



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RAFAEL GUSTAVO GONÇALVES DOS ANJOS BRITO FERREIRA

**ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS DE CAMPOS DE MURUNDUS SOB IMPACTO DE
PROJETO DE IRRIGAÇÃO NO NOROESTE GOIANO**

Goiânia
2025

Processo: 23070.049955/2025-01 Documento: 5792146



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Rafael Gustavo Gonçalves dos Anjos Brito Ferreira

3. Título do trabalho

ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS DE CAMPOS DE MURUNDUS SOB IMPACTO DE PROJETO DE IRRIGAÇÃO NO NOROESTE GOIANO

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Gustavo Gonçalves Dos Anjos Brito Ferreira, Discente**, em 17/11/2025, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior**, em 18/11/2025, às 10:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



RAFAEL GUSTAVO GONÇALVES DOS ANJOS BRITO FERREIRA

ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS DE CAMPOS DE MURUNDUS SOB IMPACTO DE PROJETO DE IRRIGAÇÃO NO NOROESTE GOIANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGeo), do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Natureza e produção do espaço

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno

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

Goiânia
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Ferreira, Rafael Gustavo Gonçalves dos Anjos Brito
ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS DE CAMPOS DE MURUNDUS SOB
IMPACTO DE PROJETO DE IRRIGAÇÃO NO NOROESTE GOIANO
[manuscrito] / Rafael Gustavo Gonçalves dos Anjos Brito Ferreira. -
2025.
LXXIX, 79 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno; co-orientador Dr.
Jepherson Correia Sales.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto
de Estudos Socioambientais (Iesa), Geografia, Goiânia, 2025.
Bibliografia.
Inclui mapas, fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de
tabelas.

1. Áreas úmidas. 2. Recursive Feature Elimination. 3. Bibliometria.
4. Random Forest. I. Bueno, Guilherme Taitson, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 64/2025 da sessão de Defesa de Dissertação de **Rafael Gustavo Gonçalves dos Anjos Brito Ferreira**, que confere o título de Mestre em **Geografia**, na área de concentração em Natureza e Produção do Espaço.

Aos dezessete dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e cinco, a partir das 14:00 horas, no Auditório Maria Geralda de Almeida, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS DE CAMPOS DE MURUNDUS SOB IMPACTO DE PROJETO DE IRRIGAÇÃO NO NOROESTE GOIANO”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Guilherme Taitson Bueno (PPGEO/IESA)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Ivanilton Jose de Oliveira (UFG/IESA)**, membro titular externo; Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (PPGEO/IESA)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Guilherme Taitson Bueno (PPGEO/IESA)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, **aos dezessete dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e cinco**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior**, em 17/10/2025, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professora do Magistério Superior**, em 17/10/2025, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivanilton Jose De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 17/10/2025, às 16:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5681119** e o código CRC **C07CD302**.

Referência: Processo nº 23070.049955/2025-01

SEI nº 5681119

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RAFAEL GUSTAVO GONÇALVES DOS ANJOS BRITO FERREIRA

**ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS DE CAMPOS DE MURUNDUS SOB IMPACTO DE
PROJETO DE IRRIGAÇÃO NO NOROESTE GOIANO**

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. GUILHERME TAITSON BUENO
Orientador/Presidente da Banca

PROF. DR. JEPHERSON CORREIA SALES
Co orientador -UFR

PROF. DRa. KARLA MARIA SILVA DE FARIA
Examinador Interno – IESA/UFG

PROF. DR. IVANILTON JOSÉ DE OLIVEIRA
Examinador Externo – IESA/UFG

AGRADECIMENTOS

A Ihsis, minha companheira, por estar sempre ao meu lado nos melhores e piores momentos, e por me apoiar em tudo que me proponho a fazer.

A minha irmã Tainá, por sempre me oferecer um olhar crítico, por me ensinar muito sobre lutar pelo que se quer e pelas longas conversas compartilhadas na sacada do apartamento de nossa mãe.

Ao meu pai Filipe, por todo amor, apoio, por me ensinar sobre perseverança e sempre me incentivar a seguir na jornada acadêmica.

A minha mãe Cassia, por sempre estar ao meu lado e pelas viagens inesquecíveis para conhecer o Cerrado.

Aos meus avós Ana Maria e José Natal, por todo amor e carinho e por me ensinar tanto sobre o tempo das coisas e o valor do contato com a natureza.

Aos amigos Lucas, Aiken e PV, pela camaradagem e pelos momentos compartilhados que me ajudaram a manter a descontração nos momentos difíceis. Aos amigos Danillo e Pedro, pelo companheirismo e pelo acompanhamento em um trabalho de campo desta dissertação.

Ao meu orientador Dr. Guilherme Taitson Bueno, pelos ensinamentos durante toda a minha jornada acadêmica. Desde a iniciação científica seu zelo e comprometimento com a ciência e o trabalho acadêmico e sua visão integradora me ofereceram um novo olhar sobre a paisagem, sem o qual a realização deste trabalho não seria possível.

Ao meu coorientador Dr. Jepherson Correia Sales, pelos conhecimentos compartilhados e pela orientação. Seu domínio sobre sensoriamento remoto e Áreas Úmidas e sua disposição em compartilhar conhecimento foram de grande importância frente às dificuldades encontradas no desenvolvimento desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro através do fornecimento da bolsa de pesquisa.

À Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD-GO), por autorizar a pesquisa dentro da unidade de conservação e por fornecer alojamento na sede do PEA durante os campos. Agradeço também aos funcionários da SEMAD que sempre foram muito solícitos para marcar os campos e sempre receberam as equipes bem.

RESUMO

Este trabalho buscou investigar Áreas Úmidas (AUs) de campos de murundus frente à implantação do Projeto de Irrigação Luiz Alves do Araguaia (PILAA) utilizando sensoriamento remoto e algoritmos de *Random Forest*. O estudo teve como foco o Parque Estadual do Araguaia (PEA) e as fases 2 e 3 do PILAA, sendo áreas representativas dos diferentes graus de antropização. Em um primeiro momento foi feito um levantamento bibliométrico sobre campos de murundus nas bases de dados da *Web of Science*, *Scopus*, e na Biblioteca na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Em uma análise de 97 artigos científicos e 21 trabalhos de pós-graduação observou-se que as publicações eram muito escassas nas primeiras décadas da pesquisa, com um aumento significativo no número de publicações a partir da década de 2010. Nos artigos científicos foi identificada uma predominância das Ciências Biológicas nos estudos destes ambientes, com uma sub-representatividade das Ciências da Terra.

Em um segundo momento, foi feito um estudo sobre campos de murundus adjacentes ao PILAA com o uso do sensoriamento remoto e de algoritmos de *Random Forest*, visando identificar os índices espectrais mais relevantes e segmentar a área de estudos em função do grau de antropização. Para a classificação da área de estudo foram coletados 200 pontos amostrais divididos em 4 classes. Foram coletados dados das missões Landsat 7 e 8, Sentinel 1 e 2 e ALOS, totalizando 72 variáveis espectrais e topográficas, incluindo índices gerados a partir dos sensores passivos. A filtragem destes dados se deu no *Rstudio*, utilizando o método de Eliminação Recursiva de Feições (RFE), reduzindo o conjunto de dados para 5 variáveis mais relevantes. As variáveis selecionadas foram utilizadas no *Google Earth Engine*, juntamente com os pontos amostrais, para realizar a classificação final das áreas. A validação do modelo foi baseada em matriz de confusão, utilizando acurácia global, índice *Kappa* e *F1-score*. Os resultados mostraram que as variáveis mais relevantes foram o Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Lagos por Diferença Normalizada (NDPI), Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI) e Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI), evidenciando a importância da resposta espectral da vegetação e de áreas inundadas no estudos destes ambientes. O modelo final alcançou acurácia de 84.06% (treino) e 80.59% (teste), com índice *Kappa* de 0.786 e 0.739, respectivamente. A classificação final com as variáveis selecionadas mostrou uma predominância de áreas preservadas (41,36% da área total) e em regeneração (39,05%), concentradas no PEA e na fase 3 do PILAA. As áreas antropizadas (12,45%) se encontram mais nas porções ativas do projeto de irrigação e associadas a estradas e canais artificiais de drenagem. A maior confusão do algoritmo se deu entre as classes conservadas e em regeneração, o que aponta uma semelhança espectral entre estas classes. Concluiu-se que AUs de campos de murundus apresentam resiliência frente a processos de antropização devido à semelhança espectral encontrada, com possibilidade de regeneração após intervenções antrópicas mais moderadas. Os bons resultados nas métricas de validação do modelo sugerem a possibilidade de generalização do mesmo para o estudo de áreas maiores.

Palavras-Chave: Áreas úmidas; *Recursive Feature Elimination*, bibliometria; *Random Forest*

ABSTRACT

This research investigated Mound Field Wetlands next to an area where the Projeto de Irrigação Luiz Alves do Araguaia (PILAA) irrigation project was installed using remote sensing and Random Forest algorithms. The region of interest of the study was the *Parque Estadual do Araguaia* and stages 2 and 3 of the PILAA, as representative areas of different degrees of anthropization. The first step on the research was making a bibliometric review about mound fields on Web of Science, Scopus and Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) databases. This stage aimed to understand the current state of general research about these wetlands in Brazil, as well as identify gaps in knowledge to be addressed. During this stage 97 scientific papers and 21 post graduate research projects were analysed. The paper publications were scarce in the first decades, however there was a significant increase in publication numbers from 2010 onward. A prevalence of the Biological Sciences was identified on the examined papers, with a notable sub representative number of them being connected to the Earth Sciences. Most of the inspected works also had some relation with the Cerrado, since the biome's name was used on many of the papers as keywords, also most of the postgraduate research was developed in institutions of the Cerrado.

The second stage of this study investigated mound fields next to PILAA using Remote Sensing and Random Forest algorithms, aiming to identify the most relevant spectral indexes and classify the region of interest according to the anthropization level. 200 sample points were collected for the classification, divided in 4 classes: 1- preserved areas; 2- areas in regeneration; 3- degraded areas; 4- water. The variables for the classification were collected from Landsat 7 and 8, Sentinel 1 and 2 and ALOS, totalling 72 spectral and topographic variables, including spectral indexes generated from the passive sensors. The filtering of this data collection was done in Rstudio using Recursive Feature Elimination (RFE), reducing the dataset to the 5 most relevant variables. The validation for the model was done using confusion matrixes, global accuracies, *Kappa* index and F1-score. The RFE model gave the highest scores to the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Normalized Difference Pond Index (NDPI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) and Normalized Difference Turbidity Index (NDTI), emphasizing the importance of the vegetation's and flooded areas' spectral response on the study of these environments. The final classification model achieved a global accuracy of 84,06% (train) and 80,59% (test), with a *Kappa* of 0.786 and 0.739, respectively. The classification showed that most of the study area was covered by preserved areas (41,36%) and areas in regeneration (39,05%), focused in the PEA and stage 3 of PILAA. The anthropized areas (12,45%) were mostly present on the active parts of the irrigation complex and along the roads and artificial drainages. The biggest confusion made by the algorithm was between classes 1 and 2, which shows a spectral similarity among them. We concluded that Mound Field Wetlands show some resilience facing the advance of anthropic activities because of the spectral similarity found, which showed the possibility of regeneration after more moderate anthropic interventions. The good scores on the validation metrics show the possibility of generalization of the model to study bigger areas, given some adjustments.

Keywords: Wetlands; Recursive Feature Elimination, bibliometric; Random Forest

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Remanescentes de campos de murundus no estado de Goiás.....	13
Figura 2: Localização da área de pesquisa.....	14
Figura 3: Modelo e visualização de AUs por satélite.....	17
Figura 4: Esquema do fluxo de água nos campos de murundus do Cerrado goiano durante a estação seca (a) e chuvosa (b).....	19
Figura 5: Publicações internacionais de artigos científicos sobre sensoriamento remoto de AUs.....	21
Figura 9: Localização das áreas de estudo.....	23
Figura 10: Mapa de geologia nas áreas de estudo.....	25
Figura 11: Mapa de unidades geomorfológicas nas áreas de estudo.....	26
Figura 12: Canal durante a estiagem.....	27
Figura 13: Canal durante o período de chuva.....	28
Figura 14: Mapa de pedologia nas áreas de estudo.....	29
Figura 15: Mapa de pedologia nas áreas de estudo.....	31
Figura 16: Produção científica anual sobre campos de murundus em artigos científicos de 1980 a 2024.....	32
Figura 17: Produção científica anual sobre campos de murundus em teses e dissertações de 1998 a 2023.....	33
Figura 18: Fontes mais relevantes de publicações sobre o tema campo de murundus entre 1980 e 2024.....	34
Figura 19: Autores com maior número de publicações de artigos sobre o tema campo de murundus entre 1980 e 2024.....	36
Figura 20: Instituições com maior número de publicações de artigos sobre o tema campo de murundus entre 1980 e 2024.....	36
Figura 21: Instituições com maior número de pesquisas de pós-graduação com o tema campo de murundus entre 1990 e 2024.....	37
Figura 21 : Artigos sobre campos de murundus com mais citações 1980 e 2024.....	38
Figura 22: Área dos trabalhos de pós graduação sobre campos de murundus entre 1998 e 2023.....	41
Figura 23: Termos e expressões mais frequentes nos artigos sobre campo de murundus publicados entre 1980 e 2024.....	42
Figura 25: Mapa dos pontos amostrais utilizados na classificação.....	46
Figura 26: Classe 1, áreas preservadas no interior do PEA.....	47
Figura 27: Classe 2, áreas em regeneração na fase 3 do PILAA.....	47
Figura 28: Classe 3, áreas antropizadas na fase 2 do PILAA.....	48
Figura 29 : Importância de cada variável no modelo final para a classificação de AUs...	54
Figura 30: Acurácia por número de feições para a classificação das AUs.....	55
Figura 31: Gráficos de distribuição dos valores por classe em cada variável selecionada..	57
Figura 32: Mapa da classificação final.....	61
Figura 33: Pontos de verificação do mapeamento.....	63
Figura 34 : Pontos de verificação do mapeamento.....	65
Figura 35: Pontos de verificação do mapeamento.....	67

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Detalhamento dos estudos mais citados	36
Quadro 2: Detalhamento dos dados extraídos	43
Quadro 3: Índices espectrais utilizados na pesquisa	43
Quadro 4: Hiperparâmetros utilizados no modelo	46
Quadro 5: Métricas de validação do modelo	47
Tabela 1: Matriz de confusão do conjunto de treino	52
Tabela 2: Matriz de confusão do conjunto de teste	52

SUMÁRIO

PARTE 1 - APRESENTAÇÃO	11
INTRODUÇÃO	11
1. Referencial teórico	16
1.1. Áreas úmidas e sistemas de classificação	16
1.2. Importância e riscos para AUs no Brasil	17
1.3. Áreas úmidas do médio Araguaia	19
1.4. Áreas úmidas de Campos de Murundus	19
1.5. AUs e sensoriamento remoto	21
2. Área do estudo	23
PARTE 2 - CAMPOS DE MURUNDUS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	30
3. Introdução	30
4. Metodologia	30
5. Resultados	31
6. Considerações finais	41
PARTE 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS AUs EM ÁREA IMPACTADA POR PROJETO DE IRRIGAÇÃO	43
7. Introdução	43
8. Metodologia	43
8.1. Amostragem	44
8.2. Obtenção e tratamento das variáveis	46
8.3. Índices espectrais	47
8.4. Seleção das variáveis	49
8.5. Random Forest	50
8.6. Métricas de validação do modelo	51
9. Resultados e discussões	52
9.1. Modelo de seleção de variáveis	52
9.1.1. Distribuição das variáveis selecionadas	54
9.2. Classificação final	56
9.2.1. Métricas de validação na classificação final	56
9.2.2. Mapa de classificação	58
9.2.3. Validação em campo	61
10. Considerações finais	67
PARTE 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

APRESENTAÇÃO

O avanço das atividades antrópicas nas últimas décadas tem causado mudanças no clima em escala global. Os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2023) apontam um cenário preocupante para a humanidade. O avanço deste processo tem promovido desde o aumento da temperatura média na superfície terrestre até o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, que impactam na produção de alimentos e disponibilidade hídrica (IPCC, 2023). Ademais, no Brasil esse cenário se agrava devido ao avanço de atividades agropecuárias sobre a vegetação nativa e a aceleração do desmatamento em território nacional, com a remoção de até 3000 ha por dia no Cerrado, de acordo com o Relatório do Anual do Desmatamento do MapBiomas (RAD, 2023). Neste contexto, áreas úmidas se tornam locais críticos de conservação, já que devido à capacidade de retenção hídrica dessas áreas, eventos extremos como inundações podem ser amenizados, em adição à sua capacidade de manter as dinâmicas hidrogeológicas durante períodos de estiagem e à regulação do microclima (IPCC, 2023 e Junk, 2013).

Áreas úmidas (AUs) são aquelas onde a água é o principal elemento que controla o ambiente e se faz presente na superfície ou próximo a ela, de forma perene ou intermitente (Ramsar, 2016). O Brasil é signatário da convenção de Ramsar, que foi o primeiro acordo ambiental multilateral entre governos para a conservação e uso sustentável em áreas úmidas (Ramsar, 2016), o que é de grande importância uma vez que estima-se que 20% do território do país é coberto por AUs. Segundo Junk et al. (2013), as AUs são ecossistemas de extrema importância pelos serviços ecossistêmicos prestados por elas, como o estoque de água que regula o ciclo hidrológico, retenção de sedimentos, regulação do microclima e armazenamento de carbono orgânico.

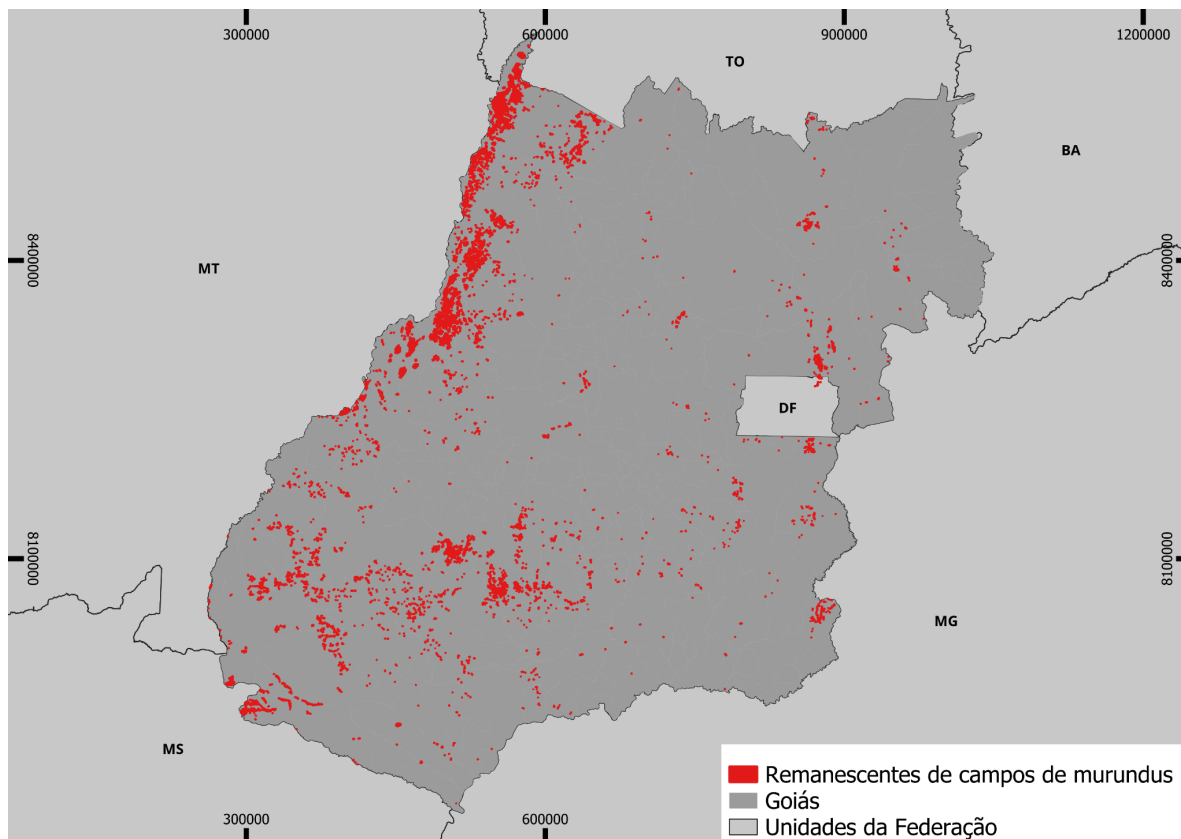
Mundialmente as AUs são ambientes muito ameaçados e estima-se que 64% da sua área original foi perdida desde o ano 1900 (Ramsar, 2021), com as áreas restantes apresentando-se já degradadas ou ameaçadas (Zedler e Kercher, 2005). No Brasil a situação não é muito diferente, sendo que a mudança no uso e cobertura da terra e o avanço de atividades agropecuárias constituem os principais meios de degradação destes ambientes (Junk et al., 2013). Na conjuntura do Cerrado, o funcionamento de áreas úmidas está intimamente ligado a pulsos hidrológicos, de forma que alterações que tenham impacto no regime de flutuação do nível freático

levam a consequências muito fortes e rápidas a estes ambientes, impactando no regime hidrológico do local (Gomes et al., 2023). Além disso, Junk et al. (2013) e Gomes et al. (2023) também apontam que a insuficiência de legislação acerca de áreas úmidas é um dos fatores que dificultam a conservação destes ambientes no Brasil.

No contexto das áreas úmidas do Cerrado é comum encontrar o microrrelevo denominado de Campos de Murundus. Estes são definidos pelo relevo plano com ocorrência de murundus (pequenos morrotes de terra), e são comumente encontrados em áreas de transição entre a superfície de planaltos bem drenados e áreas com drenagem menos eficiente (Sales, 2022), como depressões fechadas, cabeceiras de canais e franjas hidromórficas ao longo de rios e veredas. Por estarem associados a áreas úmidas, os murundus criam uma dinâmica única, onde área plana entre os morrotes passa por períodos de inundação durante a estação chuvosa, enquanto os murundus proporcionam pequenas ilhas onde o nível freático não chega a aflorar (Silva, L. et al., 2010). Apesar de serem uma formação relativamente comum e que ocorre em todo o mundo, ainda não há consenso sobre a sua gênese na literatura científica

No estado de Goiás a lei estadual 16.153 (Goiás, 2007) classifica Campos de Murundus como áreas de preservação permanente. Apesar disso, ainda há discussão jurídica no assunto, visto que nos últimos 20 anos foram publicadas 5 leis que tratam desses ecossistemas, a mais recente sendo do ano de 2023. Em 2022 o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG (IESA-UFG) realizou o mapeamento das áreas de campos de murundus para o estado de Goiás em parceria com a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). O mapeamento revelou uma grande concentração de campos de murundus no noroeste goiano (Figura 1), associados às unidades geológicas de origem aluvial do Rio Araguaia (Silva, E. et al., 2022). Essa concentração de campos de murundus ao longo do médio curso do Rio Araguaia em Goiás é coerente com as dinâmicas naturais do rio, uma vez que o médio curso é caracterizado pela entrada de grandes afluentes e pela entrada do rio na depressão do Bananal, o que favorece a formação de grandes áreas úmidas nas várzeas e terraços do rio, como as áreas úmidas da planície do Bananal e a própria Ilha do Bananal

Figura 1: Remanescentes de campos de murundus no estado de Goiás



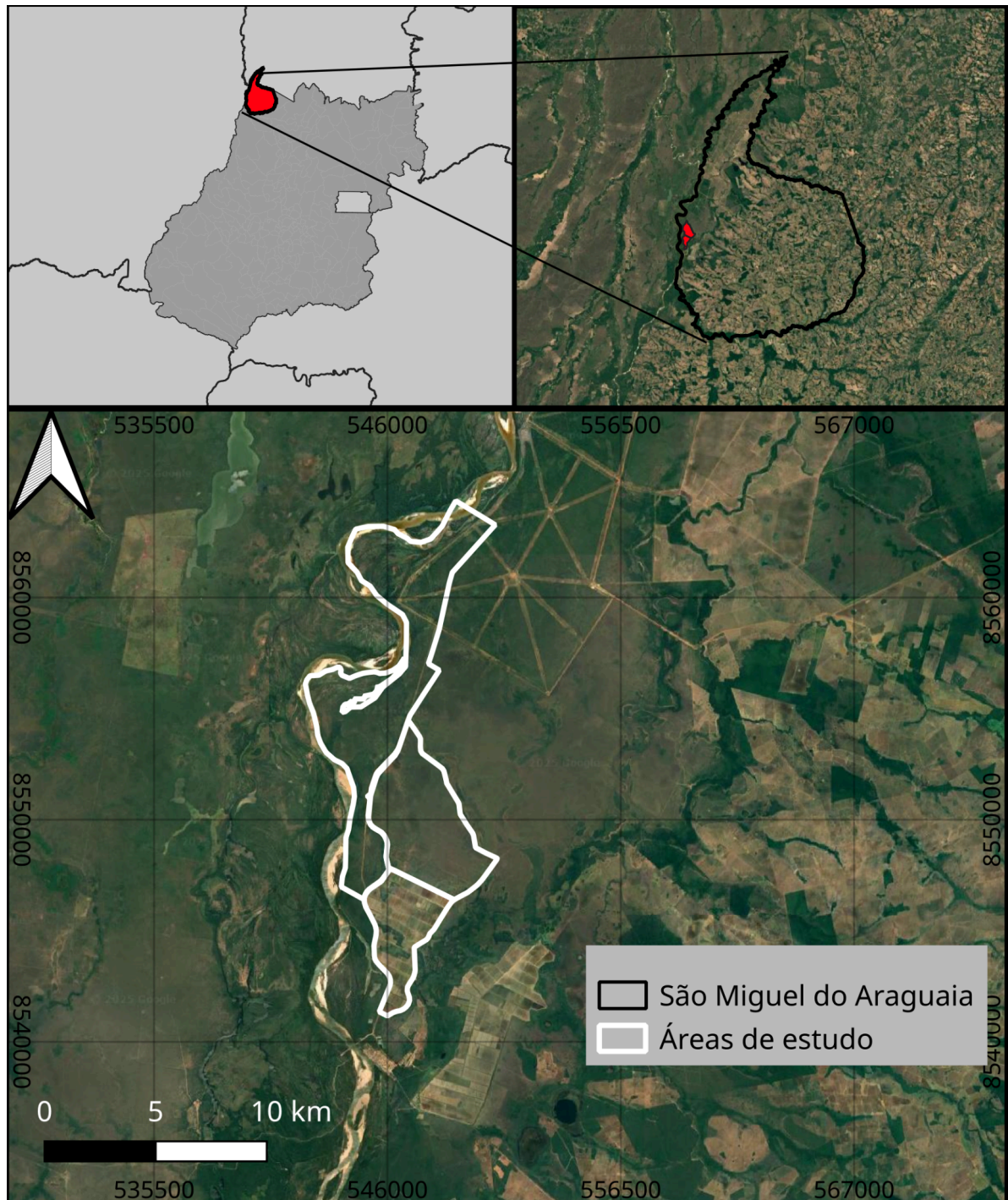
Elaboração: Próprio autor (2024).

Fonte: SEMAD-GO

Nas planícies de inundação e terraços da margem direita do Rio Araguaia foi implantado o Projeto de Irrigação Luiz Alves do Araguaia (PILAA), com mais de seis mil hectares, localizado no distrito que dá o nome ao projeto, no município de São Miguel do Araguaia (Figura 2). O PILAA foi realizado com financiamento da Superintendência de Desenvolvimento do Centro Oeste (SUDECO) e da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF) e atualmente pertence à Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária do Estado de Goiás (EMATER-GO), que realiza a produção na área do projeto com agricultores familiares. O projeto foi implantado em três fases, a primeira realizada no final da década de 1990 e a segunda no começo dos anos 2000. A terceira fase foi planejada e o local chegou a ser loteado, mas até o momento não foram instaladas atividades agrícolas no local. A irrigação nos lotes é feita de maneira superficial, por meio de um sistema de canais artificiais. Para

alimentar os canais de irrigação é utilizado um sistema de comportas e bombeamento, além de uma represa que armazena a água do Rio Araguaia.

Figura 2: Localização da área de pesquisa



Elaboração: Próprio autor (2024).

Próximo ao PILAA se situa o Parque Estadual do Araguaia de Goiás (PEA) (Figura 2), uma unidade de conservação estadual criada em 2002 pelo decreto n°

5.631 com a finalidade de “preservar as nascentes, os mananciais, a flora e fauna, as belezas cênicas, bem como a controlar a ocupação do solo da região....” (Goiás, 2002). O PEA está inserido em um mosaico de unidades de conservação dentro da Área de Proteção Ambiental Meandros do Araguaia, no entanto o parque ainda não possui plano de manejo.

Estudos já foram realizados na área e nas imediações, Santos (2020) e Martins (2017) estudaram o comportamento de plintossolos no local pela perspectiva das Ciências Agrônômicas. Marcuz (2019) realizou investigações acerca da geoquímica do Fósforo nas áreas do projeto de irrigação. Ferreira e Bueno (2022) identificaram grandes extensões de estradas não pavimentadas associadas com canais próximos ao PILAA e ao PEA. Levantou-se a questão sobre quais seriam as possíveis alterações no regime do nível freático provocadas pela estrutura do referido projeto e seus impactos na dinâmica dos campos de murundus no local.

O avanço das tecnologias na área do sensoriamento remoto vem beneficiando imensamente o estudo de áreas úmidas. Com o aumento do número de sensores e bandas espectrais disponíveis para a análise, foram efetuados diversos trabalhos de identificação, classificação e monitoramento de áreas úmidas (Ahsok et al., 2021; Gonçalves, 2021; Ozesmi e Bauer, 2002; Rasser et al, 2008). Os índices espectrais se mostraram muito úteis no estudo de áreas úmidas, a exemplo dos índices que possuem relação com a vegetação ou umidade, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), devido às dinâmicas hidrológicas desses ambientes (Ahsok et al., 2021; Carvalho, 2018; Simões, 2019).

Nesse contexto, técnicas de aprendizado de máquina, como o algoritmo Random Forest, têm ganhado protagonismo por sua capacidade de integrar grandes volumes de dados heterogêneos, identificar padrões não lineares e selecionar automaticamente variáveis preditivas relevantes, otimizando a robustez de modelos de classificação (Belgiu e Dragut, 2016). Complementarmente, métodos geoestatísticos, como análise de correlação espacial e seleção hierárquica de variáveis, têm sido empregados para reduzir redundâncias e melhorar a interpretabilidade dos resultados, garantindo que apenas as variáveis mais significativas sejam incorporadas aos modelos (Dormann et al., 2013).

Frente ao apresentado, a presente pesquisa visa contribuir para o conhecimento dos ambientes de campos de murundus e, mais especificamente,

investigar o comportamento de AUs de campos de murundus com diferentes estágios de antropização através de técnicas de sensoriamento remoto. Dessa maneira, o objetivo geral desta pesquisa é identificar e estudar AUs de campos de murundus na presença de um grande projeto de irrigação. Os objetivos específicos do trabalho são: i) realizar um panorama dos conhecimentos sobre campos de murundus em publicações científicas no Brasil; ii) identificar as variáveis espectrais que obtiveram melhor resultado na classificação da área estudada; iii) Fazer um balanço das áreas naturais, áreas antropizadas e em regeneração na área estudada.

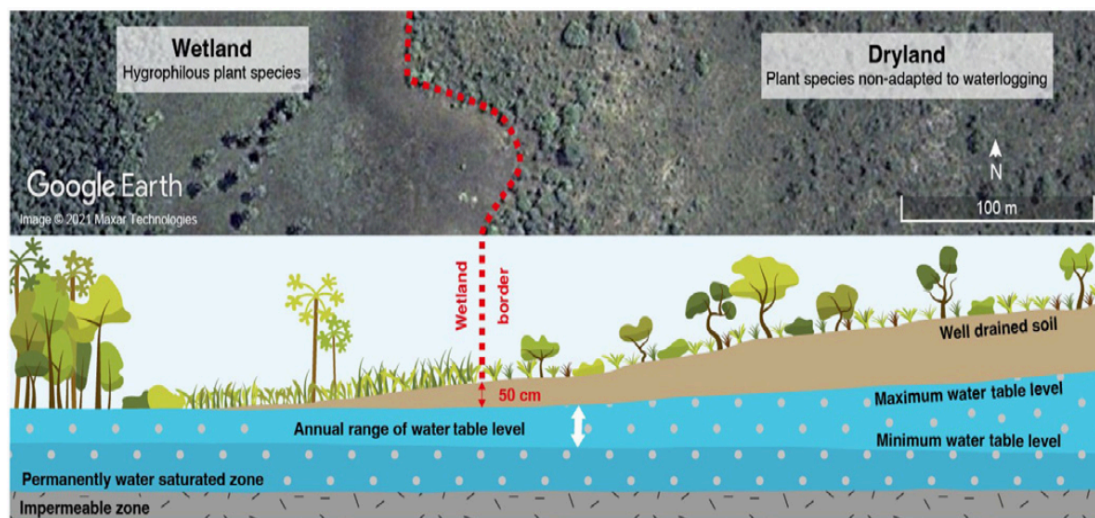
Esta dissertação está dividida em 3 partes. A primeira parte é uma introdução aos temas que serão abordados, acompanhada da revisão bibliográfica. A segunda parte traz um estudo bibliométrico realizado sobre campos de murundus a fim de identificar lacunas no conhecimento a serem preenchidas e apresentar um estado da arte sobre o conhecimento científico destes ambientes, além dos pesquisadores e instituições mais dedicados à sua investigação. A parte 3 é um estudo de caso de uma AU de campos de murundus na várzea do Rio Araguaia no noroeste goiano, onde foi implantado um grande projeto de irrigação ao lado do Parque Estadual do Araguaia. Esta parte do estudo utilizou técnicas de sensoriamento remoto para identificar áreas impactadas e áreas em regeneração. As partes 2 e 3 foram organizadas na forma de artigos científicos, sendo que a parte 2 já foi submetida a uma revista.

1. Referencial teórico

1.1. Áreas úmidas e sistemas de classificação

AUs funcionam como ligação entre ambientes aquáticos e terrestres (Figura 3) e se manifestam com diferentes formações em diferentes locais, abrangendo desde AUs com nível de água mais estável, como pântanos e turfeiras, a AUs com regime hidrológico mais intenso, como planícies de inundação de rios (Durigan et al., 2022; Cunha, C. N. et al., 2015). O Brasil possui grandes extensões de AUs, com a estimativa de 20% do território nacional coberto por estes ambientes. Algumas cobrem dezenas de milhares de quilômetros quadrados, como é o caso das planícies inundadas e terraços do Rio Araguaia (Junk et al., 2013), que é um sistema de AUs formadas sobre os sedimentos depositados pelo rio durante o Quaternário (Irion et al, 2016).

Figura 3: Modelo e visualização de AUs por satélite



Fonte: Durigan et al., 2022

Devido à sua ocorrência frequente, há diversas definições e sistemas de classificação de AUs utilizando diferentes parâmetros, como o regime hídrico e a vegetação, cada um válido para seus próprios fins (Haslam, 2003; Cunha, C. N. et al., 2015). O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU), publicou em 2013 o eBook “Classificação e delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e seus microhabitats” (Cunha, C. N. et al., 2015), que apresentou o Novo Sistema de Classificação dos Principais Tipos de AUs Brasileiras. Este sistema de classificação possui três níveis hierárquicos, baseados na dinâmica hidrológica, parâmetros físicos e químicos e na composição e estrutura botânica (Cunha, C. N. et al., 2015). Já em 2024 foi publicado, também pelo INAU, o “Inventário Das Áreas Úmidas Brasileiras: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento” (Junk, 2024) que apresentou o inventário de AUs mais recente e completo no Brasil a partir de uma colaboração entre pesquisadores de todo o país.

1.2. Importância e riscos para AUs no Brasil

No meio continental tropical, as áreas úmidas possuem como uma de suas funções o retardamento do escoamento da água, já que ele se dá de forma mais lenta nessas áreas. Graças a essa capacidade, as áreas úmidas promovem a estabilização ambiental e a regulação dos ciclos hídricos, o que as torna fundamentais para o equilíbrio de ecossistemas em regiões de clima sazonal (Fonseca e Campos, 2011). Além disso, esses ambientes abrigam elevada

biodiversidade: reservatórios de vida para inúmeras espécies aquáticas e terrestres, muitas adaptadas unicamente a condições de solo alagado. Espécies raras ou ameaçadas dependem desses locais para alimentação, abrigo e reprodução (Durigan et al, 2022). Estas características também estão relacionadas com seus serviços ecossistêmicos como a recarga do nível freático e purificação da água (Junk et al., 2013; Durigan et al., 2022).

AUs também desempenham um papel fundamental no estoque de carbono orgânico no solo, o acúmulo de matéria orgânica e a sua decomposição desacelerada em função das dinâmicas hídricas intensas, que promovem a formação de turfeiras e o armazenamento de grandes quantidades de carbono (Durigan et al., 2022). Estes estoques de carbono presentes em AUs podem contribuir para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Quando convertidas para pastagens, atividades agrícolas ou outras atividades antrópicas, estas áreas liberam parte deste estoque de carbono para a atmosfera, favorecendo a intensificação das mudanças climáticas (Durigan et al, 2022). Souza et al. (2016) estimaram que seriam necessários 34 anos para recuperar os estoques de carbono na sua área de estudo após a conversão para atividades agrícolas.

Apesar de sua inegável importância para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados por estas áreas, elas se encontram entre as mais ameaçadas mundialmente, estimando-se que 64% das AUs no mundo foram perdidas desde o ano 1900 (Ramsar, 2016). No cenário nacional o panorama não é muito diferente. Ainda que o Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012) classifique como área de preservação permanente alguns tipos de áreas úmidas (como veredas e manguezais), faz-se necessária a inclusão das demais áreas úmidas na legislação a partir do sistema de classificação de AUs já existente (Cunha et al., 2015). Estas lacunas são algumas vezes preenchidas por leis estaduais, como o estado de Goiás, que também classifica campos de murundus como áreas de preservação permanente (Goiás, 2007). Apesar de existir legislação para proteger algumas formações de AUs, a fiscalização e aplicação dessas leis se mostram pouco eficazes em conter o avanço das atividades agropecuárias, como vem ocorrendo no Cerrado, nas últimas décadas (Junk et al., 2013; Gomes et al., 2023; De Oliveira e Rosolem, 2014; Paulino et al., 2015).

1.3. Áreas úmidas do médio Araguaia

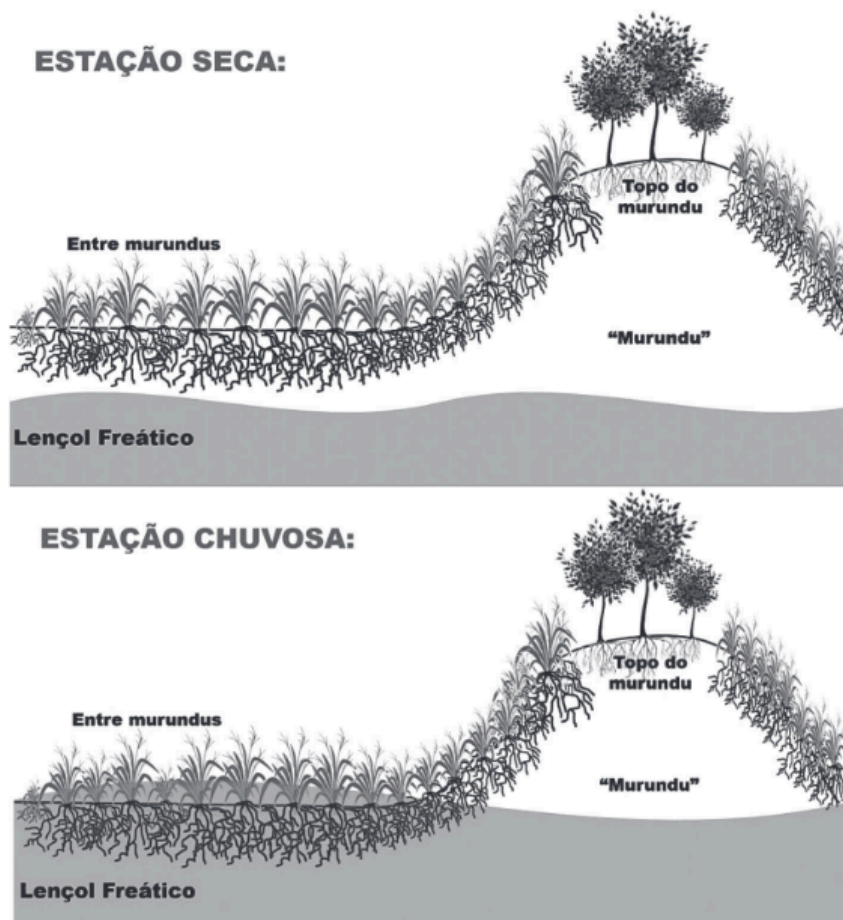
No Cerrado, todas as AUs são de sistemas interiores e a maioria possui nível de água flutuante, que são os tipos menos estudados na literatura internacional (Cunha et al., 2015). As AUs do Cerrado são reguladas pelo regime de chuvas do bioma, de forma a que seus regimes hidrológicos são mais intensos durante o período de chuvas e menos intensos durante a estiagem (Durigan et al., 2013). As AUs da Planície do Bananal são dominadas pela hidrologia e geomorfologia do local. Estão localizadas principalmente no médio curso do Rio Araguaia, onde o rio recebe grandes volumes de água de seus tributários e passa a correr em uma grande bacia intercratônica, onde passa a ser mais plano (Valente et al., 2012).

As AUs da Planície do Bananal se enquadram no sistema de classificação brasileiro como parte da subordem “sujeitas a um pulso monomodal previsível com baixa amplitude”, mesma subordem do Pantanal e das savanas inundadas nos interflúvios dos rios Negro e Solimões (Cunha, et al., 2015). Apesar de serem AUs, essas áreas podem ser afetadas por incêndios devido ao acúmulo de matéria seca durante períodos de estiagem mais longos. Estas áreas podem estar sujeitas a inundações e aportes de sedimentos transportados pelo Rio Araguaia, geralmente apresentando solos hidromórficos, com baixa disponibilidade de nutrientes e alto teor de matéria orgânica nas partes mais bem drenadas, e solos lateríticos na interface com os ambientes terrestres (Durigan et al., 2022; De Oliveira e Rosolem, 2014).

1.4. Áreas úmidas de Campos de Murundus

Campos de murundus são áreas planas, sazonalmente alagadas e com vegetação herbácea, onde se encontram montes de terra que ficam mais elevados do que a superfície hidromórfica (Figura 4), formando pequenas áreas não alagáveis, onde podem ocorrer espécies arbóreas e arbustivas (SALES, 2021). Os murundus são encontrados em diversos locais do mundo e assumem diferentes nomes. A distribuição dos montículos sobre a superfície plana motivou diversas pesquisas e publicações em vários continentes (PRINGLE e TARNITA, 2017; PAULINO et al., 2015).

Figura 4: Esquema do fluxo de água nos campos de murundus do Cerrado goiano durante a estação seca (a) e chuvosa (b)



Fonte: Paulino et al., 2015

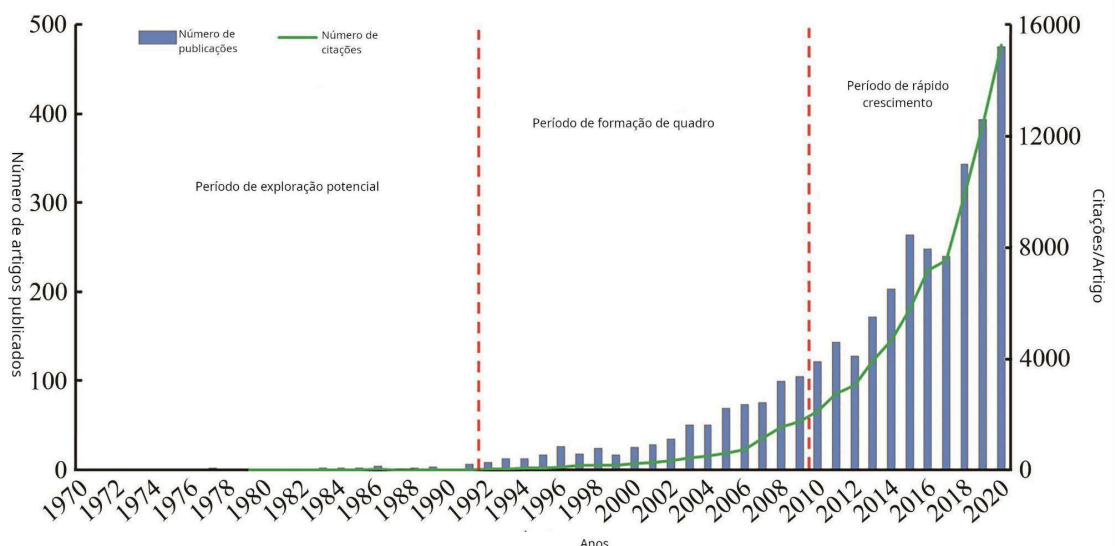
Na literatura científica brasileira, um dos primeiros trabalhos a abordar a temática de campos de murundus foi o livro "Studies on termites from the Mato Grosso State, Brazil", por AGA Mathews (1977). Com mais de 170 citações em 35 países, esta pesquisa ainda influencia a ciência produzida sobre campos de murundus em várias áreas do conhecimento (Cunha e Oliveira, 2015). No estado de Goiás existem legislações específicas sobre campos de murundus desde 2007, como a lei nº 16.153 (Goiás, 2007), que dispunha sobre a proteção destes ambientes no estado e os concedia o *status* de Área de Preservação Permanente (APP). Desde então houve mais leis estaduais que abordaram essas formações, oscilando a necessidade de recomposição de áreas marginais já ocupadas (Goiás, 2013) e o cômputo dessas áreas na reserva legal (RL) da propriedade (Goiás, 2022). A legislação mais recente sobre o assunto é a lei estadual nº 22.017, de 14 de junho de 2023, que faz alterações de forma a permitir a conversão de novas

áreas de campos de murundus mediante autorização do órgão ambiental (Goiás, 2023).

1.5. AUs e sensoriamento remoto

Para delineamento e classificação de AUs, as técnicas de sensoriamento remoto se destacam pela ampla disponibilidade de dados satelitários, cobertura de toda a superfície terrestre e histórico de dados desde a década de 1980 no caso da missão Landsat (Ozesmi e Bauer, 2002). Dehua et al. (2023) mostraram que as pesquisas relacionadas ao sensoriamento remoto de AUs cresceram de forma exponencial a partir do início da década de 1990 no meio científico internacional (Figura 5), em uma pesquisa que abrangeu mais de 3.500 trabalhos na base de dados da WOS. Outras pesquisas bibliométricas revelam que novas tecnologias na área, como a computação de nuvem e os sensores ativos, têm sido exploradas com bons resultados por pesquisadores (Guo et al., 2017, Abdelmajeed et al., 2023)

Figura 5: Publicações internacionais de artigos científicos sobre sensoriamento remoto de AUs



Fonte: Adaptado de Dehua et al., 2023

Os estudos em AUs normalmente empregam índices espectrais ligados a dinâmicas da água como o NDWI (Guo et al., 2017), sendo que o regime de flutuação do freático e as dinâmicas naturais de inundação destes ambientes influenciam a sua assinatura espectral, de forma a que AUs com solo saturado

tenham respostas espectrais diferentes daquelas mais secas, sendo possível também distingui-las de áreas inundadas (Ozesmi e Bauer, 2002).

A geoestatística, ramo da estatística dedicado à análise de fenômenos espacialmente contínuos, emergiu nas décadas de 1950 e 1960 a partir de demandas da mineração para reduzir incertezas na estimativa de reservas minerais (Matheron, 1963). Apoiada no conceito de variável regionalizada, esta abordagem parte do pressuposto de que “Uma variável regionalizada é, *sensu stricto*, uma função, tomando um valor definitivo em cada ponto do espaço” (Matheron, 1963). Esta função é complexa demais para ser compreendida por análises puramente matemáticas, porém, a partir da integração de outras áreas do conhecimento é possível estimar valores para fazer aproximações desta função numa tentativa de explicar e prever a distribuição espacial de certos fenômenos. Em AUs, sua aplicação é estratégica devido à alta variabilidade espacial de atributos como umidade do solo, estoques de carbono e dinâmicas hidrológicas, frequentemente mensurados de forma pontual. Métodos como a Krigagem Ordinária podem ser utilizados para espacializar estes dados pontuais a fim de obter a distribuição destes dados em uma área, como demonstrado por Douzouné et al (2024). Em ambientes dinâmicos como os campos de murundus, a sinergia entre geoestatística e sensoriamento remoto amplia a capacidade de prever respostas hidrológicas a intervenções antrópicas, como a implantação de projetos de irrigação, reforçando seu papel na gestão adaptativa desses ecossistemas.

O uso de algoritmos de classificação supervisionada, como o *Random Forest*, tem ganhado destaque no sensoriamento remoto de AUs devido à sua capacidade de lidar com dados multidimensionais e dos resultados promissores já obtidos tanto na sua precisão quanto na velocidade (Belgiu e Drăguț, 2016). Este algoritmo de aprendizado de máquina, baseado em árvores de decisão, permite a integração de dados ópticos, dados de radar e variáveis topográficas, melhorando a precisão na classificação de ambientes úmidos heterogêneos. Estudos recentes mostram a eficácia do *Random Forest* na classificação de AUs e a sua capacidade de ser aplicada em grandes áreas, modelos mais avançados já conseguem alcançar uma acurácia de mais de 90% em alguns casos (Shafizadeh-Moghadam et al, 2021; Piaser e Villa, 2023), fazendo do *Random Forest* uma ferramenta valiosa no estudo de AUs. A aplicação dessa técnica em plataformas de computação em nuvem, como o Google Earth Engine, tem viabilizado o processamento de grandes séries

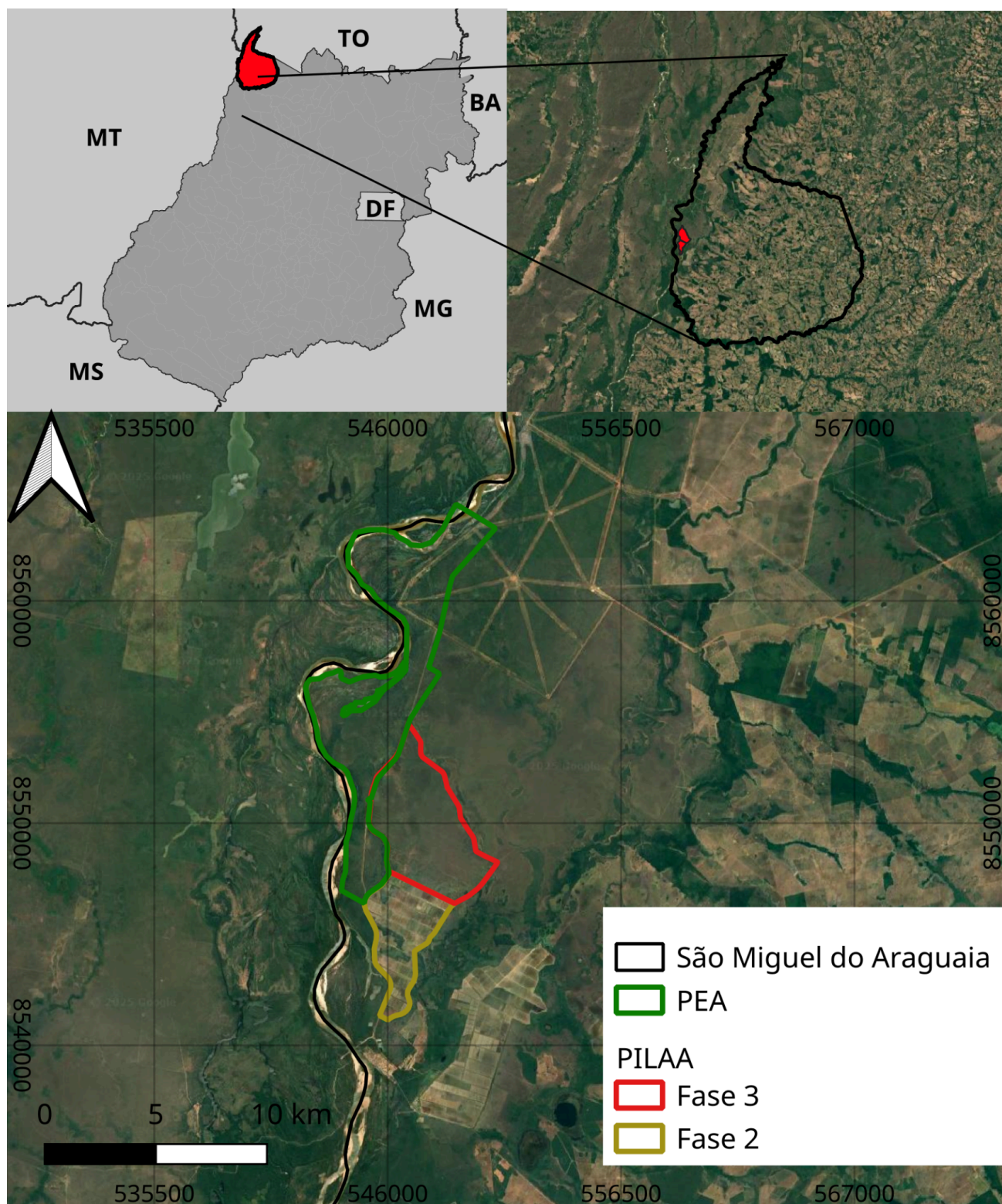
temporais, essenciais para monitorar a resiliência de AUs frente a mudanças climáticas (Abdelmajeed et al., 2023).

No presente estudo, a sinergia entre sensoriamento remoto e geoestatística foi fundamental para superar desafios na classificação de campos de murundus com diferentes graus de antropização. A seleção de variáveis espectrais e topográficas foi otimizada por meio da análise automática de semivariogramas, que identifica padrões de autocorrelação espacial críticos para priorizar *features* como textura do solo e elevação. Essa abordagem foi combinada com o algoritmo Random Forest, cuja capacidade de lidar com dados multidimensionais e não lineares o torna ideal para classificar ambientes úmidos heterogêneos (Belgiu e Drăguț, 2016).

2. Área do estudo

As áreas escolhidas para este estudo foram o PEA e as etapas 2 e 3 do PILAA; a etapa 1 do projeto foi descartada por estar mais afastada das demais e do Rio Araguaia. Dessa forma, a etapa 2 do PILAA foi considerada como referência de campos de murundus com antropização avançada, enquanto a fase 3 foi considerada referência para campos de murundus com antropização moderada, onde apenas o loteamento foi feito, e o PEA foi considerado como referência para campos de murundus levemente alterados, já que apenas foram instalados drenos no local, com a maior parte da vegetação e do relevo de murundus permanecendo intactos. As áreas do estudo estão situadas no município de São Miguel do Araguaia, às margens do Rio Araguaia (Figura 9), um dos rios mais importantes do Brasil e que drena um quarto do estado de Goiás (Bayer, 2010).

Figura 9: Localização das áreas de estudo



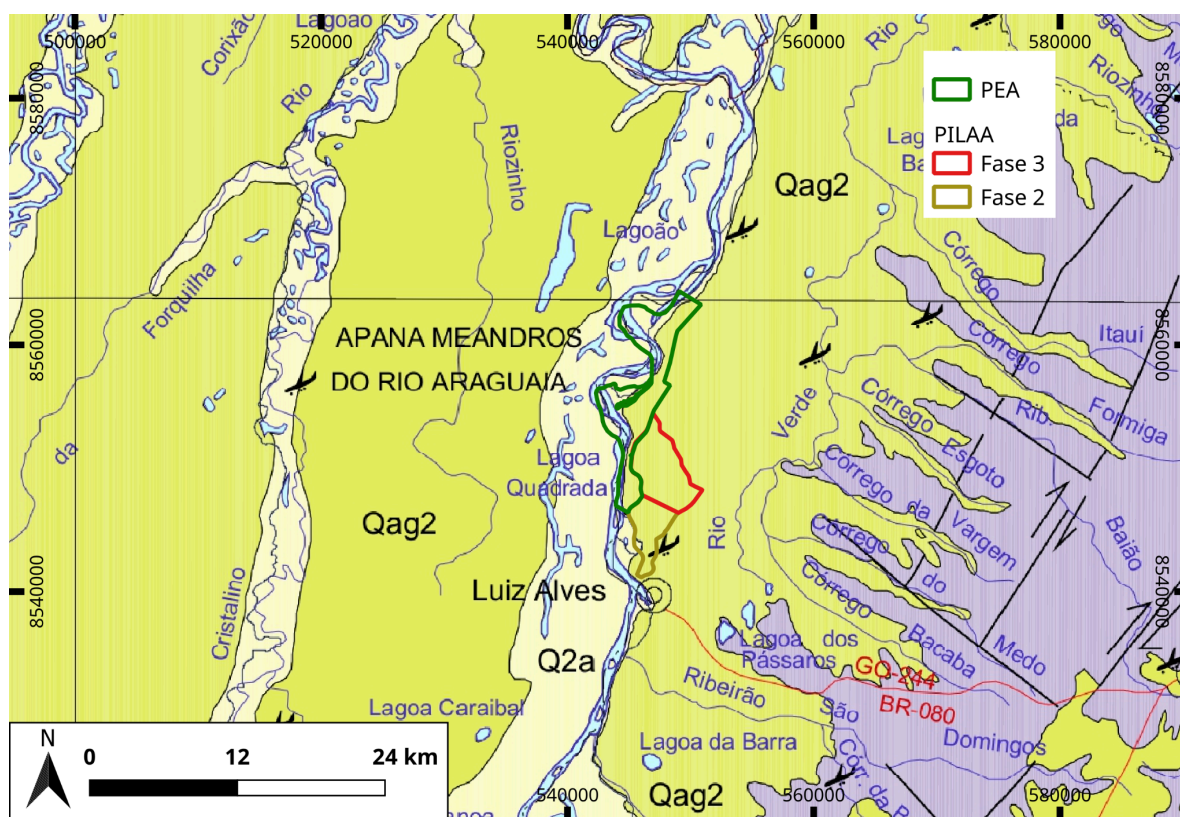
No ano de 2021 foi publicado o Caderno de Caracterização do Estado de Goiás, elaborado pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf). Esse documento caracteriza a microrregião de São

Miguel do Araguaia como clima tropical com inverno seco, e a destaca pelo seu volume de precipitação comparado às demais microrregiões do estado (CODEVASF, 2021).

As áreas se localizam no médio Araguaia, o maior trecho do rio, que é caracterizado pela entrada de grandes tributários como o Rio Vermelho e o Rio das Mortes, o que aumenta consideravelmente sua área de drenagem (Latrubesse e Stevaux, 2002). O PEA e o PILAA se localizam imediatamente à montante da Ilha do Bananal. Esta parte do Araguaia está localizada em uma região com altitude e declividades menores. O relevo plano, aliado à entrada de grandes tributários e ao alto volume de sedimentos transportados pelo rio, fazem com que grandes planícies fluviais sejam formadas nesta região, marcadas pela forte presença de meandros abandonados e paleocanais do Araguaia.

De acordo com Bayer (2010), o condicionamento tectônico da bacia do Rio Araguaia é o lineamento Transbrasiliano. Este está associado à reativação de lineamentos pré-cambrianos que vem ocorrendo desde o Cretáceo. No mapeamento geológico ao milionésimo para o Brasil realizado pelo projeto RADAM/BRASIL, o PEA se localiza na Carta Goiás (SD.22) (Figura 10). Ele se encontra sobre os depósitos aluvionares quaternários do Rio Araguaia (Qag2). Esses depósitos, no entorno da Ilha do Bananal, estão relacionados ao Pleistoceno, enquanto os depósitos da ilha em si são um pouco mais novos, associados ao Holoceno (Vieira, 2002). O Relatório do Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal (Moreira et al., 2008) classifica os depósitos presentes dentro do PEA como pertencentes à Formação Araguaia, compostos por sedimentos argilo-siltosos e arenosos, capeados por solos laterizados.

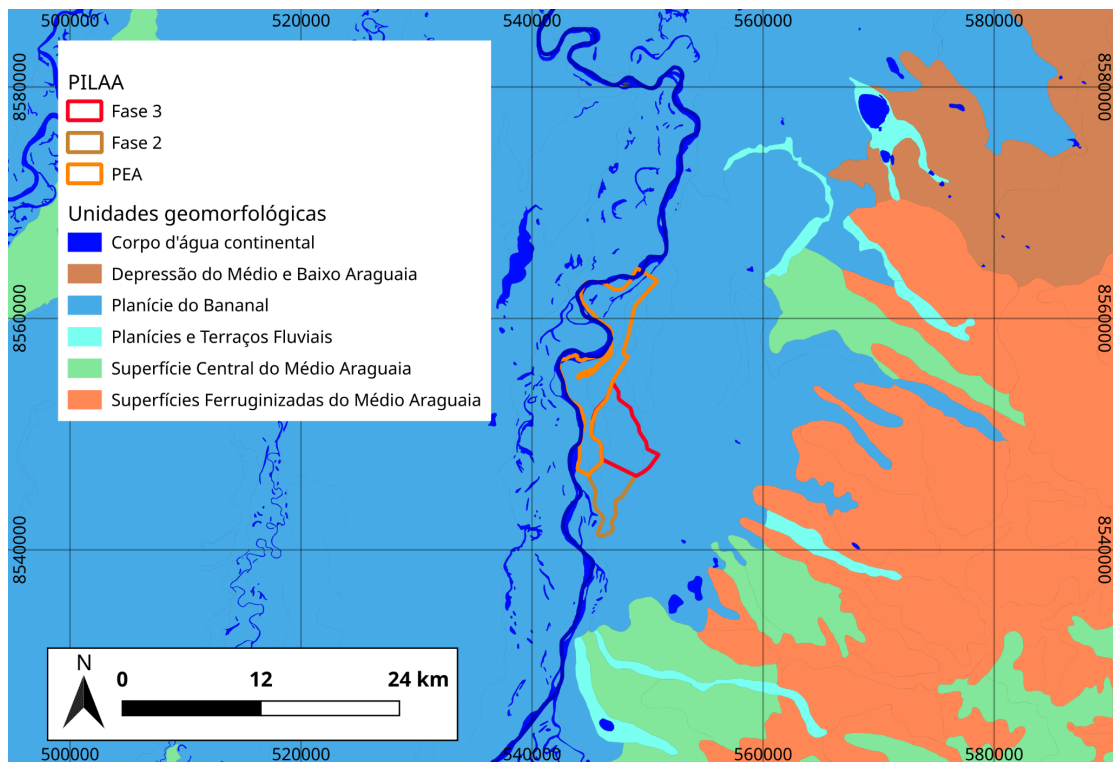
Figura 10: Mapa de geologia nas áreas de estudo



Fonte: RADAMBrasil 2008 (adaptado)

Por estarem localizadas muito próximas da Ilha do Bananal, as áreas do estudo se encontram inteiramente na unidade geomorfológica da Planície do Bananal (Figura 11), que se divide em 2 compartimentos segundo a CODEVASF (2021), sendo elas áreas de acumulação inundáveis e extensas planícies de inundação. O PEA se encontra próximo à borda da unidade geomorfológica, em uma planície extensa que se encontra majoritariamente conservada, pouco dissecada, fortemente caracterizada por depósitos aluvionares do Rio Araguaia, com meandros e marcas de movimentação de sedimentos (Vieira, 2002).

Figura 11: Mapa de unidades geomorfológicas nas áreas de estudo



Fonte: IBGE 2021

Dentro do PEA e na fase 3 do PILAA foram identificados campos de murundus, apesar de não ser possível afirmar que o resto do projeto de irrigação esteja em área que era ocupada por essas formações. Imagens da série histórica do satélite Landsat mostram uma homogeneidade no aspecto geral da área da fase 2 do PILAA com a da fase 3 e com o PEA, o que sugere que a fase 2 era ocupada pelas mesmas formações que as demais áreas do estudo. Além dos campos de murundus também há presença de canais artificiais de drenagem no PILAA e no PEA. Todos os canais estão conectados e apresentam dinâmicas de inundação condizentes com o regime de chuvas (Figuras 12 e 13).

Figura 12: Canal durante a estiagem



Fonte: O autor

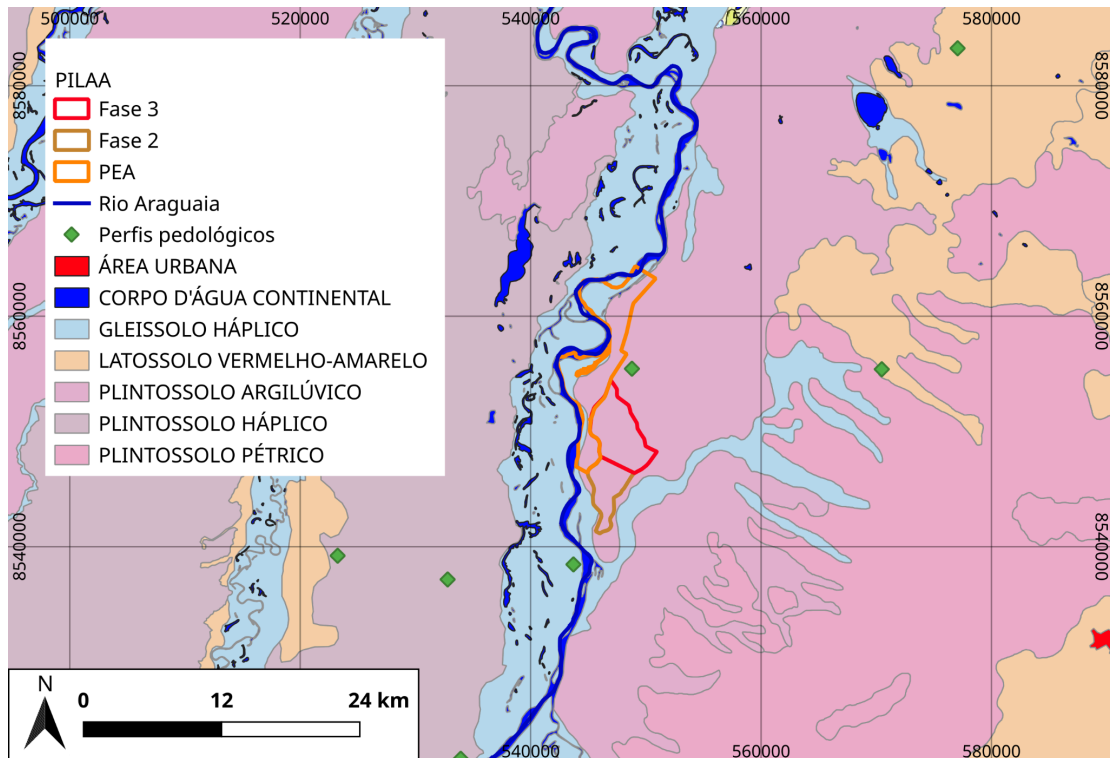
Figura 13: Canal durante o período de chuva



Fonte: O autor

Como se observa na Figura 14, a Base contínua de Pedologia do Brasil produzida pelo IBGE na escala de 1:250.000 classifica a maior parte do parque como área de Plintossolos, que são solos com formação de plintitas devido à concentração de ferro oxidado em decorrência da variação sazonal do nível freático, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018). Uma pequena parte do PEA foi mapeada como área de Gleissolos, mais próxima à margem do rio. Gleissolos são solos hidromórficos intensamente gleizados, caracterizados pela redução do ferro (Fe), o que resulta em sua coloração acinzentada.

Figura 14: Mapa de pedologia nas áreas de estudo



Fonte: IBGE

Estudos anteriores realizados no projeto de irrigação classificam o solo da região como plintossolo (Martins, 2017; Santos, 2020; Marcuz, 2019). Tradagens exploratórias realizadas no âmbito desta pesquisa de mestrado no PILAA identificaram plintitas no solo, o que suporta as pesquisas anteriores que mostram que predominam os Plintossolos na área).

ARTIGO 1 - CAMPOS DE MURUNDUS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

3. Introdução

Apesar de sua presença comum na paisagem do Cerrado, campos de murundus ainda são cientificamente pouco conhecidos. Isso fica evidente quando se observam as divergências na literatura científica sobre sua gênese: alguns autores, como Oliveira-Filho (1992), defendem que essas formas se originam pela movimentação local de material do solo ocasionado pela ação biológica. Este trabalho tira suas conclusões a partir da análise da distribuição espacial dos murundus bem como da presença de cupins nos murundus analisados e de análises granulométricas do solo. Outros estudos, como o de Silva et al., (2010), apontam uma origem geomorfológica para os murundus, segundo a qual os montículos seriam formas relictuais resultantes do processo de erosão diferencial. Esta hipótese se baseia na comparação dos isótopos de carbono presentes nos campos de murundus, onde os solos dos montículos de terra apresentaram uma semelhança muito grande com os solos dos ambientes savânicos bem drenados do entorno, o que indica que os murundus seriam os remanescentes de uma superfície que foi erodida.

Embora sua importância ambiental como subsistema das áreas úmidas seja reconhecida na literatura científica (Junk et al., 2013; Durigan et al., 2022), seu reconhecimento como parte das APPs e uma melhor compreensão de sua dinâmica e de sua evolução se fazem necessários. Isso é evidente diante do cenário de desafios ambientais criados pela acelerada mudança no uso e cobertura da terra e pelas mudanças climáticas; das dificuldades de sua incorporação como APP; e diante do conhecimento ainda escasso quanto à sua gênese e suas dinâmicas dentro da comunidade científica. Esta segunda parte da dissertação buscou avaliar a produção científica brasileira acerca dos campos de murundus por meio de artigos científicos e de teses e dissertações resultantes de pesquisas de pós-graduação.

4. Metodologia

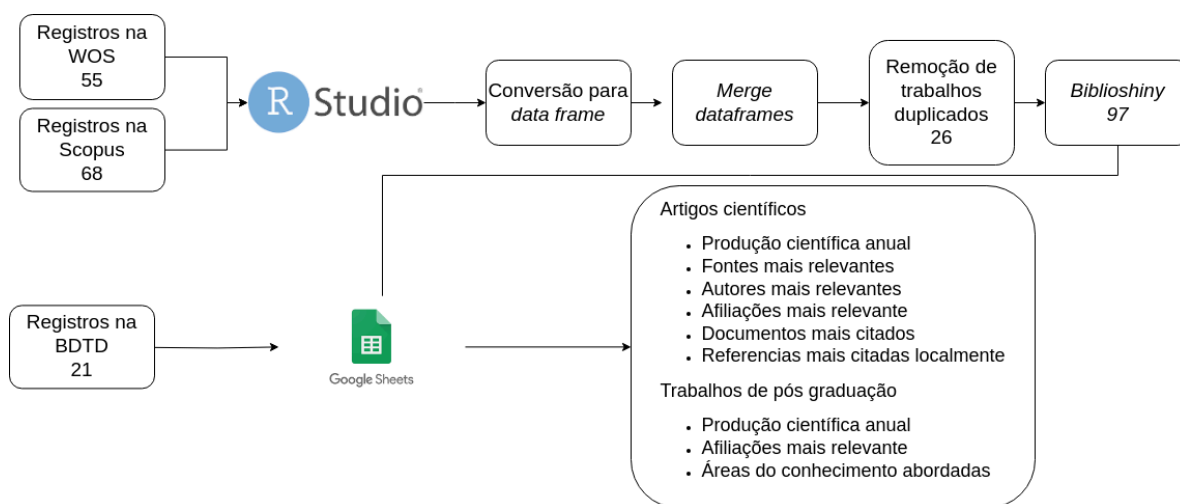
A revisão de literatura para este trabalho foi realizada com as abordagens bibliométrica e qualitativa, a fim de quantificar a produção acadêmica sobre campos de murundus e identificar as principais áreas do conhecimento que abordam essas formações (Figura 15). Utilizou-se como base de dados as plataformas *Web of Science* (WOS), *Scopus*, que abrangem os periódicos mais relevantes, e a

Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), na qual são cadastrados os trabalhos de pós graduação produzidos por universidades Brasileiras

Foi empregado o termo de busca “murundu*” de forma a ampliar o escopo da busca e incluir o plural da palavra. Nas plataformas WOS e Scopus, esse termo foi buscado dentro do título, resumo e palavras chave dos artigos; já na BDTD, o termo foi aplicado para todos os campos. Apesar da existência de campos de murundus em diversos locais do mundo, optou-se pela utilização do termo em português devido ao grande número de nomes que essas formações recebem. Ainda que o termo “covoal” ou “covoais” seja encontrado em trabalhos acadêmicos e na fala de algumas regiões do país, a busca por este termo rendeu apenas 1 resultado nas bases de dados de artigos, resultado este que também continha o termo “murundu”, assim como resultados inconsistentes no BDTD. Logo, optou-se pela não utilização deste termo alternativo.

No total foram analisados 97 artigos científicos publicados entre os anos de 1980 e 2024. Da BDTD foram coletados 21 documentos publicados entre os anos de 1998 e 2023, sendo 13 dissertações de mestrado e 8 teses de doutorado.

Figura 15: Mapa de pedologia nas áreas de estudo



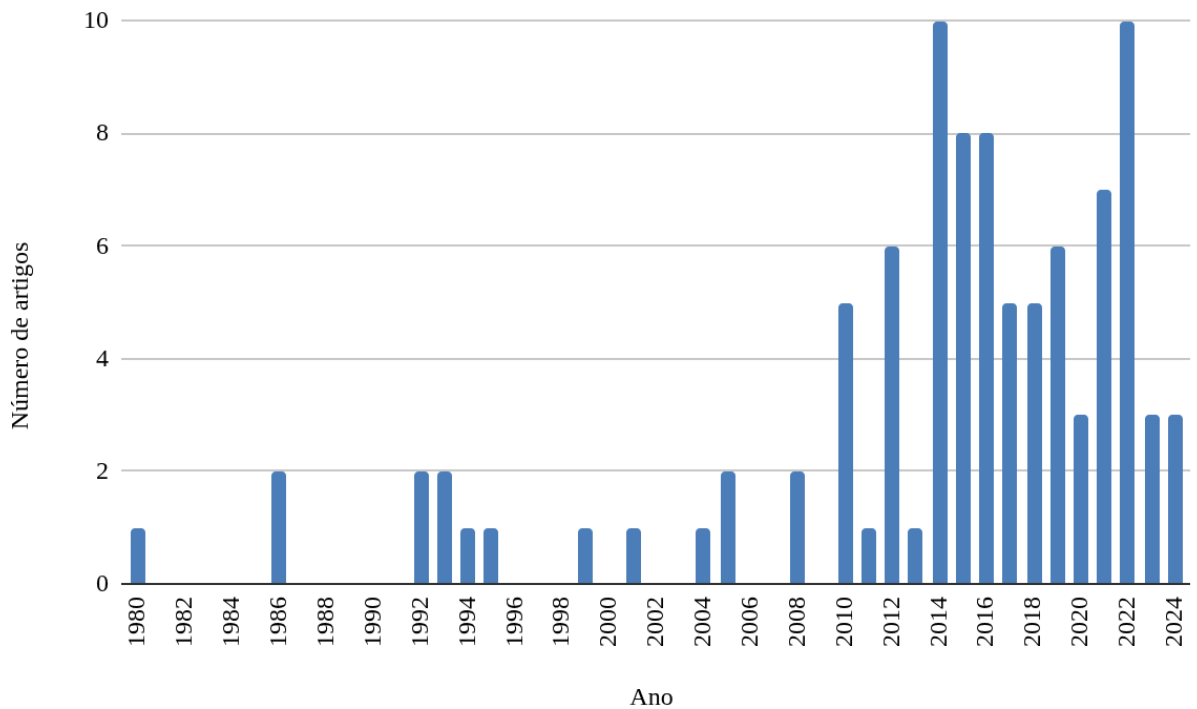
O processamento dos dados da *scopus* e da *WOS* foi realizado na IDE Rstudio com o pacote de análises bibliométricas Bibliometrix. Posteriormente, os dados processados foram exportados para o Google Sheets a fim de montar os gráficos. Os indicadores bibliométricos escolhidos para a revisão foram produção

científica anual, fontes mais relevantes, autores mais relevantes, afiliações mais relevantes e documentos mais citados. Os dados da BDTD foram diretamente exportados para o Google Sheets, uma vez que o *Bibliometrix* não processa dados desta base de dados. Ademais, os dados disponíveis na BDTD são mais difíceis de analisar com o pacote utilizado nesta parte da pesquisa, dessa forma foram observados apenas o ano de defesa de cada trabalho, a instituição e a área da ciência abordada.

5. Resultados

A publicação de artigos científicos sobre o tema se mostrou muito inconsistente nas primeiras décadas analisadas, no entanto é notável um crescimento a partir de 2010 (Figura 16), sendo 2014 e 2022 os anos com maior número de artigos publicados (10 artigos). O grande número de publicações na última década indica um aumento do interesse da comunidade científica acerca dos campos de murundus. O desenvolvimento das pesquisas a partir do ano de 2014 possivelmente está ligado à publicação do artigo “Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection” por Junk no ano anterior, sendo uma produção importante sobre AUs no Brasil ligada ao Instituto Nacional de Tecnologia e Pesquisa em Áreas Úmidas (INAU).

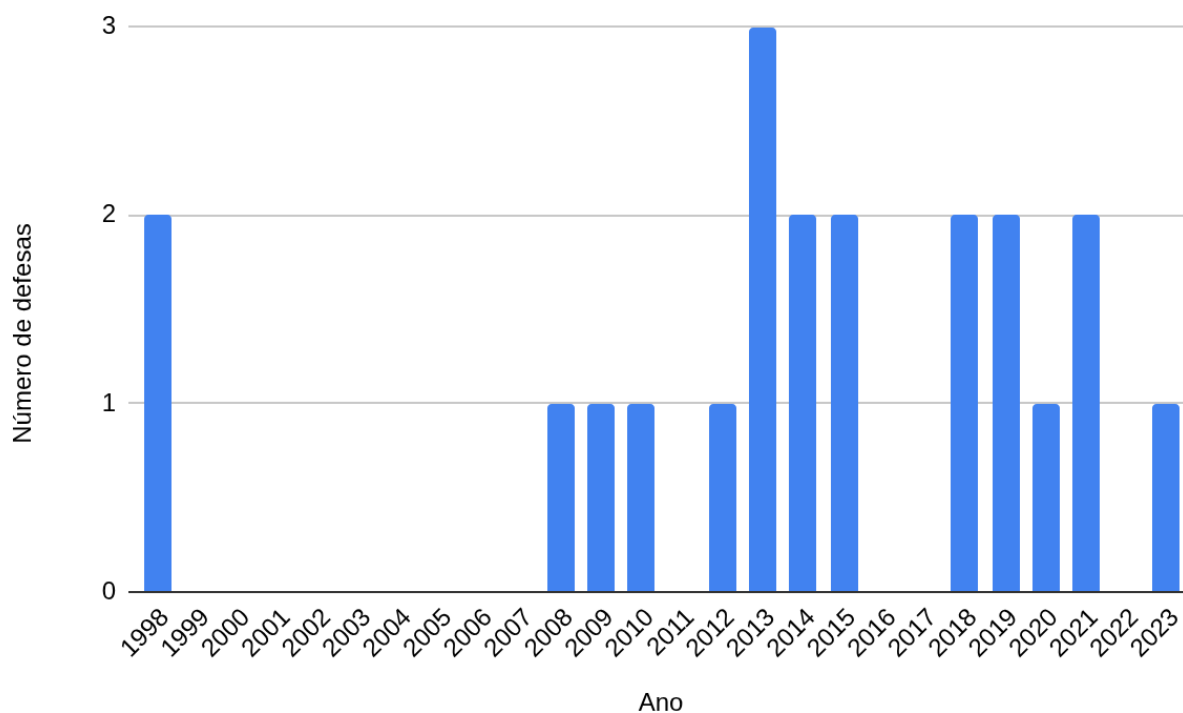
Figura 16: Produção científica anual sobre campos de murundus em artigos científicos de 1980 a 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

Da mesma forma que nos bancos de dados de artigos, observa-se que houve um baixo número de trabalhos durante a década de 2000, seguido de um crescimento significativo na frequência a partir da década de 2010, sendo 2013 o ano mais produtivo, com 3 defesas (Figura 17). No entanto, diferentemente dos artigos científicos, as defesas de pós-graduação sobre o assunto disponíveis na plataforma apenas tiveram início no final da década de 1990.

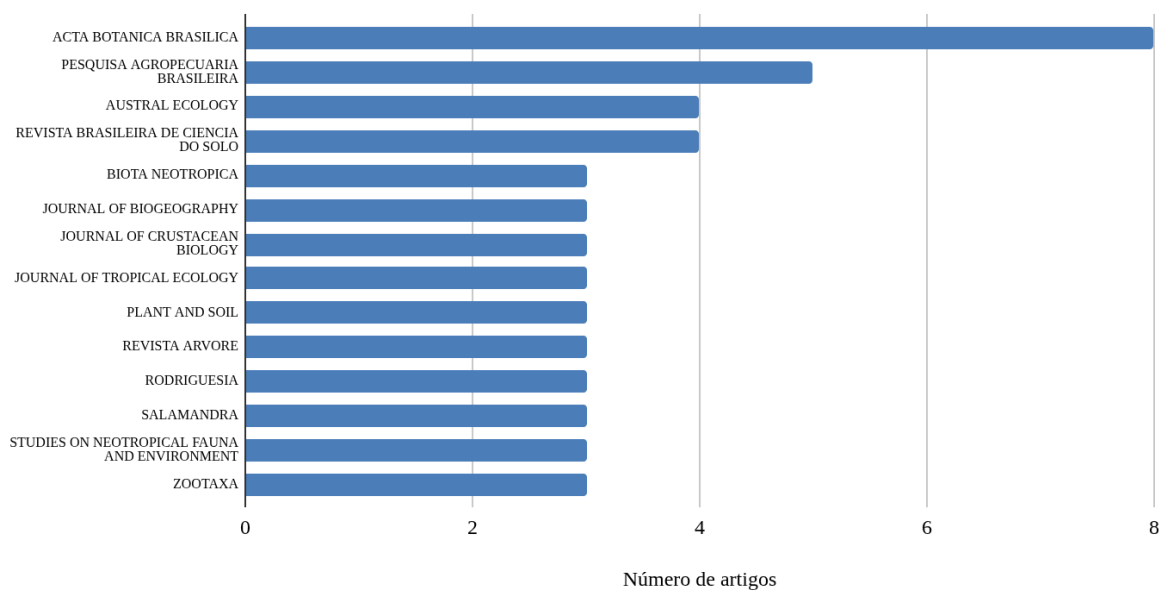
Figura 17: Produção científica anual sobre campos de murundus em teses e dissertações de 1998 a 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Os artigos analisados se encontram distribuídos em 52 periódicos diferentes. No entanto, há uma grande concentração de publicações em algumas revistas, sendo que apenas 14 delas possuem 3 artigos ou mais (Figura 18) e esses 14 periódicos concentram mais de 51% de todos os artigos analisados. Uma vez que o termo de busca utilizado é na língua portuguesa, a maior parte dos periódicos é nessa língua. Já em relação à área do conhecimento abordada, grande parte das revistas é voltada para as Ciências Biológicas, com algumas revistas de outras áreas como Ciências do Solo e Agronomia, dentre as mais importantes.

Figura 18: Fontes mais relevantes de publicações sobre o tema campo de murundus entre 1980 e 2024.

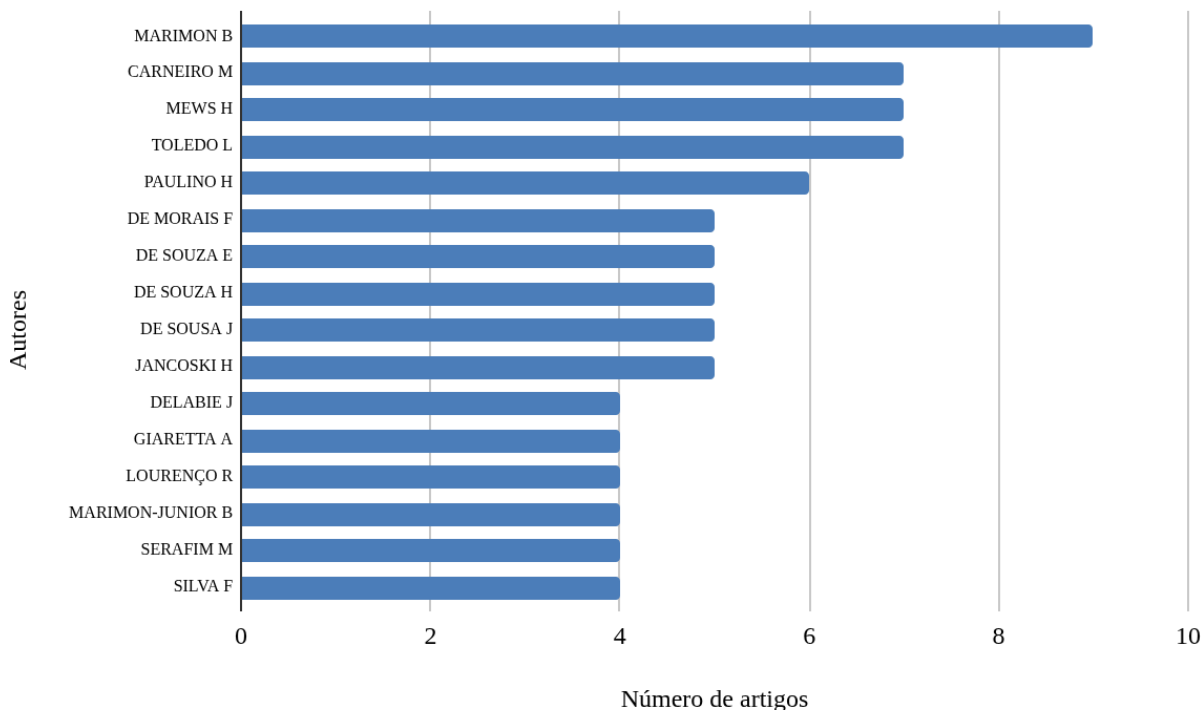


Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre os autores mais frequentes destacam-se Beatriz Schwantes Marimon, com 9 publicações, Marco Henrique Augusto Mews, Aurélio Carbone Carneiro e Luís Felipe Toledo, todos com 7 publicações (Figura 19). A partir da Plataforma Lattes foi possível obter a formação e atuação desses pesquisadores: Marimon é graduada em Engenharia Florestal, com pós-graduações em Botânica e Ecologia. Atualmente é docente na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), onde coordenou projetos de pesquisa sobre ecologia de campos de murundus no estado do Mato Grosso. Mews é graduado em Ciências Biológicas, com pós-graduações em Ecologia e Ciências Florestais. As primeiras etapas de sua formação acadêmica foram na UNEMAT, onde participou de projetos de pesquisa sobre campos de murundus e foi orientado pela professora Marimon.

Carneiro é Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), onde também fez mestrado em Sistemas de Produção e doutorado em Agronomia. Atualmente é professor na Universidade Federal do Triângulo Mineiro e suas publicações sobre campos de murundus são focadas em análises do solo e interferência antrópica. Toledo é graduado em Ciências Biológicas, com mestrado e doutorado em Biologia pela Unesp. Atualmente é professor na Universidade Estadual de Campinas e curador do Museu de Diversidade Biológica da universidade.

Figura 19: Autores com maior número de publicações de artigos sobre o tema campo de murundus entre 1980 e 2024

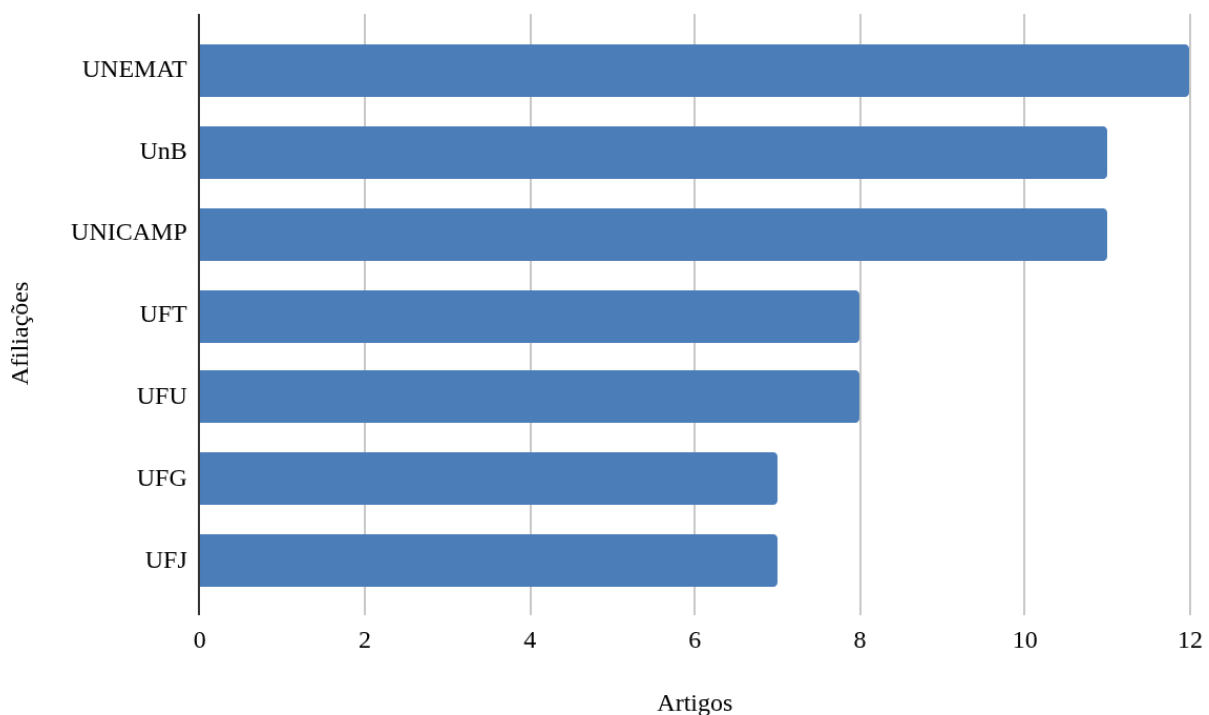


Fonte: Elaborado pelos autores

Das mais de 130 instituições vinculadas aos artigos analisados, 7 se destacam com 7 ou mais trabalhos publicados (Figura 20). A instituição que lidera as publicações é a UNEMAT, sendo que grande parte dessa produção está associada à professora Marimon e seus trabalhos de pesquisa.

A Universidade de Brasília (UnB) possui uma fazenda no Distrito Federal que tem uma área de campo de murundus no seu interior, sobre a qual foram publicados trabalhos importantes, como o de Araújo-Neto (1986). Além destas duas universidades, também se destacam a Universidade de Campinas (UNICAMP) e as Universidades Federais de Tocantins, Uberlândia, Goiás e Jataí. Nota-se que, com exceção da UNICAMP, as principais instituições com publicações sobre murundus são universidades de estados cujos territórios encontram-se em sua totalidade ou em parte nos biomas do Cerrado e do Pantanal.

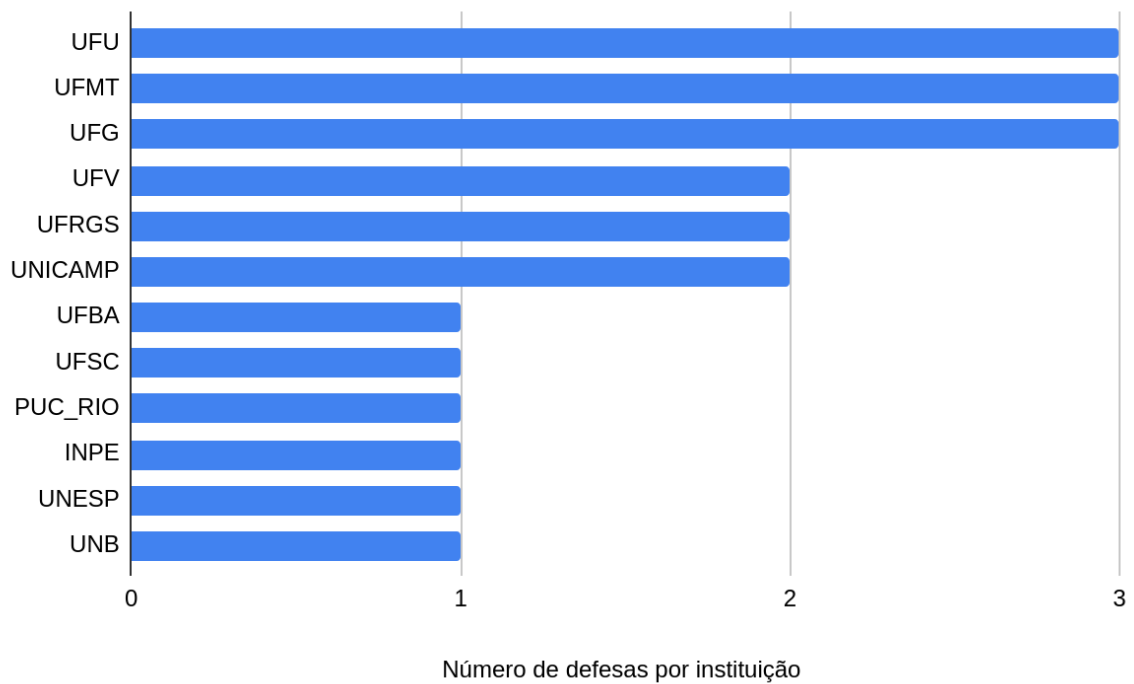
Figura 20: Instituições com maior número de publicações de artigos sobre o tema campo de murundus entre 1980 e 2024



Fonte: Elaborado pelos autores

Dentre 12 instituições com trabalhos de pós-graduação sobre o assunto também se sobressaem universidades federais situadas no Cerrado, destacando-se as Universidades Federais de Uberlândia, Goiás e do Mato Grosso, com 3 defesas cada uma (Figura 21). As demais universidades com mais de um trabalho na área são as Federais de Viçosa e do Rio Grande do Sul, além da UNICAMP.

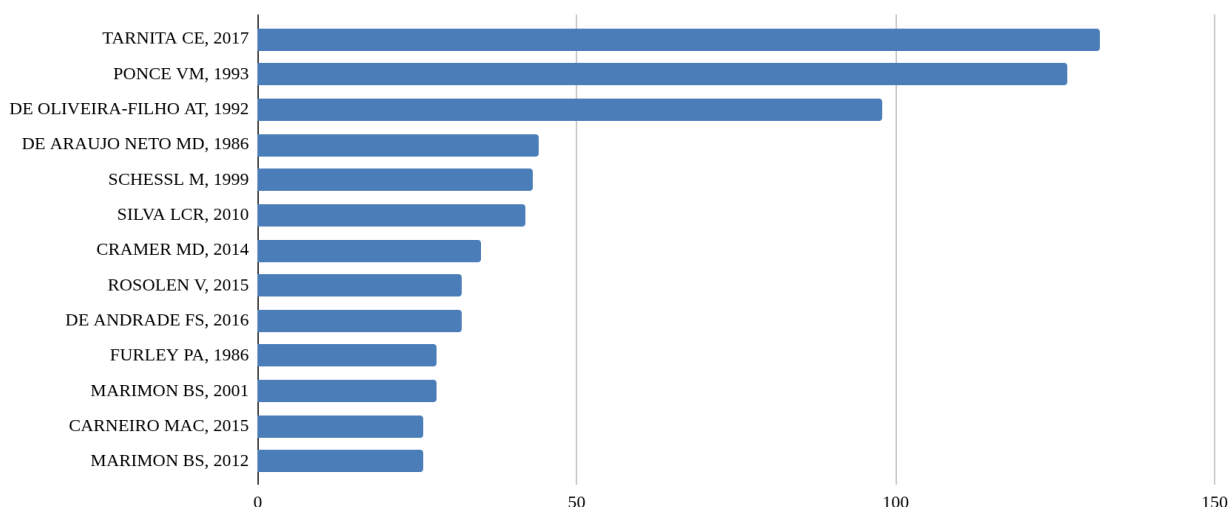
Figura 21: Instituições com maior número de pesquisas de pós-graduação com o tema campo de murundus entre 1990 e 2024



Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação ao número de citações por documento, a média global do conjunto de dados foi de 6,5, enquanto a média anual é de 0,69. Na Figura 22 observam-se os trabalhos mais mencionados, dentre os quais foram selecionados apenas aqueles com mais de 25 citações. Os cinco estudos mais referidos concentram a maior parte das citações, sendo que possuem uma média de 63,5, com 1,91 menções por ano. Eles foram descritos no Quadro 1, onde se pode observar que dentre eles apenas o mais relevante foi publicado recentemente, enquanto os demais foram publicados antes dos anos 2000.

Figura 22 : Artigos sobre campos de murundus com mais citações 1980 e 2024



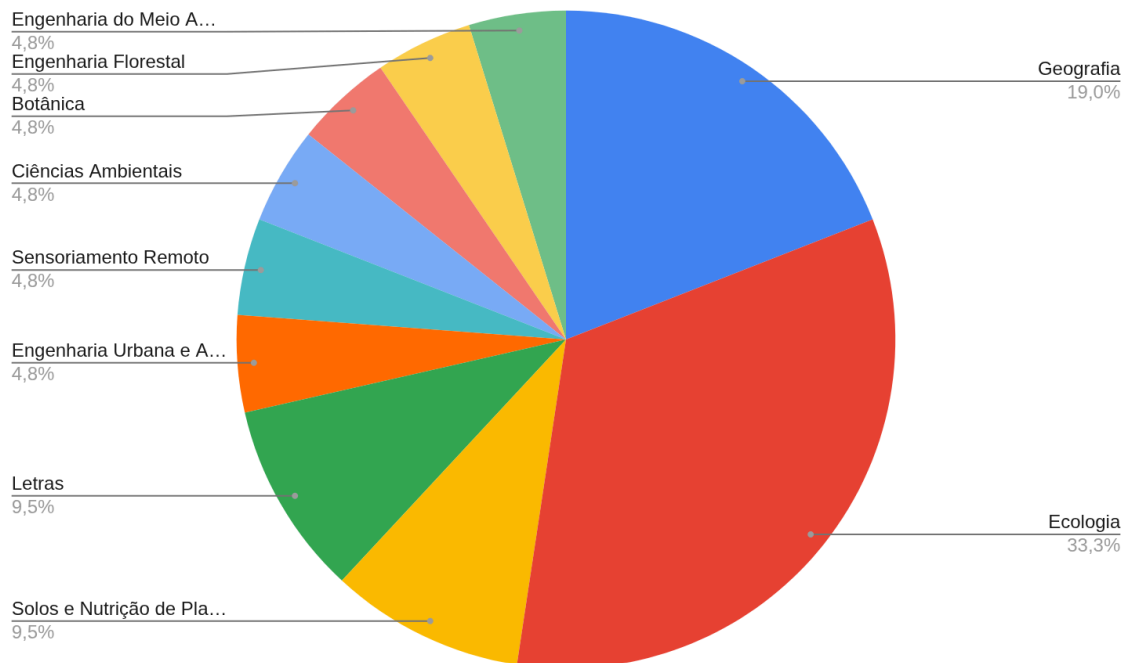
Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 1: Detalhamento dos estudos mais citados					
Título do Documento	Ano	Autores	Periódico	Nº de Citações	Descrição do Estudo
A theoretical foundation for multi-scale regular vegetation patterns	2017	Tarnita et al.	Nature	132	Investigou campos de murundus em vários lugares do mundo e a distribuição espacial dos murundus, utilizando-se de imagens de satélite e análise bioestatística para analisar a atividade de cupins nestes ambientes.
Vegetated earthmounds in tropical savannas of Central Brazil: a synthesis	1993	Ponce e Cunha	Journal of Biogeography	63	Fez uma revisão de literatura sobre os campos de murundus com ênfase no Pantanal matogrossense, embora também tenha analisado estudos no Cerrado. O artigo confronta as hipóteses biótica e abiótica de formação desses ambientes, favorecendo a hipótese biótica.

Floodplain 'murundus' of Central Brazil: evidence for the termite-origin hypothesis	1992	Oliveira-Filho	Journal of Tropical Ecology	65	Trata-se de um estudo de caso sobre um campo de murundus no Pantanal mato-grossense; os murundus da área foram mapeados e medidos para analisar sua distribuição espacial. Além disso, foram feitos estudos de granulometria e biota do solo. Concluiu-se que aquela área teria sido formada por ação de cupinzeiros.
The murundus of the cerrado region of Central Brazil	1986	Araújo-Neto et al.	Journal of Tropical Ecology	59	Caracterizou e estudou quatro áreas de campos de murundus no Distrito Federal através de análises morfométricas, de solo, de variação do nível freático e da vegetação nos murundus. Apesar de não abordar diretamente a gênese desses ambientes, os autores se colocam a favor de uma hipótese mais ligada a processos erosivos e variação do nível freático.
Floristic Composition and Structure of Floodplain Vegetation in the Northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil	1999	Schells	Phyton. Annales rei Botanicae. Horn (Austria)	43	Realizou uma pesquisa da flora, solo e relevo no Pantanal matogrossense. A metodologia envolveu dois anos de coleta de amostras biológicas na bacia do Rio Cuiabá, a fim de caracterizar a distribuição espacial da vegetação e a sua relação com as variações no relevo e no solo.
Fonte: Elaborado pelos autores					

O banco de dados da BDTD mostra uma predominância de trabalhos de pós-graduação sobre murundus na área da Ecologia, com 33% dos trabalhos analisados (Figura 23). As duas áreas que também chamam atenção são a da Geografia, com 19%, e das Ciências Agrárias, esta última representada pela Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, com 9,5%. É interessante notar a presença da área de Letras, com dois trabalhos encontrados na base de dados, que abordam a etimologia da palavra murundu.

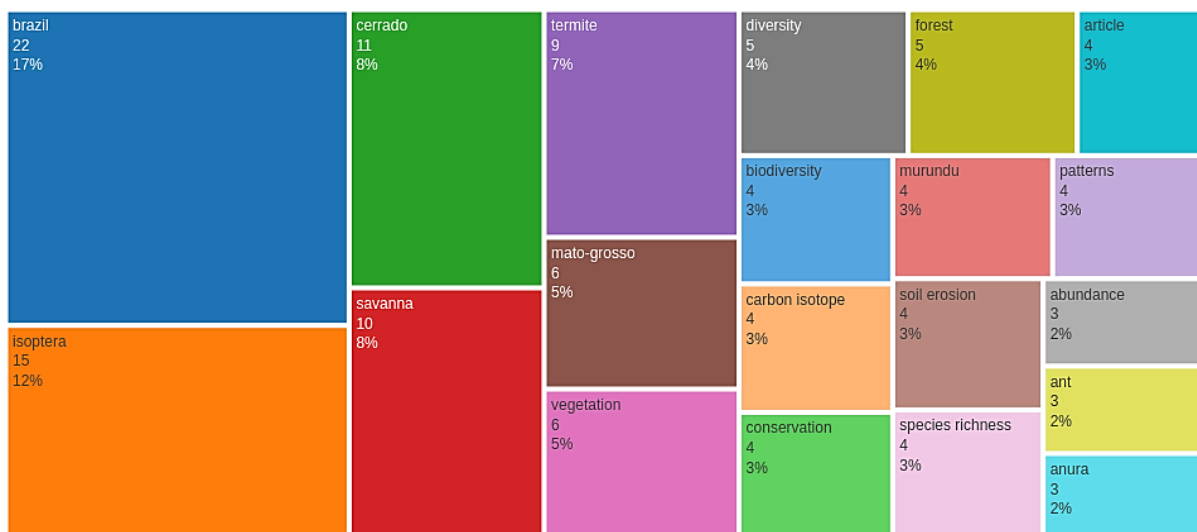
Figura 23: Área dos trabalhos de pós graduação sobre campos de murundus entre 1998 e 2023



Fonte: BDTD

Foram analisadas as palavras-chave mais utilizadas nos artigos, tendo em vista que as palavras-chave remetem aos temas abordados pelo trabalho. A segunda palavra mais utilizada foi *isoptera* (12% dos trabalhos), sub-ordem biológica à qual pertencem os cupins, o que remete tanto à forte presença das ciências biológicas, quanto à hipótese biológica de formação destes ambientes (Figura 24). As próximas palavras-chave mais utilizadas, Cerrado e savana, ambas em 8% dos trabalhos, indicam que o enfoque maior dos estudos é justamente Cerrado.

Figura 24: Termos e expressões mais frequentes nos artigos sobre campo de murundus publicados entre 1980 e 2024



Fonte: Elaborado pelos autores

De forma geral, a utilização de diversas bases de dados possibilitou a elaboração de um panorama do conhecimento científico sobre murundus no Brasil. As bases da *WOS* e *Scopus* mostram que há alguns poucos pesquisadores com vários textos publicados, trazendo a impressão de que há uma hegemonia das Ciências Biológicas. Nesse sentido, os dados da BDTD foram importantes para mostrar a representatividade de outras áreas, como as Ciências Agrônômicas e da Terra.

6. Considerações finais

A partir desta pesquisa foi possível identificar as principais publicações científicas sobre murundus disponíveis nas bases de dados analisadas, obter uma perspectiva geral sobre os temas abordados acerca destes ambientes e as áreas da ciência que mais os estudam. O levantamento realizado indicou que houve um crescimento nos números de publicações a partir de 2010, o que demonstra tratar-se de uma área de conhecimento na qual o debate se desenvolveu nos últimos anos. O crescimento também se verificou nos trabalhos de pós-graduação no mesmo período.

Dentre os pesquisadores mais ativos nesse tema, é notável a predominância de formação acadêmica nas Ciências Biológicas, como Ecologia e Biologia, e Ciências Agrárias. Por se tratar de áreas úmidas com geomorfologia singular

(microrrelevo), faz-se perceptível a escassez de pesquisadores das Ciências da Terra abordando estes ambientes pela perspectiva geomorfológica e pedológica, destacando-se um único pesquisador, dentre aqueles mais citados, cuja formação foi em Geografia. A predominância das Ciências Biológicas também é latente ao se analisarem as palavras-chave mais utilizadas, já que a maioria delas são termos desta área do conhecimento. A preeminência das Ciências Biológicas se repetiu na análise da BNTD, no entanto o campo da Geografia se mostrou muito mais ativo nessa categoria de pesquisa com o segundo maior número de trabalhos produzidos.

ARTIGO 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS IMPACTADAS POR PROJETO DE IRRIGAÇÃO

7. Introdução

Ainda que a importância ambiental de campos de murundus como subsistemas das áreas úmidas seja reconhecida na literatura científica (JUNK et al., 2013; DURIGAN et al., 2022), a seção anterior desta dissertação mostra que mais estudos são necessários no campo das Ciências da Terra. Frente às mudanças climáticas e aos riscos que o avanço das atividades antrópicas representa às AUs, estudos focados em como essa ocupação antrópica se dá e seus efeitos no espaço geográfico se tornam necessários para entender essas transformações.

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto consolidou-se como ferramenta-chave para estudar e mapear áreas úmidas. Plataformas de processamento em nuvem, como o Google Earth Engine (GEE), permitem acessar séries temporais de imagens de satélite e derivar índices espectrais que ressaltam padrões de inundação e biomassa úmida. Paralelamente, algoritmos de aprendizagem de máquina vêm ganhando destaque. O classificador Random Forest, por exemplo, tornou-se popular por sua capacidade de lidar com dados de alta dimensionalidade de forma rápida e precisa. Estudos recentes confirmam a eficácia desses métodos em ambientes úmidos, como o de Piasek & Villa (2023), que observaram maior poder preditivo para classificadores em conjunto (como RF) em mapeamento de vegetação aquática temperada, reforçando a tendência crescente de aplicação de RF e técnicas similares na literatura de monitoramento de AUs.

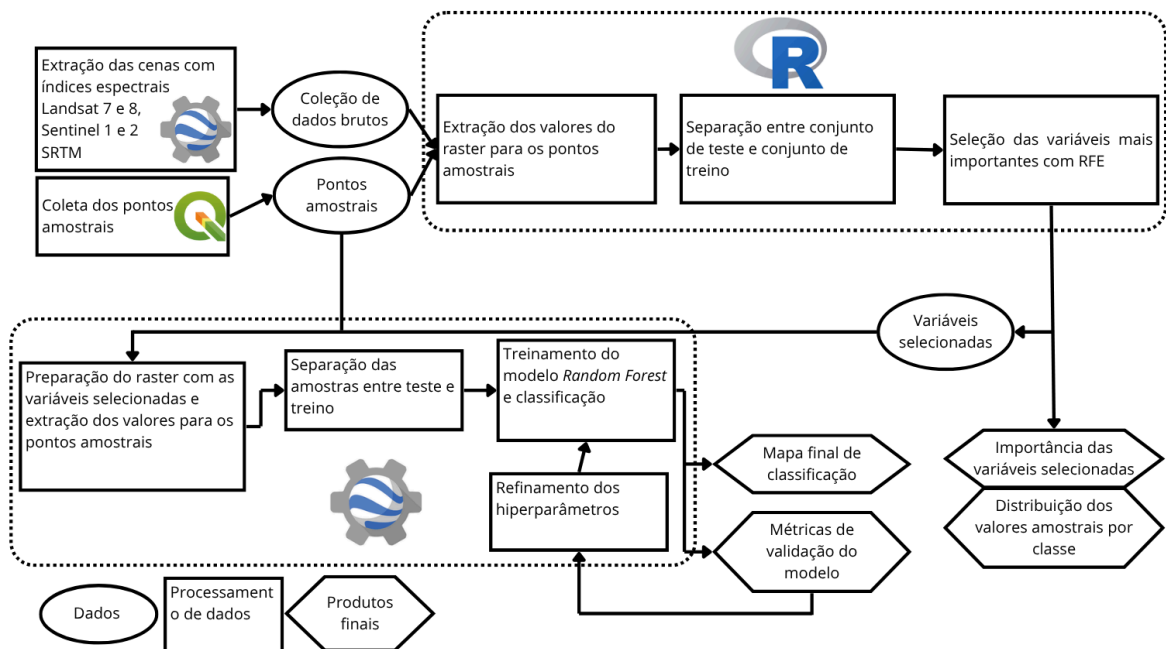
Dessa forma, este artigo buscou desenvolver um mapeamento das AUs impactadas por um grande empreendimento de irrigação no noroeste de Goiás, a fim de investigar o estado atual das AUs do PEA. Em suma, este artigo expande o alcance do trabalho ao aplicar métodos avançados de sensoriamento remoto na classificação das AUs da região, explorando a estes métodos nas AUs do Rio Araguaia.

8. Metodologia

Para fazer um balanço entre as áreas utilizadas pelo projeto de irrigação, as áreas em regeneração e as áreas naturais, optou-se por fazer uma classificação supervisionada operacionalizada em duas etapas, sendo a primeira dedicada à seleção das variáveis e a segunda ao modelo de classificação como se observa no

fluxograma (Figura 25). Foi escolhido o mês de junho de 2016 para realizar a classificação por ser um mês de estiagem quando a cobertura de nuvens não seria um empecilho. O ano de 2016 foi escolhido por ser a data mais antiga com disponibilidade de dados para todos os satélites selecionados. A seleção das variáveis mais importantes foi feita no *Rstudio* por meio do pacote *Caret* (Khun, 2008). Os dados foram adquiridos já pré-processados para correções atmosféricas na plataforma GEE (Gorelick et al., 2017) onde também foi realizada a classificação final.

Figura 25: Fluxograma da classificação supervisionada das AUs impactadas por projeto de irrigação



Fonte: Elaborado pelos autores

8.1. Amostragem

Utilizando uma imagem base do Sentinel 2 de junho de 2016, foram coletados 200 pontos amostrais (Figura 26), divididos em quatro classes: 1- áreas preservadas, 2- áreas que sofreram antropização e se encontram em regeneração, 3- áreas antropizadas e 4- Áreas inundadas (Figuras 27 a 29). Essas classes foram pensadas como representativas das três subdivisões da área de estudo mais a classe da Água para levar em consideração áreas inundadas e os canais de

drenagem artificiais presentes no local. Também foi realizado um trabalho de campo, no qual foi feita a verificação de cada classe do mapeamento.

Figura 26: Mapa dos pontos amostrais utilizados na classificação

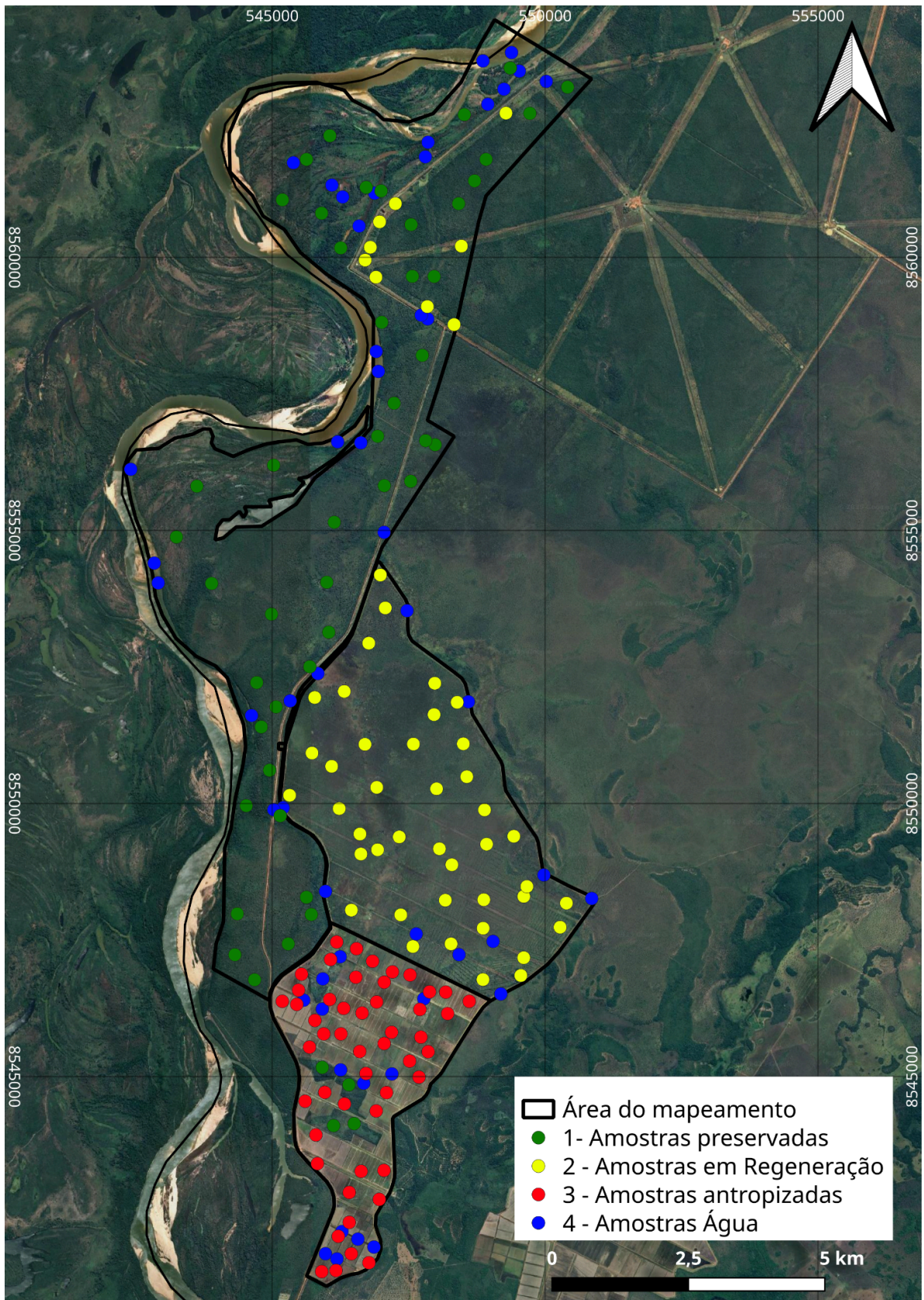


Figura 27: Classe 1, áreas preservadas no interior do PEA

Figura 28: Classe 2, áreas em regeneração na fase 3 do PILAA



Área com pouca presença de gramíneas ocupada por espécies arbóreas de porte menor

Área com espécies arbóreas espaçadas e presença de gramíneas muito desenvolvidas

Figura 29: Classe 3, áreas antropizadas na fase 2 do PILAA



Área ocupada pelo PILAA com culturas de arroz; solo gleizado exposto nas entrelinhas

8.2. Obtenção e tratamento das variáveis

A classificação das áreas úmidas em diferentes graus de antropização foi realizada com base em dados primários extraídos no Google Earth Engine (GEE), a partir de produtos de quatro satélites. O primeiro satélite escolhido foi o Sentinel 2, com uma resolução espacial de 10 metros e disponibilidade de bandas além da faixa visível do espectro. Esta missão é amplamente utilizada em estudos ambientais.

Outra fonte de imagens muito utilizada são as missões Landsat, apesar da sua resolução espacial inferior (30 m), a presença da banda termal pode se mostrar útil em análises de AUs. Além disso, a disponibilidade destes dados a partir da

década de 2000 permitiria análises futuras com escopo temporal maior; desta maneira foram extraídos os dados espectrais das missões Landsat 7 e 8 (Quadro 2).

A aplicação de dados de sensores ativos vem se mostrando promissora no estudo de AUs, desta forma optou-se por incluir os dados do Sentinel 1, que possui um Radar de Abertura Sintética (SAR) operando na banda C (5.405GHz) embarcado. Para a área de estudo estavam disponíveis as bandas de polarização HH e VV com 10 m de resolução espacial. Além disso, também foram incluídos os dados de declividade e altimetria a partir do satélite ALOS.

Quadro 2: Detalhamento dos dados extraídos		
Satélite	Instrumento	Bandas extraídas
Sentinel 2	<i>Multi Spectral Instrument (MSI)</i>	B1 (aerossóis), B2 (Azul), B3 (verde), B4 (Vermelho), B5 a B7 (Borda do vermelho), B8 (NIR), B9 (vapor de água), B11 e B12 (SWIR)
Sentinel 1	<i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i>	VV, HH
Landsat 8	<i>Operational Land Imager (OLI)</i>	B1 (Aerossóis), B2 (Azul), B3 (Verde), B4 (Vermelho), B5 (NIR), B6 e B7 (SWIR), B8 (Pancromática), B9 (Detecção de nuvens), B10 e B11 (Bandas Termiais)
Landsat 7	<i>Enhanced Thematic Mapper (ETM+)</i>	B1 (Azul), B2 (Verde), B3 (Vermelho), B4 (NIR), B5 (SWIR) B6 (Termal), B7(SWIR 2) B8 (Pancromática)
Fonte: Elaborado pelo autor		

8.3. Índices espectrais

Além dos dados de bandas, foram calculados 8 índices espectrais para todos os sensores passivos utilizados. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é a diferença normalizada entre as bandas vermelha e do infravermelho próximo (NIR) (Quadro 3). Foi um dos índices pioneiros no monitoramento de biomassa vegetal quando proposto por Rouse (1974). O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é uma ramificação muito difundida do NDVI, que aplica um

fator de correção L a fim de compensar a influência das variáveis de solo no índice (Huete, 1988).

Quadro 3: Índices espectrais utilizados na pesquisa			
Sigla	Índice	Fórmula	Referências
NDVI	<i>Normalize Difference Vegetation Index</i>	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Rouse, 1974 Ashok, et al. 2021
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1+L)$	Huete, 1988
NDWI	<i>Normalize Difference Water Index</i>	$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	Mcfeters, 1996 Ji et al., 2009
MNDWI	<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>	$\frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$	Xu, 2007
NDMI	<i>Normalized Difference Moisture Index</i>	$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	Gao, 1996
NDPI	<i>Normalized Difference Pond Index</i>	$\frac{SWIR - GREEN}{SWIR + GREEN}$	Lacaux et al, 2007
NDTI	<i>Normalized Difference Turbidity Index</i>	$\frac{RED - GREEN}{RED + GREEN}$	Lacaux et al, 2007
SMI	<i>Soil Moisture Index</i>	$\frac{T_{mas} - T_s}{T_{mas} + T_{min}}$	Zeng, 2004 Jesus e Santana, 2017
Fonte: Elaborado pelo autor			

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) é dado pela diferença normalizada entre as bandas verde e NIR e foi desenvolvido originalmente para identificação de corpos d'água (Mcfeters, 1996; Ji et al., 2009). O Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI) é uma modificação do índice anterior, onde a banda NIR é substituída pela banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR) a fim de fazer uma melhor distinção de corpos d'água em áreas antropizadas (Xu, 2007).

O Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI) é utilizado para mapear o estresse hídrico e o conteúdo de água na vegetação, com base na relação entre as bandas NIR e SWIR. Apesar de ter sido concebido por Gao (1996) com o nome de NDWI, convencionou-se chamá-lo por NDMI devido ao seu foco na umidade da vegetação.

Complementando a análise de recursos hídricos, o Índice de Lagos por Diferença Normalizada (NDPI) utiliza a relação entre as bandas SWIR e verde para identificar corpos d'água rasos e áreas úmidas, particularmente eficaz em ambientes

semiáridos com dinâmicas sazonais pronunciadas, conforme proposto por Lacaux et al. (2007).

O Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI) busca quantificar a turbidez em corpos d'água mediante a diferença normalizada entre as bandas do vermelho e do verde. Valores elevados indicam maior concentração de sedimentos em suspensão, sendo essencial para monitoramento da qualidade da água (Lacaux et al., 2007).

O SMI é um índice mais complexo do que os anteriores, que leva em consideração a banda termal e o NDVI, onde a temperatura da superfície em dado pixel (T_s) é calculada no processo descrito por Jesus e Santana (2017). A fórmula do índice está descrita no Quadro 3.

8.4. Seleção das variáveis

As 72 variáveis espectrais derivadas das bandas originais e índices calculados foram consolidadas em um único *raster* multibanda, onde cada camada correspondia a uma variável distinta. Este *raster* foi integrado ao ambiente RStudio e associado aos pontos amostrais georreferenciados, gerando uma matriz de dados em formato CSV contendo as classes de referências e os valores espectrais correspondentes para cada ponto.

Inicialmente, os dados passaram por um pré-processamento, incluindo a eliminação de registros incompletos e conversão das variáveis preditoras para formato numérico. O conjunto de dados foi então dividido aleatoriamente em subconjuntos de treinamento (70%) e teste (30%), preservando a proporção original das classes e garantindo representatividade nas etapas subsequentes.

A seleção de variáveis propriamente dita foi implementada por meio do método *Recursive Feature Elimination* (RFE) acoplado a validação cruzada em 10 iterações. Esta técnica eliminou repetidamente as variáveis menos importantes, utilizando como critério de avaliação a importância calculada por modelos Random Forest (Guyon et al., 2002). O processo resultou na identificação de um subconjunto otimizado de variáveis, substancialmente reduzido em relação ao conjunto original. Para cada variável selecionada, foram gerados gráficos de densidade comparativos entre classes, permitindo avaliar visualmente sua capacidade discriminatória e consistência ecológica.

Posteriormente, realizou-se a otimização de hiperparâmetros do modelo Random Forest através de busca em grade, focalizando principalmente no número de variáveis testadas em cada divisão. O modelo final foi treinado com as variáveis selecionadas e hiperparâmetros calibrados, seguido de avaliação no conjunto de teste. As métricas de desempenho incluíram acurácia global, índice Kappa e F1-Score, complementadas por matriz de confusão detalhada. A importância relativa das variáveis foi quantificada mediante o critério Mean Decrease Gini, gerando visualizações que destacam as contribuições individuais para o poder preditivo do modelo.

Todo o processo computacional desta etapa foi implementado na plataforma *Rstudio* (versão 4.3.1), utilizando principalmente os pacotes *caret* (para pré-processamento e validação cruzada) e *Random Forest* (para modelagem e seleção de variáveis). A abordagem integrada permitiu reduzir significativamente a quantidade de variáveis ao mesmo tempo que foi mantido um modelo consistente, estabelecendo uma base para as etapas de classificação da cobertura terrestre que se seguiram na pesquisa.

8.5. Random Forest

Após a identificação das variáveis espectrais mais relevantes no banco de dados gerado a partir das amostras coletadas, iniciou-se a classificação das imagens com o algoritmo Random Forest, um método de aprendizado de máquina baseado em árvores de decisão, conforme proposto por Breiman (2001). Esta abordagem foi selecionada devido à sua comprovada eficácia em problemas de classificação de uso e cobertura da terra (Belgiu e Drăguț, 2016). A implementação foi realizada integralmente na plataforma GEE, aproveitando sua capacidade de processamento em nuvem de grandes volumes de dados geoespaciais.

Os dados de entrada consistiram na imagem multibanda previamente processada, contendo as variáveis espectrais selecionadas na etapa anterior, associadas às quatro classes de mapeamento definidas. O conjunto completo de amostras foi dividido em subconjuntos de treinamento (70%) e validação (30%), de forma aleatória, seguindo a proporcionalidade entre classes. O modelo foi calibrado com hiperparâmetros otimizados obtidos através de tentativa e erro durante testes com o modelo. Os hiperparâmetros utilizados no modelo final podem ser consultados no Quadro 4.

Quadro 4: Hiperparâmetros utilizados no modelo	
Número de árvores	100
Variáveis por divisão	3
População mínima de folhas	21
Máximo número de nódulos	20
<i>BagFraction</i>	0,7
Fonte: Elaborado pelo autor	

8.6. Métricas de validação do modelo

Para avaliar o desempenho dos modelos Random Forest, foram empregadas três métricas fundamentais, que quantificam a robustez do modelo e sua capacidade de generalização (Quadro 4). Elas são calculadas a partir da matriz de confusão, que é gerada através da comparação dos resultados gerados com os valores de referência.

A Acurácia Geral do modelo é a proporção de previsões corretas em relação ao total de observações e busca refletir a performance global do modelo. A Acurácia Geral é dada pela fórmula no Quadro 5, onde TP é a quantidade de verdadeiros positivos, TN a quantidade de verdadeiros negativos, FP a quantidade de falsos positivos e FN a quantidade de falsos negativos. O *Fscore* é uma outra métrica de validação deste tipo de modelo que busca estabelecer uma relação entre os valores de referência positivos e os valores atribuídos pelo classificador (Sokolova e Lapalme, 2009) e é calculado pela multiplicação da Precisão e do *Recall*. Esta métrica foi calculada separadamente para cada classe. A precisão do modelo é a proporção de verdadeiros positivos entre todas as previsões positivas e mede a confiabilidade do modelo ao classificar instâncias como positivas. Já o *Recall* é a proporção de verdadeiros positivos identificados dentre todos os positivos reais e mede a capacidade do modelo de detectar casos relevantes.

Quadro 5: Métricas de validação do modelo	
Métrica	Fórmula
Acurácia Geral	$\frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$
Precisão	$\frac{TP}{TP + FP}$

<i>Recall</i>	$\frac{TP}{TP+FN}$
<i>Fscore</i>	$\frac{2TP}{2TP+FP+FN}$
Fonte: Adaptado de SOKOLOVA e LAPALME, 2009	

O Índice Kappa, proposto por Cohen (1960), é uma métrica estatística que quantifica a concordância entre a classificação gerada e dados de referência, ajustada para acordos casuais esperados aleatoriamente. Diferentemente da acurácia geral, o Índice Kappa incorpora informações das margens da matriz de erro. Sua fórmula foi definida por Congalton (1991) como:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

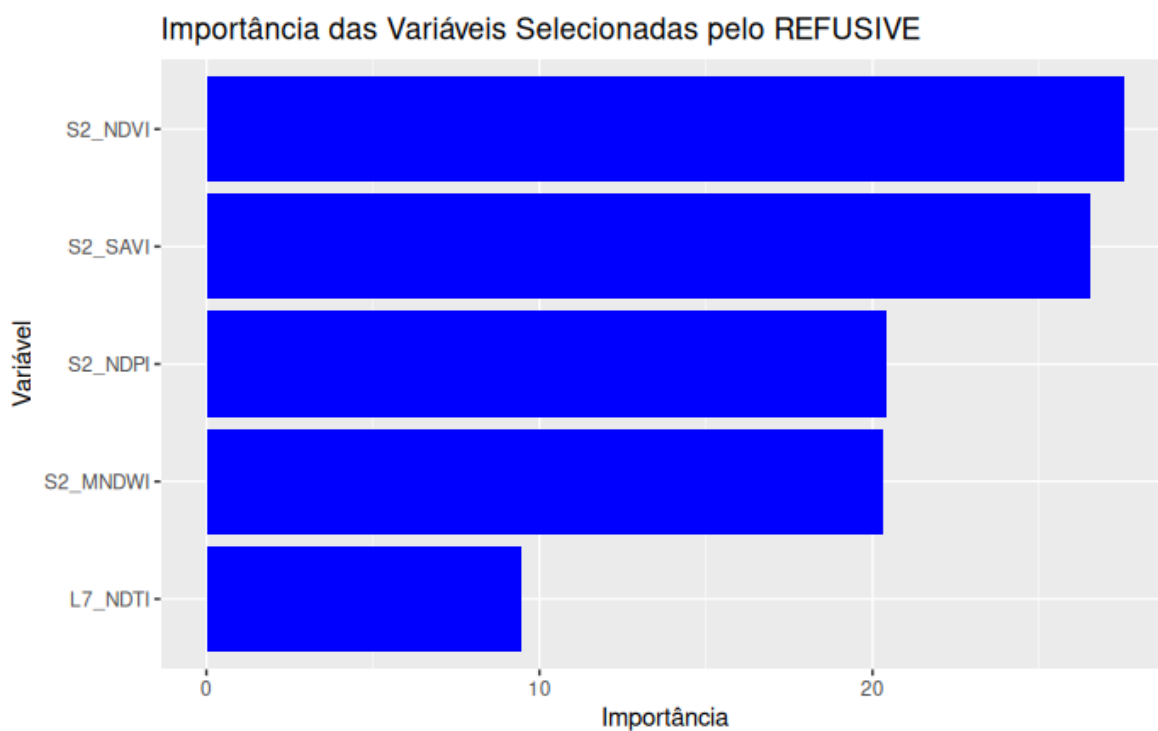
onde r é o número de linhas na matriz de confusão, x_{ii} é o número de observações na linha i coluna i , x_{i+} e x_{+i} são os totais marginais da linha e coluna i , respectivamente, e N é o número total de observações (Congalton, 1991).

9. Resultados e discussões

9.1. Modelo de seleção de variáveis

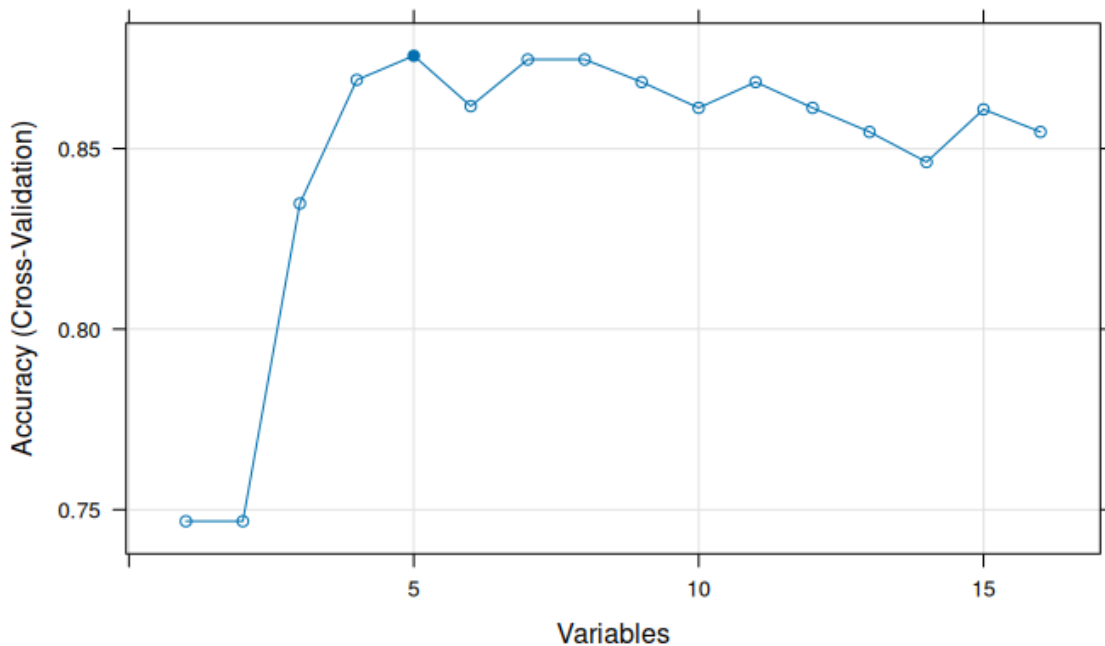
A análise de importância das variáveis revelou que os índices espectrais NDVI e o SAVI do Sentinel 2 foram os mais relevantes para a classificação das áreas úmidas (Figura 30). O NDVI destacou-se com uma importância de 27.54, seguido pelo SAVI (26.56), refletindo a sensibilidade desses índices à cobertura vegetal, um parâmetro crítico para discriminar áreas preservadas de antropizadas. O MNDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado) e o NDPI do Sentinel 2 também tiveram contribuições significativas (20.30 e 20.41, respectivamente), corroborando a influência da umidade do solo e da presença de água nas assinaturas espectrais das AUs. Em contraste, o NDTI apresentou a menor importância (9.47), sendo a única variável do Landsat 7 selecionada.

Figura 30: Importância de cada variável no modelo final para a classificação de AUs



A Eliminação Recursiva de Feições permitiu otimizar o modelo ao reduzir de 72 para 5 variáveis, mantendo uma acurácia de 85% no subconjunto de treinamento (Figura 31). Essa etapa foi crucial para evitar o *overfitting* e destacar feições com maior poder discriminatório, como NDVI e MNDWI.

Figura 31: Acurácia por número de feições para a classificação das AUs



As variáveis selecionadas pelo modelo já foram utilizadas por diversos estudos em áreas úmidas. Em um trabalho no Rio Grande do Sul foi utilizado um modelo de *Random Forest* para identificar AUs em potencial, onde foram empregados índices como NDVI, NDWI e MNDWI para destacar características de vegetação e água (Cunha, C. S. et al, 2023). A utilização do NDPI e o NDTI em trabalhos como o de Simoni (2021), que delimitou áreas inundadas no sul do Brasil, reforça a validade destes índices nos estudos de AUs.

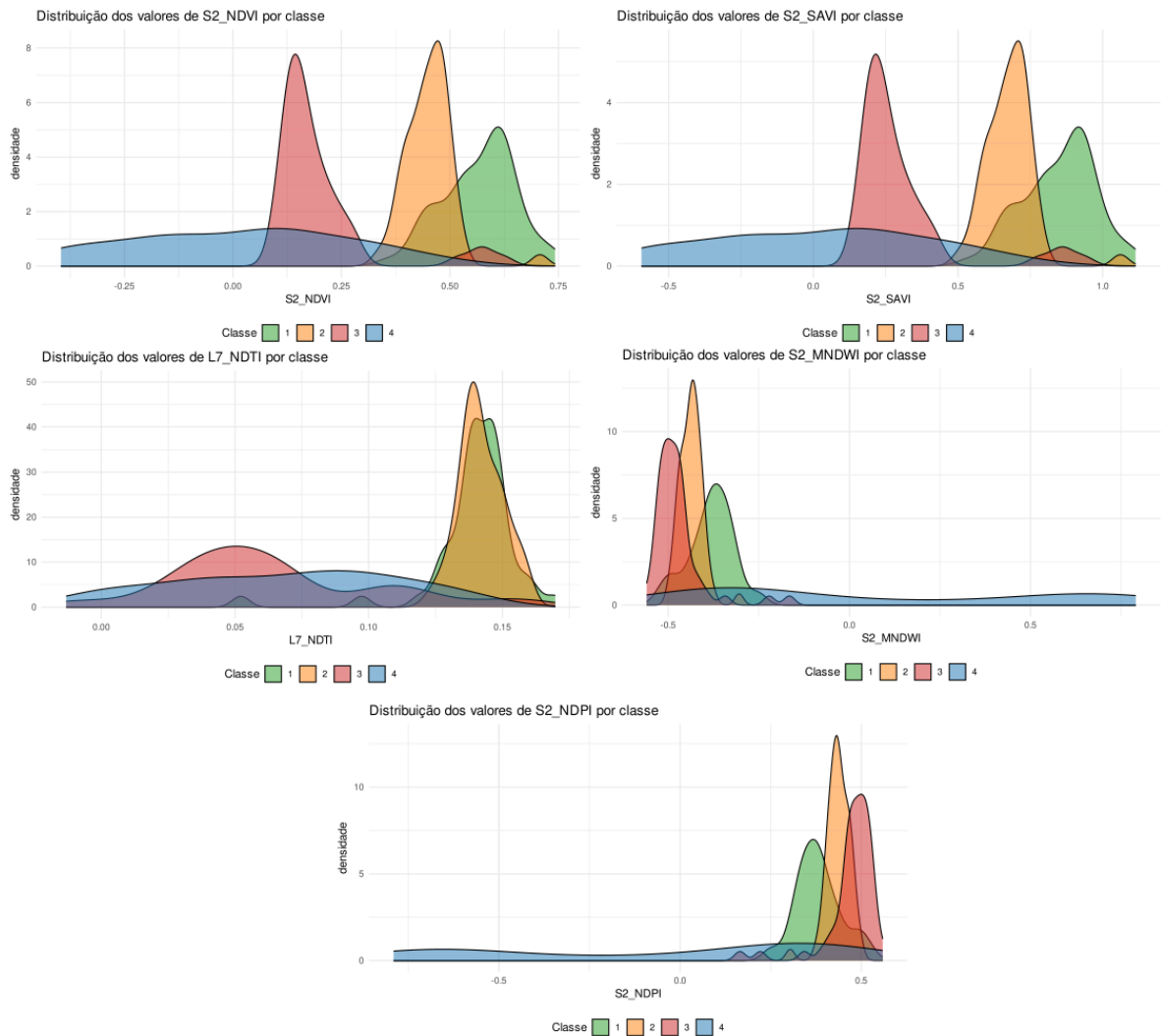
Embora o modelo não tenha selecionado variáveis topográficas, estudos anteriores destacam a relevância desses índices no mapeamento de AUs. Guasselli et al. (2020) utilizaram dados de diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDE) em conjunto com o Índice Topográfico de Umidade (TWI) para identificar e classificar AUs. Outros dados como a altitude em relação à drenagem mais próxima (HAND) foram utilizados para identificar áreas sujeitas a alagamentos por Milanesi et al. (2017). O modelo atribuiu baixa importância a estes dados, sendo que nenhum dado topográfico foi selecionado para o modelo final, o que se deveu à baixa amplitude altimétrica da área, apenas 25 metros de acordo com dados do SRTM.

9.1.1. Distribuição das variáveis selecionadas

Nesta etapa também foram gerados os gráficos de distribuição dos valores das variáveis mais importantes por classe (Figura 32). Os gráficos mostram que há

uma coerência na distribuição dos valores em cada classe. Essa diferença é mais visível nos gráficos do NDVI e do SAVI, onde as áreas e picos de cada classe são bem distintos, o que mostra a sensibilidade destes índices para aspectos da vegetação. O NDPI e o MNDWI apresentam maior sobreposição das áreas de cada classe, o que explica a importância menor atribuída a eles pelo algoritmo. No entanto nota-se que as classes de vegetação possuem picos distintos, o que faz com que estes índices sejam úteis no algoritmo final. A variável com menor nota dentre as selecionadas foi o NDTI do Landsat 7, sendo o único dado selecionado fora da missão Sentinel 2. A grande sobreposição das classes de vegetação conservada (1) e vegetação em regeneração (2) explica sua baixa nota na seleção. No entanto, esta variável se mostra uma boa candidata na sua capacidade de distinguir classes antropizadas (3) das demais. No geral, destaca-se a proximidade nos valores das classes conservada e em regeneração, com algum nível de sobreposição de valores em todas as variáveis selecionadas. A classe 4, referente à água, apresentou sobreposição com todas as demais em todos os índices selecionados, o que já era esperado por se tratar de uma grande área úmida.

Figura 32: Gráficos de distribuição dos valores por classe em cada variável selecionada



9.2. Classificação final

9.2.1. Métricas de validação na classificação final

No conjunto de treino, 70% das amostras, o modelo alcançou acurácia de 84,06% e coeficiente Kappa de 0,786, indicando concordância substancial entre as previsões do modelo e os dados observados. A matriz de confusão (Tabela 1) revela que a maior taxa de erro se deu na classe de vegetação conservada (1), que foi classificada como vegetação em regeneração (2) em 11 instâncias. No entanto, o modelo apresentou uma taxa de acerto maior na classe 2, o que pode se refletir no produto final com a classe 2 apresentando uma área maior do que a real. A classe 3 (antropizada) apresentou grande taxa de acerto, com apenas 2 falsos positivos, já a classe 4 (água) apresentou 5 falsos positivos distribuídos entre todas as demais classes, o que é esperado por se tratar de uma grande área úmida.

Tabela 1: Matriz de confusão do conjunto de treino

Real/Predição	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Classe 1	22	11	0	0
Classe 2	4	35	0	0
Classe 3	1	1	28	0
Classe 4	1	2	2	31

A confusão entre as classes 1 e 2 se refletiu no *F1-score* de cada uma delas, sendo que a classe 1 obteve 0,721, o menor dentre todas as classes, e a classe 2 0,795. As classes com maior *F1-score* foram as classes antropizada (3) e água (4), com 0,933 e 0,925 respectivamente, indicando um bom equilíbrio entre precisão e *recall*. No geral, o conjunto de treinamento apresentou bons resultados, indicando um desempenho inicial satisfatório do modelo.

Já o conjunto de teste, com 30% das amostras, obteve um desempenho coerente com o conjunto de treino, com acurácia global de 80,59% e coeficiente Kappa de 0,739, mostrando capacidade de generalização do modelo. A matriz de confusão (Tabela 2) revelou que a taxa de confusão significativa entre as classes 1 e 2 se manteve, com 5 pontos amostrais de vegetação conservada sendo classificado como em regeneração, o que reforça a semelhança espectral entre estes dois alvos. A classe 3 apresentou 3 falsos positivos na classe 4, o que pode estar ligado às dinâmicas artificiais de inundação do PILAA.

Real/Predição	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Classe 1	16	5	1	0
Classe 2	2	9	0	0
Classe 3	0	0	17	3
Classe 4	0	1	1	12

O *F1-score* do conjunto de teste foi menor no geral, com a classe 2 obtendo o menor resultado, de 0,692, uma redução significativa que mostra que o modelo apresenta mais incerteza ao classificar áreas em regeneração. A classe 1 obteve 0,799 nesta métrica, sendo a única classe que obteve uma melhora nesta métrica

em comparação com o conjunto de treinamento. As classes 3 e 4 permaneceram relativamente estáveis, com uma pequena redução em relação ao outro conjunto, com um *F-score* de 0,872 e 0,828, respectivamente.

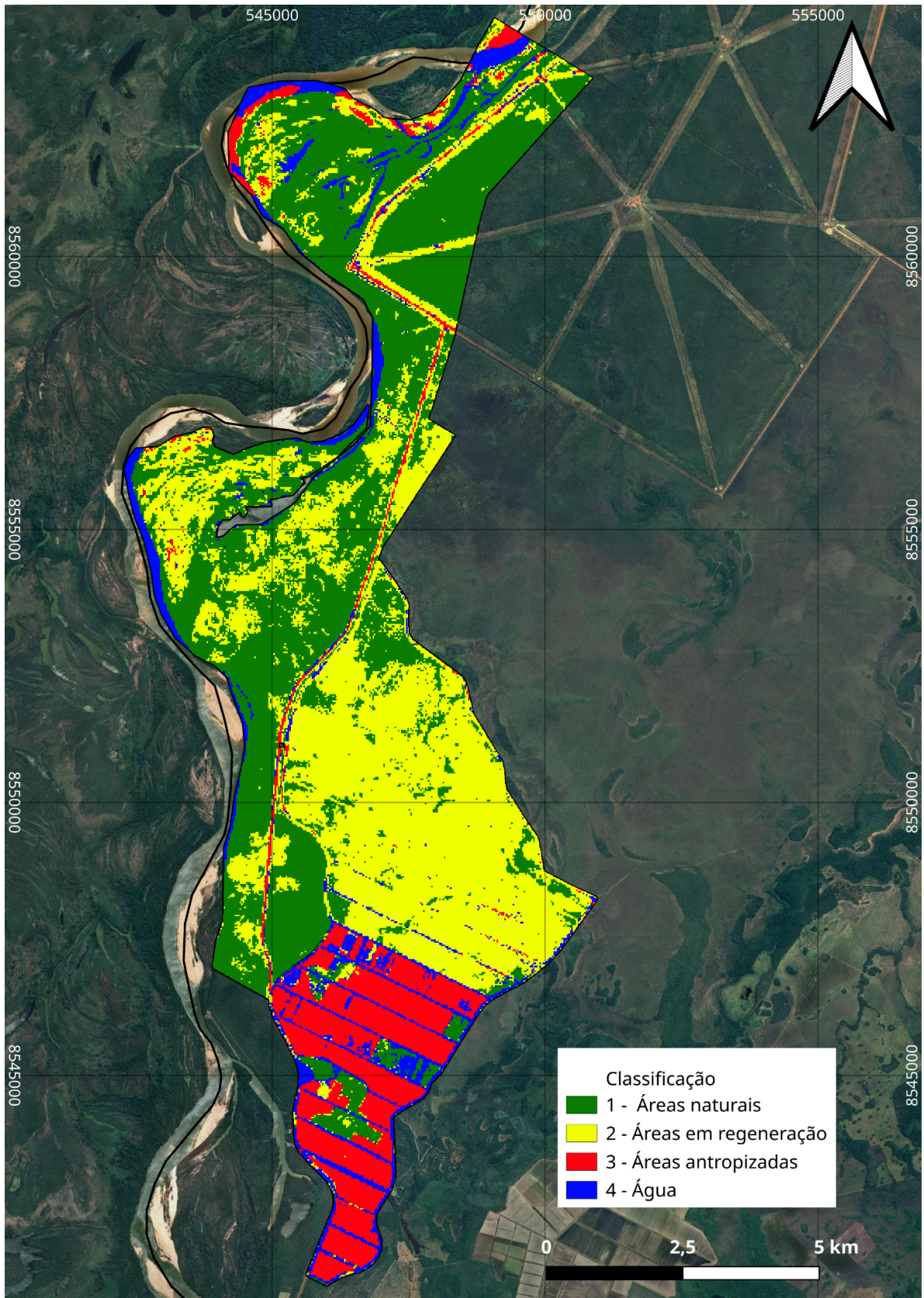
A consistência entre os resultados de treinamento e validação, menos de 5% de diferença nas acurácias gerais, sugere que o modelo não apresenta *overfitting* significativo, mantendo estabilidade operacional frente a dados não vistos. Contudo, a queda expressiva do *F-score* na classe 2 indica que a generalização não é tão efetiva para a classe quanto para as demais. Apesar disso, o Índice *Kappa* maior que 0,7 em ambos os conjuntos valida a utilidade do modelo para aplicações em sensoriamento remoto, balanceando complexidade e acurácia.

Trabalhos que utilizaram classificações supervisionadas no estudo de AUs tipicamente alcançam acurácias globais na casa dos 80%. Por exemplo, Belloli et al. (2022) reportaram 86,2% de acurácia usando apenas dados ópticos, elevando-se a 91,3% ao incluir imagens SAR, tendência que não foi observada no presente estudo. De modo semelhante, estudos que integraram múltiplos índices espectrais apresentaram acurácias elevadas, como no estudo de Cunha, et al. (2023) em que obtiveram acurácia global acima de 88% no conjunto de testes e 81% no conjunto de treino. Estes valores sugerem que as acurácias globais do modelo utilizado (84,06% e 80,59%) estão em consonância com valores observados em outros estudos de AUs no Brasil.

9.2.2. Mapa de classificação

A aplicação do modelo na área de interesse revelou uma cobertura predominante de áreas Preservadas, com 3.428,35 ha (~41,36% da área total), seguidas por áreas em regeneração, com 3236,92 ha (~39,05%), áreas antropizadas, com 1032,25 ha (~12,45%) e Água, com 591,6 ha (7,14%) (Figura 33). O algoritmo apresentou a maior taxa de erro ao classificar áreas conservadas como áreas em regeneração, como se esperava a partir da análise da matriz de confusão. Estes erros estão mais concentrados na região sul do PEA e nas regiões mais próximas ao Rio Araguaia, o que provavelmente se deve a processos de sucessão ecológica, uma vez que estas regiões são povoadas por meandros abandonados e depósitos aluvionares mais recentes, que são caracterizadas pela vegetação arbórea acompanhada por gramíneas.

Figura 33: Mapa da classificação final



Esta semelhança na vegetação se reflete em uma semelhança espectral entre as classes conservada em regeneração observada nos gráficos de distribuição (Figura 31), o que demonstra que a classificação da regeneração de áreas úmidas pode ser feita com base nas características espectrais. No entanto, é essencial interpretar os resultados com cautela, especialmente considerando que essas áreas estão dentro dos limites de erro associados aos limiares da classificação, que apresentaram cerca de 70% de acurácia e um índice Kappa consistente tanto no treino quanto na validação. Além disso, a presença de bancos de areia em áreas de aluvião, onde a vegetação ainda está em processos de colonização, explica a presença de áreas da classe 3 na porção norte do PEA, já que a resposta espectral dos bancos de areia é muito próxima à das regiões antropizadas que apresentam solo exposto entre as linhas de plantio (Figura 28).

Na classificação final, a predominância de Áreas Preservadas no PEA reforça a importância de unidades de conservação para a manutenção de AUs, enquanto a extensão de Áreas em Regeneração sugere processos naturais de resiliência pós-intervenção antrópica, especialmente sobre a porção norte do PILAA. A distribuição de Áreas Antropizadas próxima aos canais de irrigação do PILAA corrobora estudos anteriores que associam infraestrutura hídrica a alterações no regime freático e fragmentação de habitats (Gomes et al., 2023).

Inicialmente, destaca-se que a metodologia de classificação aplicada à avaliação do estágio de conservação das áreas úmidas foi estruturada com base em três categorias principais de uso e cobertura da terra, associadas a estágios de sucessão ecológica: (i) Uso natural – caracterizado por áreas preservadas; (ii) Uso antrópico cessado – áreas anteriormente drenadas e atualmente em processo de regeneração natural; (iii) Uso antrópico ativo – com presença atual de práticas agropecuárias; (iv) Presença de corpos hídricos. A elevada acurácia obtida na classificação reforça a coerência interna do modelo, o que respalda a validade do mapeamento com base na lógica de uso da terra e nos padrões esperados de sucessão ecológica.

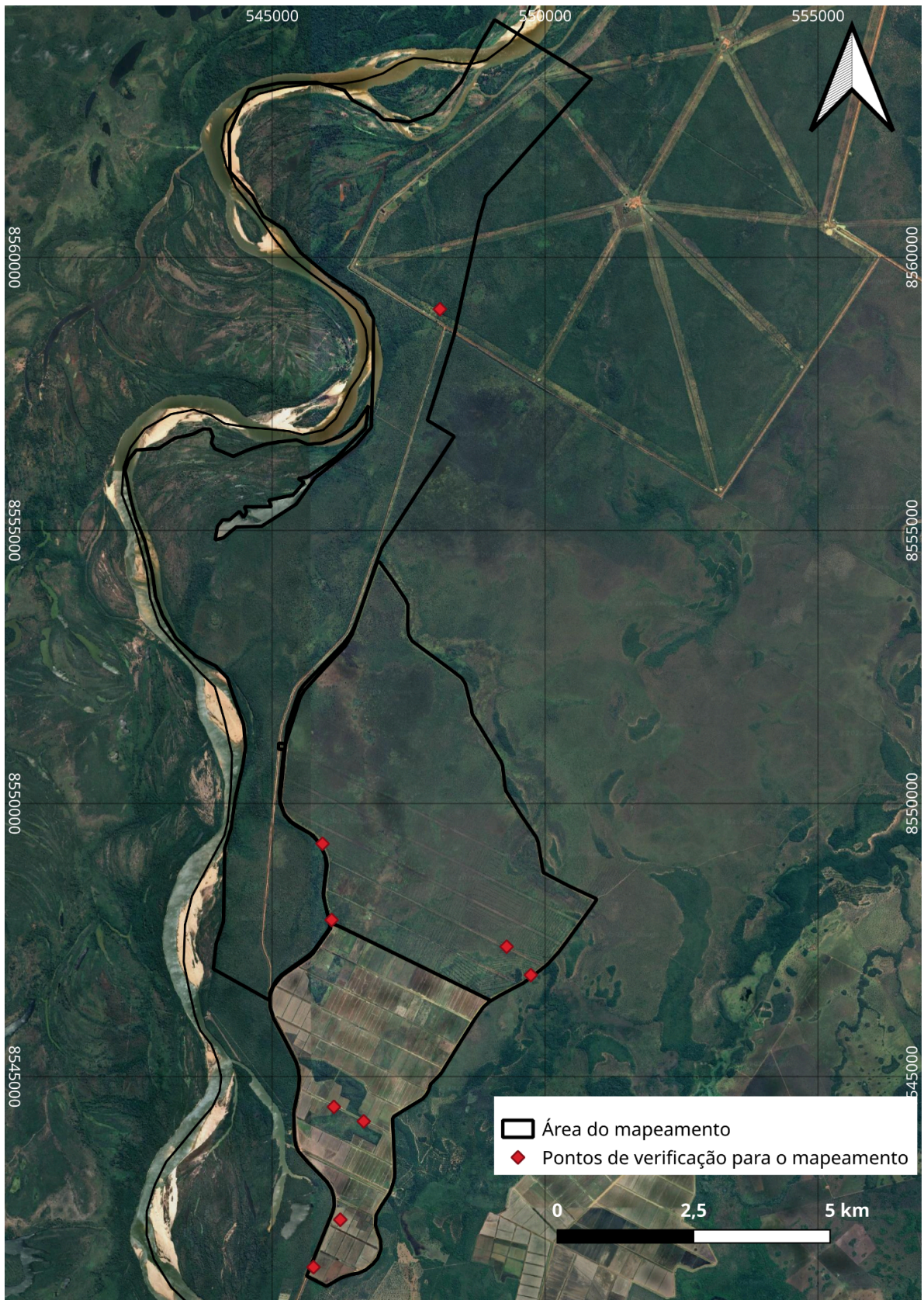
Dessa forma, os resultados indicam que a metodologia desenvolvida apresenta potencial de replicabilidade e adaptação para outras regiões, especialmente aquelas com contextos ambientais e socioeconômicos semelhantes. Essa perspectiva está alinhada com abordagens metodológicas de escalonamento espacial já discutidas em estudos como Abdelmajeed et al. (2023), Cunha C. S. et

al. (2023), entre outros. Assim, sugere-se que futuras pesquisas explorem o upscaling da metodologia, considerando ajustes na resolução espacial, espectral e na parametrização dos classificadores, conforme a escala de aplicação e os dados disponíveis.

9.2.3. Validação em campo

Durante o trabalho de campo foram verificados 9 locais dentre as três classes de vegetação do mapeamento (Figura 34). Devido a condições adversas no terreno por conta do regime de inundações do local, não foi possível fazer a verificação do mapeamento em áreas mais próximas ao Rio Araguaia, onde houve maior taxa de erro do algoritmo. Desta forma, o trabalho de campo buscou verificar a fidelidade do modelo com foco maior nas áreas do PILAA, onde foi possível observar melhor os erros nas classes em regeneração e os limites entre classes.

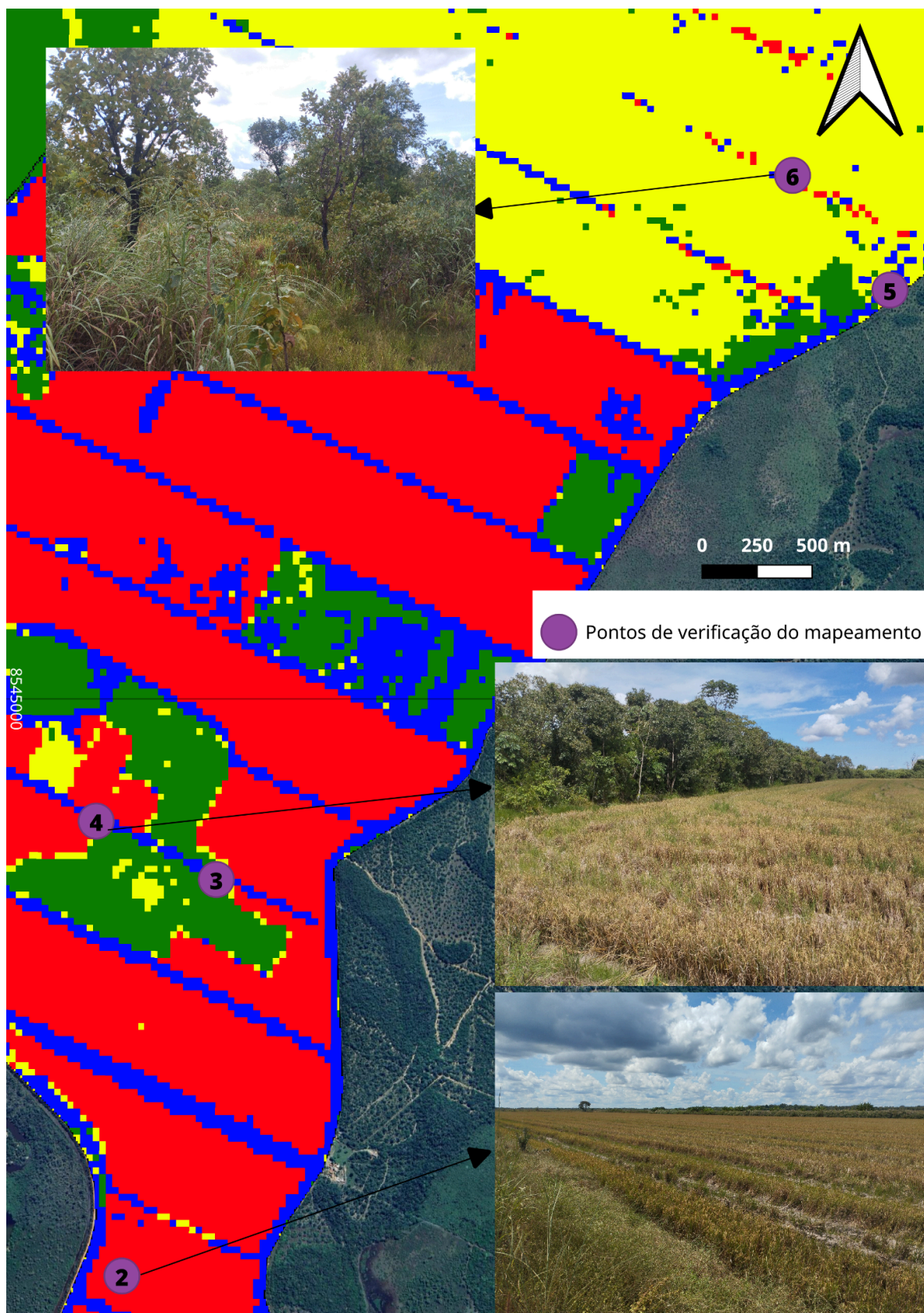
Figura 34: Pontos de verificação do mapeamento



Constatou-se que as áreas antropizadas (classe 3) dentro da área são majoritariamente de plantações de arroz nas AUs Rio Araguaia, como no ponto 2 da

Figura 33. O algoritmo conseguiu distinguir bem a classe 1 (áreas naturais) em fragmentos de áreas conservadas no interior do PILAA e fazer este limite em locais onde a classe 2 não estava presente entre as classes antropizada e conservada, como se observa no ponto de verificação 4 (Figura 34). A verificação *in loco* também mostrou que o modelo apresentou boa fidelidade nas áreas do PILAA que foram loteadas e se encontram em regeneração como no ponto 6 (Figura 35).

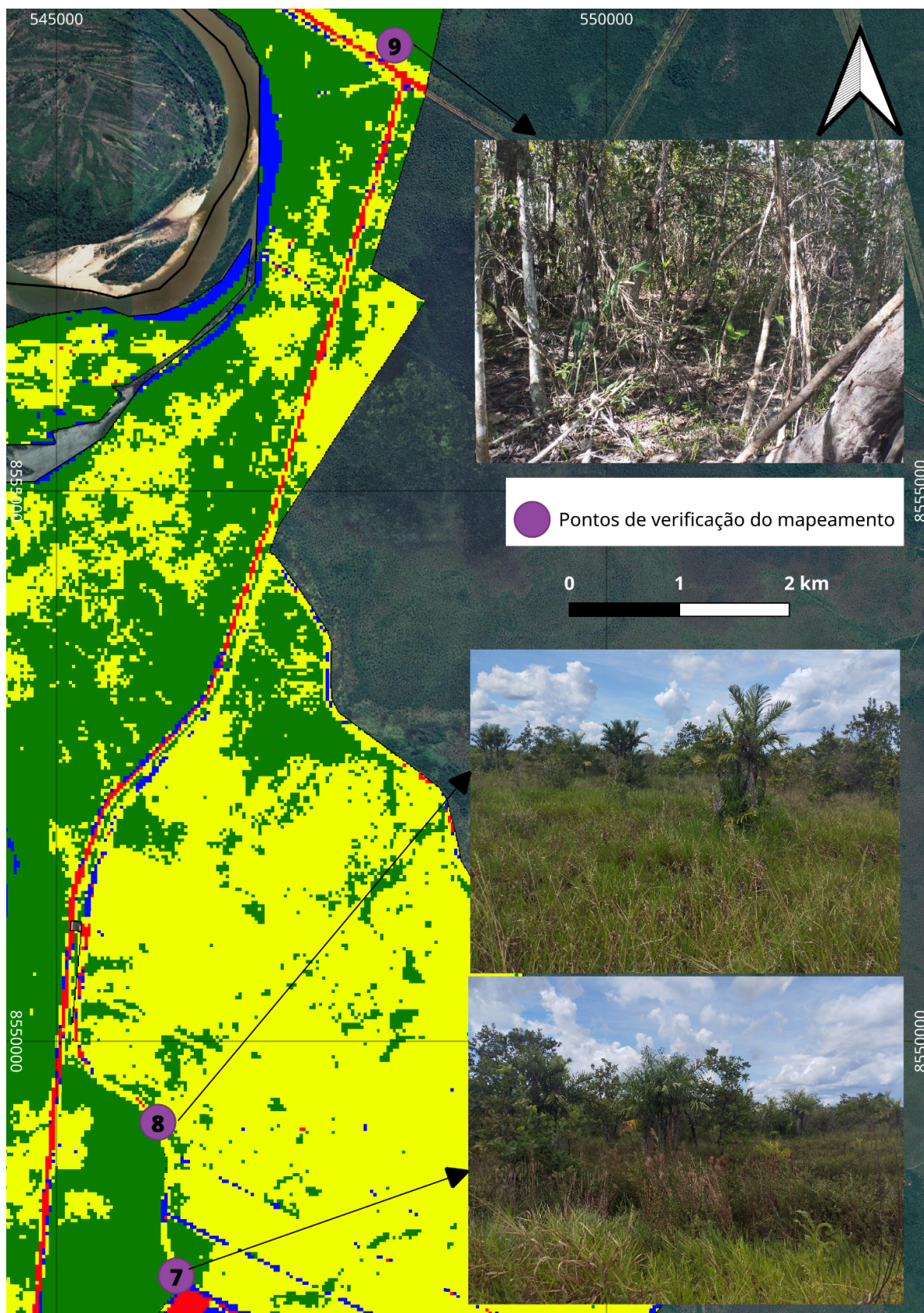
Figura 35 : Pontos de verificação do mapeamento



Alguns locais dentro da fase 3 do PILAA apresentaram focos maiores de erro do classificador. Estas áreas estão mais concentradas nas bordas do projeto, onde

há um encontro destas áreas com áreas conservadas. Além disso, foi notável a presença de espécies de palmeiras ou vegetação mais densa em áreas de confusão, como se observa nos pontos 7 e 8 (Figura 36). No ponto 9, mais ao norte do PEA, foi verificado que o algoritmo conseguiu distinguir bem áreas conservadas das áreas afetadas pela construção dos canais de drenagem e estradas no interior do parque, mostrando um limite muito próximo do observado no trabalho de campo (Figura 36).

Figura 36: Pontos de verificação do mapeamento



A presença de atividades humanas observadas nas AU pode comprometer funções ecológicas essenciais, como a regulação hídrica, o armazenamento de carbono e a biodiversidade. Este padrão de ocupação onde ocorre o rebaixamento

do nível freático a fim de implantar atividades agropecuárias é observado em outros locais do Brasil e constitui um dos principais riscos para AUs (Cunha, 2015; Junk, 2024). Em suma, a drenagem intensa e a conversão de áreas alagadas em monoculturas agrícolas provocam a fragmentação dos habitats e a perda de serviços ecossistêmicos, comprometendo a qualidade da água, a biodiversidade e o ciclo hidrológico local (Fonseca e Campos, 2011; Paulino et al., 2015).

No caso dos campos de murundus, essas intervenções muitas vezes eliminam os microrrelevos originais, planificando a área e descaracterizando o microrrelevo. A ocupação antrópica destas áreas comumente é acompanhada de canais de drenagem artificial, instalados para rebaixar o nível freático. A alteração das dinâmicas naturais do freático nessas áreas leva a mudanças drásticas nos campos de murundus, podendo alterar atributos físicos do solo como a velocidade de infiltração, e a biodiversidade, podendo mudar a estrutura da vegetação (Gomes Filho et al., 2011; Paulino et al., 2015; Junk, 2024). Tais mudanças na cobertura terrestre descaracterizam estes ambientes, alterando o microrrelevo, as dinâmicas do freático e a biota do local.

10. Considerações finais

Verificou-se que, de forma geral, a metodologia utilizada oferece uma ferramenta robusta para gestão ambiental, particularmente no monitoramento de áreas úmidas. O uso de sensoriamento remoto com índices de vegetação é reconhecido como abordagem eficiente e abrangente para avaliar a cobertura vegetal e identificar mudanças induzidas por pressões antrópicas. Com isso, torna-se possível identificar áreas úmidas sujeitas à pressão de grandes empreendimentos e acompanhar seus efeitos ao longo do tempo, fornecendo dados espaciais e temporais que subsidiam processos de licenciamento ambiental e ações de fiscalização. Além disso, a análise temporal de índices como NDVI e SAVI, combinada a classificações com Random Forest, pode dar indícios de processos de recuperação ecológica, orientando ações de preservação e recuperação ambiental. Em unidades de conservação, o monitoramento contínuo por sensoriamento remoto permite avaliar as respostas ecológicas da vegetação a influências externas e monitorar eventuais intervenções antrópicas indevidas nessas áreas, subsidiando ajustes nas estratégias de manejo e conservação do próprio ecossistema úmido.

A análise integrada das variáveis espectrais confirmou a eficácia do NDVI e SAVI na análise de vegetação em diferentes estágios de sucessão ecológica. A seleção que o algoritmo realizou também mostrou a eficácia da missão Sentinel 2 para o estudo de AUs devido às suas resoluções espacial e espectral, que permitem uma análise com vários índices espectrais com um certo nível de detalhe. O erro associado à semelhança espectral entre as áreas preservadas e em regeneração reflete a complexidade sucessional de áreas úmidas, este desafio pode ser abordado em pesquisas futuras através da investigação da diferença espectral entre áreas de sucessão ecológica natural, como aquelas que se encontram sobre depósitos aluvionares mais recentes, e áreas onde a vegetação se encontra em regeneração após uma intervenção antrópica. O índice Kappa de 0,78 no modelo final e a sua baixa discordância com as amostras de teste (~5%) indicam a reprodutibilidade do modelo e a possibilidade de aplicação do mesmo em uma área maior.

PARTE 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve três objetivos principais: avaliar os conhecimentos sobre campos de murundus em publicações científicas no Brasil; identificar as variáveis espectrais de melhor resultado para a classificação da área estudada; e fazer um balanço das áreas naturais, áreas antropizadas e em regeneração na área estudada.

Quanto ao primeiro objetivo, a análise bibliométrica sobre campos de murundus revelou que, apesar de campos de murundus serem relativamente pouco estudados, o interesse da comunidade científica sobre essas formações se mostrou significativo, com um aumento no número de publicações a partir da década de 2010. Foi notável a predominância das Ciências Biológicas, com áreas como a Biologia e a Ecologia alcançando os maiores resultados em praticamente todas as métricas, e a sub-representatividade das Ciências da Terra nos artigos analisados. No entanto, na análise dos dados da BNDT de trabalhos de pós-graduação as Ciências da Terra se mostraram mais presentes, com um terço dos trabalhos totais quando somadas as áreas de Geografia, Sensoriamento Remoto e Pedologia. Foi notável que as instituições mais relevantes são sediadas no Cerrado, além disso, o grande número de artigos que utilizaram a palavra-chave Cerrado indica que estes ambientes são mais estudados nesse bioma brasileiro.

Quanto ao segundo objetivo, verificou-se que as variáveis espectrais que obtiveram melhores resultados foram o NDVI, SAVI, NDPI, MNDWI e NDPI. Todos os índices utilizados no modelo final foram desenvolvidos especificamente para o estudo de diferenças na vegetação e áreas alagadas, o que reforça a importância destes dois fatores na compreensão de AUs e valida a utilização dos índices para o estudo destes ambientes.

O algoritmo Random Forest destacou-se pela sua capacidade de integrar múltiplas variáveis espectrais no processo de análise, tanto na fase de seleção de atributos quanto na classificação final. A combinação do RF com plataformas como o RStudio e o GEE demonstrou-se particularmente eficiente, ao permitir uma abordagem integrada de geoestatística, sensoriamento remoto e aprendizado de máquina. Essa integração facilitou a manipulação e análise de grandes volumes de dados, contribuindo significativamente para o monitoramento espacial e temporal de áreas úmidas e para a geração de informações relevantes para a gestão ambiental e a recuperação de ecossistemas sensíveis. A avaliação da importância das variáveis

permitiu identificar quais bandas e índices espectrais mais contribuíram para distinguir áreas conservadas, degradadas e em regeneração, otimizando o modelo final e facilitando a interpretação dos resultados.

A utilização de ferramentas abertas e acessíveis, como o GEE e o RStudio, associadas ao algoritmo Random Forest, permite que a metodologia seja facilmente adaptada e aplicada a outras regiões, inclusive em escalas mais abrangentes. Além disso, a natureza aberta dos dados e ferramentas utilizados garante a reprodutibilidade do estudo. A abordagem demonstrou ser robusta e eficiente na classificação de áreas úmidas, podendo ser aprimorada com a incorporação de novas variáveis ambientais, séries temporais mais extensas e maior detalhamento espacial. Isso amplia as possibilidades de uso em programas de monitoramento ambiental, zoneamento ecológico e planejamento territorial, especialmente em contextos de expansão do uso da terra e necessidade de conservação de ecossistemas sensíveis

Quanto ao terceiro objetivo acima apresentado, a pesquisa demonstrou que a vegetação em campos de murundus possui capacidade regenerativa após intervenção antrópica, tendo em vista a semelhança espectral entre as áreas em regeneração e as áreas conservadas e com áreas colonizadas mais recentemente pela vegetação. A concentração de áreas conservadas dentro do PEA reforça o papel de unidades de conservação na preservação da vegetação nativa e na regeneração de áreas degradadas. A presença de áreas degradadas e em regeneração em torno dos canais de drenagem e estradas corrobora a tese de que a infraestrutura de grandes projetos de irrigação, como o PILAA, alteram as dinâmicas naturais de AUs, fragmentando estes *habitats*. Este cenário mostra a necessidade de consolidar o *status* legal destes ambientes como áreas de preservação, especialmente diante da volatilidade legislativa dos campos de murundus no estado de Goiás e dos serviços ecossistêmicos prestados por estes ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO NETO, M. D. *et al.* The murundus of the cerrado region of Central Brazil. **Journal Of Tropical Ecology**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 17-35, fev. 1986. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0266467400000559>.

ABDELMAJEED, Abdallah Yussuf Ali *et al.* Cloud-Based Remote Sensing for Wetland Monitoring—A Review. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 1660, 19 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs15061660>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/6/1660>. Acesso em: 05 out. 2024.

ASHOK, A. *et al.* Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [S.L.], v. 23, p. 100547, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100547>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938521000835>. Acesso em: 16 set. 2025

BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do rio Araguaia**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010

BELGIU, M.; DRAGUT, L. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [S.L.], v. 114, p. 24-31, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.

BELLOLI, T. F. *et al.* Classificação Baseada em Objeto de Tipologias de Cobertura Vegetal em Área Úmida Integrando Imagens Ópticas e SAR. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 67-83, 2 fev. 2022. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n1-61277>.

BILAR, A. B. C. *et al.* Monitoramento da cobertura vegetal através de índices biofísicos e gestão de áreas protegidas. **Geosul**, [S.L.], v. 33, n. 68, p. 236-259, 19 set. 2018. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n68p236>.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Brasília, DF, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.html

BREIMAN, L. Random Forest. **Machine Learning**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1010933404324>.

CARVALHO, L. F. R. **Sistema para monitoramento dos Campos de Murundus do Distrito Federal mediante sensoriamento remoto**. 2018. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Aeroespacial, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/20022>. Acesso em: 05 set. 2022.

COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational And Psychological Measurement**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 37-46, abr. 1960. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/001316446002000104>.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Caderno de Caracterização do Estado de Goiás**. Brasília: Codevasf, 2021. 60 p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-de-goias.pdf>. Acesso em: 05 out. 2023.

CONGALTON, R. G.. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 35-46, jul. 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-b](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-b).

CUNHA, Catia Nunes et al. (org), **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**, EdUFMT, 165 p., Cuiabá 2015

CUNHA, Christian Santana et al. Classification of Potential Wetlands using the Random Forest in Google Earth Engine in Geomorphological Units - Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 75, n. 42, p. 42-42, 26 out. 2023.

DEHUA, M. *et al.* Review of global studies on the remote sensing of wetlands from 1975 to 2020. **National Remote Sensing Bulletin**, Pequim, v. 27, n. 6, p. 1270-1280, jun. 2023. Disponível em: <https://www.ygxb.ac.cn/en/article/doi/10.11834/jrs.20231022/>. Acesso em: 05 out. 2024.

DE OLIVEIRA, D. A.; ROSOLEN, V. OS SISTEMAS ÚMIDOS NA PAISAGEM DE CHAPADA, O USO DA TERRA E DESAFIOS DA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 15, n. 2, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i2.450. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/450>. Acesso em: 14 out. 2024.

DORMANN, C. F. *et al.* Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 27-46, 18 maio 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.

DOUZOUNÉ, K. *et al.* Application of Ordinary Kriging in Mapping Soil Organic Carbon in Chad using SoilGrids data. **South African Journal Of Geomatics**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 397-408, 18 set. 2024. African Journals Online (AJOL). <http://dx.doi.org/10.4314/sajg.v13i2.11>.

DURIGAN, G. et al. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 20, n. 3, p. 185–196, jul. 2022.

FERREIRA, R. G. G. A .B.; BUENO, G. T., Corumbá. **Anais do XXIV Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Corumbá: Online, 2023. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2023/trabalhos/10/622-571.pdf>. Acesso em: 05 out. 2024.

FONSECA, Claudia Adriana Bueno da; CAMPOS, Alfredo Borges de. DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DAS TERRAS ÚMIDAS DO CERRADO: exemplo da alta bacia do rio Araguaia: estado de goiás. **Geografia**, Rio Claro, v. 2, n. 36, p. 371-396, ago. 2011. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/3792>. Acesso em: 05 set. 2022.

GAO, Bi. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 257-266, dez. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3).

GOIÁS. **Lei Estadual nº 16.153**, de 26 de outubro de 2007. Goiânia, GO, Disponível em: http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2018-05/lei-estadual-no_-17_153-2007-confere-status-de-app-aos-campos-de-murundu.pdf.

GOIÁS. **Lei Estadual nº 18.104**, de 26 de julho de 2013. Goiânia, GO, Disponível em: <https://legisla.casacivil.go.gov.br/api/v2/pesquisa/legislacoes/90203/pdf>. Acesso em: 05 set. 2022.

GOIÁS. **Decreto nº 5.631**, de 02 de agosto de 2002. Disponível em: https://goias.gov.br/meioambiente/wp-content/uploads/sites/33/2021/05/PE_Araguaia_5631-604.pdf. Acesso em: 05 out. 2024

GOIÁS. **Lei Estadual nº 21.683**, de 17 de novembro de 2022. Goiânia, GO, Disponível em: https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/106340/lei-21638

GOIÁS. **Lei Estadual nº 22.017**, de 14 de junho de 2023. Goiânia, GO, Disponível em: <https://legisla.casacivil.go.gov.br/api/v2/pesquisa/legislacoes/107233/pdf>.

GOMES, M. C. et al. Degradação da vegetação nativa e implicações sobre o regime hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Claro, sub-bacia do Rio Araguaia (GO). **Geociências**, v. 41, n. 3, p. 559–568, 14 fev. 2023.

GOMES FILHO, R. R. et al. Velocidade de infiltração da água num plintossolo háplico de campo de murundu sob uma cronossequência de interferência antrópica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 3, p. 245–253, 2011.

GONÇALVES, S. R. A. **INVENTÁRIO E CLASSIFICAÇÃO DE PEQUENAS ÁREAS ÚMIDAS PARA A GESTÃO E MANEJO SUSTENTÁVEL COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 2021. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ecologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

GUASSELLI, Laurindo Antonio et al. Mapeamento e classificação de áreas úmidas usando Topographic Wetness Index (TWI) a partir de modelos digitais de elevação, na bacia hidrográfica do Rio Gravataí - Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 21, n. 3, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1714.

GUO, M *et al.* A Review of Wetland Remote Sensing. **Sensors**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 777, 5 abr. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s17040777>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/4/777>. Acesso em: 05 out. 2024.

GUYON, Isabelle et al. Gene Selection for Cancer Classification using Support Vector Machines. **Machine Learning**, [S.L.], v. 46, n. 1-3, p. 389-422, jan. 2002. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1012487302797>.

HASLAM, S. M.. **Understanding Wetlands**: fen, bog, and marsh. Londres: Crc Press, 2003. 292 p.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 295-309, ago. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-x](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-x).

INAU, **Recomendação Técnica N. 01/2018/INCT-INAU**, Cuiabá, 2018

IPCC, 2023: Sections. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Geneva: Ippc, 2023. 188 p.

IRION, Georg *et al.* Araguaia River Floodplain: size, age, and mineral composition of a large tropical savanna wetland. **Wetlands**, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 945-956, 30 ago. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-016-0807-y>.

JAFARZADEH, Hamid *et al.* Remote Sensing and Machine Learning Tools to Support Wetland Monitoring: a meta-analysis of three decades of research. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 14, n. 23, p. 6104, 1 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs14236104>.

JESUS, J. B. de; SANTANA, I. D.. ESTIMATION OF LAND SURFACE TEMPERATURE IN CAATINGA AREA USING LANDSAT 8 DATA. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 150-157, 16 nov. 2017. <http://dx.doi.org/10.29150/jhrs.v7.3.p150-157>.

JUNK, W. J.; *et al.* Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 5-22, 15 ago. 2013.

JUNK, W. J. (org), **Inventário Das Áreas Úmidas Brasileiras: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento**, Carlini & Caniato Editorial, 720 p., Cuiabá 2024

KUHN, Max. Building Predictive Models in R Using the caret Package. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], v. 28, n. 5, p. 1–26, 2008. DOI: 10.18637/jss.v028.i05. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v028i05>.

LACAUX, J.P. *et al.* Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: application to rift valley fever epidemics in senegal. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 106, n. 1, p. 66-74, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012>.

LATRUBESSE, E., STEVAUX, j. (2002). Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Supplementband. v. 129. p. 109-127. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285913006_Geomorphology_and_environmental_aspects_of_the_Araguaia_fluvial_basin_Brazil. Acesso em: 05 set. 2023.

MARCUZ, Bianca. **Geoquímica do íon Gósforo em Plintossolos submetidos à saturação prolongada por irrigação em Áreas Úmidas do Cerrado**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia e Recursos Naturais, Unicamp, Campinas, 2019.

MARTINS, Angélica Pires Batista. **Comportamento físico de materiais ferruginosos de solos da planície do Rio Araguaia mediante diferentes tratamentos**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, [S.L.], v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1 dez. 1963. Society of Economic Geologists, Inc.. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>.

MCFEETERS, S. K.. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 17, n. 7, p. 1425-1432, maio 1996. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>.

MILANESI, Jonas *et al.* Utilização do modelo HAND no reconhecimento dos terrenos sujeitos a inundação - Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 69, n. 4, p. 42-42, 7 abr. 2017. PPUFU - Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv69n4-44327>.

MOREIRA, M. (org.). **GEOLOGIA DO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL: texto explicativo do mapa geológico do estado de goiás e distrito federal**. Goiânia: Cprm, 2008. 143 p.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Floodplain'murundus' of Central Brazil: evidence for the termite-origin hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, p. 1-19, 1992. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2559804>.

OZESMI, S. L.; BAUER, M. E.. Satellite remote sensing of wetlands. **Wetlands Ecology And Management**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 381-402, 2002. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1020908432489>.

PAULINO, H. B. *et al.* Campos de Murundus: gênese, impacto ambiental e impacto da agricultura nos atributos do solo. In: SOUZA-FILHO, Luiz Francisco *et al* (org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. 11. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Cap. 6. p. 96-136.

PIASER, E; VILLA, P. Evaluating capabilities of machine learning algorithms for aquatic vegetation classification in temperate wetlands using multi-temporal Sentinel-2 data. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 117, p. 103202, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2023.103202>.

PONCE, V.; CUNHA, C. Vegetated Earthmounds in Tropical Savannas of Central Brazil: a synthesis. **Journal Of Biogeography**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 219-225, mar. 1993. <http://dx.doi.org/10.2307/2845673>.

PRINGLE, Robert M.; TARNITA, Corina E.. Spatial Self-Organization of Ecosystems: integrating multiple mechanisms of regular-pattern formation. **Annual Review Of Entomology**, [S.L.], v. 62, n. 1, p. 359-377, 31 jan. 2017. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035413>.

RAD 2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023 - São Paulo, Brasil - **MapBiomas**, 2024 - 154 páginas <http://alerta.mapbiomas.org>. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5193

RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. **An introduction to the convention on wetlands**. 5. ed. Gland, Suíça: Ramsar, 2016. Disponível em: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoc onvention_e.pdf.

RASERA, M. F. F. L. *et al.* Estimating the Surface Area of Small Rivers in the Southwestern Amazon and Their Role in CO₂ Outgassing. **Earth Interactions**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1-16, 1 jun. 2008. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/2008ei257.1>.

ROUSE. J. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Texas A&M University. Remote Sensing Center**. 1974. SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

SALES, J. C. **Estrutura e funcionamento de um campo de murundus da savana brasileira**. 2021. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

SCHESSEL, M. Floristic Composition and Structure of Floodplain Vegetation in the Northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Phyton**, Horn, Australia, v. 39, n. 2, p.

306-336, dez. 1999. Disponível em

SHAFIZADEH-MOGHADAM, H. *et al.* Google Earth Engine for large-scale land use and land cover mapping: an object-based classification approach using spectral, textural and topographical factors. **Giscience & Remote Sensing**, [S.L.], v. 58, n. 6, p. 914-928, 19 jul. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15481603.2021.1947623>.

SANTOS, Djavan Pinheiro. **Feições redoximórficas, micromorfologia e endurecimento da plintita em solos da planície do Rio Araguaia, Brasil**. 2020. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

SIMIONI, João Paulo Delapasse. **MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA DELINEAMENTO DE BANHADOS**. 2021. 145 f. **Tese** (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

SILVA, L. C. R.; VALE, G. D.; HAIDAR, Ricardo F.; STERNBERG, Leonel da S. L.. Deciphering earth mound origins in central Brazil. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 336, n. 1-2, p. 3-14, 10 mar. 2010. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11104-010-0329-y>. Acesso em: 05 dez. 2023.

SILVA, E. B. *et al.* **Mapeamento dos remanescentes de campos de murundus ou covais no estado de Goiás**. Goiânia, 2022. 73 p. Disponível em: <https://siga.meioambiente.go.gov.br/documents/680>. Acesso em: 05 set. 2022.

SIMÕES, C. A. **Potencial de aplicação do índice ndwi para análise de áreas úmidas**. 2019. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Estudo de Caso: Sub-Bacia Hidrográfica do Triângulo Mineiro, Rio Claro - Sp, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/218029>. Acesso em: 05 set. 2022.

SOKOLOVA, M.; LAPALME, G.. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. **Information Processing & Management**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 427-437, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>.

SOUZA, E. D. *et al.* Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 51, n. 9, p. 1194-1202, set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900019>.

TARNITA, C.. *et al.* A theoretical foundation for multi-scale regular vegetation patterns. **Nature**, [S.L.], v. 541, n. 7637, p. 398-401, jan. 2017. <http://dx.doi.org/10.1038/nature20801>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature20801#about-the-journal>. Acesso em: 05 set. 2024.

VALENTE, C.R. *et al.* Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, [S.L.], v. 46, p. 150-160, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2012.12.003>

VIEIRA, Pedro Alves. **Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal**. 2002. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Iesa, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 20 jul. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>.

ZENG, Yongnian; FENG, Zhaodong; XIANG, Nanping. Assessment of soil moisture using landsat ETM+ temperature/vegetation index in semiarid environment. **IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium, 2004. Igarss '04. Proceedings. 2004**, Anchorage, v. 6, p. 4306-4309, set. 2004. [Http://dx.doi.org/10.1109/igarss.2004.1370089](http://dx.doi.org/10.1109/igarss.2004.1370089).

ZEDLER, J. B.; KERCHER, S. WETLAND RESOURCES: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, n. 1, p. 39–74, 21 nov. 2005.