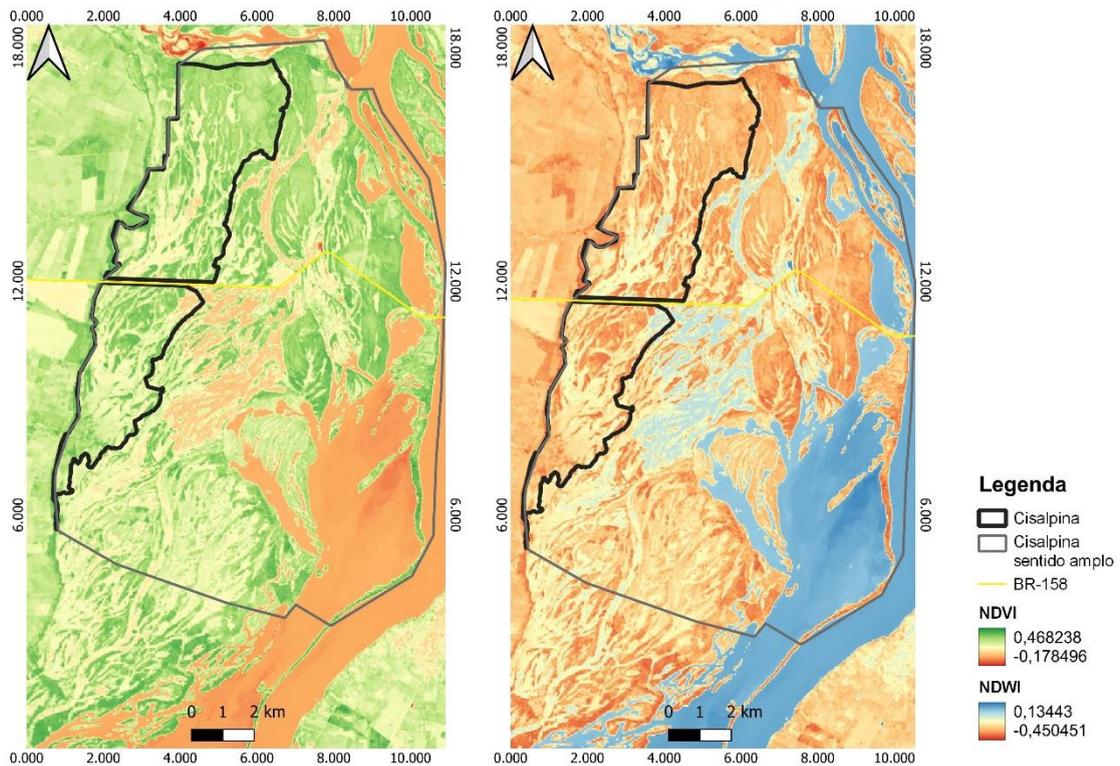
O impacto do fogo e a dinâmica de regeneração pode variar de acordo com fitofisionomia. Por exemplo a Floresta Estacional Semidecidual, presente na RPPN e uma das áreas atingidas pelo fogo, (Figura 5) a regeneração de fragmentos atingidos pelo fogo dificultada pela ocorrência das lianas e que as rebrotas constituem-se em importante estratégia das plantas para reocupação da área perturbada, segundo Castalani e Stubblebine (1993).

Figura 23: Prancha comparativa dos mapas de NDVI, NDWI, pré e pós fogo 2019 (Elaborado pelo autor).

NDVI e NDWI pré-fogo 2019



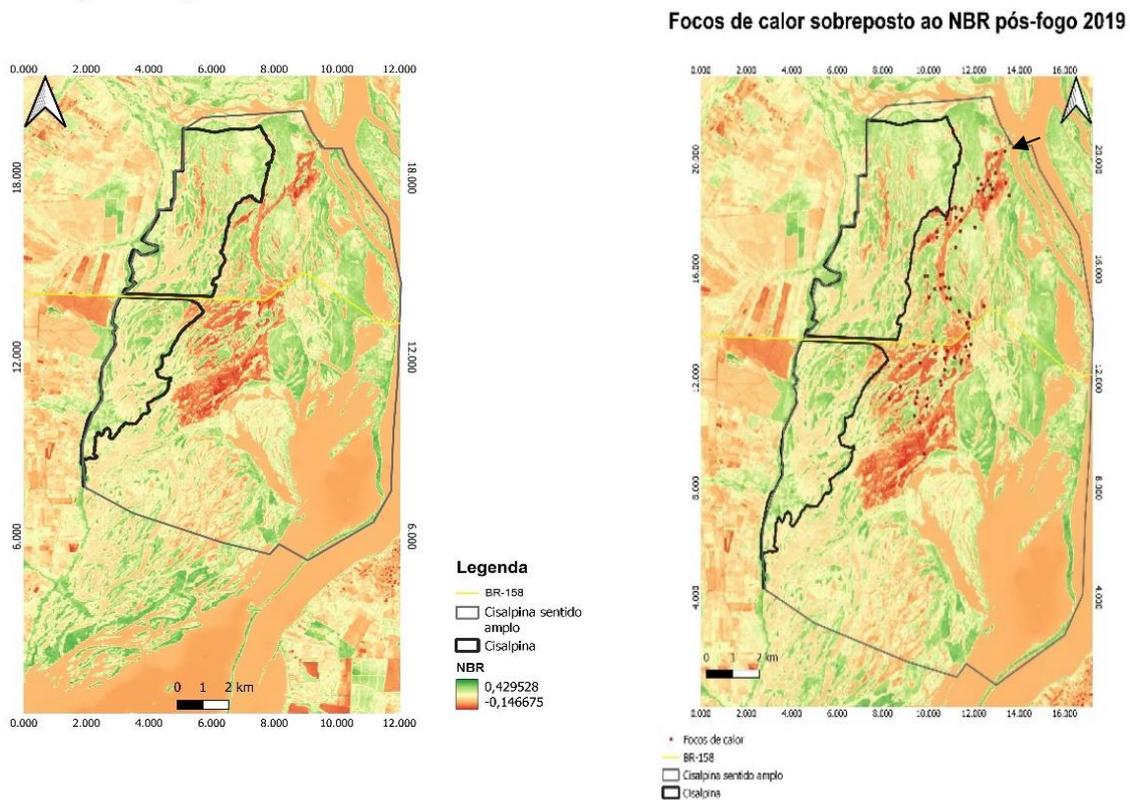
NDVI e NDWI pós-fogo 2019



Por outro lado, o NDWI apresentou menor teor de água nas plantas na cena pós-fogo se comparado com a pré-fogo, sendo 0,34 e 0,13 respectivamente. Já os valores negativos foram maiores na cena pós-fogo, 0,45 e 0,44 pré-fogo, isso pode estar relacionado com impacto do fogo ou com o período alagados e de estiagem (Figura 5, Quadro A e B).

Figura 24: Prancha comparativa do mapa NBR pós-fogo e sobreposição dos focos de calor 2019 (Elaborado pelo autor).

NBR pós-fogo 2019



O NBR pós-fogo indicou a cicatriz das áreas mais afetadas pelo fogo, como podemos ver há uma grande concentração de pixels vermelhos próximos a BR-158 (Figura 24), atingindo as fitofisionomias savana (cerrado) parque de natureza antrópica (regeneração), ecótono savana (cerrado) / floresta estacional semidecidual (mata), floresta estacional decidual aluvial (dossel emergente) e

savana (cerrado) campo alagado, ocorrendo principalmente na área mais acessíveis e da Cisalpina sentido amplo (Figura 24 e 5).

Como vimos, os índices espectrais são calculados com base nos valores de reflectância dos canais espectrais dos sensores orbitais. Dessa forma, as características espectrais dos objetos de interesse, vão interferir diretamente nos valores de reflectância e nas variações temporais destes valores, seja devido a mudanças do uso da terra ou devido às características caducifólias da vegetação, diminuindo a refletividade.

O comportamento espectral de superfícies queimadas foram caracterizados por baixos valores de reflectância na região do NIR e altos valores de na região do SWIR2.

Machado et al. (2014) também constatou que as as variações obtidas pelos índices de NDVI e NDWI são bastante expressivas, respondendo as modificações na intensidade da precipitação pluviométrica, os autores traçam grande relação entre os índices NDVI e NDWI, observando que nos períodos em que houve maior teor de água identificada pelo NDWI, corresponde aos períodos de maior robustez vegetal, onde a vegetação se apresentou mais densa e saudável.

Utilizando o índice NBR, foi possível verificar as cicatrizes de queimada, mas de maneira a complementar os índices de vegetação e de água, apresentaram coerência no monitoramento da recuperação vegetal. Rosan e Alcântara (2015), defendem a utilização do NBR na detecção de áreas queimadas, contanto que os resultados deste índice sejam potencializados aplicando conjuntamente com o NDWI, como feito neste trabalho, em virtude de que o NBR apresenta uma tendência a erros de classificação em áreas com alto teor de umidade, o que

pode ser corrigido com a aplicação do NDWI.

Os índices apontam que o evento de incêndio provocou grande estresse na dinâmica ecossistêmica em vista dos impactos gerados na flora e no teor de água da vegetação, condições fundamentais para o equilíbrio das funções ecológicas de um habitat.

Observamos que alguns padrões se repetiram durante as análises, primeiro foram que todos eventos envolvendo o fogo tiveram seu início em áreas de fácil acesso. Também visualizamos que as fitofisionomias recorrentemente mais atingidas pelo fogo foram: Savana (cerrado) campo alagado, floresta estacional decidual aluvial (dossel emergente), savana (cerrado) parque de natureza antrópica (regeneração). Segundo (Laurance et al., 2001) o aumento de risco de fogo nessas áreas pode estar ligado ao fácil acesso antrópico, junto com, o aumento da luminosidade, diminuição da umidade.

Quanto as lianas, presentes na caracterização da fitofisionomia, temos um espectro mais diversificado de adaptações para a reprodução vegetativa que as árvores (GERWING, 2003) e têm grande capacidade de rebrota, o que garante rápida ocupação de locais perturbados, além de serem, naturalmente, mais abundantes nas bordas (JANZEN, 1980; PUTZ, 1984). O aumento na abundância de lianas (lenhosas e herbáceas) pode, também, ser atribuído ao aumento da intensidade do fogo (COCHRANE & SCHULZE 1999). No Plano de Manejo (IMASUL, 2022), consta que a composição da flora segue da seguinte forma, árvores com 34 espécies (31,5% do total); seguidas das espécies que se apresentam tanto como árvores ou arbustos com 19 (17,6% do total); das ervas com 15 espécies (13,9% do total); dos arbustos com 08 espécies (7,4% do total); das lianas e dos subarbustos com 05 espécies cada (5,6% do total cada); das

espécies que se apresentam como ervas ou subarbustos com 04 (3,7% do total); das espécies que se apresentam como arbustos, árvores ou subarbustos com 03 (2,8% do total); de uma espécie que se apresenta como arbusto ou liana (0,9% do total); de uma espécie que se apresenta como arbusto ou subarbusto (0,9% do total); de uma espécie que se apresenta como liana ou subarbusto (0,9% do total); e de uma espécie de palmeira (0,9% do total).

Outro fator contribuinte ao aumento de risco de fogo pode ser acesso indevido de pessoas na área da reserva, de forma geral, está relacionado a atividades de caça, apanha ou captura da fauna e pesca. A atividade de caça, embora não seja observada de forma sistemática, representa uma ameaça, pois o hábito de caça encontra-se, aparentemente, arraigado na cultura local. Observa-se que mesmo sem a necessidade de praticá-la como forma de subsistência e sabendo da proibição por lei, a população local ainda entende a caça como forma de lazer ou de preservação da herança cultural.

Essa invasão antrópica causa distúrbios diretos e indiretos no ambiente, como objetos que refletem (exemplo, vidro), fogueiras e bitucas de cigarro.

Tanto a BR-158 como a linha de distribuição de energia localizada na faixa de domínio da referida rodovia e que correm em paralelo e atravessam a RPPN no sentido leste-oeste, contribuem para a fragmentação dos habitats aquáticos e terrestres (Figura 5). A circulação de pessoas e veículos aumenta a chance de ocorrência de incêndios, como o que ocorreu em 2019.

Além disso, podem ser utilizadas para acessar o interior da RPPN Cisalpina para práticas de caça e pesca. Outro fator relevante para possíveis ocorrências de incêndios é o manejo de fogo para limpeza de pastos e plantio de cana-de-açúcar feito pelas fazendas a redor da UC (IMASUL 2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação da metodologia Model Builder de exclusão de focos com os índices vegetacionais gerados via GEE (Google Earth Engine) se mostrou satisfatória para mapear, contabilizar, identificar e analisar os incêndios ocorridos na RPPN Cisalpina. De modo que através do Model Builder conseguimos descobrir as datas em que ocorreram os incêndios e a partir daí programar um código no GEE para gerar imagens SIG's diretamente do catálogo de cenas do satélite Landsat 7 e 8, presentes na plataforma GEE. Os focos de calor sobrepostos ao NBR revelaram onde foram registrados os primeiros focos de calor e que possivelmente é o local onde o fogo se iniciou. Em todas as imagens geradas foi aplicado índices de vegetação, NDVI, NBR e NDWI. Além dos índices de vegetação, foi aplicado um filtro de nuvem ('CLOUD_COVER') menor ou igual a 9 (\leq) para uma melhor absorção espectral das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, com isso obtendo uma cena mais fiel da realidade para melhor visualização e compreensão dos resultados.

Os resultados gerados foram satisfatórios, NDVI quais locais houve maior perda de biomassa (quantidade de clorofila absorvida). O NBR possibilitou que visualizássemos as áreas que foram atingidas pelo fogo (cicatrices do fogo), combinado o NDWI com cada um dos índices conseguimos potencializar e melhorar a precisão das análises.

Identificamos possíveis fatores que podem ajudar a aumentar o risco de fogo na RPPN, as áreas que mais registraram ocorrência de fogo foram na Cisalpina sentido amplo e próximas a estradas que facilitam o acesso, tanto combinado quanto indevido. As fitofisionomias mais afetadas foram as que

estavam próximas das áreas de recuperação e as com predominância de gramíneas.

Espera-se que o trabalho tenha contribuído, pelo menos um pouco, para melhorar o planejamento acerca de estratégias que possibilitem a prevenção ou redução fogo e seus impactos. E que também tenha contribuído para construção de um novo conhecimento sobre a dinâmica do fogo ocorrida naquele curto espaço de tempo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, S. T.; FORNAZARI, T.; CÓSTOLA, A.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, F. S. F. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecological Indicators*, v. 78, p. 270-281, 2017.

ARCGIS. 2022. <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>>. Acessado em 22/10/22. [ARCGIS, 2022] ArcGIS.

ASSUNÇÃO, R., TETTO, A.F., BATISTA, A.C., 2017. O uso tradicional do fogo no assentamento Vale Verde, em Gurupi/TO. *Revista Espacios* 1, 381-19.

AVITABILE, S. C.; CALLISTER, K. E.; KELLY, L. T.; HASLEM, A.; FRASER, L.; NIMMO, D. G.; WATSON, S. J.; KENNY, S. A.; TAYLOR, R. S.; SPENCE-BAILEY, L. M.; BENNETT, A. F.; CLARKE, M. F. Systematic fire mapping is critical for fire ecology, planning and management: a case study in the semi-arid Murray Mallee, south-eastern Australia. *Landscape and Urban Planning*, v. 117, p. 81-91, 2013.

- BACANI, V.M., 2016. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. *Revista Árvore* 40, 1003-1011.
- BARBOSA, R. I., FEARNSTIDE, P. M., 2000. Incêndios na Amazônia Brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento "El Nino" (1997/98). *Acta Amazônica*, Manaus 29, 513-534
- BASTARRIKA, A. CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, p. 1003-1012, 2011.
- BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélite. *Floresta* 34 (2), Mai/Ago, 2004, 237-241, Curitiba, Pr.
- CASTELLANI TT, STUBBLEBINE WH. Sucessão secundária inicial em mata tropical mesófila, após perturbação por fogo. *Revista Brasileira de Botânica* 1993; 16(2): 181- 203.
- CECCATO, P.; Stéphane, F. & Jean-Marie, G. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data Part 2. Validation and applications. *Remote Sensing of Environment*, 82: 198-207.
- CHUVIECO, E. Measuring changes in landscape pattern from satellite images: Short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of*

Remote Sensing, v. 20, n. 12, p. 2331-2346, 1999.

COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. In.: KLEIN, A. L. (Org.). Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois. São Paulo: UNESP, 2002. p. 77-92.

COUTINHO, L.M., 1980. As Queimadas e seu Papel Ecológico. Revista Brasil Florestal, 10, 7-23.

DOWDY, A.J., FROMM, M. D., MCCARTHY, N., 2017. Pyrocumulonimbus lightning and fire ignition on Black Saturday in southeast Australia, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 122, 7342–7354.

EMBRAPA. 2023. LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite. Disponível em <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em: 10/08/2023.

FEITOSA, M.V; ANDRADE, F.B. & RODRIGUES, M.L.M. 2009. Implantação e monitoramento de programas ambientais e sistemas de gestão ambiental. Plano de manejo para a RPPN CISALPINA em Brasilândia/MS: avaliação da metodologia e planejamento adotado.

FELFILI, J. M. Padrões de diversidade do Cerrado do Centro-Oeste brasileiro. In: ARAÚJO, E. L.; MOURA, A. N.; SAMPAIO, E. S. B., GESTINARI, L. M. S.; CARNEIRO, J. M. T. (Eds.). Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2002. p. 58-61.

FELFILI, J. M.; SILVA-JÚNIOR, M. C.; SEVILHA, A. C.; FAGG, C. W.; WALTER, B. M. T.; NOGUEIRA, P. E.; REZENDE, A. V. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*, Dordrecht, v. 175, p. 37-46, 2004.

FERRAZ, S.F.B., VETTORAZZI, C.A., 1998. Mapeamento de risco de incêndio florestal por meio de sistema de informações geográficas (SIG), *Scientia Florestalis*, 39-48.

GAO, Bo-Cai. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.

GIBSON, C.M., TURESTSKY, M.R., COTTENIE, K., KANE, E.S., HOULE, G., KASISCHKE, E.S., 2016. Variation in plant community composition and vegetation carbon pools a decade following a severe fire season in interior Alaska. *Journal of Vegetation Science* 27, 1187–1197.

GONTIJO, A. B; PEREIRA, A. A; OLIVEIRA, D.S.O; JUNIOR, F.W.A; Detecção de queimadas avaliação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7966.

GOUVEIA, C.M., BISTINAS, I., LIBERATO, M.L.R., BASTOS, A., KOUTSIAS, N., TRIGO, R., 2016. The outstanding synergy between drought, heatwaves and fuel on the 2007 Southern Greece exceptional fire season.

Agricultural and Forest Meteorology 218–219, 135–145.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, 2022.

IMASUL. 2022. Plano de Manejo Reserva Particular Do Patrimônio Natural RPPN Cisalpina. Disponível em: < https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2022/04/Plano-de-Manejo-RPPN_Cisalpina_final.pdf> Acesso em: 13/08/2023.

Incêndio na RPPN Cisalpina, da Cesp, queimou equivalente a 2,2 mil campos de futebol. Rádio Caçula. 2019. Disponível em: < <https://www.radiocacula.com.br/incendio-na-rppn-cisalpina-da-cesp-queimou-a-equivalente-22-mil-campos-de-futebol/>> Acesso em: 13/08/2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022. Programa Queimadas. Disponível em: < <https://queimadas.dgi.inpe.br/>>. Acesso em: 24/10/22.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2022a. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 24/10/22.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL - IMASUL. 2022. Disponível em: < <https://www.imasul.ms.gov.br>>. Acesso: 22/10/22.

JAIWAL, R. K.; MUKHERJEE, S.; RAJU, K. D.; SAXENA, R. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 4, 2002, p. 1-10.

- KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape Assessment: Sampling and Analysis Methods. Landscape Assessment: Sampling and analysis Methods, 2006.
- McFEETERS, S.K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, p. 1425-1432, 1996.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote sensing and image interpretation. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.
- LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.
- MACHADO, T. S; CAIONI, C; FERNANDES, R. S; NEVES, R. J; NEVES, S. M. A. S. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 22 a 26 de novembro 2014
- MACHADO, T. S; CAIONI, C; FERNANDES, R. S; NEVES, R. J; SILVA NEVES, S. M. A. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 2014. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 690 -699.
- McFEETERS, S.K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote

Sensing, p. 1425-1432, 1996.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MENESES, B., 2015. Os Incêndios Florestais e a Qualidade da Água. In: VIII CONGRESSO IBÉRICO DE GESTÃO E PLANEJAMENTO DA ÁGUA, 2013, Lisboa. Anais...Lisboa: Fundación Nueva Cultura del Agua, 869-875.

MILLER, J. D.; THODE, A. E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, v. 109, n. 1, p. 66-80, 2007.

MIRANDA, H.S., ROCHA, E., SILVA, E.P., MIRANDA, A.C., 1996. Comportamento do Fogo em Queimadas de Campo Sujo. In: Miranda, H. S.; Saito, C. H.; Dias, B. F. de S. (Org.) Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga. Brasília: UnB, ECL, 1 – 10

MOLINA, C.M., GALIANA-MARTÍN, L., 2016. Fire Scenarios in Spain: A Territorial Approach to Proactive Fire Management in the Context of Global Change. *Forest* 7, 1-17.

NASCIMENTO, I.V., 2001. Cerrado: o fogo como agente ecológico. *Territorium* 8, 25-35.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. Floresta em chamas:

origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil, 1999.

OLIVEIRA-FILHO, A.T., RATTER, J.A. (2002) Vegetation physiognomies and wood flora of the Cerrado biome. In: Oliveira, P.S. and Marquis, R.J., Eds., The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna, Columbia University, New York, 91-120.

PARSON, D. J. The Challenge of Restoring Natural Fire to Wilderness. USDA Forest Service Proceedings RMRS, v. 5, p. 276-282, 2000.

PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS N. 1997. Remote sensing of burned areas: a review. In: Chuvieco, E.; Ed. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Alcalá de Henares. p. 127-183.

PEREIRA, L. E. et al. Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 2, p. 654-662, 2018.

RATTER, J.A., RIBEIRO, J.F., BRIDGEWATER, S., 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. Annals of Botany [Online] 80, 223-230.

REBELO, F., 1996. Florestas e grandes incêndios florestais no mundo. Territorium 3, 1-6.

RIBEIRO, J.F., WALTER, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In:

Sano, S.M. and Almeida, S.P., Eds., Cerrado: Ambiente e Flora, Embrapa-CPAC, Brasília, 89-166.

ROSAN, T. M; ALCÂNTARA, E. Detecção de áreas queimadas e severidade a partir do índice espectral ΔNBR . Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

ROUSE, J.W., JR., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, AND D.W. DEERING. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 1973. 93p.

ROUW, A. Effect of fire on soil, rice, weeds and forest regrowth in a rain forest zone (Côte d'Ivoire). Catena, v.22, n.2, p.133-152, 1994.

SANTOS, E.E. 2015. Uso da Geotecnologia na detecção e espacialização de queimadas no Estado de Minas Gerais. UFV, Viçosa.

SILVA, J.C., FIEDLER, N.C., RIBEIRO, G.A., SILVA JUNIOR, M.C., 2003. Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F., 2017. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 2. ed. Editores independentes, Curitiba, pp 255.

STEEL, Z.L., SAFFORD, H.D., VIERS, J.H., 2015. The fire frequency-severity

relationship and the legacy of fire suppression in California forests.
Ecosphere 6, 1-23.

SUNAR, F; ÖZKAN, C. Forest fire analysis with remote sensing data.
International Journal of Remote Sensing, London, v. 22, n. 12, p. 2265-
2277, 2001.

THOMÉ, Rogério. Interoperabilidade em geoprocessamento: conversão entre
modelos conceituais de sistemas de informação geográfica e comparação
com o padrão Open Gis. 1998.193 f. Dissertação (Mestrado em
Computação Aplicada) – Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto
Nacional de Pesquisa Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1998.

TURCO, M., JEREZ, S., AUGUSTO, S., TARÍN-CARRASCO, P., RATOLA, N.,
JIMÉNEZ-GUERRERO, P., TRIGO, R.M., 2019. Climate drivers of the
2017 devastating fires in Portugal. Scientific Reports, 9, 13886.

VAN MARLE, M.J.E., FIELD, R.D., VAN DER WERF G.R., ESTRADA DE WAGT,
I.A., HOUGHTON, R.A., RIZZO, L.V., ARTAXO, P., TSIGARIDIS, K.,
2017. Fire and deforestation dynamics in Amazonia (1973–2014).
Global Biogeochem Cycles 31, 24–38.

VETTORAZZI, C.A., FERRAZ, S.F.B., 1998. Uso de sistemas de informações
geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos
florestais. Série Técnica IPEF, Piracicaba 12, 111 – 115.

WADE, D.D.; LUNSFORD, J.D. A guide for prescribed fire in Southern forests.

Technical Publication, Atlanta, U.S.D.A. Forest Service, R8-TP11, 56p.,
1989.

ZUBKOVA, M., BOSCHETTI, L., ZUBKOVA, M., BOSCHETTI, L.,
ABATZOGLOU, J.T., & GIGLIO, L., 2019. Changes in fire activity in Africa
from 2002 to 2016 and their potential drivers. *Geophysical Research
Letters* 46, 7643–7653.