



**USO DO NDVI PARA ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA
VEGETAL DA RPPN DONA ARACY**

Laura Magalhães Ferri

Campo Grande

2024

**USO DO NDVI PARA ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA
VEGETAL DA RPPN DONA ARACY**

Laura Magalhães Ferri

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para aprovação final ao curso.

Orientador:

Prof; Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Coorientadora:

Profa MSc. Mayara Oliveira da Silva

Campo Grande, MS

2024

Para minha avó Melita pelas doses diárias de Biotônico Fontoura
que me trouxeram forte onde estou, e por honra à tua emoção
diante das minhas conquistas que forte assim me mantiveram.

AGRADECIMENTOS

Se torna desafiador agradecer quando sei que vivi o privilégio de crescer e me formar como pessoa com o cenário do amor e apoio ao meu redor.

Então, agradeço aos meus pais pelo amor incondicional, paciência, suporte infindável e transferência dos valores que me compõem e me preparam para a vida independente e à minha família pela torcida fervorosa.

Aos amigos mais próximos do coração, Leonardo, Karen, Joana e Marcela pela compreensão telepática e crença fiel em mim.

Aos amigos que a vida trouxe por todo incentivo e conversas sinceras e à Amanda pela sintonia no momento de vida, companheirismo e acolhimento.

Ao meu orientador Antonio Conceição Paranhos Filho pela orientação leve, paciente e sábia, aproveito para agradecer à rede de apoio, ensino e pesquisa que criou ao seu redor com base na ciência e companheirismo.

Ao mestre Ivo Leite Filho pelas oportunidades durante minha jornada acadêmica e pelo encorajamento confiante e amigo.

Aos professores, coordenadores e diretores que acreditam na formação acadêmica enriquecedora e compartilhamento de conhecimento mútuo, agradeço pela sabedoria e empatia.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO GERAL	11
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. ÁREA DE ESTUDO	13
4.1. Pantanal	14
4.2. Cerrado	14
5. MATERIAIS E MÉTODOS	16
5.1. Base de Dados	16
5.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	17
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
7. CONCLUSÃO	25
8. REFERÊNCIAS	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da RPPN Dona Aracy, entre os biomas Cerrado e Pantanal.	13
Figura 2 - Mapa de mesclagem das bandas 5, 6 e 4 do satélite da missão Landsat 8 OLI na RPPN Dona Aracy e entorno no ano de 2020.	14
Figura 3 - Mapa de classificação colorida em NDVI da RPPN Dona Aracy e zona de amortecimento de 10km no ano de 2020.	20
Figura 4 - Mapa de classificação colorida em NDVI da RPPN Dona Aracy e zona de amortecimento de 10km no ano de 2024.	22
Figura 5 - Mapa de mesclagem das bandas 5, 6 e 4 do satélite da missão Landsat 8 OLI na RPPN Dona Aracy e entorno no ano de 2024.	23
Figura 6 - Mapa de mesclagem das bandas 7, 6 e 3 do satélite da missão Landsat 8 OLI na RPPN Dona Aracy e entorno no ano de 2024.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos de NDVI na RPPN Dona Aracy e suas áreas correspondentes em 2020.	20
Tabela 2 - Intervalos de NDVI na RPPN e do entorno e suas áreas correspondentes em 2020.	21
Tabela 3 - Intervalos de NDVI na RPPN Dona Aracy e suas áreas correspondentes em 2024.	22
Tabela 4 - Intervalos de NDVI na RPPN e do entorno e suas áreas correspondentes em 2024.	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

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

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR - Bandas do Infravermelho Próximo

RED - Bandas do Vermelho

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SISLA - Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental

SR - Sensoriamento Remoto

SWIR - *Shortwave Infrared*, Infravermelho de Ondas Curtas

UC - Unidade de Conservação

RESUMO

A criação de Unidades de Conservação (UCs) é uma das principais ferramentas para preservar a biodiversidade e os serviços ambientais no Brasil, país que se destaca mundialmente por sua rica diversidade natural. Este estudo avaliou a eficácia conservacional da RPPN Dona Aracy, localizada entre os biomas Cerrado e Pantanal, por meio de uma análise multitemporal da cobertura vegetal nos anos de 2020 e 2024. Para a análise, foram utilizadas imagens de satélite da missão Landsat-8 OLI, com resolução espacial de 30 metros. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado a partir das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), utilizando o software QGIS (QGIS Development Team, 2024). O NDVI permitiu identificar diferentes classes de cobertura do solo, como água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea. A análise comparou as mudanças dentro da RPPN e em sua zona de amortecimento, delimitada em um raio de 10km ao redor da área protegida. Os resultados mostraram que, entre 2020 e 2024, a área interna da RPPN e seu entorno apresentaram diminuição significativa de indicação de vegetação rasteira e arbórea e aumento de solo exposto, além de apresentar grandes áreas de incêndio, indicando supressão vegetal proveniente de incêndio no entorno dos limites da unidade. Esses resultados destacam a importância das UCs para a recuperação da vegetação nativa e para a manutenção da biomassa, mesmo diante de pressões externas. O uso de geotecnologias, como o NDVI, mostrou-se fundamental para monitorar a dinâmica da vegetação e avaliar a eficiência das UCs. Assim, este estudo reforça a relevância da RPPN Dona Aracy como instrumento de conservação ambiental e destaca a necessidade de proteção adicional em sua zona de amortecimento para assegurar a preservação de ecossistemas vitais.

Palavras-Chave: Unidade de Conservação; Pantanal; Landsat

ABSTRACT

The creation of Conservation Units (CUs) is one of the main tools for preserving biodiversity and environmental services in Brazil, a country renowned for its rich natural diversity. This study assessed the conservation effectiveness of the RPPN Dona Aracy, located between the Cerrado and Pantanal biomes, through a multitemporal analysis of vegetation cover in 2020 and 2024. Satellite images from the Landsat-8 OLI mission, with a spatial resolution of 30 meters, were used. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated based on near-infrared (NIR) and red (RED) spectral bands using QGIS software (QGIS Development Team, 2024). The NDVI enabled the identification of distinct land cover classes, such as water, exposed soil, herbaceous vegetation, and arboreal vegetation. The analysis compared changes within the RPPN and its 10 km buffer zone. The results revealed that between 2020 and 2024, the internal area of the RPPN and its surroundings experienced a significant decrease in indicators of understory and tree vegetation, along with an increase in exposed soil, as well as large areas affected by fires, indicating vegetation suppression caused by fires around the boundaries of the protected area. These findings underscore the importance of CUs in promoting native vegetation recovery and biomass maintenance, even under external pressures. The use of geotechnologies, such as NDVI, proved essential for monitoring vegetation dynamics and evaluating CU effectiveness. This study reinforces the relevance of the RPPN Dona Aracy as a conservation tool and emphasizes the need for additional protection measures in its buffer zone to safeguard vital ecosystems.

Keywords: Conservation Unit; Pantanal; Landsat

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro abriga uma rica diversidade de seres vivos distribuídos em vários biomas, mas enfrenta degradação e conversão de sua biota em função de atividades econômicas e de infraestrutura (Drummond et al., 2010). A criação de Unidades de Conservação (UCs) garante a sobrevivência de espaços onde a biodiversidade e a evolução biológica ocorrem sem interferências humanas significativas (Pádua, 1997).

O Pantanal é um complexo de ecossistemas localizado no extremo oeste do Brasil, abrangendo áreas dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Atividades humanas de curto e longo prazo contribuíram para o aumento da frequência de incêndios no Pantanal, como o desmatamento, o uso inadequado do fogo, a falta de estratégias apropriadas de manejo da paisagem e o crescimento da demanda pelo fogo como ferramenta de gestão (Tomas et al., 2021). Como signatário da Convenção sobre Diversidade Biológica e das Metas de Aichi, o Brasil assumiu o compromisso de proteger, até 2020, pelo menos 17% de cada um de seus biomas terrestres (Brasil, 2017) porém atualmente, apenas 5% do território do Pantanal está protegido por Unidades de Conservação.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, uma das categorias de Unidades de Conservação são as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), áreas privadas de uso sustentável declaradas voluntariamente por seus proprietários (Brasil, 2012). Nessas unidades, é permitido realizar atividades voltadas à conservação da biodiversidade local, além de visitas com fins educacionais, pesquisas científicas, visitação pública com finalidade turística, recreativa e educacional (Sarcinelli et al., 2014).

Para acompanhar a eficiência das unidades de conservação, utilizam-se geotecnologias, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto (SR), que permitem o monitoramento de grandes áreas com imagens de satélite, otimizando a fiscalização e reduzindo os custos operacionais (Alvarenga Neto, 2009).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) se trata de um dos exemplos de geotecnologias que auxiliam no monitoramento ambiental, utiliza operações matemáticas entre bandas espectrais de imagens de satélite para realçar áreas vegetadas, permitindo mensurar quantitativa e qualitativamente as

mudanças na cobertura do solo (Melo et al., 2011; Paranhos Filho et al., 2021). No Pantanal, o NDVI é fundamental para monitorar como a vegetação responde durante os períodos de seca e enchentes (Gu et al., 2008; Alves et al., 2020).

O mapeamento da cobertura do solo é crucial para avaliar a eficácia das Unidades de Conservação, pois o uso inadequado do solo pode causar sérios danos ambientais, afetando tanto a integridade do solo quanto a qualidade da água (Silva, 2004). A análise do uso e cobertura do solo possibilita um planejamento e gestão mais racional e organizado das áreas ocupadas, além de permitir o monitoramento e a avaliação das zonas de vegetação nativa (Paniago et al., 2019). Logo, é fundamental adotar estratégias para preservar essas áreas pois, embora o Pantanal e o Cerrado apresentem diferenças, existe a importância de uma gestão ambiental integrada que envolva comunidades locais na conservação da biodiversidade.

Nesse contexto, a Unidade de Conservação RPPN Dona Aracy foi registrada pelo IBAMA/MMA e oficialmente instituída como RPPN — Reserva Particular do Patrimônio Natural — por meio da Portaria nº 35, publicada no Diário Oficial da União em 10 de março de 2004, protegendo uma área de 5.603,20 hectares (IMASUL, 2024).

Em 2020, o Pantanal brasileiro enfrentou o maior incêndio de sua história desde o início do monitoramento de focos de calor na região (Garcia et al., 2021). As chamas devastaram cerca de 40.000 km² do bioma, marcando um dos episódios mais graves já registrados no local (Libonati et al. 2020). As principais causas desses incêndios de alta intensidade decorrem de uma combinação de atividades humanas e mudanças climáticas (Leal Filho et al., Marques et al., 2021). As rápidas alterações no uso e na cobertura do solo (Martins et al., 2024), juntamente com projeções climáticas que indicam um bioma mais quente (Libonati et al. 2022), sugerem uma maior probabilidade de que ambientes florestais continuem vulneráveis a incêndios de alta intensidade no futuro.

Este estudo, realizado entre 2020 e 2024, visou analisar a eficácia da RPPN Dona Aracy diante do cenário de incêndios de grande escala no Pantanal nestes períodos. A unidade de conservação é notável por sua localização na zona de transição entre o Cerrado e o Pantanal, ressaltando sua relevância ambiental.

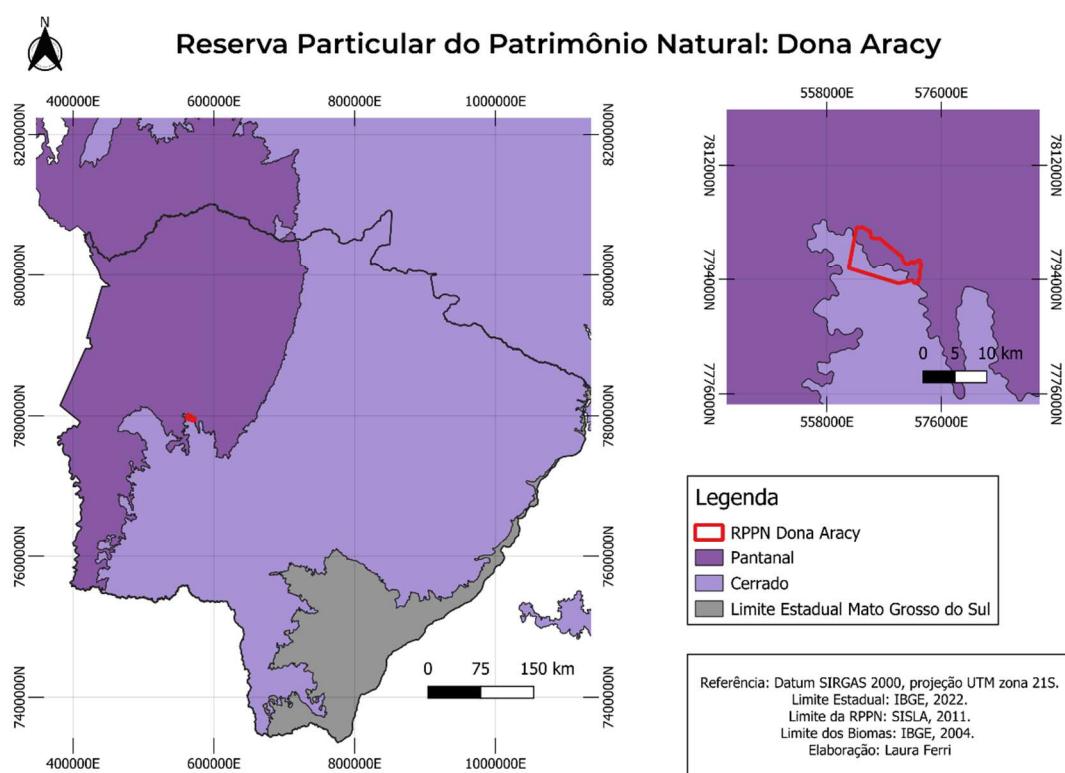
2. OBJETIVO

Avaliar a eficácia da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Dona Aracy através da análise multitemporal da cobertura vegetal ao longo dos anos de 2020 a 2024, a fim de localizar possíveis impactos incendiários.

3. ÁREA DE ESTUDO

A RPPN Dona Aracy foi criada no ano de 2004. Está localizada entre os municípios de Aquidauana e Miranda, no Mato Grosso do Sul (Figura 1). A reserva foi selecionada para este estudo por ser a única RPPN localizada na área de transição entre o Pantanal e o Cerrado, caracterizando-se como uma zona de tensão ecológica (ecótono), onde ocorre uma mistura de espécies vegetais das duas regiões.

Figura 1 - Mapa de localização da RPPN Dona Aracy, entre os biomas Cerrado e Pantanal.



A reserva ocupa uma área de 5.614,18 hectares, dos quais 2.307,02 hectares estão localizados no Cerrado e 3.307,16 hectares fazem parte do Pantanal Integrada à propriedade Estância Caiman, a área é utilizada para atividades de pecuária e ecoturismo, além de abrigar iniciativas ambientais como o Projeto Arara-Azul e o Projeto Papagaio-Verdadeiro. Segundo registros da Agência Nacional de Águas (ANA), a reserva situa-se na Bacia do Paraguai, especificamente na sub-bacia do Alto Paraguai.

Originária do desmembramento da tradicional Estância Caiman, a fazenda Caiman, onde se encontra a RPPN, tem cerca de 53 mil hectares e abriga uma pousada (ICMBio, 2022).

3.1. Pantanal

O Pantanal é reconhecido como uma das maiores áreas úmidas contínuas do mundo, sendo o complexo de menor extensão territorial no Brasil, com aproximadamente 150.355 km² e ocupando 1,76% do território nacional (IBGE, 2004). Apresenta índice pluviométrico de 1.110mm ao ano e clima quente na maior parte do ano, com temperatura média anual de 24°C, alcançando até 33°C no verão e cerca de 16°C no inverno, enquanto a umidade relativa do ar varia de aproximadamente 50% no inverno a 75% no verão, sendo este bioma uma planície aluvial influenciada pelos rios que drenam a Bacia do Alto Paraguai (Da Cunha et al., 2024).

A planície pantaneira é uma zona de convergência influenciada por cinco ecorregiões: Cerrado, Chaco, Mata Atlântica, Floresta Chiquitano e Floresta Amazônica. Sendo considerado uma área prioritária para serviços ecossistêmicos, biodiversidade e modos de vida adaptados às suas condições ecológicas (Bolzan et al., 2022; Tomas et al., 2019).

Sendo o Pantanal uma das maiores áreas alagáveis do mundo, sua relevância ecológica deve-se, entre outros fatores, às características geomorfológicas da região, que regulam o regime de inundações, processo que promove a formação de diversos habitats e nichos ecológicos, contribuindo para a rica biodiversidade local (Mercante et al., 2009).

3.2. Cerrado

Sendo o bioma Cerrado o segundo maior do Brasil, cobrindo cerca de 2.036.448 km², equivalente a 22% do território nacional, se estende por vários estados do Brasil central (Brasil, 2018). Bioma de clima tropical semi-úmido, com precipitação variando em média de 750 a 2.000 mm por ano, embora na maior parte do ano ocorram chuvas entre 1.100 e 1.600 mm (ICMBio, 2018).

Apresentando duas estações bem definidas, ou seja, verões quentes e chuvosos e invernos secos, com a ocorrência dos chamados veranicos durante a estação chuvosa, caracterizados por períodos de ausência de chuva (Ribeiro.; Walter, 1998). Essa área desempenha um papel crucial na recarga hídrica do país, pois abriga as nascentes de rios significativos, beneficiando oito das doze principais bacias hidrográficas nacionais (Bandeira & Campos, 2018).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Base de Dados

Foram utilizadas imagens de satélite do Landsat 8 OLI, *Collection 2, Level 2*, órbita/ponto 226/074, com resolução espacial de 30 metros. As imagens de processamento *Level 2* já incluem correções para corrigir interferências atmosféricas (USGS, 2020/2024). Foram selecionadas duas imagens, referentes aos anos de 2020 e 2024, a fim de dar continuidade em uma análise multitemporal feita anteriormente para os anos de 2003 e 2017, tendo esta indicado a eficácia da RPPN considerando análise de cobertura vegetal antes da criação da Unidade de Conservação em comparação com 13 anos depois (Bastos et al., 2020). Assim, para esta análise, foi escolhida uma imagem que representa as características da área e de seu entorno nos anos recentes, refletindo o estado atual de preservação da Reserva e possíveis impactos dos extensos incêndios ocorridos no Pantanal nos anos referentes.

As imagens selecionadas foram capturadas em 4 de agosto de 2020 e 31 de agosto de 2024 e um dos critérios de seleção foi a ausência de nuvens sobre a RPPN e seu entorno. A seleção das datas das imagens para a análise considerou a estação climática da região, escolhendo o período de seca. Isso ocorre porque, durante a estação chuvosa, a supersaturação do solo resultante de enchentes e chuvas intensas pode interferir nos resultados das análises das imagens. (Silva et al., 2008). Além disso, no período de seca há maior diferenciação do NDVI entre as fitofisionomias, considerando que em períodos chuvosos há uma tendência à saturação.

Para o processamento das imagens, foram utilizadas as bandas de 5 (Infravermelho próximo), 6 (Infravermelho de ondas curtas 1), 4 (Vermelho) e 7 (Infravermelho de ondas curtas 2), 6 (Infravermelho de ondas curtas 1), 3 (Verde), que foram combinadas em camadas raster no QGIS 3.34.11 (QGIS Development Team, 2024). A camada raster foi salva na projeção UTM 21S - EPSG: 31981, com *datum SIRGAS 2000*.

Posteriormente, foi realizada uma composição em falsa cor 564, essa composição permitiu a fotointerpretação, o que possibilitou a coleta de amostras. Além disso, para ampliar a análise, foi utilizada outra composição, a 763, para o ano de 2024, escolha justificada pela necessidade de identificar áreas de

queimadas. A partir dessas imagens, foi feito um recorte da área da RPPN de perímetro obtido pelo Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA), e calculou-se o NDVI para cada imagem dos anos de 2020 e 2024, usando a calculadora raster do QGIS 3.34.11 (QGIS.org, 2024). A área ao redor foi delimitada com base nos limites da órbita/ponto 226/074, e amostras dentro desse limite foram usadas para calcular o NDVI nas duas datas.

A partir da fotointerpretação da composição gerada pela mesclagem de bandas em falsa-cor RGB 564, foram coletadas as amostras vetoriais correspondentes a cada classe com base no arquivo ‘Áreas de Treinamento’ (Dualibi et al., 2022) e ‘Tutorial NDVI’ (Paranhos et al, 2004).

4.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) é representado pelo cálculo da diferença entre as reflectâncias das bandas, conforme a equação 1 (Rouse et al., 1973).

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (\text{Equação 1})$$

O NDVI é calculado a partir da reflectância no infravermelho próximo (NIR) e no vermelho (R), ele é um indicador do vigor da vegetação e da densidade de cobertura verde, com valores que variam de -1 a 1 e valores mais elevados indicam vegetação mais vigorosa, enquanto valores próximos a -1 sinalizam ausência de vegetação e a presença de corpos hídricos. (Rouse et al., 1973). Para alvos terrestres, o NDVI varia entre um limite inferior próximo de zero (0) e um limite superior em torno de 0,80, essa métrica é empregada para reduzir as influências do solo, da atmosfera e as variações no ângulo solar (Holben, 1986; Justice et al., 1985; Rouse et al., 1973).

Ao iniciar o processo de amostragem foi utilizada a ferramenta ‘Recortar raster pela camada de máscara’ para realizar o recorte das amostras no NDVI, gerando um arquivo raster das amostras, e, na propriedade de cada amostra, foram coletados os valores mínimo, máximo e médio. Os intervalos dessas quatro classes foram determinados a partir de cinco amostras de cada classe, utilizando o menor valor das amostras como limite mínimo e o maior valor como limite máximo do intervalo. Para verificar a existência de amostras discrepantes, os valores foram organizados em uma tabela. Em seguida, foram estabelecidos os limites entre as

classes. Feito esses recortes calculou-se o NDVI das amostras através de uma tabela com os intervalos obtidos de cada amostra e obteve-se um intervalo correspondente para cada classe. Nas imagens foram encontradas amostras referentes às quatro classes no entorno da unidade. A área dessas classes foi determinada pela ferramenta ‘Reclassificar por tabela’ para reclassificação dos intervalos obtidos pela tabela de amostragens e ‘Reporta camada raster de valor único’ que gerou os valores das áreas de acordo com as classes reclassificadas dos mapas em NDVI, com isso, pode-se fazer uma análise comparando os dados de área das duas datas.

Para a criação dos mapas de cobertura do solo da RPPN e de sua área de entorno, foram estabelecidos quatro intervalos de valores de NDVI, correspondentes a quatro classes: água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea. Essa classificação foi adotada para evidenciar a variação espacial na área de estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cálculo do NDVI das imagens de 2020 e 2024, foram observadas diferenças entre os valores de NDVI tanto no interior da RPPN quanto em seu entorno. Em 2020, na classificação do NDVI a região interna da RPPN apresentou predominância da coloração verde escuro, no intervalo indicado de NDVI entre 0,2909 e 0,539, cobrindo uma área de 3966,75 ha, correspondendo à vegetação arbórea (Figura 3, Tabela 1).

Na região central e superior do interior da RPPN, foram identificados pixels de coloração verde claro, correspondentes a valores de NDVI de 0,175 a 0,2909, associados a amostras de vegetação rasteira (Figura 3), em uma área de 15,12 ha (Tabela 1). No entorno da Reserva Dona Aracy, na região do Pantanal, ao norte do limite da reserva, predominou a vegetação rasteira. Ainda na região do Pantanal, a oeste, foi observado um equilíbrio entre pixels de cor verde escuro e verde claro (Figura 3) representando as classes de vegetação arbórea e rasteira, respectivamente. O intervalo de NDVI entre 0,2909 e 0,539 reflete vegetação bem desenvolvida, com alto índice fotossintético captado pelas bandas infravermelho próximo e vermelha, com destaque avermelhado em composição falsa-cor RGB 564 (Figura 2).

No Cerrado do entorno, à esquerda, próximo ao limite da RPPN, também se observou um alto valor de NDVI, indicado por pixels verde escuro. Já ao sul da região do Cerrado, foram identificadas manchas regulares de pixels verde claro, possivelmente representando áreas de pastagem ou agricultura (Figura 3). Foi registrada uma área na extremidade do canto direito do limite da RPPN de coloração azul escuro, com valores de NDVI entre -0,0057 e 0,045, o que pode indicar uma área úmida ou lagoa, considerando que esses valores estão entre os intervalos das classes de água e solo exposto e uma quantidade de pixels imperceptível pelo mapa dessa classe também foram identificados no interior da RPPN (Figura 3).

Na classificação da imagem de 2020, as amostras de solo exposto, com valores de NDVI entre 0,045 e 0,175, foram encontradas em áreas pequenas espalhadas pelo entorno da RPPN, representadas pela coloração laranja, totalizando 349,02 ha, e em alguns pixels no interior da RPPN, totalizando 4,14 ha

(Figura 2). As classes utilizadas para a classificação do NDVI foram: Água, Solo Exposto, Vegetação Rasteira e Vegetação Arbórea.

O intervalo não classificado foi de -0,0057 a 0,045 (entre água e vegetação rasteira). Foi calculada a área de cada intervalo para verificar a composição da cobertura vegetal (Tabela 1). No interior da RPPN, não foi detectada a presença de água, mas no entorno foi registrada uma área de 40,68 ha de presença de água.

Figura 2 - Imagem Landsat 8 (OLI) em RGB 564 na RPPN Dona Aracy e entorno no ano de 2020.

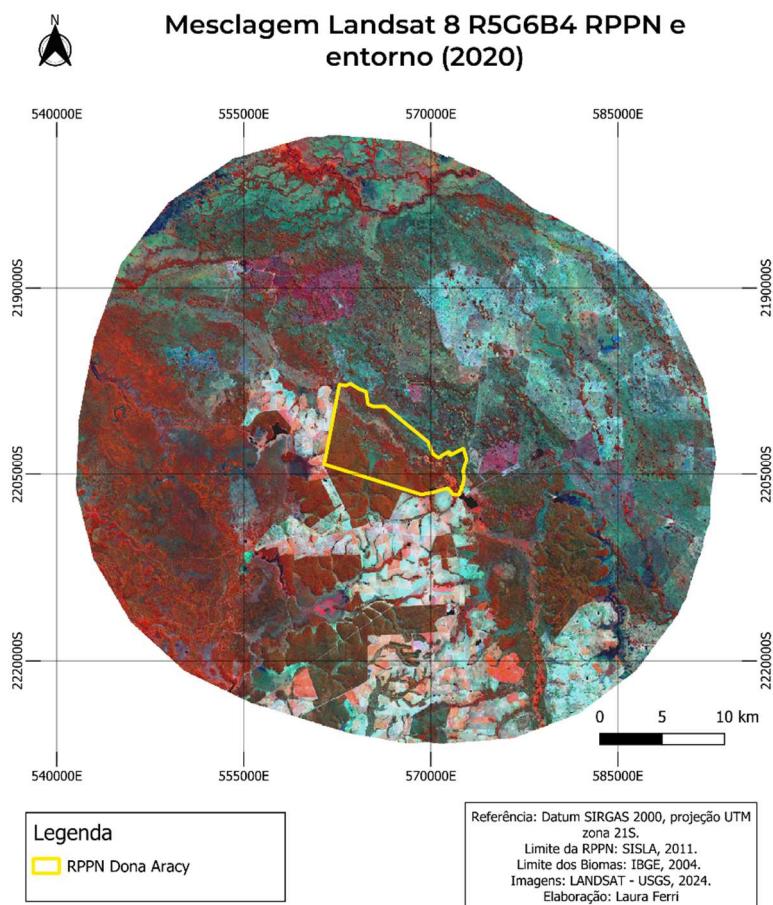


Figura 3 - Mapa de classificação colorida em NDVI da RPPN Dona Aracy e zona de amortecimento de 10km no ano de 2020.

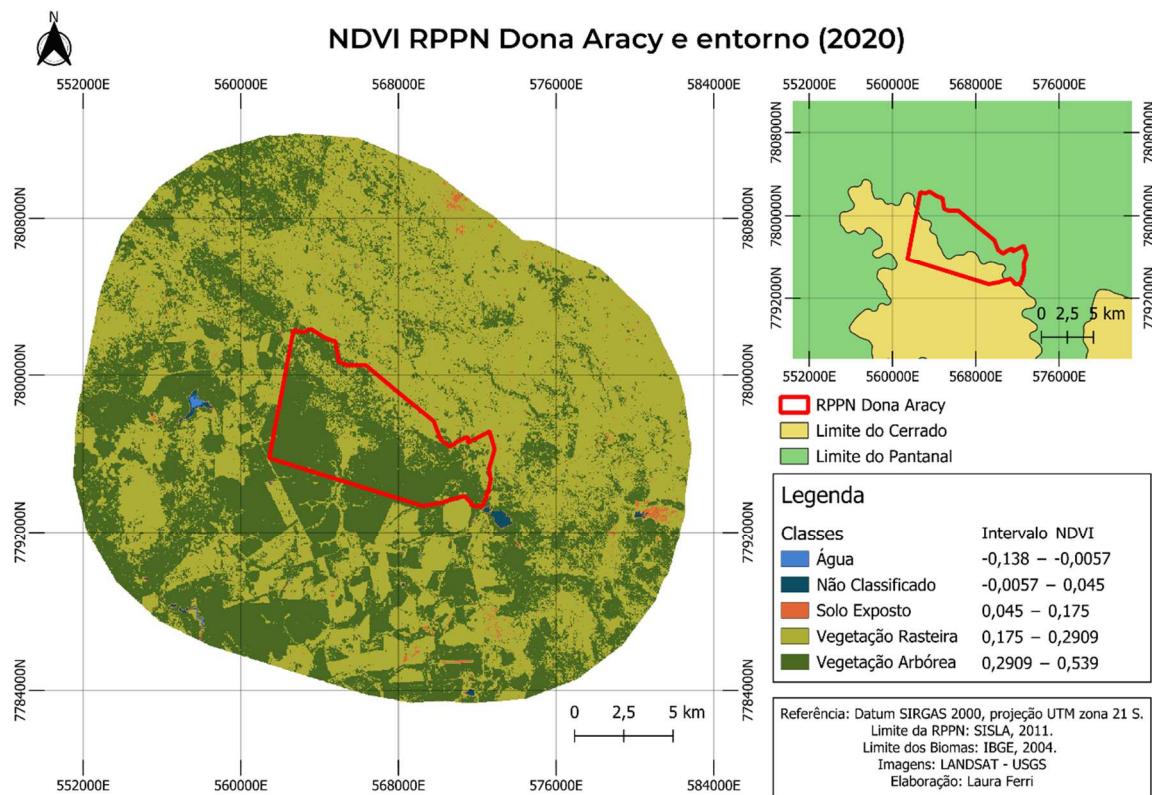


Tabela 1 - Intervalos de NDVI na RPPN Dona Aracy e suas áreas correspondentes em 2020.

Classe	Intervalo NDVI	Área (ha)
Água	-0,138 – -0,0057	-
Não Classificado	-0,0057 – 0,045	0,09
Solo Exposto	0,045 – 0,175	4,14
Vegetação Rasteira	0,175 – 0,2909	1638,72
Vegetação Arbórea	0,2909 – 0,539	3966,75

Tabela 2 - Intervalos de NDVI na RPPN e do entorno e suas áreas correspondentes em 2020.

Classe	Intervalo NDVI	Área (ha)
Água	-0,138 – -0,0057	40,68
Não Classificado	-0,0057 – 0,045	163,71
Solo Exposto	0,045 – 0,175	349,02
Vegetação Rasteira	0,175 – 0,2909	39814,02
Vegetação Arbórea	0,2909 – 0,539	29651,04

Na análise do NDVI da imagem coletada em agosto de 2024, observa-se a predominância da coloração laranja tanto no interior da RPPN quanto em seu entorno (Figura 4), o que normalmente indicaria a presença de solo exposto. Dentro dos limites da RPPN, a área identificada como solo exposto corresponde a 4.208,4 ha, enquanto no entorno esse valor chega a 45.902,52 ha (Tabelas 3 e 4).

Este resultado contrastado ao de 2020 para uma análise de cobertura vegetal de uma Unidade de Conservação, motivou uma investigação mais detalhada. Realizou-se a análise da mesclagem de bandas utilizada na fotointerpretação, especificamente a composição RGB 564, e foi identificada uma mancha de coloração verde-azulada escura ao redor da RPPN, predominante ao norte da área (Figura 5). Este efeito sugeriu que o solo exposto, indicado pela coloração laranja na classificação do NDVI, poderia ser um reflexo de focos de calor provenientes de queimadas na região do Pantanal (Figura 4). Para embasar melhor essa hipótese, foi realizada uma nova mesclagem utilizando a composição RGB 763, com as bandas 7 (Infravermelho de ondas curtas 2), 6 (Infravermelho de ondas curtas 1) e 3 (Verde) do satélite Landsat 8. O resultado dessa mesclagem revelou manchas arroxeadas na região (Figura 6), evidenciando as cicatrizes de incêndio e, assim, corroborando a hipótese de que o solo exposto identificado no NDVI é, na realidade, um indicativo de áreas afetadas pelo fogo.

Adicionalmente, o intervalo entre os valores de NDVI que correspondem a água e solo exposto/queimada (0,0454 a 0,1402) apresentou áreas significativas no entorno da RPPN, totalizando 3.871,89 ha (Tabela 4). O intervalo da classe de vegetação rasteira (0,1402 a 0,251) também exibiu uma área considerável, com 19.473,39 ha no entorno e 1.205,82 ha no interior da RPPN (Tabela 4). Já a vegetação arbórea, representada no intervalo de 0,251 a 0,4744, apresentou apenas 764,01 ha no entorno e 111,6 ha no interior da RPPN, evidenciando uma significativa redução na área coberta por vegetação arbóreo-arbustiva após os eventos de incêndio.

Figura 4 - Mapa de classificação colorida em NDVI da RPPN Dona Aracy e zona de amortecimento de 10km no ano de 2024.

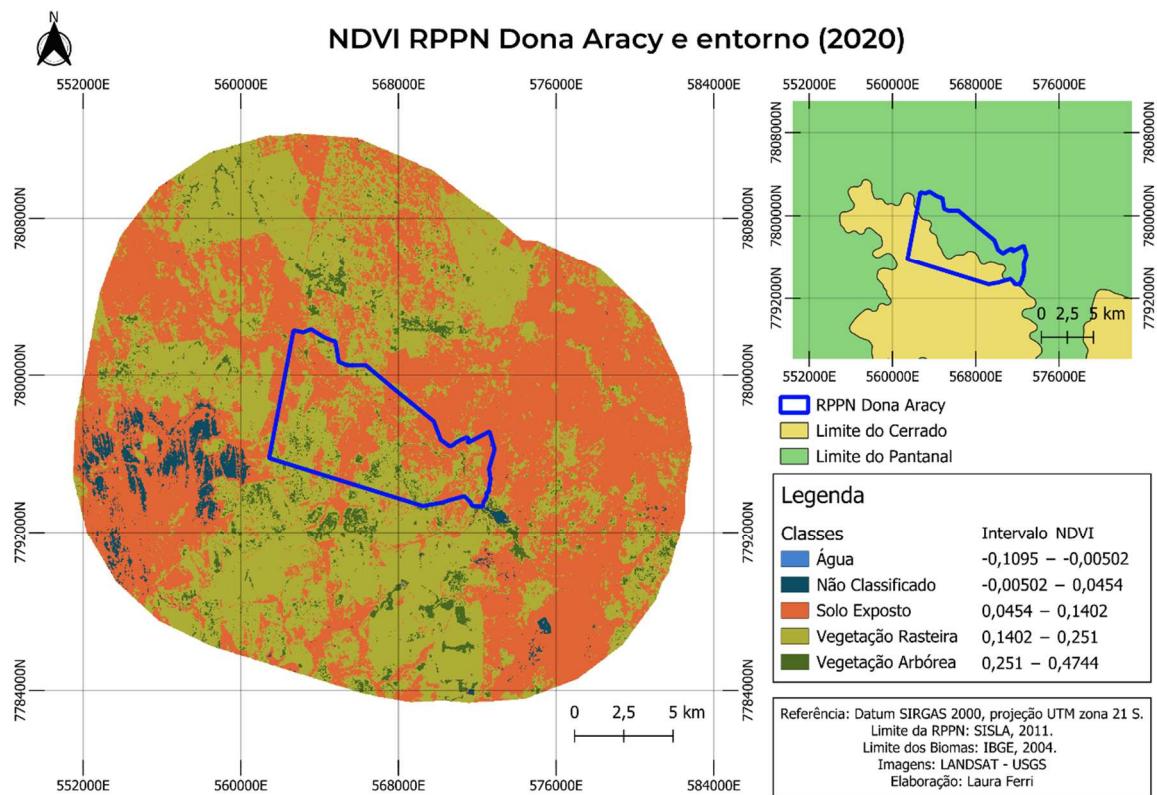


Tabela 3 - Intervalos de NDVI na RPPN Dona Aracy e suas áreas correspondentes em 2024.

Classe	Intervalo NDVI	Área (ha)
Água	-0,1095 – -0,00502	-
Não Classificado	-0,00502 – 0,0454	2,34
Solo Exposto e Incêndios	0,0454 – 0,1402	2737,71
Vegetação Rasteira	0,1402 – 0,251	2628,51
Vegetação Arbórea	0,251 – 0,4744	229,22

Tabela 4 - Intervalos de NDVI na RPPN e do entorno e suas áreas correspondentes em 2024.

Classe	Intervalo NDVI	Área (ha)
Água	-0,1095 – -0,00502	1,71
Não Classificado	-0,00502 – 0,0454	1458
Solo Exposto e Incêndios	0,0454 – 0,1402	34741,49
Vegetação Rasteira	0,1402 – 0,251	31408,33
Vegetação Arbórea	0,251 – 0,4744	2427,36

Figura 4 - Imagem Landsat 8 (OLI) em RGB 564 na RPPN Dona Aracy e entorno no ano de 2024.

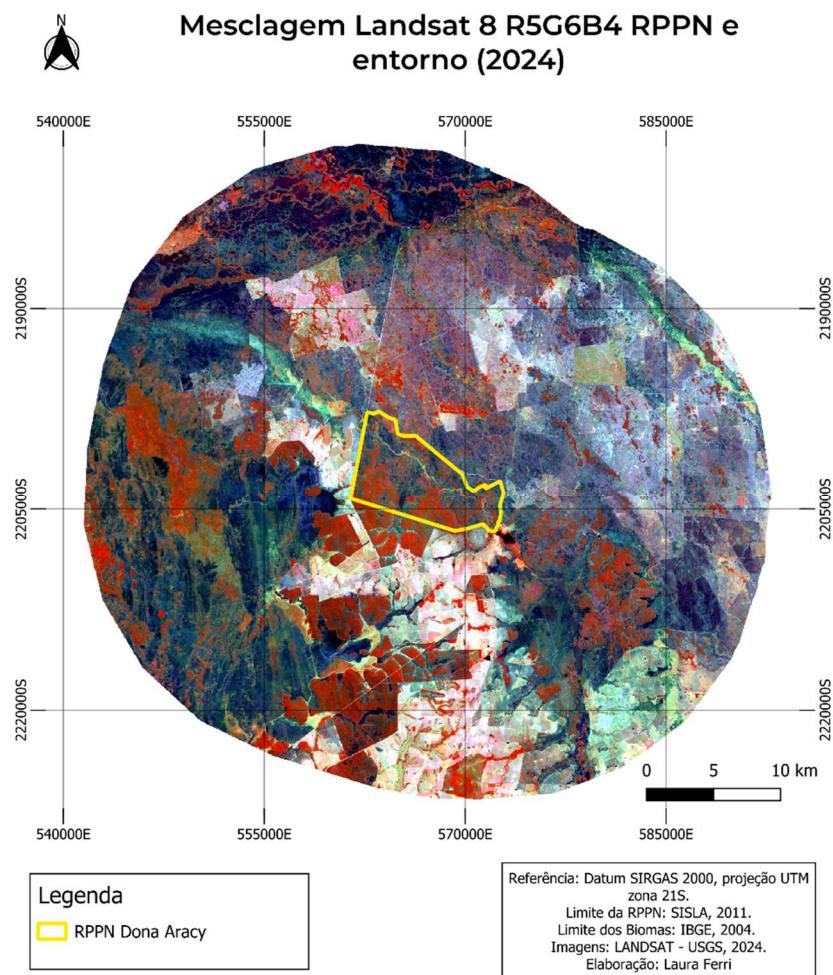
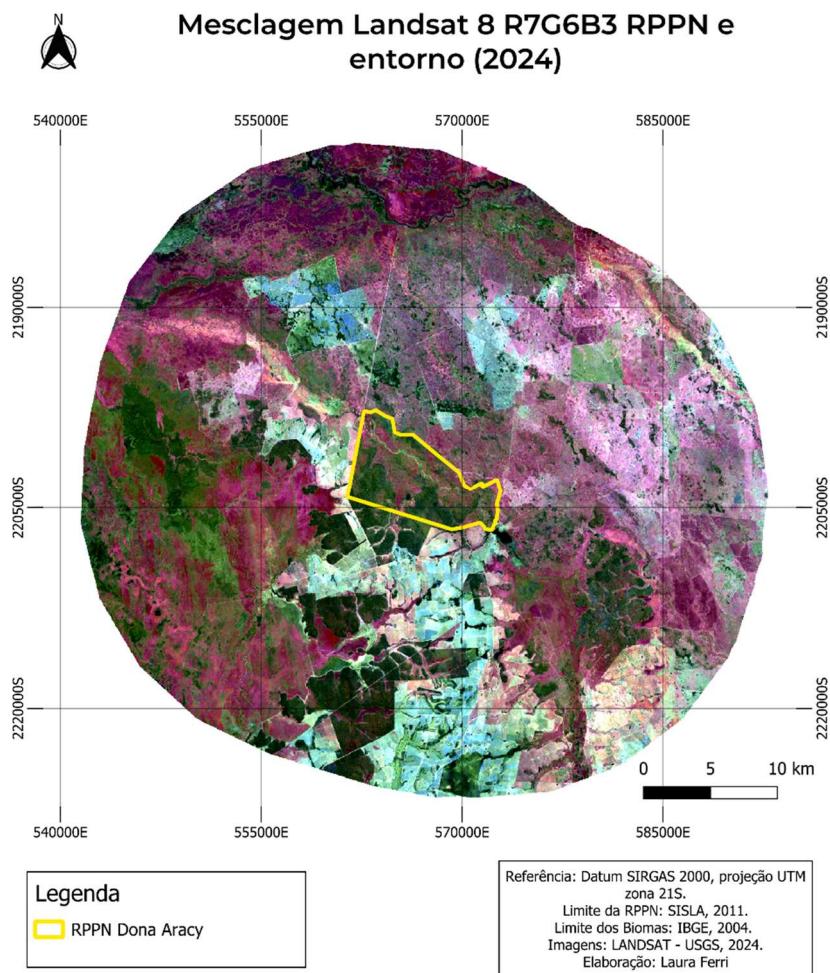


Figura 5 - Imagem Landsat 8 (OLI) em RGB 763 na RPPN Dona Aracy e entorno no ano de 2024.



É importante considerar que o NDVI se baseia na refletância da luz em diferentes comprimentos de onda, especialmente no vermelho (RED) e no infravermelho próximo (NIR), que são sensíveis à presença e à saúde da vegetação, devido à clorofila ativa. Portanto, pode-se inferir que os resultados observados nas fotointerpretações de 2024 refletem os impactos do fogo sobre a vegetação arbórea presente tanto na RPPN quanto em seu entorno, resultando em valores de NDVI que representam solo exposto, além de cicatrizes de queimada, já que essas áreas apresentam vegetação com saúde comprometida ou ausente.

6. CONCLUSÃO

Em síntese, no ano de 2020, a RPPN Dona Aracy e sua área de entorno apresentaram uma cobertura vegetal bem definida, com vegetação rasteira e arbórea em bom estado de conservação, mesmo diante do cenário incendiário documentado no Pantanal. Contudo, os resultados obtidos em 2024 indicam uma alteração significativa, com grande área de solo exposto e evidências de incêndio, além de uma redução expressiva da vegetação. Esses dados sugerem que a região enfrentou um processo de supressão vegetal que comprometeu a eficácia da Unidade de Conservação e sua função de preservação ambiental.

Este cenário reforça a necessidade de implementar políticas públicas voltadas à prevenção, fiscalização e recuperação ambiental. Isso inclui fortalecer sistemas de monitoramento e alerta, aumentar a fiscalização e aplicar sanções rigorosas contra queimadas ilegais. Além disso, é crucial promover a restauração de áreas degradadas, garantir a proteção de unidades de conservação para que cumpram seu papel na preservação dos ecossistemas e na mitigação dos impactos ambientais a longo prazo, além de envolver as comunidades locais em ações de manejo sustentável. Investir em pesquisa científica e cooperação interinstitucional também são alternativas para buscar a preservação do bioma e mitigar os impactos ambientais a longo prazo.

Por fim, é válido salientar que, além do NDVI, outros índices de monitoramento da cobertura vegetal podem ser adotados, como forma de agregar comparações analíticas dos métodos de análise das mudanças no bioma que considerem diferentes aspectos da vegetação e do ambiente.

7. REFERÊNCIAS

- Alvarenga Neto, I. 2009. Uso de Ferramentas de SIG e Sensoriamento Remoto para o monitoramento do desmatamento em Unidades de Conservação: Estudo de caso da Floresta Nacional do Bom Futuro-RO. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia, Dissertação de Mestrado.
- Alves, G. B. M.; Loverde-Oliveira, S. M. 2020. Uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Distribuição e Vigor da Vegetação no Pantanal Norte. *Geografia (Londrina)*, v.29, n. 1, p. 175-190.
- Associação de Proprietários de Reservas Particulares do Mato Grosso do Sul – REPAMS & WWF, Brasil. 2016. RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural: a história da conservação em terras particulares no Mato Grosso do Sul. Campo Grande 33p. Disponível em https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/publicacao_wwf_repams_final_2017_1.pdf
- Bandeira, M. N.; Campos, F. I.. 2018. Bioma Cerrado: Relevância no Cenário Hídrico Brasileiro. IX Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente. Disponível em: <https://anais.unievangelica.edu.br/index.php/CIPEEX/article/view/3093>
- Bastos, J. A.; Paranhos A. C.; Encina C.C.. 2020. Efetividade de conservação de área protegida em região de tensão ecológica. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Campo Grande.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente. 2012. Unidades de conservação. Disponível em <http://www.mma.gov.br>
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente. 2017. Convenção Sobre Diversidade Biológica. Disponível em https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/convencao-sobre-diversidade-biologica/epanb_port.pdf
- Brancalion, P.H.S.; Garcia, L.C.; Loyola, R.; Rodrigues, R.R.; Pillar, V.D. & Lewinsohn, T.M. 2016. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação*.
- Bolzan, FP, Pereira, GM, Tomas, WM, Lourival, R., Sabino, J., Souza, FL, Valente-Neto, F., Chiaravalloti, RM, Garcia, LC, Guerra, A., Nicola, RD, Garcia, A. S., Fernandes, JFA, Santos, CC, Scurf, MC, Martins, PI, Bernardino, C., & Roque, F. O. 2022. Valor monetário dos serviços ecossistêmicos do Pantanal e seu entorno: Primeiro aproximações e perspectivas. Em G. A. Damasceno-Júnior & A. Pott (Eds.), *Flora e Vegetação do Pantanal* (pp. 767–783).
- Da Cunha, Pott, C.; Pott, A.; Kantek, V.; Araujo, D.; Arruda, J.; Aragona, E.; Irigaray, M.; Braum, C.; Loverde-Oliveira, A.; Tomas, S.; Irion, W.; Roque, G.; Silva, F.; Urbanetz, A.; Junk, C.; Wolfgang. (2024). Bioma Pantanal: Status do Conhecimento Científico, Tipologias de Macro-Hábitats e Recomendações para seu Uso Sustentável. Capítulo 9. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/385243956_BIOMA_PANTANAL_Status_do_Conhecimento_Cientifico_Tipologias_de_Macro-Habitats_e_Recomendacoes_para_seu_Uso_Sustentavel_Capitulo_9

Drummond, J.A.; Franco, J.L.A. & Oliveira, D. 2010. Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil. In: GANEM, Roseli Senna (Org.). Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas. Série Memória e Análise de Leis. n. 02, Brasília, Editora Câmara, p. 341- 387.

Disponível em:

[303538670_Uma_Analise_sobre_a_Historia_e_a_Situacao_das_Unidades_de_Conservacao_no_Brasil](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016748891000022X)

Dualibi, G.; Oliveira, J.; Bentos, I. F.; Mioto, C. L.. 2022. Tutorial: Análise da Cobertura Vegetal. Disponível em: <https://doi.org/10.15324/40277872>

Garcia L.C., Szabo J.K., Roque F. O., Pereira A de MM, da Cunha CN, Damasceno-Júnior GA. 2021. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *J Environ Manage.*; 293: 112870.

Holben, B. N, 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2004. Mapa de Biomas e de Vegetação. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtml>

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), 2018. Biodiversidade do Cerrado. <https://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html#:~:text=Assim%20como%20ocorre%20nos%20outros,e%201600%20mm%20por%20ano.>

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). 2022. RPPN Dona Aracy Estância Caiman. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/pantanal/lista-de-ucs/rppn-dona-aracy-estancia-caiman/PM_RPPN_Dona_Aracy_Atualizado_13_10_22.pdf

Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), 2024. Reserva Particular do Patrimônio Cultural. RPPN. Disponível em:
<https://www.imasul.ms.gov.br/conservacao-ambiental-3/reserva-particular-do-patrimonio-natural-rppn/>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:
<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>

Irigaray, C.T.J.H. 2015. Áreas Úmidas Especialmente "Des" Protegidas no Direito Brasileiro: O Caso do Pantanal Mato-grossense e os Desafios e Perspectivas para sua Conservação. *Revista de Estudos Sociais*, 17(34): 203-225.

Justice, C.O.; Townshend, J.R.G.; Holben, B.N.; Tucker, C.J.. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing.*, v. 6, p. 1271- 1318.

- Leal Filho W, Azeiteiro UM, Salvia AL, Fritzen B, Libonati R. 2021. Fire in paradise: why the pantanal is burning. *Environmental Science & Policy*, v. 123, n.1, p. 31-34.
- Libonati R, Geirinhas JL, Silva PS, Russo A, Rodrigues JA, Belém et al. 2022. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. *Environmental Research Letters*. 17(1), 015005.
- Libonati R., DaCamara C.C., Peres L.F., Sander de Carvalho L.A., Garcia L.C.. 2020. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*. 588: 217-9.
- Marques JF, Alves MB, Silveira CF, Silva AA, Silva TA et al. 2021. Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of anthropogenic activities and climate change. *Journal of Environmental Management* [online] 2021. 299p.
- Martins PI, Belém LBC, Peluso L, Szabo JK, Trindade WF et al. 2024. Priority Areas for Integrated Fire Management and Ecological Restoration in the Upper Paraguay River Basin (Brazil) Based on Distributions of Fire-Sensitive and Threatened Plant Species.
- Melo, E.T.; Sales, M.C.L.; Oliveira, J.G.B, 2011. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microrregião Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús - Ce. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, v. 23, p. 520-533. Disponível em:
<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919>.
- Mercante, M. A.; Santos, E. T.. 2009. Avulsões no Pantanal: dimensões naturais e sociais no rio Taquari. *Soc. nat. (Online)*, Uberlândia, v. 21, n. 3. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132009000300011&lng=en&nrm=iso
- Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2018. Cadastro nacional de unidades de conservação – unidades de conservação por bioma. Disponível em:
<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/areas-protegidas/plataforma-cnuc-1>
- Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2018. O Bioma Cerrado. Disponível em:
<https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html>
- Nunes, A.P. & W.M. Tomás. 2004. Aves migratórias ocorrentes no Pantanal: caracterização e conservação. In: Documentos Embrapa Pantanal, 62: 1-29.
- Padovani, C. R.; Cruz, M. L. L. Padovani, S. L. A. G.. 2004. Corumbá. Desmatamento do Pantanal Brasileiro para o ano 2000. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, 4. Anais Corumbá: Sistema de Monitoramento e Proteção Ambiental do Pantanal (SIMPAN). p. 1-7.
- Pádua, M. T. J.. 1997. Curitiba. Sistema brasileiro de unidades de conservação: de onde viemos e para onde vamos? In: Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, 1. Anais... Curitiba: IAP; Unilivre; Rede Nacional Pró Unidades de Conservação, 1997. v. 1
- Paniago, V.R.C.; Oliveira, W.N.; Ribeiro, H.J.; Pereira, T.S.R. & Ferreira, G.C.V. 2019. Análise da cobertura do solo em áreas de preservação permanente (APP)

no Ribeirão Grimpas no Município de Hidrolândia-GO. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, Santos, 2019. Resumos expandidos, Santos, INPE, p. 1043-1046.

Paranhos Filho, A.C.. 2004. *Áreas de Treinamento*.

Paranhos Filho, A.C.; Catalani, T.G.T.; Marcato Junior, J.; Pessi, D.D. Resolução. In: Paranhos Filho, A.C.; Mioto, C.L.; Pessi, D.D.; Gamarra, R.M.; Silva, N.M.; Ribeiro, J.R. (org.). 2021. Geotecnologias em Aplicações Ambientais. Maringá, PR: Uniedusul. p. 25-60. ISBN 978-65-86010-62-6.

QGIS Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/554094>

R, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: Proceedings of The Third ErtS Symposium, SP-351 Goddard Space Flight Center: NASA. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>

Sarcinelli, O.; Fasiaben, M.C.R.; Maia, A.G.; Chiodi, R.E.; Andrade, D.C.; Uezu, A.; Puga, B.P. & Angelo, J.A.. 2014. Private costs on water conservation: Study case at Cantareira-Mantiqueira Corridor Region. In: International Conference on policy mix in environmental and conservation policies, Leipzig, 2014.

Silva, A.M.. 2004. Análise da cobertura do solo da área de entorno de três unidades de conservação localizadas no estado de São Paulo. Holos Enviroment, 4(2): 130-144.

Silva, F.A M.; Assad, E.D. & Evangelista, B.A.. 2008. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. (ed.). Cerrado: ecologia e flora. EMBRAPA, p. 69-88

Souza, L.F.; Encina, C.C.C.; Pessi, D.D.; Mioto, C.L.; Paranhos Filho, A.C.. 2021. Um olhar sobre a conservação do Pantanal, Análise de efetividade de unidade de conservação na preservação ambiental através do uso de índice de vegetação: 40-52. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353644075_ANALISE_DE_EFETIVIDADE_DE_UNIDADE_DE_CONSERVACAO_NA_PRESERVACAO_AMBIENTAL_ATRAVES_DO_USO_DE_INDICE_DE_VEGETACAO

Spera, S.A.; Galford, G.L.; Coe, M.T.; Macedo, M.N. & Mustard, J.F. 2016. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. Global change biology, 22(10): 3405-3413.

Tomas, W.M., Roque, F.O., Morato, R.G., Medici, P.E., Chiaravalloti, R. M., Tortato, F. R., Penha, J., Izzo, T.J., Garcia, L. C., Lourival, R. F. F., Girard, P., Albuquerque, N. R., Almeida-Gomes, M., Andrade, M.H.S., Araujo, F.A.S., Araujo, A. C., Arruda, E. C., Assunção, V. A., Battirola, L. D., Junk, W. J.. 2019. Sustainability agenda for the Pantanal wetland: Perspectives on a collaborative interface for science, policy, and decision-making. Tropical Conservation Science, 12. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/344433673_Sustainability_Agenda_for_the_Pantanal_Wetland_Perspectives_on_a_Collaborative_Interface_for_Science_Policy_and_Decision-Making/citations

Tomas W.M., Berlinck C.N., Chiaravalloti R.M., Faggioni G.P., Strussmann C., Libonati R., Abrahão C.R., do Valle Alvarenga G, de Faria Bacellar A.E., de Queiroz Batista F.R., Bornato T.S., Brasil. 2021. Counting the dead: 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal Wetland.

United States Geological Survey (USGS), 2020. Disponível em:
<https://www.usgs.gov/>

United States Geological Survey (USGS), 2024. Disponível em:
<https://www.usgs.gov/>

Vieira, R.R.S.; Ribeiro, B.R.; Resende, F.M.; Brum, F.T.; Machado, N.; Sales, L.P. & Loyola, R. 2018. Compliance to Brazil's Forest Code will not protect biodiversity and ecosystem services. *Diversity and Distributions*, 24(4): 434- 438.