

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico
Mendes de Conservação da Biodiversidade PIBIC/ICMBio**



Relatório de Acompanhamento
(Ciclo 2023-2024)

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DOS CAMPOS LIMPOS ÚMIDOS NO
PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO:
INVENTÁRIO, IMPACTOS ANTRÓPICOS E MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO.**

Nome do(a) estudante de IC: Jaqueline da Silva Freitas

Orientador(a): Dra. Suelma Ribeiro Silva

Coorientador(a): Prof. Dr. Jepherson Correia Sales

Instituição do coorientador: Universidade Federal de Rondonópolis

Rondonópolis-MT
Set/2024

Resumo

O presente estudo explora os campos limpos úmidos do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG), localizado no Bioma Cerrado reconhecido por sua rica biodiversidade e complexidade hidrológica. Áreas úmidas, que se caracterizam por solos hídricos e vegetação hidrófila, são cruciais para a transição entre os ambientes terrestres e aquáticos, fornecendo serviços ecossistêmicos valiosos para manutenção do fluxo de água superficial e biodiversidade. Entretanto, a perda dessas áreas tem sido alarmante globalmente, e o Brasil, com seus 20% de território compreendendo áreas úmidas, não é exceção. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto, o estudo foca em caracterizar o ambiente dos campos limpos úmidos no PNCG, avaliando a assinatura espectral, topográfica e a distribuição de espécies vegetais. A análise incluiu a aplicação de índices espectrais e topográficos, como NDWI e ITW, para identificar e classificar essas áreas úmidas. O mapeamento *fuzzy* revelou a concentração de campos limpos úmidos nas bordas das escarpas e ao longo de corpos d'água, principalmente em áreas de planalto. Essa pesquisa contribui para a conservação e gestão ambiental, enfatizando a relevância das áreas úmidas e a necessidade de protegê-las.

Palavras-chave: Áreas úmidas; Cerrado; Conservação; Sensoriamento Remoto

Abstract

The present study explores the wet grasslands of the Chapada dos Guimarães National Park (CGNP), located in the Cerrado Biome recognized for its rich biodiversity and hydrological complexity. Wetlands, characterized by hydric soils and hydrophilic vegetation, are crucial for the transition between terrestrial and aquatic environments, providing valuable ecosystem services for maintaining surface water flow and biodiversity. However, the loss of these areas has been alarming globally, and Brazil, with its 20% of territory comprising wetlands, is no exception. Using remote sensing techniques, the study focuses on characterizing the environment of the wet grasslands in CGNP, evaluating the spectral, topographic signature, and distribution of plant species. The analysis included the application of spectral and topographic indices, such as NDWI and HAND, to identify and classify these wetlands. Fuzzy mapping revealed the concentration of wet grasslands on the edges of escarpments and along water bodies, mainly in plateau areas. This research contributes to environmental conservation and management, emphasizing the relevance of wetlands and the need to protect them.

Keywords: Wetlands; Cerrado; Conservation; Remote Sensing

2. Lista de Figuras, Quadros, Tabelas, Abreviaturas e Siglas, Símbolos.

2.1 Lista de figuras

Figura 1: Mapa de localização do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães - MT (PNCG).

Figura 2: Distribuição das características espectrais, topográficas e de distanciamento da rede hidrográfica dos campos úmidos no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães.

Figura 3: Mapa de distribuição dos campos limpos úmidos no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães.

2.2 Lista de Tabela

Tabela 1: Atributos espectrais e morfológicos a serem extraídos das AUs.

3.3 Lista de Siglas

AUs: Áreas Úmidas

GEE: *Google Earth Engine*

SIG: Sistema de Informações Geográfica

NDWI: Índice de Água de Diferença Normalizada

NDMI: Índice de Umidade Normalizada

GNDVI: *Green Normalized Difference Vegetation Index*

GVMi: *Global Vegetation Moisture Index*

ITW: Índice Topográfico de Umidade

IPT: Índice de Posição Topográfica

PNCG: Parque Nacional da Chapada dos Guimarães

MEA: *Millennium Ecosystem Assessment*

3 Sumário

4 Introdução.....	5
4.1 Definições e relevância espacial das AUs.....	5
4.2 Funções e relevância ambiental das AUs.....	5
4.3 Campo limpo úmidos e comunidade vegetal.....	6
4.4 Abordagem em sensoriamento remoto.....	6
5. Objetivos.....	7
5.1 Gerais.....	7
5.2 Específicos.....	7
6. Material e Métodos.....	7
6.1 Área de estudo.....	8
6.2 Amostragem dos campos úmidos.....	9
6.3 Extração das características paisagísticas dos campos limpos úmidos.....	9
6.4 Tratamento estatístico das variáveis paisagísticas dos campos úmidos.....	10
6.5 Comparação da Classificação das áreas úmidas com o MapBiomas	10
6.6 Avaliação das ameaças específicas às tipologias de campos limpos úmidos do PNCG	11
7. Resultados	11
8. Discussão e Conclusões	17
9. Recomendações para o manejo.....	20
10. Agradecimentos.....	21
11. Citações e referências bibliográficas.....	21

4. Introdução

4.1 Definições e relevância espacial das AUs

No cenário científico, as áreas úmidas são frequentemente descritas como ecossistemas definidos pela presença de solos hidromórfico, vegetação hidrófila e a presença, seja transitória ou permanente, de água superficial. Este conceito abrange uma variedade de ecossistemas úmidos em diversas regiões globais, refletindo a aceitação ampla dessas características distintivas (Gilbert et al. 2006; Mitsch e Gosselink, 2009). As áreas úmidas representam zonas de transição entre ambientes hidromórficos e ortomórficos, caracterizadas por seu papel como ecossistemas de interconexão entre ambientes terrestres e aquáticos. Nestes locais, o lençol freático situa-se próximo à superfície do solo, ou a área experimenta inundações regulares, ressaltando sua importância ecológica e hidrológica (Mitsch et al. 2013).

A importância ambiental das áreas úmidas é reconhecida globalmente; no entanto, a perda desses ambientes se tornou uma preocupação mundial. Estima-se que mais de 50% das zonas úmidas foram perdidas durante o século XX devido a várias pressões antrópicas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). No Brasil, aproximadamente 20% do território é composto por áreas úmidas, sujeitas ao regime de precipitação e dinâmicas hidrológicas complexas (Junk et al., 2014). O país conta com vinte e sete (27) Sítios Ramsar, abrangendo mais de 26 milhões de hectares de áreas úmidas (Ramsar Site Information Service/<https://rsis.ramsar.org>). Oito dos Sítios Ramsar estão situados na Amazônia, os quais representam mais de 17 milhões de hectares, incluem nove Terras Indígenas (TIs) e 42 Unidades de Conservação (UCs), entre áreas federais, estaduais e municipais. Apesar dessa riqueza e reconhecimento, muitas das pequenas áreas úmidas, especialmente aquelas localizadas ao longo de nascentes e cursos d'água, enfrentam desafios devido ao uso intensivo da terra, como é evidenciado no bioma Cerrado, considerado um *hotspot* de biodiversidade (Meyers et al. 2000).

4.2 Funções e relevância ambiental das AUs

As áreas úmidas desempenham múltiplas funções e possuem relevância ambiental significativa. Elas facilitam a circulação de energia e materiais, armazenam carbono e impactam o ambiente natural de maneira considerável (Kayranli et. al, 2010; Nahlik et. al. 2016). Esses ecossistemas fornecem numerosos serviços ecossistêmicos, incluindo proteção contra

inundações, melhoria da qualidade da água, fornecimento de habitat para peixes e vida selvagem, armazenamento de águas de enchente e manutenção do fluxo de águas superficiais durante períodos de seca (MEA, 2005). As áreas úmidas têm papel fundamental na proteção dos recursos hídricos e do ambiente, atuando como filtros naturais que retêm nutrientes e contaminantes. Elas também desempenham uma função hidrodinâmica, influenciando tanto o fluxo superficial quanto o subterrâneo de águas de aquíferos, além de regular a descarga de água para corpos d'água superficiais gradativamente. Assim, contribuem significativamente para a manutenção da qualidade da água e para a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres (Hook et al., 1988; Knox et al., 2008; Furlan et al., 2021; Furlan et al., 2023).

4.3 Campo limpo úmidos e comunidade vegetal

Dentro do contexto do Cerrado Brasileiro, o campo Limpo Úmido destaca-se por sua dependência de variáveis ambientais específicas como umidade do solo, topografia e composição vegetal. Essa formação é marcada pela presença de um lençol freático elevado durante parte do ano, o que confere a ela uma flora distintiva composta predominantemente por espécies herbáceas, especialmente da família Poaceae (Ribeiro e Walter, 1998). A dinâmica hidrológica desempenha um papel fundamental nas características destas áreas úmidas, impactando diretamente na vegetação e na distribuição espacial das comunidades herbáceas. Fatores como a frequência e profundidade das inundações, bem como a duração desses eventos de elevação do lençol freático, são determinantes para a estrutura dessas comunidades (Tsuyuzaki et al., 2004; Huang et al., 2022).

4.4 Abordagem em sensoriamento remoto

O mapeamento e o inventário dos campos limpos úmidos, particularmente, em áreas de Unidade de Conservação do bioma cerrado auxiliam na gestão e pesquisa sobre diversidade de espécies e qualidade ambiental e hidrológica a serem empregadas em outras áreas mais afetadas pelo uso antrópico. Neste contexto, o sensoriamento remoto com o uso de índices espectrais é altamente relevante para realização de mapeamento visando a identificação de áreas úmidas. Estudos anteriores demonstram que os sensores de satélite, como o *Sentinel 2A* e o *Landsat 8*,

dispõe de um diversificado sensor com bandas espectrais para identificação de áreas úmidas (Sánchez-Espinosa & Schröder, 2019). Índices espectrais como o NDWI (Normalized Difference Water Index), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) e GVMÍ (*Global Vegetation Moisture Index*) permitem uma classificação precisa da vegetação e da água, facilitando o monitoramento e o mapeamento detalhado das dinâmicas de áreas úmidas (Amani et. al, 2017; WANG et. al, 2017; Kaplan et. al, 2018; Vanderhoof et. al, 2021). Este conjunto de técnicas e ferramentas é relevante na elaboração de mapas e no monitoramento desses ecossistemas.

Outra abordagem eficaz no sensoriamento remoto para a identificação de áreas úmidas envolve o uso de índices topográficos, que se baseiam na manipulação de modelos digitais de elevação (MDEs) para identificar setores no terreno com maior propensão à acumulação de água. Dentre esses índices, o Hand Above Drainage Distance (HAND) é focado na identificação de setores de retenção de água, e o Índice Topográfico de Posição (IPT) foca na posição específica de locais com áreas úmidas e sua relação com seu entorno imediato. Ambos demonstram ser bons indicadores na modelagem do terreno, constituindo valiosas ferramentas para detecção e mapeamento de zonas úmidas, com base nas características do terreno para prever áreas de acumulação de água (Bwangoy et al., 2010; Lang et al., 2013).

5. Objetivos

5.1 Gerais

Analisar as características ambientais dos campos limpos úmidos ocorridos nas áreas de Planalto (cabeceiras de drenagem) do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. - MT.

5.2 Específicos

- Realizar a amostragem de campos limpos úmidos no PNCG;
- Obter a assinatura espectral e topográfica da ocorrência dos campos limpos úmidos;
- Analisar e classificar a distribuição das características espectrais dos campos limpos úmidos;
- Avaliar as ameaças específicas às tipologias de campos limpos úmidos do PNCG.

6. Material e Métodos

6.1 Área de estudo

O Parque Nacional da Chapada de Guimarães- PNCG, criado pelo Decreto n.º 97.656 de 12 de abril de 1989, encontra-se localizado na bacia do rio Cuiabá (Figura 1). O clima da região é o Clima Tropical de Savana (Aw) com alternância de úmido e seco. O PNCG apresenta em sua área nascentes de afluentes do rio Coxipó e rio Manso. O rio Coxipó consiste em um dos principais cursos d'água do PNCG.

As rochas do PNCG são do período Paleozoico, compostas por arenitos das formações Furnas e Ponta Grossa, enquanto as rochas da era mesozoicas são constituídas por arenitos eólicos da formação Botucatu, parcialmente cobertos por sedimentos Bauru. Já as rochas pré-cambrianas são compostas por filitos e quartzitos da série Cuiabá. Na Formação Ponta Grossa há registros fósseis de uma rica fauna de invertebrados marinhos, incluindo braquiópodes, tentaculites, gastrópodes, lamelibrânquios e trilobitas (ICMBIO, 2009).

Os solos presentes no PNCG e em sua área circundante são classificados em três tipos principais: Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos Distróficos de carácter concrecionário (ICMBIO, 2009).

A vegetação do PNCG caracteriza-se pela presença de várias fisionomias do bioma Cerrado, como: mata ciliar, mata de galeria, mata seca, cerradão, cerrado sentido restrito (cerrado denso, cerrado típico, cerrado rupestre), campo sujo, campo de murundus campo limpo, vereda e palmeiral (BRASIL, 1982 e ALHO et al., 2000, com nomenclatura adaptada segundo Sano et al., 2008).

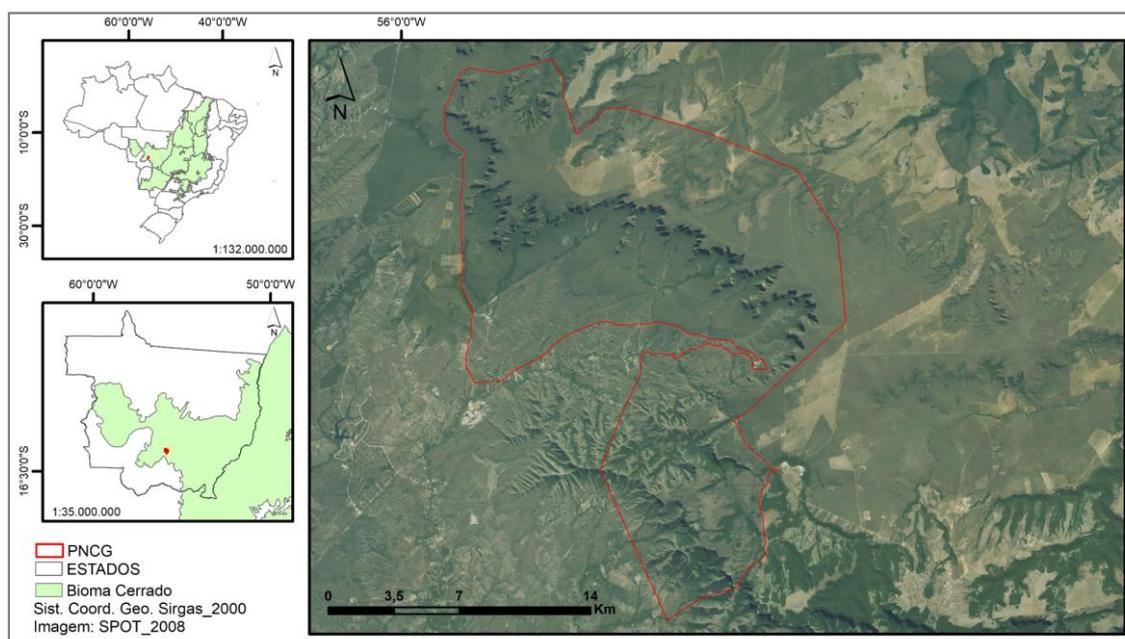


Figura 1. Mapa de localização do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães - MT (PNCG)
Org: J. C. SALES, 2024.

6.2 Amostragem dos campos úmidos

A amostragem foi realizada a partir de áreas úmidas das imagens de uso e cobertura da terra da Coleção 6, do Mapbiomas (2021), classificados como *wetlands*; e identificação via interpretação visual em setores de concentração de umidade e solos hidromórficos. Foram identificados 67 (sessenta e sete) pontos.

6.3 Extração das características paisagísticas dos campos limpos úmidos

Foram obtidas e tratadas imagens da coleção Sentinel 2A, no período de 1º de setembro de 2015 a 1º de setembro de 2022, utilizando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) com a coleção '*Copernicus/S2_SR_Harmonized*'. Aplicou-se uma função de máscara de nuvens para melhorar a qualidade das imagens para análise. Os índices espectrais e topográficos foram gerados a partir das Imagens Sentinel e do SRTM, bem como ajustados à região de interesse (ROI) com um buffer de 5km ao redor do PNCG. As imagens de distância euclidiana foram criadas a partir de dados de hidrografia, baseando-se na SEPLAN-MT (2008) e adaptadas para um raster no formato binário, onde áreas de hidrografia são destacadas para facilitar o cálculo de distância até a hidrografia mais próxima, com ajustes para evitar erros por grande extensão de cálculo (Tabela 1).

Tabela 1 - Atributos espectrais e morfológicos extraídos das AUs.

Tipo	Nome	Referência
Índice espectral	Osavi	Rondeaux et al. (1996)
Índice espectral	ClayMinerals	Dogan (2009)
Índice espectral	Fe	Dogan (2009)
Distância da hidrografia	Distance	SEPLAN-MT (2008)
Índice espectral	Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI)	Gao (1995)
Índice espectral	Índice de Umidade Normalizadas (NDMI)	Cibula et al.(1992)

Tipo	Nome	Referência
Índice espectral	<i>Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)</i>	Gitelson et al. (1996)
Topográfico	Height Above the Nearest Drainage	Donchyts et al. (2016)
Topográfico	Curvatura e declividade	Zevenbergen & Thorne, 1987
Topográfico	Índice de Posição Topográfico (IPT)	Weiss (2001)

As características espectrais, topográficas e de distância da rede hidrográfica foram extraídas em ambientes de Sistema de Informações Geográfico (SIG) *Google Earth Engine* para as amostras coletadas.

6.4 Tratamento estatístico das variáveis paisagísticas dos campos úmidos

Após a geração dos histogramas das variáveis estudadas, foi realizada a fuzzificação das variáveis da Tabela 1. O processo de fuzzificação consiste em converter valores contínuos em conjuntos nebulosos, onde cada valor é associado a uma pertinência, conforme a distribuição das variáveis, podendo ser linear, triangular e trapezoidal em diferentes conjuntos *fuzzy*. Isso permite uma representação mais flexível das características das variáveis, considerando a dificuldade de determinar as classes de campo limpo úmido e outros tipos de uso do solo.

Após o processo de fuzzificação, foi realizada a classificação baseada em lógica *fuzzy* utilizando o algoritmo *Sum Product* no ambiente do *Google Earth Engine*. O parâmetro *gamma* também foi aplicado, influenciando a sensibilidade da classificação aos diferentes critérios de entrada. O resultado dessa classificação expressa o grau de pertinência de cada *pixel* em relação às classes ou categorias de interesse (Campo Limpo Úmido), considerando as múltiplas variáveis de entrada de forma integrada. Para garantir a confiabilidade da classificação, foi considerada uma pertinência acima de 67%, conforme aplicada na metodologia para mapeamento de áreas úmidas proposta pelo MAPBIOMAS (2021), como indicativo da ocorrência de campo limpo.

6.5 Comparação da Classificação das áreas úmidas com o MapBiomass

Nesta etapa, foi realizada uma comparação entre o mapa gerado pela classificação fuzzy das variáveis espectrais e topográficas e a classificação de áreas alagadas do MapBiomias (2022), Coleção 8.0. A comparação foi feita por meio da sobreposição das camadas para identificar as áreas coincidentes de classificação das áreas úmidas. Embora os produtos sejam diferenciados — a classificação dos campos limpos úmidos foi realizada utilizando imagens Sentinel-2 e variáveis topográficas derivadas do SRTM, com resolução de 30m, como mTPI e HAND, enquanto o MapBiomias se baseia exclusivamente em variáveis espectrais dos sensores Landsat 8 e 9 —, esta análise permite uma avaliação comparativa entre metodologias de mapeamento baseadas somente em variáveis espectrais e aquelas que integram topografia e índices espectrais.

6.6 Avaliação das ameaças específicas às tipologias de campos limpos úmidos do PNCG

Esta etapa foi conduzida como uma análise e reflexão sobre as diferenças entre os mapeamentos utilizados e suas respectivas escalas. O foco esteve em analisar quais métodos de mapeamento são mais adequados para identificar, delimitar e mapear pequenas áreas úmidas com a presença de campos limpos úmidos. A comparação envolveu a análise dos mapeamentos em larga escala, como o MapBiomias, em contraste com abordagens localizadas que incorporam variáveis topográficas e espectrais. Esta avaliação buscou identificar as limitações e potencialidades de cada abordagem no contexto da precisão espacial e da capacidade de captar a complexidade dessas áreas úmidas.

7. Resultados

A figura 2 apresenta a distribuição das variáveis espectrais, topográficas e de distância para hidrografia mais próxima.

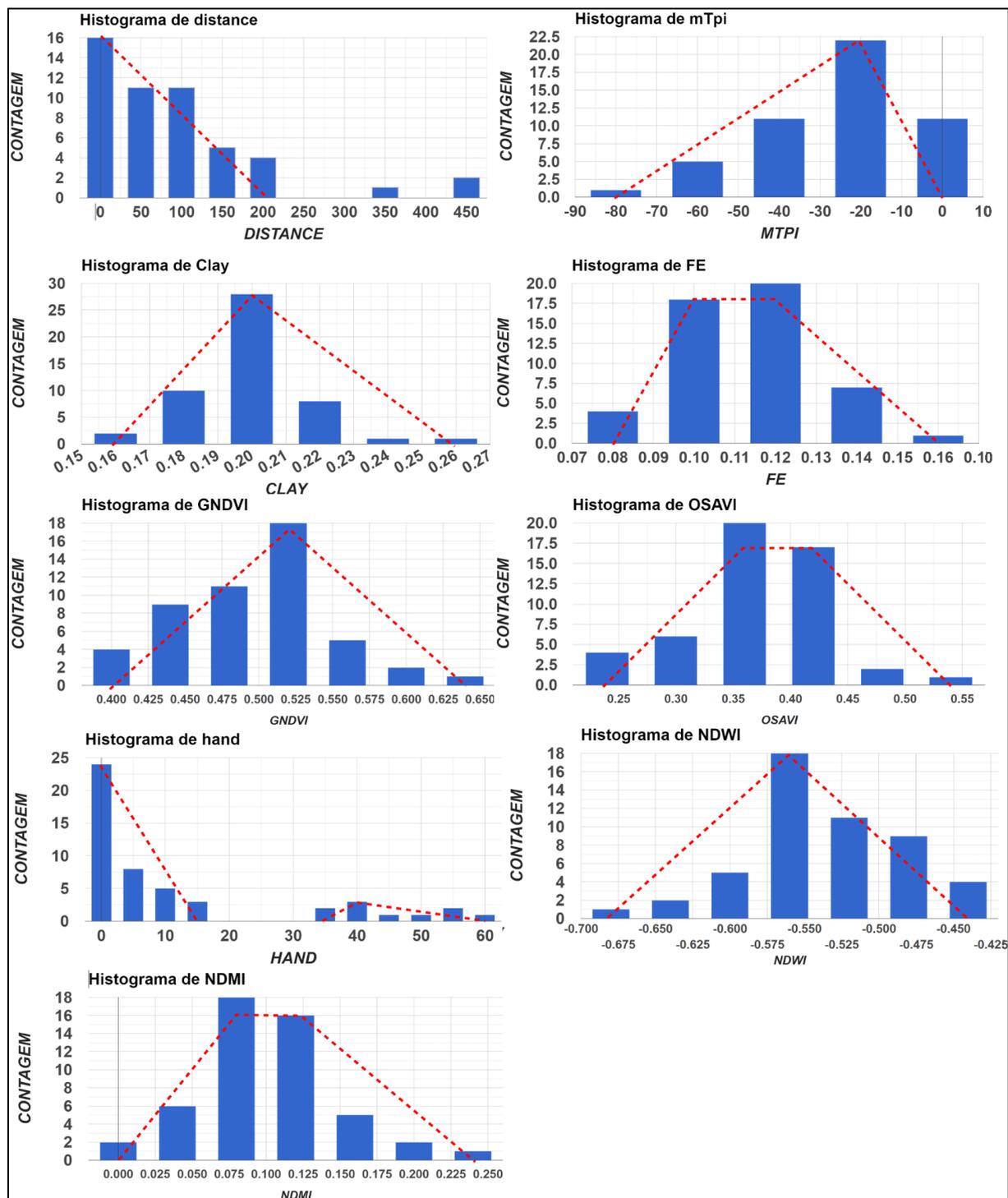


Figura 2. Distribuição das características espectrais, topográficas e de distanciamento da rede hidrográfica dos campos úmidos no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso.

A distribuição para a distância em relação à hidrografia segue uma forma linear decrescente, sugerindo que os campos limpos úmidos são predominantemente encontrados próximos aos corpos d'água. A frequência diminui gradualmente conforme a distância aumenta, sendo rara a ocorrência de campos úmidos a mais de 450 metros dos corpos hídricos.

A distribuição do *mTPI* é triangular, com valores variando de -80 a 0, e um pico em torno de -20. Isso indica que os campos limpos úmidos tendem a ocorrer em áreas com posição topográfica intermediária, sugerindo uma relação com o relevo que favorece a retenção de umidade em posições específicas.

O *HAND* (Height Above the Nearest Drainage) apresenta uma distribuição que segue um padrão linear decrescente até 12 metros, representando áreas que estão mais próximas do nível da drenagem. Após esse ponto, há um aumento sutil até 40 metros, que depois decresce até 60 metros, sugerindo que os campos limpos úmidos podem ocorrer tanto em áreas próximas à drenagem quanto em elevações intermediárias.

O *GNDVI* apresenta uma distribuição triangular, com valores variando de 0,4 a 0,6, sendo o pico mais comum em torno de 0,5. Essa distribuição indica que os campos limpos úmidos tendem a ter uma vegetação de vigor intermediário, associada a condições ambientais favoráveis para o crescimento de vegetação.

A distribuição do *NDWI* é claramente triangular, com valores que variam entre -0,7 e -0,45, e um pico por volta de -0,55. Isso sugere que os campos limpos úmidos estão associados a áreas com moderada a baixa umidade, comparativamente a outros tipos de cobertura de solo.

A distribuição do *OSAVI* também segue um formato trapezoidal, com um pico entre 0,35 e 0,40, seguido por um declínio até 0,55. Isso demonstra que os campos limpos úmidos apresentam características vegetativas bem definidas, com uma alta correlação entre a vegetação e o solo na faixa de 0,35 a 0,40.

O índice de minerais de argila dos solos mostra uma distribuição triangular com picos entre 0,2 e 0,25. Isso indica que os campos limpos úmidos possuem uma composição de solo caracterizada por uma quantidade significativa de argila, o que pode favorecer a retenção de umidade e a manutenção da vegetação nesses locais.

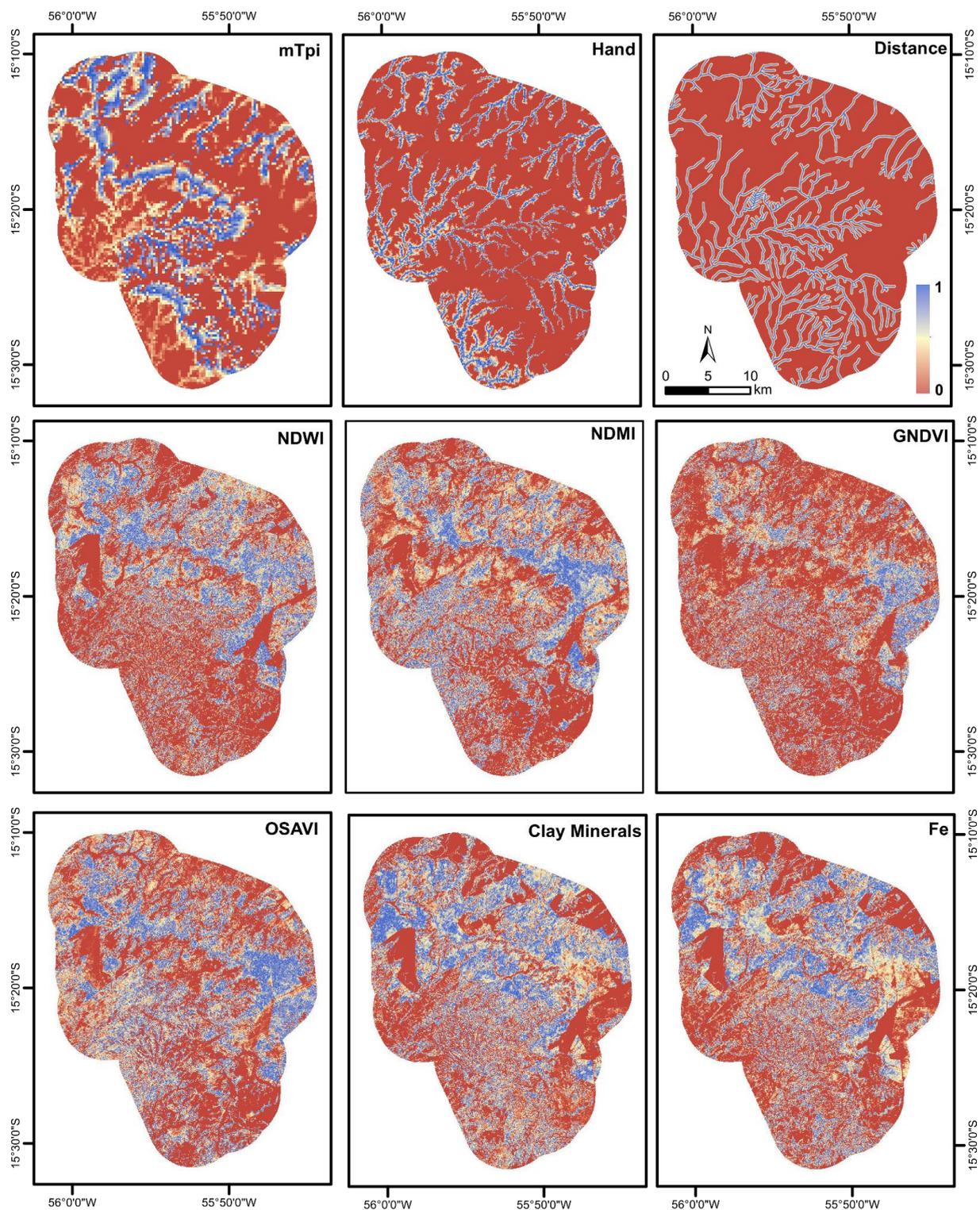
O Índice de Ferro exhibe uma distribuição trapezoidal com um aumento de 0,08 a 0,12, mantendo-se constante até 0,12, e depois decrescendo até 0,16. Esse comportamento sugere que os minerais de ferro estão presentes em níveis intermediários nos campos limpos úmidos, contribuindo para a diversidade mineral dessas áreas.

O *NDMI* mostra uma distribuição triangular, com valores variando de 0 a 0,23, e um pico em torno de 0,1. Esse padrão indica que a umidade nos campos limpos úmidos é intermediária, o que reflete a variabilidade nas condições de umidade e a capacidade do solo de reter água nesses locais.

As linhas vermelhas pontilhadas em cada gráfico representam o grau de pertinência do fuzzy, indicando a relevância de cada índice para a classificação dos campos limpos úmidos.

Elas modelam a incerteza e o grau de pertencimento das áreas analisadas, fornecendo uma medida do quão adequadas são essas áreas para serem classificadas como campos limpos úmidos com base nos índices analisados.

A Figura 3 apresenta os mapas das variáveis fuzzificadas, utilizando variáveis topográficas, espectrais e de distância. Esses mapas ilustram as probabilidades de ocorrência de áreas úmidas com base na distribuição dessas variáveis.



A distribuição espacial das variáveis topográficas e espectrais com alta e baixa probabilidade de ocorrência de campos úmidos indica que as variáveis topográficas, como o Índice Topográfico de Posição Médio (mTPI), o índice de Altura Acima da Drenagem Mais Próxima (HAND), aplicadas às amostras de campos limpos úmidos, e a distância da rede de drenagem, apresentam uma distribuição mais bem definida e contígua. Essas variáveis destacam-se pela clara delimitação das áreas de influência hidrológica.

Por outro lado, as variáveis espectrais, que consideram características da vegetação (GNDVI, OSAVI), da umidade do solo e vegetação (NDWI, NDMI), e de minerais (Fe e Clay Minerals), exibem uma distribuição mais dispersa e menos localizada. Esses índices espectrais tendem a refletir condições ambientais mais variáveis e menos diretamente relacionadas à topografia, contribuindo para uma caracterização mais ampla das condições do solo e vegetação na paisagem

A figura 3 apresenta o mapa de classificação para campos limpos úmidos no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães para ao intervalo de confiança de 95% do intervalo de confiança dos valores fuzzy.

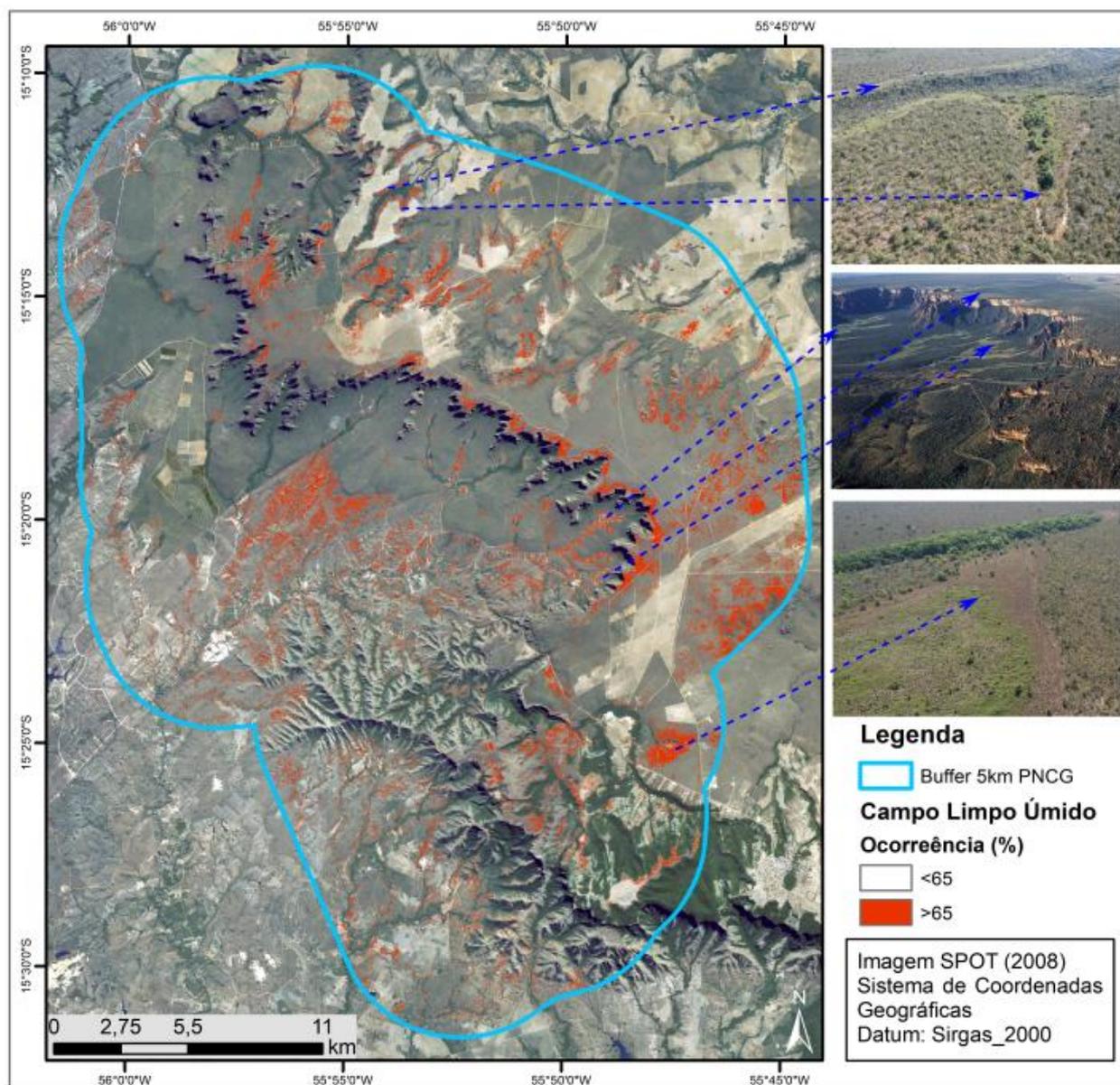


Figura. 4. Mapa de distribuição *fuzzy* dos campos limpos úmidos no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães.

A Figura 4 apresenta o mapa de classificação *fuzzy* para campos limpos úmidos no PNCG em um buffer de 5km ao redor da Unidade de Conservação Federal. Este mapa utiliza o critério de pertinência *fuzzy*, que tem um valor acima de 67%.

A Figura 5 apresenta a comparação entre o MapBiomias (2022), que classificou 14,7 km² como áreas alagadas, e a classificação desta pesquisa, que identificou 29,5 km² de áreas alagadas. As diferenças podem ser atribuídas à variação na resolução espacial, com o MapBiomias utilizando 29,5 metros por pixel e esta pesquisa adotando uma resolução de 14,5 metros por pixel, além do uso de diferentes variáveis de classificação.

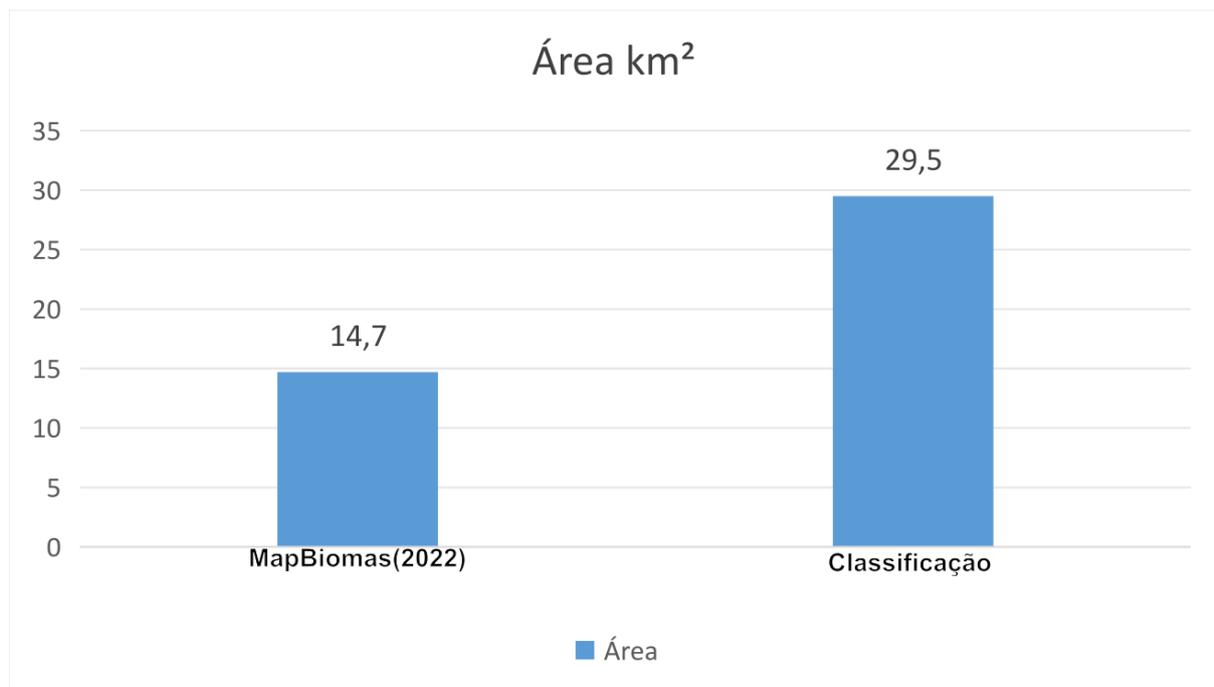


Figura 5. Comparação entre a Classificação de Áreas Úmidas pelo MapBiomias (2022) e a Classificação Baseada em Características Espectrais e Topográficas

Devido à falta de recursos para deslocamento do município de Rondonópolis para o município de Chapada dos Guimarães, bem como à falta de recurso para permanência na área de pesquisa, não foi possível realizar o levantamento florístico em campos limpos úmidos no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, previsto no projeto de pesquisa. Esta ação será realizada em novas edições de Projetos de Iniciação Científica, vinculados ao Professor Dr. Jepherson Correia Sales, Coorientador desta pesquisa, lotado na Universidade Federal de Rondonópolis.

8. Discussão e Conclusões

Nas áreas de planalto observa-se uma tendência de concentração desses campos nas bordas das escarpas e ao longo dos cursos d'água, especialmente nos rios de baixa hierarquia fluvial e nas cabeceiras de drenagem. Esta disposição geográfica sugere uma correlação entre a umidade dos campos e a proximidade com fontes de água, o que pode ser crucial para a manutenção das condições de umidade desses ecossistemas, conforme classificado por Junk et. al., (2014).

Nas áreas abaixo do Planalto dos Guimarães, que são denominadas de Depressão Cuiabana, os campos úmidos estão mais próximos da rede de drenagem, o que demonstra a relevância da elevação do lençol freático de água superficial na distribuição espacial desses campos. No centro-oeste do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães há uma grande quantidade de campos de limpos úmidos, juntamente com matas de galeria e de outras espécies de outras vegetações típicas de Cerrado, conforme salienta nas fitofisionomias relacionada à presença de água demonstradas por Walter e Ribeiro (1998).

A predominância de áreas com valores baixos de posição topográfica e HAND indica uma capacidade dos campos limpos úmidos de se estabelecerem em locais com maior tendência de acumulação de água, com uma preferência marcante por terrenos mais planos. As áreas úmidas possuem a tendência de ocorrerem, em maior parte, em zonas de baixa de relevo com baixa declividade, como, por exemplo, encosta suave de colina ou fundo de vale (Brinson, 1993).

A distribuição triangular do Índice de Posição Topográfica Médio (mTPI) observada neste estudo, com valores variando de -80 a 0 e um pico em torno de -20, indica que os campos limpos úmidos tendem a se localizar em áreas de posição topográfica intermediária. Isso sugere uma relação direta entre a topografia e a retenção de umidade, similarmente ao encontrado por Riley et al. (2017), que utilizaram o mTPI para identificar pequenas áreas úmidas depressivas. No estudo deles, o mTPI foi eficaz na correlação de características hidrológicas, permitindo inferir a duração da inundação com base na posição topográfica. Dessa forma, nossos resultados corroboram a utilidade do mTPI como ferramenta para identificar e mapear áreas úmidas, evidenciando que posições topográficas mais baixas em relação ao entorno favorecem a retenção de umidade necessária para a manutenção dos campos limpos úmidos.

A distribuição triangular do *Normalized Difference Water Index* (NDWI) sugere uma relação essencial entre a cobertura vegetal e o solo exposto em áreas úmidas, uma relação essencial para a caracterização desses ambientes com baixa presença de água no período analisado. Teng et al. (2021) realizaram estudo para identificar valores de NDWI mais

propensos para qualidade de *habitat* de áreas úmidas e descobriram que valores negativos mostram-se adequados para gansos na China.

A distribuição dos minerais de argila e do ferro obtiveram uma forma regular de distribuição, indicando que podem ser bons indicativos de áreas úmidas. Neste contexto, Arisanty et al. (2021) demonstraram que o conteúdo de óxido de ferro e minerais de argila obtidos pelo sensor Landsat são índices eficazes para a identificação de áreas úmidas, oferecendo uma metodologia robusta para estimar óxidos de ferro.

A distribuição irregular do Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI) indica uma ampla variação na umidade do solo e na vegetação dos campos limpos úmidos, o que pode ser devido às variações inerentes ao solo que afetam a retenção de umidade. Embora o NDMI tenha se mostrado eficaz para a identificação e mapeamento de áreas úmidas, conforme demonstrado por Al-Maliki et al. (2022) e Fathi et al. (2023), a distribuição não uniforme dos valores de NDMI sugere que sua capacidade de identificar pequenas áreas úmidas no Cerrado pode ser limitada pela diversidade de fitofisionomias presente nesses ambientes.

A interação entre campos limpos úmidos, matas de galeria e outras formações vegetais do Cerrado destaca a diversidade ecossistêmica da região. A proximidade com redes de drenagem e a localização ao longo de cursos d'água e nascentes são determinantes para a ocorrência e conservação desses campos úmidos, evidenciando o papel vital da água na configuração dessas paisagens. Pesquisas indicam que áreas úmidas menores são especialmente notáveis em cabeceiras de drenagem e ao longo de cursos d'água (Junk et al., 2014), e fitofisionomias como veredas, palmeirais e campos de murundus frequentemente incluem espécies típicas de campos úmidos (Ribeiro e Walter, 2005, Munhoz & Felfili, 2008, Ribeiro-Silva et al., 2024a). Estando todas essas fitofisionomias associadas à presença de água.

A distribuição triangular do *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), indica uma tendência de os campos limpos úmidos apresentarem uma vigorosidade vegetativa de nível intermediário. A assinatura espectral do GNDVI e sua distribuição regular são bons indicadores da estrutura e composição da vegetação (Taddeo et al., 2019)

A distribuição do *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI) é semelhante ao GNDVI, sugere uma relação essencial entre a cobertura vegetal e o solo exposto em áreas úmidas, sendo relevante para a caracterização desses ambientes. O OSAVI é reconhecido como um bom índice para destacar coberturas homogêneas de gramíneas (Rondeaux et al., 1996). A distribuição regular desse índice no intervalo espectral identificado pode sugerir a ocorrência de áreas úmidas em campo limpo.

A análise dos histogramas apresentados permite concluir que as variáveis espectrais, topográficas e de distância da rede de drenagem têm um papel importante na caracterização e identificação dos campos limpos úmidos.

9. Recomendações para o manejo

Recomendamos que os gestores do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e outros pesquisadores interessados em áreas úmidas adotem a metodologia proposta nesta pesquisa para a identificação e caracterização precisa de campos limpos úmidos. O uso de variáveis topográficas (como mTPI e HAND) e variáveis espectrais, juntamente com a análise da proximidade da rede de drenagem, permitem identificar áreas com alta intensidade hidrológica e com presença de campos limpos úmidos, possibilitando a implementação de medidas de manejo necessárias à preservação desses ecossistemas sensíveis.

Quando comparamos as áreas úmidas mapeadas nesta pesquisa com aquelas identificadas pelo MapBiomass, vemos uma diferença significativa. Apesar das diferenças nas escalas de mapeamento, nossa metodologia apresenta melhorias à metodologia proposta pelo MapBiomass na identificação de pequenas áreas úmidas. O MapBiomass possui grande eficiência para grandes áreas, com tendência de deixar de classificar áreas úmidas que são cruciais para a biodiversidade. Essa metodologia, apesar de necessidade de melhorias para ser empregada em larga escala de mapeamento, possui potencial para ser mais eficaz na identificação e delimitação de pequenas áreas úmidas ao longo de cursos d'água, nascentes ou em depressões isoladas.

Além disso, a metodologia preliminar proposta nesta breve pesquisa não é uma solução estática. Ela tem potencial para ser aprimorada e expandida para mapear grandes áreas e em larga escala, particularmente nas Unidades de Conservação, as quais possuem uma menor interferência do uso da terra.

Como campos limpos e úmidos estão presentes na maioria das áreas úmidas, como campos de murundus, veredas e áreas próximas a matas de galeria, essa metodologia também pode auxiliar na identificação de regiões com alta atividades hidrológicas, sendo uma característica das áreas úmidas. Assim, a identificação das áreas de alta intensidade hidrológica realizada por meio das características da vegetação, utilizando os índices espectrais, e pelas características topográficas pode ajudar a monitorar e conservar ecossistemas de áreas úmidas e proteger a biodiversidade ali existente.

10. Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, por meio da concessão da bolsa de iniciação científica, que foi essencial para a realização desta pesquisa.

11. Citações e referências bibliográficas

Al-Maliki, S., Ibrahim, T. I., Jakab, G., Masoudi, M., Makki, J. S., & Vekerdy, Z.. An Approach for Monitoring and Classifying Marshlands Using Multispectral Remote Sensing Imagery in Arid and Semi-Arid Regions. **Water**, 14(10), 1523, 2022.

Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., & Brisco, B. Spectral analysis of wetlands using multi-source optical satellite imagery. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, 144, 119-136, 2018.

Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., Granger, J. E., Brisco, B., & Hanson, A.. Wetland classification using multi-source and multi-temporal optical remote sensing data in Newfoundland and Labrador, Canada. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 43(4), 360-373, 2017.

Arisanty, D., Saputra, A. N., Rahman, A. M., Hastuti, K. P., & Rosadi, D. The Estimation of Iron Oxide Content in Soil based on Landsat 8 OLI TIRS Imagery in Wetland Areas. **Pertanika Journal of Science & Technology**, 29(4),2021.

Assessment, M. E.. **Ecosystems and human well-being: wetlands and water**. World resources institute, 2005.

BRINSON, M. M. (Ed.). **A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands**. Washington: U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1993. (Wetlands Research Program Technical Report)

Bwangoy, J. R. B., Hansen, M. C., Roy, D. P., De Grandi, G., & Justice, C. O.. Wetland mapping in the Congo Basin using optical and radar remotely sensed data and derived topographical indices. **Remote Sensing of Environment**, 114(1), 73-86, 2010.

CIBULA W, E ZETKA & D RICKMAN. Response of thematic mapper bands to plant water stress. **International Journal of Remote Sensing** 13: 1869-1880, 1992.

Donchyts, G., Winsemius, H., Schellekens, J., Erickson, T., Gao, H., Savenije, H., & van de Giesen, N. (2016). Global 30m height above the nearest drainage. **HAND**, 1000(0).

Dogan, H. M. Mineral composite assessment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing. **Journal of Earth System Science**, 118, 701-710, 2009.

Fathi, B., Tribak, A. A., Wahbi, M., Maâtouk, M., & Sebbah, B. Remote Sensing at the Service of Wetlands Mapping: A Case of the Lower Loukkos Complex (North-West Morocco). **Ecological Engineering & Environmental Technology**, 24, 2023.

Furlan, L. M., Ferreira, M. E., Moreira, C. A., de Alencar, P. G., Casagrande, M. F. S., & Rosolen, V. Satellite, UAV, and Geophysical Data to Identify Surface and Subsurface Hydrodynamics of Geographically Isolated Wetlands: Understanding an Undervalued Ecosystem at the Atlantic Forest-Cerrado Interface of Brazil. **Remote Sensing**, 15(7), 1870, 2023.

Furlan, L. M., Moreira, C. A., de Alencar, P. G., & Rosolen, V. Environmental monitoring and hydrological simulations of a natural wetland based on high-resolution unmanned aerial vehicle data (Paulista Peripheral Depression, Brazil). **Environmental Challenges**, 4, 100146, 2021

Furlan, L. M., Rosolen, V., Moreira, C. A., Bueno, G. T., & Ferreira, M. E. The interactive pedological-hydrological processes and environmental sensitivity of a tropical isolated wetland in the Brazilian Cerrado. **SN Applied Sciences**, 3, 1-15, 2021.

Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman, and M.N. Merzlyak. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sens. Environ.** 58:289—298, 1996.

Gao, Bo-Cai. Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. In: **Imaging Spectrometry**. SPIE, 1995. p. 225-236.

Gilbert, M. C., Whited, P. M., Clairain Jr, E. J., & Smith, R. D. **A regional guidebook for applying the hydrogeomorphic approach to assessing wetland functions of prairie potholes**, 2006.

Hook, D. D., McKee, W. H., Smith, H. K., Gregory, J., Burrell, V. G., DeVoe, M. R., ... & Siegel, D. I. A review of the recharge-discharge function of wetlands. *The Ecology and Management of Wetlands: Volume 1: Ecology of Wetlands*, 59-67, 1988.

Hook, D. D., McKee, W. H., Smith, H. K., Gregory, J., Burrell, V. G., DeVoe, M. R., ... & Graetz, D. A. Carbon and nitrogen dynamics in wetland soils. *The Ecology and Management of Wetlands: Volume 1: Ecology of Wetlands*, 307-318, 1988.

Huang, S., Dossa, R. F. J., Ye, C., Braga, J., Chakraborty, D., Mehta, K., & AraÃšjo, J. G. Cleanrl: High-quality single-file implementations of deep reinforcement learning algorithms. **Journal of Machine Learning Research**, 23(274), 1-18, 2022.

Huang, W., Hu, T., Mao, J., Montzka, C., Bol, R., Wan, S., & Yue, J.. Hydrological drivers of the spatial distribution of herbaceous wetland communities at Poyang Lake. **In EGU General Assembly Conference Abstracts** (pp. EGU22-1737), 2022.

ICMBio. **Plano de manejo**: Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. Relatório final editado em abril de 2009.

Ishikawa-Goto, M., & Tsuyuzaki, S. Methods of estimating seed banks with reference to long-term seed burial. **Journal of Plant Research**, 117, 245-248, 2004.

Junk, W. J. (Ed.). The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system (Vol. 126). **Springer Science & Business Media**, 2013.

Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., ... & Agostinho, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems**, 24(1), 5-22, 2014.

Kaplan, G., & Avdan, U. Mapping and monitoring wetlands using Sentinel-2 satellite imagery. **ISPRS Annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences**, 4, 271-277, 2017.

Kaplan, G., & Avdan, U. Monthly analysis of wetlands dynamics using remote sensing data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 7(10), 411, 2018.

Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., & Hedmark, Å. Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review. **Wetlands**, 30, 111-124. Mitra, S., Wassmann, R. e Vlek, PL (2005). Uma avaliação da área global de zonas úmidas e seu estoque de carbono orgânico. **Ciência atual**, 88 (1), 25-35, 2010.

Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., & Hedmark, Å. Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: **a critical review. Wetlands**, 30, 111-124, 2010.

Knox, A. K., Dahlgren, R. A., Tate, K. W., & Atwill, E. R. Efficacy of natural wetlands to retain nutrient, sediment and microbial pollutants. **Journal of environmental quality**, 37(5), 1837-1846, 2008.

Lang, M., McCarty, G., Oesterling, R., & Yeo, I. Y. Topographic metrics for improved mapping of forested wetlands. **Wetlands**, 33, 141-155, 2013.

MAPBIOMAS, Projeto. **Mapeamento da superfície** (Coleção 6). Recuperado de https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_1.pdf, 2021.

Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., ... & Brix, H. Wetlands, carbon, and climate change. **Landscape ecology**, 28, 583-597, 2013.

Mitsch, W. J., Gosselink, J. G., Zhang, L., & Anderson, C. J. Wetland ecosystems. **John Wiley & Sons**, 2009.

MUNHOZ, Cássia Beatriz Rodrigues; FELFILI, Jeanine Maria. Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo em campo limpo úmido no Brasil Central. *Acta botanica brasílica*, v. 22, p. 905-913, 2008

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J.. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853-858, 2000.

Nahlik, A. M., & Fennessy, M. S. Carbon storage in US wetlands. **Nature Communications**, 7(1), 1-9, 2016.

Quinn, P. F. B. J., Beven, K., Chevallier, P., & Planchon, O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. **Hydrological processes**, 5(1), 59-79, 1991.

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**, 1998.

RIBEIRO-SILVA, S., SALES, J.C., FURLAN, L.M, ROSOLEN, V. & MOREIRA, C.A 2024a. Campos de Murundus: distribuição, hidrologia, biodiversidade e ameaças. In: XX

Riley, J. W., Calhoun, D. L., Barichivich, W. J., & Walls, S. C. Identifying small depressional wetlands and using a topographic position index to infer hydroperiod regimes for pond-breeding amphibians. **Wetlands**, 37(2), 325-338, 2017.

Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote sensing of environment**, 55(2), 95-107, 1996.

Sánchez-Espinosa, A., & Schröder, C. Land use and land cover mapping in wetlands one step closer to the ground: Sentinel-2 versus landsat 8. **Journal of Environmental Management**, 247, 484-498, 2019.

Sánchez-Espinosa, A., & Schröder, C. Land use and land cover mapping in wetlands one step closer to the ground: Sentinel-2 versus landsat 8. **Journal of Environmental Management**, 247, 484-498, 2019.

Seplan-MT. **Zoneamento Sócio-Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso**. Cuiabá: Governo do Estado de Mato Grosso, 2008. 338 p.

Taddeo, S., Dronova, I., & Depsky, N. Spectral vegetation indices of wetland greenness: Responses to vegetation structure, composition, and spatial distribution. **Remote sensing of Environment**, 234, 111467, 2019.

Teng, J., Xia, S., Liu, Y., Yu, X., Duan, H., Xiao, H., & Zhao, C. Assessing habitat suitability for wintering geese by using Normalized Difference Water Index (NDWI) in a large floodplain wetland, **China. Ecological Indicators**, 122, 107260, 2021.

Tsuyuzaki, S., Haraguchi, A., & Kanda, F. Effects of scale-dependent factors on herbaceous vegetation patterns in a wetland, northern Japan. **Ecological Research**, 19, 349-355, 2004.

Vanderhoof, M. K., Alexander, L., Christensen, J., Solvik, K., Nieuwlandt, P., & Sagehorn, M. High-frequency time series comparison of Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites for mapping open and vegetated water across the United States (2017–2021). **Remote Sensing of Environment**, 288, 113498, 2023.

WANG, Zifeng et al. Multi-spectral water index (MuWI): a native 10-m multi-spectral water index for accurate water mapping on Sentinel-2. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1643, 2018.

Weiss, A. **Topographic position and landforms analysis**. In Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200), 2001.

Zevenbergen, L. W., & Thorne, C. R. Quantitative analysis of land surface topography. **Earth surface processes and landforms**, 12(1), 47-56, 1987.