

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO EM REGIÃO PANTANEIRA COM
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

THIAGO DE OLIVEIRA FARIA

Prof. Dr. LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO
ORIENTADOR

Cuiabá, MT
Julho de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO EM REGIÃO PANTANEIRA COM
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

THIAGO DE OLIVEIRA FARIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutor em Física Ambiental.

Prof. Dr. LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO
ORIENTADOR

Cuiabá, MT
Julho de 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F224c Faria, Thiago de Oliveira.
Caracterização do meio físico em região pantaneira com técnicas de sensoriamento remoto / Thiago de Oliveira Faria. -- 2022
89 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Leone Francisco Amorim Curado.
Co-orientador: Thiago Rangel Rodrigues.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Solo. 2. relevo. 3. índices espectrais. 4. área úmida. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO EM REGIÃO PANTANEIRA
COM TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

1 AUTOR (A): DOUTORANDO (A) THIAGO DE OLIVEIRA FARIA

Tese defendida e aprovada em 15 de JULHO de 2022.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO (Presidente da Banca /
Orientador)

INSTITUIÇÃO: UFMT

2. Prof. Dr. THIAGO RANGEL RODRIGUES (Coorientador)

INSTITUIÇÃO: UFMS

3. Prof. Dr. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UFPA

4. Prof. Dr. JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIC

5. Prof. Dr. GEISON JADER MELLO (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: IFMT

CUIABÁ, 15/07/2022.



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 18/07/2022, às 18:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

DOUTORADO - Folha de Aprovação 4916016 — SEI 23108.057550/2022-11 / pg. 1



Documento assinado eletronicamente por **LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 19/07/2022, 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 **Thiago Rangel Rodrigues, Usuário Externo**, em 21/07/2022, às 11:05, 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 **GEISON JADER MELLO, Usuário Externo**, em 21/07/2022, às 15:08, 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 **Jonathan Willian Zangeski Novais, Usuário Externo**, em 22/07/2022, às 14:18, 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 **Rafael da Silva Palácios, Usuário Externo**, em 27/07/2022, às 17:33, 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

http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4916016** e o código CRC **35A7E6A7**.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, à minha família, aos meus amigos e a todos que contribuíram de alguma forma para concretização dessa missão. Meu muitíssimo obrigado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois sem ele nada é possível.

Aos meus pais pelos ensinamentos e por proporcionar as condições de estar aqui.

À minha família pela compreensão dos momentos de ausência e pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental – PGFA, especialmente ao Professor Doutor José de Souza Nogueira (Paraná), por tudo que contribuiu na minha trajetória no doutorado e por tudo que fez em prol da comunidade acadêmica. Um ser humano iluminado que agradeço a Deus por ter tido a oportunidade de ter conhecido e aprendido muito, tanto no aspecto profissional quanto humano.

Aos Professores Doutores Leone Francisco Amorim Curado e Thiago Rangel Rodrigues, por quem tenho enorme gratidão pela orientação realizada, pelos ensinamentos fornecidos, e pelo apoio fundamental para concretização do trabalho. Tive privilégio de ter conhecido os dois ainda nos meus tempos finais de graduação, em que por vezes coincidia de nos encontrarmos no “busão”. Não imaginava que tempos depois me tornaria aluno e orientando desses grandes professores e pesquisadores dentro do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.

Ao Professor Doutor Sérgio Roberto de Paulo (Serginho), por toda competência e suporte dado enquanto coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.

Aos técnicos do PGFA, em especial à Soilce Carrilho e Cezário Gonçalves, pelo apoio administrativo e pelo convívio. Fica o registro da minha grande gratidão à Soilce Carrilho pela força e incentivo que fazem total diferença.

A todo o corpo docente do PGFA, o qual somou enormemente com meu conhecimento e me fez ter excelentes referências de professores.

Ao amigo e Professor Doutor Fernando Ximenes de Tavares Salomão, pela contribuição dada nos levantamentos de campo deste trabalho.

À banca examinadora, que contribuiu muito com a melhoria deste trabalho.

Aos colegas e amigos que fiz dentro do PGFA, pelo convívio e pelos momentos de lazer e descontração, especialmente os vivenciados no nosso tradicional futebol society.

A todos, que de alguma forma contribuíram para a concretização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA PLANÍCIE DO PANTANAL.....	4
2.2 CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO DA PLANÍCIE DO PANTANAL	9
2.3 CARACTERÍSTICAS DO RELEVO DE CONTATO DA PLANÍCIE DO PANTANAL: A DEPRESSÃO CUIABANA	13
2.4 PROPOSTAS DE DELIMITAÇÃO FISIOGRAFICA DA PLANÍCIE DO PANTANAL 14	
2.5 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM	17
2.6 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DO MEIO FÍSICO	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA DELIMITAÇÃO DA PLANÍCIE DO PANTANAL	22
3.3 ESTUDOS DOS ÍNDICES ESPECTRAIS DE ÁGUA.....	23
3.3.1 Levantamento dos índices espectrais.....	23
3.3.2 Avaliação de desempenho dos índices espectrais	25
3.4 LEVANTAMENTO DOS SOLOS, FORMAS E FEIÇÕES DO RELEVO, E SUBSTRATOS GEOLÓGICOS	29

3.5 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 ÍNDICES ESPECTRAIS DE ÁGUA NO ESTUDO DE INUNDAÇÃO.....	31
4.1.1 NDWI	32
4.1.2 NDPI.....	35
4.1.3 RSWIR	38
4.1.4 NDMI.....	40
4.1.5 MNDWI.....	41
4.1.6 Avaliação do desempenho dos índices espectrais	43
4.2 MEIO FÍSICO	49
4.2.1 Solo	49
4.2.2 Relevo	56
4.2.3 Substratos rochosos.....	57
4.3 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM	60
4.3.1 Abordagem morfopedológica e identificação de área de planície do Pantanal.....	60
5 CONCLUSÃO.....	64
6 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	66
REFERÊNCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	21
Figura 2 - Fluxograma sintetizando as fases e etapas de trabalho realizadas.....	22
Figura 3 - Localização das áreas teste de validação de índices espectrais.	26
Figura 4 - Áreas de teste com regiões de inundação/solo úmido identificadas.....	32
Figura 5 - Resultado do índice NDWI nas três áreas de teste.	33
Figura 6 - Resultado do índice NDPI nas três áreas de teste.....	36
Figura 7 – Resultado do índice RSWIR nas três áreas de teste.....	38
Figura 8 - Resultado do índice NDMI nas três áreas de teste.....	40
Figura 9 - Resultado do índice NDWI nas três áreas de teste.	42
Figura 10 - Mapa de média de RSWIR (Red and Short Wave Infra-Red Index) entre 2014 e 2020.	47
Figura 11 - Limite da área de planície sujeitas a inundação e alagamento periódicos.....	48
Figura 12 - Classes de solo na área de estudo.	49
Figura 13 - Vista de região com concreções lateríticas do tipo petroplintita.	51
Figura 14 - Amostra de solo do tipo Plintossolo Argilúvico, com destaque para os nódulos ferruginosos de cor vermelho.	52
Figura 15 - Vista de região em vegetação ciliar na área de estudo. Detalhe de Neossolo Flúvico formada em margem de curso d'água.....	54
Figura 16 - Vista de região com Neossolo Litólico na parte direita da imagem.	55
Figura 17 - Classes de formas de relevo na área de estudo.	56
Figura 18 - Unidades geológicas presentes na área de estudo.....	58
Figura 19 - Vista de região de campo úmido com murundus isolados.....	61
Figura 20 - Vista de região de campo úmido com murundus.....	61
Figura 21 - Vista de região de domínio de Plintossolo Pétrico, fora da planície do Pantanal..	62
Figura 22 - Vista de região em vegetação ciliar na área de estudo. Detalhe de Neossolo Flúvico formada em margem de curso d'água.....	63
Figura 23 - Área de planície em conjunto com solo característico e MDE Alos Palsar.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais classes de solos do Pantanal.	9
Tabela 2 - Principais classes de vegetação do Pantanal.	12
Tabela 3 - Principais estudos sobre delimitação fisiográfica do Pantanal.....	16
Tabela 4 - Classificação de desempenho de Índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977).	29
Tabela 5 - Valores limiares de índices espectrais para extração de área úmida e inundada e suas acurácias na área de teste 02.....	44
Tabela 6 - Valores limiares de índices espectrais para extração de área úmida e inundada e suas acurácias na área de teste 03.....	45
Tabela 7 - Representatividade das classes de solos na área de estudo.	50

RESUMO

O Pantanal consiste num ambiente de planície de inundação de grandes dimensões. Em termos geológicos, consiste em uma bacia sedimentar recente e ainda em formação. Tem funcionamento dinâmico de modo complexo e que necessita ser melhor compreendido. Os limites do Pantanal em geral não são conhecidos a nível de detalhe e semi-detalhe. Os trabalhos que fazem a tentativa de delineamento da área do Pantanal são desenvolvidos de forma abrangente e em escala regional, o que traz resultados limitados para entendimento da paisagem de borda do ambiente. Este trabalho visa identificar e caracterizar a área de planície do Pantanal sujeita a inundação e alagamento em região de Santo Antônio de Leverger, MT, em escala de semi-detalhe de 1:50.000. O trabalho também se propõe a avaliar o índice espectral de melhor desempenho para auxiliar na identificação dessas áreas. Os resultados indicaram algumas características físicas que marcam a planície pantaneira na região. Os solos mais característicos do ambiente sujeito a alagamento são Plintossolo Argilúvico, que podem estar ou não em associação com Neossolo Quartzarênico. No entorno de cursos d'água da planície pantaneira também ocorrem Neossolo Flúvico, Gleissolo e Organossolo. As feições de relevo da planície estão presentes em gradiente topográfico baixo e situam-se em cotas limitadas em geral à 155 metros dentro da área de estudo. O resultado deste trabalho também possibilitou avaliação dos índices espectrais no estudo das áreas sujeitas à inundação e alagamento dentro da planície. Dentre os índices espectrais avaliados, o índice RSWIR teve o melhor desempenho. O valor de -0,175 deste índice demonstrou ser um valor limiar útil para identificar os campos úmidos da planície pantaneira sujeita a alagamento durante a estação chuvosa na região.

Palavras-chave: Solo, relevo, índices espectrais, área úmida.

ABSTRACT

The Pantanal consists of a large-scale flooding environment. In geological terms, it constituted a recent sedimentary basin still in formation. It has the complex and needs to work better mode. The limits of the Pantanal in general are not known in terms of detail and semi-detail. The works that attempt to delineate the area of the Pantanal are developed on a regional scale, which brings limited results for understanding the landscape on the edge of the environment. This work aims to identify the Pantanal plain area in the region of Santo Antônio de Leverger, MT, in a semi-detail scale of 1:50,000, in addition to evaluating the spectral index of best performance for this purpose. The results indicated that in the study area, the typical characteristics of the lowland region of the Pantanal are a pedological system formed by Argilluvic Plintisol and Arenosol and by Fluvisol, Gleysol and Histosol. The relief features are present in a low topographic gradient and are located at limited elevations, generally at 155 meters within the study area. The result of this work also makes it possible to evaluate the spectral indices applied to the study of inundation and inundation. In this sense, the RSWIR index stands out compared to the others.

Palavras-chave: Soil, relief, spectral indices, wetland.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

O Pantanal é umas das maiores áreas úmidas do planeta, ocupando extensas áreas sujeitas a processos hidrológicos de enchentes e inundações, cuja maior parte situa-se no centro-oeste do Brasil, com porções menores também cobrindo territórios dos países da Bolívia e do Paraguai.

Por ser um ambiente com características bastante singulares, como grande extensão areal, rica biodiversidade e com permanência ou intermitência de presença de água em sua superfície, o Pantanal constitui um dos mais exuberantes e complexos ecossistemas brasileiros. Trata-se de um ambiente em que a análise temporal e a abordagem sistêmica integrada e multidisciplinar são fundamentais para a compreensão da dinâmica de diversos processos atuantes sobre ele, incluindo os ciclos de enchentes e inundações e os efeitos sobre sua composição faunística e florística.

Os componentes do ambiente físico do Pantanal, ou seja, relevo, solo, rocha, água e atmosfera constituem um arcabouço sobre o qual desenvolve-se e interage mutuamente a ampla biodiversidade da região. Do ponto de vista socioeconômico, o ambiente pantaneiro tem sido historicamente ocupado com exploração pecuária, e em menor escala com outras formas de uso do solo, dentre elas a exploração turística e agricultura de subsistência.

Tendo em vista a inter-relação existente entre ambiente físico e biótico, com seus fatores intrinsecamente relacionados, onde alteração em alguma variável do ambiente físico pode repercutir no meio biótico e vice-versa, torna-se fundamental a compreensão dos elementos que compõe os ambientes físico e biótico do Pantanal, o que ressalta a importância de estudos sob a ótica do ambiente enquanto sistema. A partir do conhecimento das características próprias e intrínsecas do Pantanal é possível planejar e mesmo adequar um uso antrópico mais racional e criterioso do ambiente, considerando as suas potencialidades e limitações intrínsecas.

Para uma adequada gestão territorial do Pantanal, assim como para qualquer ecossistema, é de suma importância ter a definição dos limites associados ao ambiente. O levantamento das características físicas está entre os fatores chaves para o correto estabelecimento de limites espaciais associados ao Pantanal, tendo em vista que a inundação permanente ou intermitente de água está fortemente relacionada às características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da região.

Ainda são poucos os trabalhos existentes na literatura dedicados ao levantamento dos atributos do meio físico do Pantanal em escala de detalhe ou semidetalhe. A ausência de informações atualmente em escala apropriada dificulta o estabelecimento cartográfico das áreas características de Pantanal ou das regiões de transições com outros ambientes adjacentes. Tal contexto se torna um fator de entrave para uma adequada e criteriosa normatização do uso do solo deste singular ambiente presente no território brasileiro.

A atividade econômica nos dois estados brasileiros onde se insere o Pantanal tem crescido ao longo das últimas décadas. O crescimento econômico e a expansão populacional nas regiões de fronteira do Pantanal têm despertado certa preocupação para uma possível ampliação do uso e ocupação do solo indevida na região pantaneira e seu entorno. No contexto do estado de Mato Grosso, os limites do Pantanal em grande parte fazem divisa com Cerrado, que possui ambiente físico com características em geral de menor fragilidade do ponto de vista geoambiental, e, portanto, constituindo ambiente de menor restrição à ocupação antrópica comparado ao Pantanal.

Dada a diferença entre as potencialidades e limitações de uso do solo entre o Pantanal e os demais ambientes de interface, somada ao nível de conhecimento ainda limitado dos aspectos do meio físico na literatura dessas regiões, a tomada de decisões em relação a controle ambiental e ordenamento territorial por parte do poder público se torna um desafio na atualidade para a região do Pantanal e adjacências.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a relevância do Pantanal no âmbito nacional e mesmo mundial, se torna fundamental o detalhamento cada vez maior deste ambiente e de seus limites físicos de ocorrência, cruciais para o estabelecimento de critérios técnicos visando o equilíbrio entre a interação antrópica e as características intrínsecas da paisagem pantaneira. A busca do equilíbrio em questão impõe a necessidade do conhecimento dos componentes ambientais do meio físico e de suas inter-relações, pois são fatores intervenientes dos ciclos de cheias que são característicos do ambiente pantaneiro.

Com o advento do sensoriamento remoto, a difusão dos SIGs, a evolução das ferramentas computacionais e a disponibilização de acervo de imagens de satélite de longo tempo, se torna possível atualmente realizar estudos multitemporais de índices associados a presença de água e vegetação a partir de imagens orbitais. Deste modo, as geotecnologias

podem contribuir com a aquisição de dados e informações de séries históricas sobre inundação e vegetação de paisagens diversas.

As informações históricas de áreas frequentemente inundadas obtidas por sensoriamento remoto, em conjunto com conhecimento de campo dos atributos do meio físico, são recursos de grande valor para caracterização de ambientes úmidos. Tais informações também possibilitam a realização de análise integrada de paisagem, abordagem bastante consolidada na literatura para o entendimento das potencialidades e limitações de compartimentos de diferentes tipos de paisagens.

Considerando o potencial das metodologias de análise integrada de paisagem, se torna pertinente a sua aplicação em regiões de interface entre Pantanal e outros ecossistemas visando diagnosticar as áreas inundáveis características de Pantanal, e, conseqüentemente, auxiliar no ordenamento territorial e controle ambiental deste ambiente. No estado de Mato Grosso, os municípios que possuem regiões de interfaces do Pantanal com outros ambientes, como é o caso de Santo Antônio de Leverger apresentam condição propícia para receber tais estudos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o uso de levantamento de informações do meio físico e técnicas de sensoriamento remoto na identificação da região de planície do Pantanal em área selecionada dentro do município de Santo Antônio de Leverger, MT.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar o meio físico da área de estudo;
- b) Avaliar uso de índices espectrais para auxílio na identificação de ambientes sujeitos à inundação e alagamento na área de estudo;
- c) Utilizar a abordagem morfopedológica e entender o funcionamento hídrico nas áreas sujeitas à inundação e alagamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA PLANÍCIE DO PANTANAL

O Pantanal compõe uma paisagem úmida única situada na região central do continente sul-americano, em extensa área de cerca de 160.000 km², e tem sido objeto de pesquisas sob os mais variados enfoques temáticos. Trata-se de um ambiente com características distintivas das regiões circundantes, apresentando-se com caráter próprio em termos de características geológicas, geomorfológicas, e composição faunística e florística, com marcante ocorrência de ciclo de inundação durante os regimes de cheias (JUNK e CUNHA, 2005).

Apesar de etimologicamente o termo Pantanal derivar da palavra pântano, ele não corresponde a um ambiente de pântano propriamente dito, que é marcado por ser área caracteristicamente brejosa com presença de água o ano inteiro ou em sua maior parte. Por mais que o aspecto hídrico seja algo marcante tanto em ambiente de pântano quanto no Pantanal, a hidrodinâmica envolvida entre eles é distinta, sobretudo, em razão de no Pantanal processar a drenagem fluvial após período chuvoso da região, e dessa forma a inundação assume um caráter mais periódico em relação a ambientes de pântano (STEFAN, 1964; CALHEIROS e FONSECA JUNIOR, 1996; ASSINE, 2003).

Fisiograficamente o ambiente de Pantanal consiste em extensas áreas de planícies sujeitas a inundação, o que ressalta o aspecto geomorfológico e hídrico inerente ao ambiente, evidenciando a unidade de relevo do tipo planície e a presença sazonal ou permanente de água como características típicas das mais marcantes da planície pantaneira. O relevo com altitude média de 80 a 150 m, em conjunto com a relação particular entre relevo-solo/água/vegetação/fauna possibilita a diferenciação da planície das demais regiões circundantes, especialmente os planaltos e depressões cuja altitudes são comumente superiores a 200m (ALHO, 2008).

No entendimento de Guerra e Guerra (2008), a região do Pantanal se insere dentro da unidade de relevo denominada Baixada Cuiabana, sendo o Pantanal as áreas de cotas inferiores e sujeitas à inundação dentro da Baixada Cuiabana. Para o mesmo autor, áreas de planícies consistem em regiões relativamente planas onde os processos de agradação se sobressaem em relação aos processos de degradação (GUERRA e GUERRA, 2008).

Carvalho (1986) apresenta o Pantanal como um ambiente de terras baixas que pode ser subdividido em duas grandes regiões, conforme a frequência e extensão das inundações, separando, assim, o Pantanal em “pantanal brejoso” e áreas intermitentemente inundadas. Para

o autor, o pantanal brejoso é formado por lagoas extensas, antigos leitos e meandros abandonados, além de brejos alimentado por rios e pequenas lagoas conectadas ou não por canais temporários. Já as áreas intermitentemente inundadas correspondem a áreas inundadas por rios e formadas por contribuição predominante de precipitações.

Franco e Pinheiro (1982) caracterizam bem o contexto geomorfológico em que se insere o Pantanal, descrevendo que seus limites são contornados em grande parte pela Depressão do Rio Paraguai. Este contorno é praticamente contínuo a leste e de forma irregular nas porções a norte, sul e oeste. Nessa abordagem em escala regional, os autores também destacam a presença de diversos relevos de planaltos fazendo interface com a planície do Pantanal, descrevendo o Planalto dos Guimarães a nordeste, os Planaltos do Taquari-Itiquira e Maracaju-Campo Grande a leste, e os Planaltos Residuais de Urucum-Amolar a oeste.

As principais feições geomórficas presentes no Pantanal são bastante particulares e recebem denominações um tanto sugestivas e decorrentes da linguagem popular local, como baía, cordilheira, vazante e corixo (AB´SÁBER, 2006; RODELA, 2006). Sánchez (1977) diferencia as cordilheiras e planícies de inundação como formas positivas de relevo, e as baías, vazantes e corixos como formas negativas.

As baías correspondem a depressões com acúmulo de água de dimensões variadas, podendo ser lagoa ou antigo meandro, com dimensões desde ordem métrica a quilométrica, se apresentando em formatos diversos, como circular, semicircular, elíptico ou irregular, podendo ser tanto perene quanto intermitente (CARVALHO, 1986; SOUZA et al., 2013).

As feições denominadas cordilheiras são pequenas elevações de terreno, sendo comumente arenosas e ocupadas por vegetação de Cerrado, constituindo regiões que não costumam alagar, com exceção dos períodos de cheias excepcionais. Por sua característica topográfica, é comum essas feições serem escolhidas para instalação de sedes de propriedades rurais, além de servir de abrigo para gados nos períodos de enchentes (Franco e Pinheiro, 1982).

Os corixos são espécies de canais naturais de caráter temporário ou permanente que geralmente interligam mananciais (baías, lagoas, córregos e rios). Os corixos tem destacada atuação hídrica no pulso de inundação do Pantanal, apresentando fluxo que se alterna conforme a sazonalidade climática, podendo assim encher e esvaziar conforme o período do ano e contexto hidrológico (MOURA et al., 2007).

As vazantes são áreas rebaixadas e alongadas entre as cordilheiras, contendo presença de água de forma intermitente, e em certos casos até de forma perene, especialmente em regiões com lençol freático sub-aflorante. As vazantes costumam conectar baías contíguas, servindo de

escoadouro entre elas, principalmente em épocas de enchentes, mas em geral não tem continuidade (RODELA, 2006).

As planícies inundáveis do Pantanal ocupam o arcabouço geológico denominado de Bacia Sedimentar do Pantanal, que é uma das maiores bacias intracratônicas cenozóicas do território brasileiro, com espessura de sedimentos um tanto incerta, mas estimada em cerca de 600 metros (LACERDA FILHO et al., 2004). Esta bacia é considerada tectonicamente ativa e apresenta extensão mais ampla que a Planície do Pantanal, possuindo enorme valor científico pois forma um dos ambientes mais notáveis para estudo e entendimento de sistemas fluviais tropicais de baixa altitude (ASSINE e SOARES, 2004; ASSINE et al., 2014).

Do ponto de vista geológico, o Pantanal compõe uma paisagem recente, cuja origem está relacionada a processos de soerguimento da cadeia andina, o que por efeito de compensação isostática permitiu a individualização da bacia sedimentar do Pantanal (GODOI FILHO, 1984). A área fonte da bacia é representada por sedimentos situados principalmente a leste, correspondentes a rochas paleozóicas da Bacia do Paraná, que estão em processo de erosão regressiva (LACERDA FILHO et al., 2004).

O posicionamento da Planície do Pantanal ocorre em grande parte no interior da bacia sedimentar do Pantanal, especialmente em porções de rebaixamento mais pronunciado que foram geradas por subsidências atuantes possivelmente desde o Plioceno, posteriormente ao período de dismantelamento da superfície sul-americana (ASSINE, 2003). A principal fase de subsidência responsável para a gênese do arcabouço tectônico da bacia do Pantanal é atribuída do Plioceno Superior ao Pleistoceno Inferior (HORTON e DeCELLES, 1997; USSAMI et al., 1999).

A Bacia do Pantanal exhibe forma elíptica com certa orientação na direção norte-sul. Ela tem como principal embasamento as rochas metamórficas de baixo grau de idade neoproterozóicas pertencentes ao Grupo Cuiabá e Corumbá. Geologicamente a bacia é constituída pela Formação Pantanal, que Lacerda Filho et al. (2004) subdivide em três unidades, denominadas de Fácies Depósitos Coluvionares (Q1pc); Fácies Terraços Aluvionares (Q1p1); Fácies Depósitos Aluvionares (Q1p2). Os autores descrevem a Fácies Depósitos Coluvionares como a porção mais antiga, formada por sedimentos detríticos de granulometria variada, que incluem cascalhos, areias, siltes e argilas, podendo se apresentar laterizados. Já as Fácies Terraços Aluvionares situam-se em nível intermediário, correspondendo uma planície aluvial antiga, e formados principalmente por sedimentos areno-argilosos. As Fácies Depósitos

Aluvionares ocupam regiões de topo, formadas por sedimentos sub-recentes argilo-siltico-arenosos.

O clima do Pantanal possui relação com sua localização geográfica em zona intertropical e o seu relevo rebaixado e relativamente aplainado, que em grande parte está envolto por planaltos. Assim, o seu clima é definido como tropical úmido na classificação Köppen, recebendo a denominação de “Aw”, com verão chuvoso e inverno seco, tendo precipitação média em torno de 1300 a 1600mm e umidade relativa média de 82% (ALVARES et al., 2013; FREITAS et al., 2014).

A temperatura média é de 25°C, mas oscilam em função da estação e da região dentro do Pantanal, se apresentando com média de 26°C no verão em regiões mais elevadas e 29°C nas regiões mais rebaixadas, na porção central e extremo sul. Já no inverno, a sensível redução, com as temperaturas variando entre 20°C na borda leste e região sul, e 23°C nas regiões central e norte (HASENACK et al., 2003).

Tanto o regime de chuvas quanto as inundações do Pantanal apresentam sazonalidade característica, permitindo distinguir claramente os períodos de chuva e de estiagem na região. Na maior parte do Pantanal, o período chuvoso se estende de outubro a abril, e o período de estiagem vai de maio a setembro (CUNHA e JUNK, 2004).

Quanto aos pulsos de inundação, Hamilton et al. (1996) detectou uma tendência geral de inundação progressiva que acompanha o traçado regional do fluxo d'água no Pantanal, com as primeiras inundações se processando nas partes norte e leste, seguido de inundações com maior atraso nas regiões oeste e sul. Nesse sentido, o início da inundação na região norte inicia-se já a partir dos primeiros meses do período chuvoso (REBELLATO e CUNHA, 2005). Nas porções mais centrais, a oeste e sul, os índices máximos de inundação costumam apresentar defasagem considerável em relação aos picos de chuvas, podendo tal defasagem chegar até a três meses (FANTIN-CRUZ et al. 2010).

A formação das áreas tipicamente inundadas no Pantanal origina-se em grande parte pelo extravasamento das águas dos leitos da rede de drenagem da região. Mas também há contribuição de alagamento resultante de chuvas, ou seja, retenção de águas pluviais na superfície do terreno em decorrência de baixa capacidade de infiltração, que por sua vez é o resultado de chuvas concentradas, presença de solos de reduzida permeabilidade, elevação do lençol freático nos meses chuvosos e relevo caracteristicamente aplainado (SILVA, 1995; BEIRIGO et al., 2011).

Deste modo, é possível descrever duas formas de inundação presentes na planície, uma de caráter fluvial, com a atuação dos leitos de drenagens servindo como mecanismo de descarga

d'água, e outra de caráter pluvial, ou do tipo alagamento, em que a presença de água na superfície não está diretamente relacionada a elevação do nível d'água dos leitos, mas sim pelo predomínio de acúmulo das águas de chuvas (POTT, 1988).

A inundação sazonal do Pantanal pode ser dividida em quatro fases, conforme apresentado por Prado et al. (1994), que são enchente, cheia, vazante e seca. A fase de enchente ocorre nos meses iniciais após a inundação. A cheia é a fase em que as águas se encontram com maior espessura de lâmina. A vazante corresponde a fase de diminuição dos níveis de inundação. E, por fim, ocorre a fase de seca, em que os níveis de inundação são bastante reduzidos e com baixos índices pluviométricos.

Esses regimes de cheias da região condicionam fortemente os processos pedogenéticos locais, resultando na presença de ambiente redutor durante parte do ano e na formação de solos com predomínio de caráter hidromórfico (BAZZO et al 2012; CORINGA et al., 2012). Dentre os processos pedogenéticos mais presentes estão a gleização e plintização. A gleização atuante implica na formação de solos com horizonte glei em grande parte do Pantanal (BEIRIGO et al., 2011). Este horizonte é marcado por ter espessura mínima de 15cm, conter menos que 15% de plintita, prevalência de ferro em estado reduzido e apresentar-se saturado pelo lençol freático permanentemente ou durante parte do ano (EMBRAPA, 2013).

A plintização é um importante processo pedogenético envolvida na formação de alguns dos solos mais comuns do Pantanal, como é o caso dos Plintossolos, um tipo pedológico que apresenta plintita como característica marcante, e que tem grande representativa na parte norte da planície (COUTO e OLIVEIRA, 2008). As plintitas consistem em mistura de argila rica em ferro ou ferro e alumínio com grãos de quartzo e outros minerais, formadas tipicamente em ambientes úmidos com alternância sazonal do lençol freático (EMBRAPA, 2013).

Conforme levantamento de solos realizado por Santos et al. (1997), em trabalho que foi posteriormente atualizado a nomenclatura por Fernandes et al. (2007), as principais classes de solos no Pantanal são Planossolo, Plintossolo, Espodossolo, Gleissolo, Vertissolo e Neossolo (Tabela 01), seguindo os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCs).

Tabela 1 - Principais classes de solos do Pantanal.

Classe	Características principais	Aptidão a formas de uso
Planossolo	São solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte B plânico bastante impermeável, subjacente a horizonte A ou E, com mudança textural abrupta, com ou sem caráter sódico e coloração acinzentada ou escurecida	A drenagem imperfeita e o regime de alagamento no período chuvoso, aliado aos teores de sódio e baixa saturação de bases nos solos distróficos, restringem o aproveitamento desses solos ao uso com pastagens naturais
Plintossolo	Apresentam horizonte plântico dentro dos 40 cm superficiais ou dentro de 200 cm da superfície quando precedidos de horizonte glei ou subjacente a horizonte E	Tendo em vista o acentuado distrofismo, as condições de má drenagem e o regime de inundação a que estão sujeitos, o pastejo sobre gramíneas nativas é sem dúvida a melhor opção de uso
Espodossolo	São solos minerais, com horizonte B espódico precedido por horizonte E ou raramente A, e em geral com textura arenosa em todo perfil	Devido ao seu caráter distrófico e pobreza em bases trocáveis, além das condições de inundação, são utilizados com pastagem natural, aproveitando os extensos campos nativos
Gleissolo	São solos minerais com horizonte glei subjacente ao horizonte A, não coincidente com horizonte B textural e não apresentando horizonte plântico ou vértico acima do glei ou coincidente com ele. São característicos de locais planos e abaciados, sujeitos a alagamentos constantes ou periódicos.	Suas características são bem diversificadas, com texturas desde média a muito argilosa e caráter eutrófico, distrófico e alumínico. Mesmo para os eutróficos, a utilização é dificultada pelas condições de má drenagem, sendo mais apropriada a exploração pecuária e à conservação ambiental
Vertissolo	São solos minerais hidromórficos ou com sérias restrições à percolação de água, apresentando horizonte vértico	Embora possuam boa disponibilidade de nutrientes para as plantas, seu uso é restrito ao cultivo devido às suas características físicas de endurecimento e fendilhamento acentuado quando secos e rápido encharcamento quando molhados
Neossolo	Os Neossolos são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura e sem horizonte B diagnóstico, com sequência de horizonte A e C.	A baixa fertilidade natural, a textura muito arenosa, e ainda o fato de muitas vezes terem caráter hidromórfico por conta do lençol freático próximo a superfície torna esse solo inviável técnica e economicamente seu uso além do aproveitamento das pastagens nativas.

Fonte: FERNANDES et al. (2007).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO DA PLANÍCIE DO PANTANAL

A vegetação do Pantanal é marcada por apresentar variadas fitofisionomias, com predominância de formações savânicas e campestres, cuja ocorrência é bastante condicionada à fatores do ambiente físico, como condição hidrotopográfica, características lito-pedológicas, características microclimáticas, além de receber interferência também de fatores antrópicos (Pott, 1995). Muito embora tenha alta variedade de fitofisionomias, o endemismo no Pantanal é baixo, justificado por ser uma planície com gênese relativamente recente e desprovida de barreiras geográficas que favoreceria o isolamento da região, e conseqüentemente facilitaria a especiação entre a planície e as formações vegetais adjacentes (DAMASCENO-JÚNIOR et al., 2014).

Coutinho (2006) ao revisar o conceito de bioma presente na literatura, conclui que o Pantanal constitui um mosaico composto de vários biomas, especialmente dos tipos savânicos, florestais de hidrobiomas, de helobiomas, e de litobiomas, além de campestres de hidro-helobiomas. Segundo o autor, todos eles são pertencentes ao Zonobioma II da classificação internacional de Walter (1986), ou seja, situados em região de clima tropical com chuvas de verão e inverno seco, contendo vegetação zonal principalmente de florestas tropicais estacionais ou do tipo savanas.

A alta diversidade e complexidade inerente a vegetação do Pantanal, contribui para elevada variação da composição florística, cujas espécies, em geral, são provenientes de ambientes de florestas (amazônica, estacionais e atlântica), cerrados, chaco e caatinga (RIZZINI, 1979; ADAMOLI, 1981). A complexidade também é representada pelo fato de que variações mínimas nas características morfométricas do terreno, na ordem métrica ou mesmo centimétrica, podem resultar em variações acentuadas na tipologia vegetal (ABDON et al., 1998). Tipicamente do que se observa nas regiões de transição e contato de ecossistemas, o Pantanal constitui um delicado espaço de tensão ecológica do ponto de vista fitogeográfico, especialmente por estar posicionado em entorno de três grandes domínios morfoclimáticos e fitogeográficos sul-americanos (AB'SÁBER, 2006).

O Cerrado é considerado a formação vegetal mais predominante no Pantanal, com presença mais acentuada nas regiões leste e central da planície pantaneira, e se distribuindo principalmente nas regiões de Cáceres, Barão de Melgaço, Aquidauana e Miranda. Somando as áreas representadas pelo Cerradão e Cerrado *Sensu Strictu* tem-se uma representatividade de cerca de 36% da área do Pantanal (SILVA et al., 2000).

As formações de Cerrado representam importante fonte de alimentação para criação de rebanho bovino, principal atividade econômica da planície pantaneira. Isso em função de que as fitofisionomias do Cerrado possuem estrato herbáceo, com exceção do Cerradão, que ocorre preferencialmente em regiões topograficamente mais elevada, como as cordilheiras. Apesar da pouca utilização para pastejo, o Cerradão tem função essencial no ambiente, atuando como refúgio para animais silvestres e o próprio rebanho bovino em épocas de cheias (ABDON et al., 1998).

Abdon et al. (1998) em estudo realizado na vegetação do Pantanal de Nhecolândia, demonstram a grande variação de fitofisionomias relacionados ao Cerrado no ambiente pantaneiro, como cerradão com acuri e babaçual, cerrado denso, cerrado aberto, cerrado com murundu, campo sujo, campo limpo, dentre outras.

A vegetação de campos naturais reunindo tanto as áreas de campos secos quanto inundado tem grande representatividade no Pantanal, abrangendo cerca de 31% da sua área total. A sua presença é mais predominante na região Oeste do Pantanal, especialmente nas adjacências do rio Paraguai (SILVA et al., 2000).

A floresta semidecídua abrange cerca de 4% da vegetação total do Pantanal e caracteriza-se por composição arbórea variando entre 8 e 20 metros de altura, cujas árvores perdem parte das folhas no período seco, e costumam se desenvolver em solos com boa fertilidade, drenagem e aeração (SILVA et al., 2000). Este domínio pode ser considerado como um tipo de mata seca presente no Pantanal, pois costuma ocorrer em níveis de relevo comumente mais elevados, nas chamadas cordilheiras, cujas áreas normalmente não costumam sofrer inundações (POTT et al., 2011). As principais espécies componentes da floresta semidecídua são *Scheelea phalerata*, *Tabebuia rosea-alba* e *Tabebuia impetiginosa* (SILVA et al., 1998).

O Pantanal é propício ao desenvolvimento de formações vegetais monodominantes, resultando em frequentes regiões extensas compostas predominantemente por uma única espécie na paisagem, dentre os quais pode-se citar as formações de buritizal, cambarazal, paratudal, canjiqueiral, carandazal, babaçual, acurizal, pirizal e caetezal (SOARES e OLIVEIRA, 2009).

Pelas características hídricas próprias, o Pantanal apresenta diversas espécies aquáticas, ocupando os mais diversos ambientes como rios, corixos, vazantes, lagoas e brejos (POTT e POTT, 1997). Os ambientes de brejos formam um ambiente particular no Pantanal, contendo presença predominante de espécies aquáticas por se tratar de áreas com presença de água permanentemente ou durante maior parte do ano, em que as áreas podem secar principalmente em anos de estiagem mais acentuada (CUNHA et al., 2000). Esses ambientes apresentam destacada importância dada à capacidade de retenção de sedimentos em suspensão e nutrientes (POTT, 2007), ocupando cerca de 7,4% da vegetação total do Pantanal (SILVA et al., 2000).

Silva et al. (2000) realizaram levantamento das principais classes de vegetação presentes no Pantanal, adotando o critério fitofisionômico e utilizando-se de denominações regionais, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Principais classes de vegetação do Pantanal.

Classe	Características principais
Babaçual	São solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte B plânico bastante impermeável, subjacente a horizonte A ou E, com mudança textural abrupta, com ou sem caráter sódico e coloração acinzentada ou escurecida
Baceiro ou batume	Apresentam horizonte plântico dentro dos 40 cm superficiais ou dentro de 200 cm da superfície quando precedidos de horizonte glei ou subjacente a horizonte E
Brejo	São solos minerais, com horizonte B espódico precedido por horizonte E ou raramente A, e em geral com textura arenosa em todo perfil
Buritizal	São solos minerais com horizonte glei subjacente ao horizonte A, não coincidente com horizonte B textural e não apresentando horizonte plântico ou vértico acima do glei ou coincidente com ele. São característicos de locais planos e abaciados, sujeitos a alagamentos constantes ou periódicos.
Cambarazal	São solos minerais hidromórficos ou com sérias restrições à percolação de água, apresentando horizonte vértico
Campo inundado	Os Neossolos são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura e sem horizonte B diagnóstico, com seqüência de horizonte A e C.
Campo seco	Áreas com vegetação herbácea, não inundadas no período do levantamento;
Canjiqueiral	Formação homogênea esparsa de áreas arenosas, com domínio de canjiqueira (<i>Byrsonima orbignyana</i> A. Juss.), de 1-5 m de altura
Carandazal	Formação homogênea densa com dominância da palmeira carandá (<i>Copernicia alba</i> Morong.), de 8-20 m de altura
Cerradão	Formação densa composta de árvores, com comportamento semidecíduo, de 8-20 m de altura
Cerrado	Formação lenhosa esparsa, sobre um estrato herbáceo, composta por arbustos e árvores de 0,8-10 m de altura
Chaco	Vegetação arbustiva caducifólia, micrófila e espinescente, geralmente associada a solos salinos
Mata semidecídua	Composição de arbóreas de 8-20 m de altura, na qual a maioria das árvores perde as folhas no período seco
Mata de galeria	Matas de beira de rio e/ou sob sua influência direta, ocorrem espécies como piúva (<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Tol.) e ingás (<i>Inga</i> spp)
Paratudal	Formação savânica alagável com estrato arbóreo quase exclusivo de paratudo (<i>Tabebuia aurea</i> (Manso) B. & H.), de 5-16 m de altura
Pirizal/caetezal	Áreas de alto grau de inundação com dominância de pirizeiro (<i>Cyperus giganteus</i> Vahl) e caeté (<i>Thalia geniculata</i> L.), respectivamente
Outros	São corpos de água livre de vegetação

Fonte: SILVA et al. (2000).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO RELEVO DE CONTATO DA PLANÍCIE DO PANTANAL: A DEPRESSÃO CUIABANA

Na região do município de Santo Antônio de Leverger, a unidade de relevo que faz limite com a planície do Pantanal corresponde principalmente a Depressão Cuiabana. Essa unidade de relevo é denominada em algumas publicações como Baixada Cuiabana. Dentre as publicações mais expressivas que adotam o termo Baixada Cuiabana em detrimento a Depressão Cuiabana, estão as publicações de Almeida (1964) e Hennies (1966). Mas em geral, na literatura há predomínio da adoção do termo Depressão Cuiabana, incluindo mapeamentos e publicações provenientes de órgãos oficiais, como o levantamento geomorfológico realizado por Ross e Santos (1982), que compõe o projeto Radam Brasil, e trabalhos desenvolvidos pelo IBGE (IBGE, 2006; IBGE, 2019).

Guerra e Guerra (2008) conceitua a depressão no contexto geomorfológico como uma unidade de relevo situada em nível altimétrico mais baixo que áreas próximas, podendo ser depressão absoluta, no caso em que as suas cotas estejam abaixo do nível do mar, ou depressão relativa, que são os casos em que as cotas estejam abaixo do nível de regiões no entorno.

A Depressão Cuiabana é explicada por Ross e Santos (1982) como uma área rebaixada situada entre o Planalto dos Guimarães e a Província Serrana, fazendo contato com o Pantanal mato-grossense a sul, com a Província Serra a oeste, noroeste e norte, e limitada pelo relevo escarpado do Planalto dos Guimarães a leste. Como características gerais da unidade, os autores citam a forma rampeada com inclinação se estabelecendo de norte a sul, e o posicionamento altimétrico, que varia de cerca de 200m no limite sul a 450m em porções do alto vale dos rios Cuiabá e Manso.

Almeida (1964) adota o termo Baixada Cuiabana para se referir a uma província geomórfica que sofreu aplainamento, caracterizada atualmente por superfícies suavemente arredondadas, contendo amplos interflúvios que normalmente não se elevam mais de 40 ou 50m acima de fundos de vales associados. Desta forma, uma das principais características topográficas da Baixada Cuiabana é o subnívelamento do relevo e a reduzida amplitude local, que comumente não ultrapassa 50 metros. No interior da unidade ocorrem cristas e morros isolados em regiões em que as rochas do Grupo Cuiabá se apresentam mais resistentes ao intemperismo (ALMEIDA, 1964).

Almeida (1964) destaca também que a feição geomórfica marcante da Baixada Cuiabana é proveniente do desenvolvimento de uma superfície de erosão, denominada por Almeida (1948) de Peneplanície Cuiabana, superfície esta que vem ao longo do tempo perdendo

altura gradualmente em razão do efeito de erosivo das águas pluviais que atuam sobre os solos residuais do Grupo Cuiabá. Esta ampla superfície peneplanada é esculpida em rochas metamorfizadas do Grupo Cuiabá, contendo um aplainamento mais acentuado em regiões com substrato rochoso menos resistente ao intemperismo, notadamente nas áreas de ocorrências de filitos e metadiamicritos do Grupo Cuiabá (ALMEIDA, 1948).

Em estudo mais recente, realizado por Castro-Junior et al. (2006), foram reconhecidas três unidades morfológicas na região da Depressão Cuiabana. Uma das unidades foi denominada de Depressão Dissecada, e apresenta controle estrutural com dissecção média a forte, e de amplitude média, podendo compor as seguintes formas de relevo: colinas, morrotes e morros. Outra unidade morfológica reconhecida pelos autores foi denominada de Depressão Pediplanada, que correspondem a formas de relevo de baixa dissecção e declividade, além de baixa densidade de drenagem e amplos interflúvios, marcadas por pedimentos em forma de rampas e com a presença de raros inselbergs. A terceira unidade morfológica identificada por Castro-Junior et al. (2006) corresponde a um relevo agradacional, marcadas principalmente pela planície de inundação do rio Cuiabá, de relevo aplainado e sujeita à eventos periódicos de inundação.

2.4 PROPOSTAS DE DELIMITAÇÃO FISIAGRÁFICA DA PLANÍCIE DO PANTANAL

Apesar da importância que representa o Pantanal em termos de biodiversidade e em relação aos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos em escala ampla, há escassez de informações deste ambiente, que somado à ausência de uma delimitação clara e de consenso na literatura científica, dificulta o seu uso sustentável (CALHEIROS e FONSECA JUNIOR, 1996).

Em busca de proposições de delimitação fisiográfica para o Pantanal, vários pesquisadores centraram esforços nesse sentido ao longo das últimas décadas, e apesar de surgirem várias propostas resultantes, o consenso é dificultado, dentro outros fatores, por conta de adoção de metodologias distintas entre as propostas, especialmente quanto aos critérios utilizados e escala de trabalho empregada.

Uma das dificuldades impostas para delimitação espacial do Pantanal é o fato da sua transição com outros biomas adjacentes não se apresentar de forma abrupta e bem definida em todo seu limite, além do fato do Pantanal ser formado por sub-regiões com características particulares, como se reunisse diversos “Pantanais” (SILVA e ABDON, 1998; MIOTO et al., 2012).

As propostas de delimitação do Pantanal presentes na literatura utilizam critérios que variam desde geopolíticos a elementos que compõe o meio físico e biótico, como geomorfologia, hidrologia, fluviomorfologia, altimetria relativa, litologia, pedologia, fitogeografia, vegetação, aspectos da inundação e aspectos fisiomorfológicos (PENATTI, 2014).

Stefan (1964) apresenta um dos primeiros mapas situando a localização geográfica do Pantanal no território brasileiro, em um trabalho que descreveu com profundidade aspectos socioeconômicos da região até então, porém não descreve aspectos metodológicos envolvidos na elaboração da área atribuída ao Pantanal. Publicações subsequentes, como Brasil (1974), Sanchez (1977) e Brasil (1979) apresentam tentativas sistemáticas de se estabelecer a área do Pantanal por meio de critérios principalmente geomorfológicos, geomorfométricos e hidrológicos, se utilizando análises de cartas topográficas e fotografias aéreas.

A partir da década de 1980, com a evolução da computação, SIG e advento do sensoriamento remoto orbital, especialmente a partir do lançamento e disponibilização de imagens do satélite norte-americano Landsat, a análise ambiental de paisagens é fortemente beneficiada com os avanços das geotecnologias para extração de informações da superfície terrestre. Nesse contexto surgem alguns trabalhos importantes voltados à delimitação fisiográfica do Pantanal, como Franco e Pinheiro (1982), Alvarenga et al. (1982), Adámoli (1982), Alvarenga et al. (1984).

Um dos trabalhos de referência atualmente na literatura que se utiliza das geotecnologias em conjunto com informações de campo visando delimitar o Pantanal é o produzido por Silva e Abdon (1998). Neste trabalho os autores propõem a delimitação utilizando critérios relacionados a inundação, relevo, solo e vegetação, estabelecendo limites fisiográficos em escala de 1:250.000 e definindo onze sub-regiões pantaneiras.

Ao comparar os critérios e técnicas adotadas pelos diferentes autores para a proposição dos limites espaciais do Pantanal, pode-se notar que cada vez mais acentua-se a participação do sensoriamento remoto nesta tarefa, que presta grande auxílio por meio de diferentes informações úteis que podem ser extraídas das imagens de satélite e de radar. Dentre as principais informações passíveis de serem obtidas por técnicas de sensoriamento remoto e Geoprocessamento, estão as voltadas para análise e compreensão dos processos de inundação e alagamento no Pantanal (ALVES et al., 2015).

De modo geral, as propostas apresentadas para delimitação do Pantanal divergem em maior ou menor grau em termos de limite espacial e área total atribuída ao ambiente, em razão

dos temas e seus respectivos pesos variarem nas diferentes propostas, além da própria diferença dos objetivos e escalas envolvidas nos trabalhos (PADOVANI, 2010; MIOTO et al., 2012).

Mais recentemente, Mioto et al. (2012) e Mioto et al. (2019), apresentam uma nova abordagem relacionada a delimitação fisiográfica do Pantanal, utilizando-se de interpretações neotectônicas, sob o argumento de que a bacia sedimentar do Pantanal é tectonicamente ativa e que os eventos tectônicos guardam estreita relação com a formação dos limites da bacia do Pantanal. Mioto et al. (2019) demonstra que os lineamentos a partir de interpretações neotectônicas coincidem de modo geral com as principais propostas de delimitação fisiográfica do Pantanal.

Os principais estudos relacionados a delimitação fisiográfica do Pantanal são sintetizados abaixo (Tabela 3) a partir do trabalho de Penatti (2014).

Tabela 3 - Principais estudos sobre delimitação fisiográfica do Pantanal.

Autor	Critérios adotados	Material utilizado	Número de subáreas	Área (Km²)
Stefan (1964)	Não especificado	Não especificado	Não analisado	156.298
Brasil (1974)	Curvas de nível (200m) geomorfologia	Cartas topográficas na escala de 1:250.000 e fotografias aéreas	Não Analisado	168.000
Sanchez (1977)	Geomorfologia, hidrologia e fluviomorfologia	Imagens de radar na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:100.000	17	Não quantificada
Brasil (1979)	Geomorfologia, hidrologia e fluviomorfologia	Imagens de radar na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:100.000	15	139.111
Franco e Pinheiro (1982); Alvarenga et al. (1982)	Geomorfologia, fatores morfogenéticos e cartas topográficas (altimetria relativa, litologia e pedologia)	Imagens de radar na escala de 1:250.000	13	136.738
Adámoli (1982)	Fitogeografia e hidrologia	Estudos anteriores EDIBAP. Imagens do LANDSAT-MSS nas escalas de 1:250.000 e 1:1.000.000	10	139.111
Alvarenga et al. (1984)	Geomorfologia e aspectos estruturais topográficos,	Imagens de Radar na escala de 1:250.000. Imagens LANDSAT	12	133.465

	hidrológicos, morfológicos, pedológicos e de estrutura vegetal	MSS nas escalas de 1:500.000 e 1:1.000.000		
Amaral Filho (1986)	Pedologia e hidrologia	Estudos anteriores (RADAMBRASIL) e imagens de Radar na escala de 1:250.000	6	153.000
Brown (1986)	Não especificado	Estudos anteriores (RADAMBRASIL)	6	-
Allem e Valls (1987)	Uso econômico, tradição local e fisiografia	Observações em campo e em aeronaves	9	139.111
Mato Grosso do Sul (1982)	Regime de inundação	-	14	-
Hamilton et al. (1996)	Geomorfologia e Hidrologia	Imagens de sensor de micro- ondas passivo	10	137.000
Silva e Abdon (1998)	Hidrologia, relevo, solos, vegetação, e aspectos geopolíticos	Estudos anteriores, GPS e imagens Landsat TM, escala de 1250.000	11	138.183
Padovani (2010)	Geomorfologia e critérios hidrológicos da dinâmica de inundações	Estudos anteriores de Silva e Abdon (1998) e Hamilton et al. (1996) e série temporal de imagens MODIS do período de 2000 a 2009	25	150.500
Mioto et al. (2012)	Regime de inundação	Imagens de satélites CBERS- 2B, MODIS e índice NDVI	18	140.640
Mioto et al. (2019)	Controle estrutural neotectônico	Fotointerpretação de imagens de satélites CBERS-2B	-	-

Fonte: Modificado de Penatti, (2014)

2.5 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM

As paisagens têm sido caracterizadas amplamente como um sistema contendo unidades terrestres que se interagem de modo funcional, em que a composição e configuração resultante da interação definem a capacidade da paisagem de reter recursos variados como água da chuva, sedimentos, nutrientes e matéria orgânica, assim como fornecer habitats necessários para a biota local (BASTIN et al., 2002).

As diversas formas de manifestações de atividades humanas sobre a superfície terrestre, como implantação de agricultura, exploração mineral, construção de obras de engenharia, juntamente com os demais processos relacionados ao ambiente físico ou de natureza biótica moldam os padrões das paisagens ao longo do tempo.

A inter-relação existente entre as propriedades paisagísticas, geológicas e biológicas torna a abordagem holística fundamental em estudos ambientais, sendo muitas vezes

imprescindível para compressão do funcionamento e evolução de determinada paisagem. Dessa forma, a abordagem holística apresenta grande utilidade quando se busca o entendimento do ambiente como um todo, alcançada por meio da correta integração dos vários campos da ciência, sem prejuízo para o estudo e resolução de problemas específicos de cada área do conhecimento (ERIKSTAD, 2013).

Dentre os trabalhos pioneiros que nortearam a abordagem interdisciplinar e integrada da paisagem, se destaca Bertalanffy (1969), que apresentou a Teoria Geral dos Sistemas, defendendo os sistemas enquanto conjunto de partes ou elementos com interações mútuas e interdependentes, de modo que cada elemento de um dado sistema depende das propriedades dos sistemas de ordem maiores que os seus próprios.

Já com certa influência da Teoria Geral dos Sistemas, Victor Sotchava apresenta a Teoria dos Geossistemas (SOTCHAVA, 1977), defendendo a análise da paisagem de forma estrutural, hierarquizada e sistêmica, auxiliada pela superposição e interação das diversas camadas que formam o sistema geobiofísico.

Simensen et al. (2018) ao fazerem recentemente uma revisão de métodos de mapeamento e caracterização de paisagem, identificaram três abordagens metodológicas ou estratégias distintas que têm sido comumente aplicadas na caracterização de paisagem. Uma delas corresponde às abordagens holísticas de avaliação das características gerais da paisagem, em que a percepção visual e aspectos socioculturais da paisagem são enfatizados.

O segundo método identificado pelos autores é centrado na caracterização da paisagem baseado em seleção de propriedades principalmente geoecológicas e de uso da terra. E a terceira abordagem envolve basicamente a caracterização biofísica das paisagens, que são auxiliadas por análises estatísticas visando identificar por exemplo gradientes de variação de algum elemento ou propriedades da paisagem estudada.

No Brasil, ao longo das últimas décadas têm sido adotadas várias abordagens sistêmicas e integradas na análise da paisagem, que variam conforme objetivo e especificidades da pesquisa em questão. Uma das principais influências nas abordagens adotadas no Brasil vêm de conceitos e ideias baseadas na fisiologia da paisagem de Ab'Saber (1969) e das unidades ecodinâmicas, esta última apresentada por Jean Tricart, em seu trabalho publicado pelo IBGE em 1977, intitulada “Ecodinâmica” (BRITTO e FERREIRA, 2011).

Ao se pensar em estudos que visam caracterizar a paisagem para fins de ordenamento territorial, de modo a subsidiar o poder público na gestão criteriosa do uso do solo, deve-se considerar as potencialidades e limitações intrínsecas dos ambientes objetos de estudo

(CANCELA D'ABREU, 2007; MANSUR, 2010). Nesse contexto destacam-se as abordagens de compartimentação de paisagens concebidas em propriedades geoecológicas, geoambientais e morfopedológicas (CASTRO e SALOMÃO, 2000).

Tricart e Kilian (1979) apresentam uma abordagem em que as unidades da paisagem são constituídas por particulares características geomorfológicas e de solos, produtos de processos complexos e associados de morfogênese e pedogênese. Salomão (1994), se baseando na proposta de Tricart e Kilian (1979), desenvolve a abordagem morfopedológica no sentido de se identificar e compartimentar paisagens homogêneas, em relação não apenas aos fatores de relevo e solo, mas considerando também a influência dos substratos rochosos como critério para definir os compartimentos morfopedológicos.

Castro e Salomão (2000) apresentam as bases metodológicas e conceituais da análise integrada da paisagem sob a ótica da morfopedologia, constituindo-se em uma das principais referências na aplicação dessa abordagem em estudos de compartimentação da paisagem, sobretudo quando baseada em atributos do ambiente físico, permitindo o entendimento dos processos predominantes do meio físico e o consequente uso desse conhecimento no planejamento territorial ordenado e criterioso.

2.6 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DO MEIO FÍSICO

O uso do sensoriamento remoto como auxílio na obtenção de dados do meio físico tem se acentuado cada vez mais, dentre outros fatores, em razão das imagens de satélite e de radar disponibilizadas gratuitamente sofrerem refinamento ao longo dos últimos anos e décadas. Essas imagens de livre acesso têm recebido melhorias em termos de resolução espacial, espectral e radiométrica, o que melhora a capacidade de uso para auxílio na identificação e distinção entre diferentes feições presentes na superfície terrestre (MULDER et al., 2011; ASADZADEH e SOUZA FILHO, 2016).

Outros fatores que têm contribuído com a crescente difusão do sensoriamento remoto envolvem popularização cada vez mais acentuada de SIGs, melhorias na capacidade de hardware, e advento dos drones que tem proporcionado certa revolução no sensoriamento remoto, no que diz respeito ao acesso às imagens de alta resolução espacial (WANG et al., 2015; GAJBHIYE, 2015; AASEN et al., 2018; FUKANO et al., 2021)

Desse modo, atualmente as técnicas envolvendo sensoriamento remoto tem sido amplamente empregadas na estimativa de levantamento de dados do meio físico. As imagens multiespectrais podem ser empregadas para auxiliar no estudo de tipos de solos e tipos de rochas por exemplo (NOVAIS et al., 2021). E as imagens de radar possuem aplicabilidade no estudo

de topografia, apresentando grande valor na análise geomorfométrica (GUTH, 2006; FRANKLIN, 2020).

Os índices espectrais em especial se utilizam de duas bandas específicas de imagens multiespectrais para estimar quantidade mensurável de índices biofísicos. Essa técnica de sensoriamento remoto foi primeiramente concebida para estudo de biomassa, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973) (SZABÓ et al., 2016).

Posteriormente, diversos outros índices espectrais foram desenvolvidos com objetivos variados, como por exemplo, para a detecção de água, com uso do NDWI proposto por McFeeters (1996), detecção de área construída, com uso do NDBI proposto por Zha et al. (2003), estimativa de solo exposto, com uso do BI proposto por Chen et al. (2004), dentre outros.

Esses índices têm sido testados e aperfeiçoados em pesquisas científicas, fazendo surgir modificações de propostas originais, como é o caso do SAVI (Landsat Soil Adjusted Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index), voltados a estudos de vegetação e ambos derivados da proposta de NDVI. No estudo de detecção de água, a proposta de NDWI de McFeeters (1996) também teve propostas de modificações sendo apresentadas por diferentes pesquisadores.

Em relação a índices espectrais voltados a detecção e estudos de água e área úmida, além do NDWI de McFeeters (1996), destacam-se, dentre outros, o NDMI proposto por Gao (1996), o RSWIR (Red and Shortwave Infrared Index) proposto por Rogers e Kearney (2004), o MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) proposto por Xu (2006) e o NDPI (Normalized Difference Pond Index) proposto por Lacaux et al. (2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange parte do município de Santo Antônio de Leverger, no estado de Mato Grosso (Figura 01).

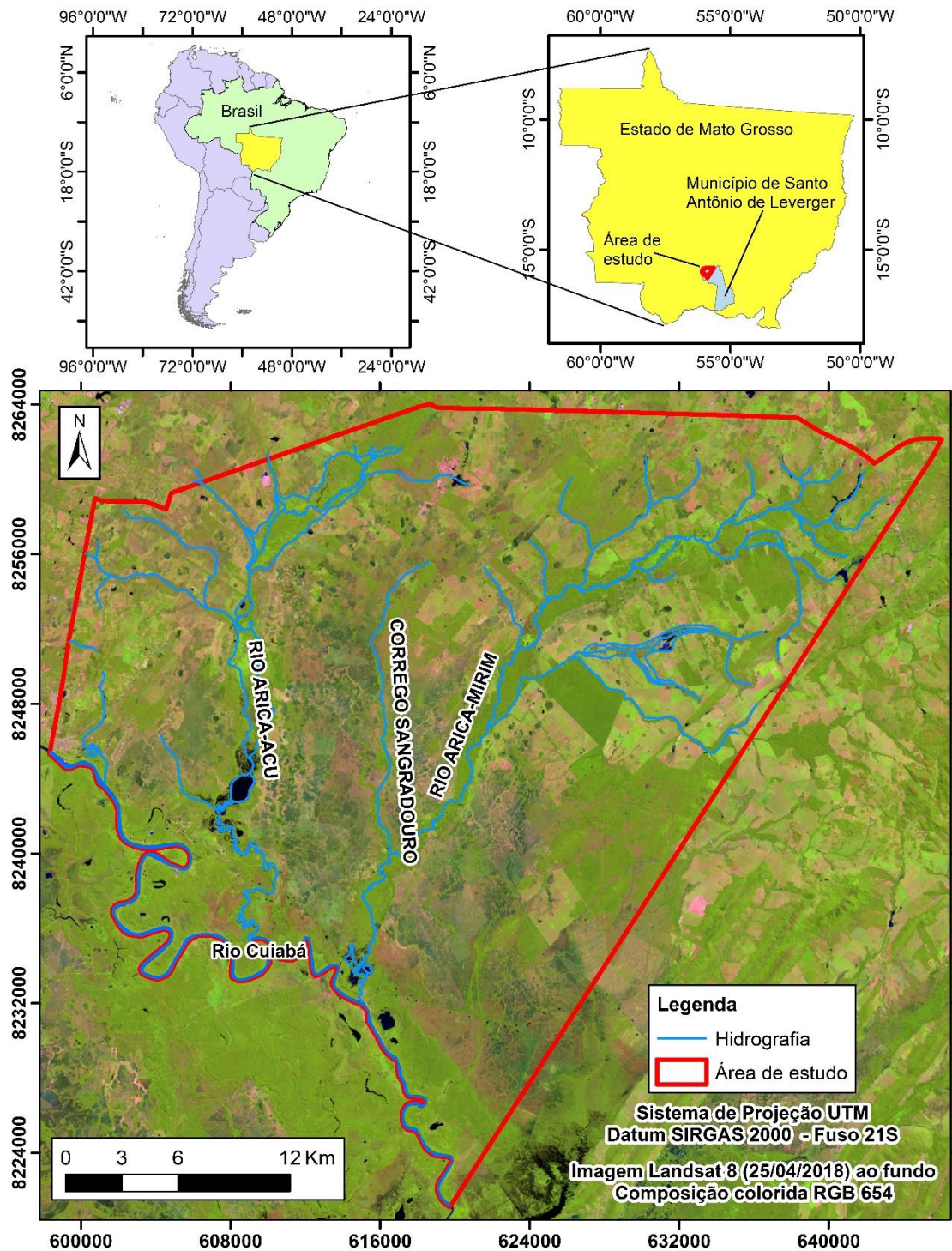


Figura 1 – Localização da área de estudo.

A área foi selecionada como objeto de estudo por conter limites da planície fisiográfica do Pantanal mato-grossense e a Depressão Cuiabana, permitindo, deste modo, um estudo sobre as características do meio físico da região e sobretudo, sobre os limites envolvendo os dois ambientes. No total, a área abrange cerca de 1.114 km².

De modo geral, a pesquisa envolveu três fases de trabalho principais. A primeira fase envolve a revisão da literatura e definição dos critérios a serem adotados no estabelecimento da planície do Pantanal. A segunda fase envolveu o levantamento de dados do meio físico, divididos em duas etapas, sendo a primeira o levantamento de dados em campo para caracterização do meio físico, e a segunda o levantamento de índices espectrais de água para estudo da inundação. A terceira fase envolveu a integração e avaliação da aplicação dos dados produzidos no estabelecimento da planície de inundação na área de estudo, conforme o fluxograma (Figura 2) a seguir:

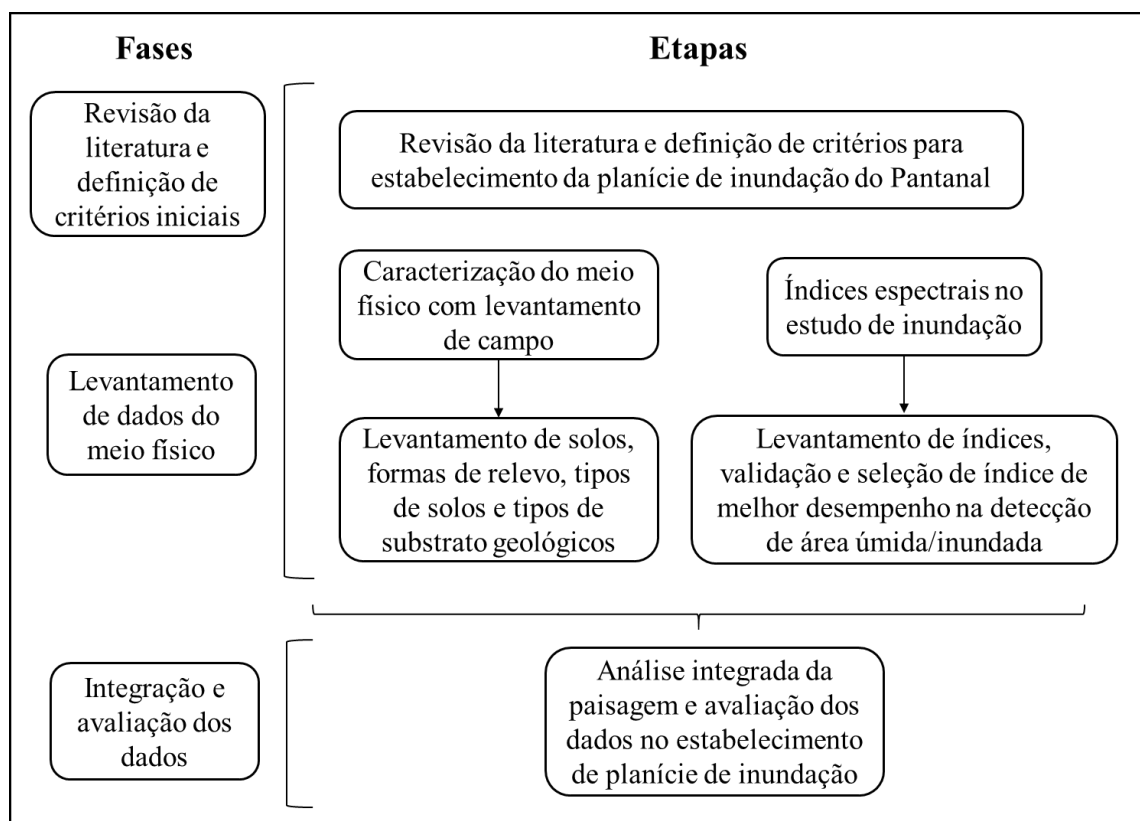


Figura 2 - Fluxograma sintetizando as fases e etapas de trabalho realizadas.

3.2 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA DELIMITAÇÃO DA PLANÍCIE DO PANTANAL

Nesta pesquisa adota-se como referência metodológica, o trabalho de Silva e Abdon (1998), em cujo estudo os autores definiram as áreas de inundação do Pantanal com base em

imagens de satélite restritas entre os anos de 1990 e 1991, além do uso de cartas topográficas e checagens de campo. Em razão da ampla disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto atualmente e a difusão de técnicas de geoprocessamento em SIGs, optou-se por utilizar uma série temporal de maior intervalo, por meio de imagens da série Landsat 8, com imagens datadas de 2013 a 2020.

Além disso, uma grande diferença em relação ao trabalho de Silva e Abdon (1998), consiste nas dimensões da área de estudo e escala de mapeamento. Os autores citados propuseram mapeamento da área de planície de Pantanal em toda a extensão do território brasileiro, o que impôs uso de escala regional. Já este atual trabalho adota como área de estudo um recorte específico em região de limite do Pantanal, o que torna possível realizar um trabalho de escala mais detalhada, que possa compreender as relações entre os componentes do ambiente físico local em região de borda do Pantanal, garantindo maior precisão cartográfica de resultados de espacialização das áreas de planície do Pantanal da região de estudo.

3.3 ESTUDOS DOS ÍNDICES ESPECTRAIS DE ÁGUA

3.3.1 Levantamento dos índices espectrais

Uma base de dados do satélite Landsat 8 foi usada para obtenção de diferentes índices espectrais de água que apresentam potencial para identificação de áreas úmidas. Os índices espectrais usados neste estudo foram NDWI, NDMI, RSWIR, MNDWI e NDPI. Para tanto, foram usadas imagens Landsat 8 da órbita 226 e ponto 71, que cobre inteiramente a área de estudo, obtidas a partir do portal <https://earthexplorer.usgs.gov/>, pertencendo ao Serviço Geológico Norte Americano (USGS). As imagens adquiridas já vêm georreferenciadas e contêm correção atmosférica. Foi necessário realizar a reprojeção para o sistema de referência SIRGAS 2000, em projeção UTM, com fuso 21 S.

O índice NDWI (Normalized Difference Water Index) foi calculado conforme a proposta original na literatura, apresentado no trabalho de McFeeters (1996). Esse índice utiliza as bandas do verde (GREEN) e infravermelho próximo (NIR) (Equação 1), que para o Landsat 8 correspondem as bandas 3 e 5.

$$NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

Gao (1996) também apresenta um outro índice de água por diferença normalizada (NDWI) utilizando as bandas do infravermelho próximo (NIR) e uma

banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR) (Equação 2), correspondentes, respectivamente, as bandas 5 e 6 do Landsat 8. Essa proposta de Gao (1996) também ficou conhecida na literatura como NDMI (Normalized Difference Moisture Index), e este termo é adotado neste trabalho para diferenciar do NDWI de McFeeters (1996).

$$NDMI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (2)$$

Para o cálculo do índice RSWIR (Red and Shortwave Infrared Index), apresentado por Rogers e Kearney (2004), foram utilizadas as bandas do vermelho e a primeira banda do infravermelho de ondas curtas (Equação 3), ou seja, as bandas 4 e 6 da Landsat 8.

$$RSWIR = \frac{\rho_{RED} - \rho_{SWIR}}{\rho_{RED} + \rho_{SWIR}} \quad (3)$$

O índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), também conhecido como GSWIR (Green and Shortwave Infrared Index), é uma proposta de Xu (2006), e foi obtido a partir da banda do verde e a primeira banda do infravermelho de ondas curtas (Equação 4), correspondentes as bandas 3 e 6 do Landsat 8.

$$MNDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{SWIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{SWIR}} \quad (4)$$

O índice NDPI (Normalized Difference Pond Index), cuja proposta de concepção é creditada a Lacaux et al. (2007), utiliza as mesmas bandas do índice MNDWI, ou seja, uma banda do infravermelho de ondas curtas e a banda do verde, que para a Landsat 8 foram respectivamente as bandas 6 e 3. Porém, o índice NDPI se diferencia do MNDWI pela inversão da ordem de uso das bandas, conforme Equação 5.

$$NDPI = \frac{\rho_{SWIR} - \rho_{GREEN}}{\rho_{SWIR} + \rho_{GREEN}} \quad (5)$$

3.3.2 Avaliação de desempenho dos índices espectrais

Para avaliação do desempenho de cada índice espectral foi realizado teste estatístico por índice Kappa. Este índice foi proposto por Cohen (1960), e expressa a concordância entre dados da classificação e verdade de campo para escalas nominais. O índice Kappa tem sido utilizado há décadas nas ciências sociais, tendo seu uso iniciado na área de sensoriamento remoto a partir da década de 1980 (FREITAS JUNIOR e RIBEIRO, 2014). Apresenta utilidade para avaliar a concordância geral envolvida entre mapeamentos derivados de imagens de satélite com mapeamento verdadeiros com controle de campo (MAHMON e YA'ACOB, 2014; SISODIA et al., 2014, ISLAMI et al., 2022; DIGRA et al., 2022).

Neste presente trabalho os dados de referência são dados assumidos como verdade de campo, e foram obtidos com auxílio de imagens de alta resolução espacial disponíveis no software Google Earth Pro, além checagem de campo das características de dinâmica hídrica dos terrenos locais.

Para a obtenção dos dados de referência foram utilizadas imagens de alta resolução espacial do Google Earth Pro, tendo como escala de referência para visualização no SIG de 1:10.000. Foi definida essa escala de referência para ser possível a diferenciação de feições de ambiente de Pantanal que tipicamente ocorrem na região, especialmente os capões e campos úmidos com murundus. Essas feições apresentam dimensões de áreas muito restritas, o que dificulta sua abordagem em escalas menores.

Essa demanda de uso de escala detalhada para estudo de feições do Pantanal no contexto a que se propõe esse trabalho, portanto, fez com que fosse necessário realizar recortes menores para proceder os testes de validade, haja vista que tal trabalho de detalhe seria operacionalmente inviável de se realizar na área de estudo inteira, dada a minuciosidade que é exigida para a interpretação das feições.

Foram então definidas três áreas tidas como de testes de validação dos índices espectrais de águas, selecionadas em razão de demonstrarem representatividade da área inundada como um todo, além do fato de estarem situadas em locais próximos ao limite da planície do Pantanal (Figura 3).

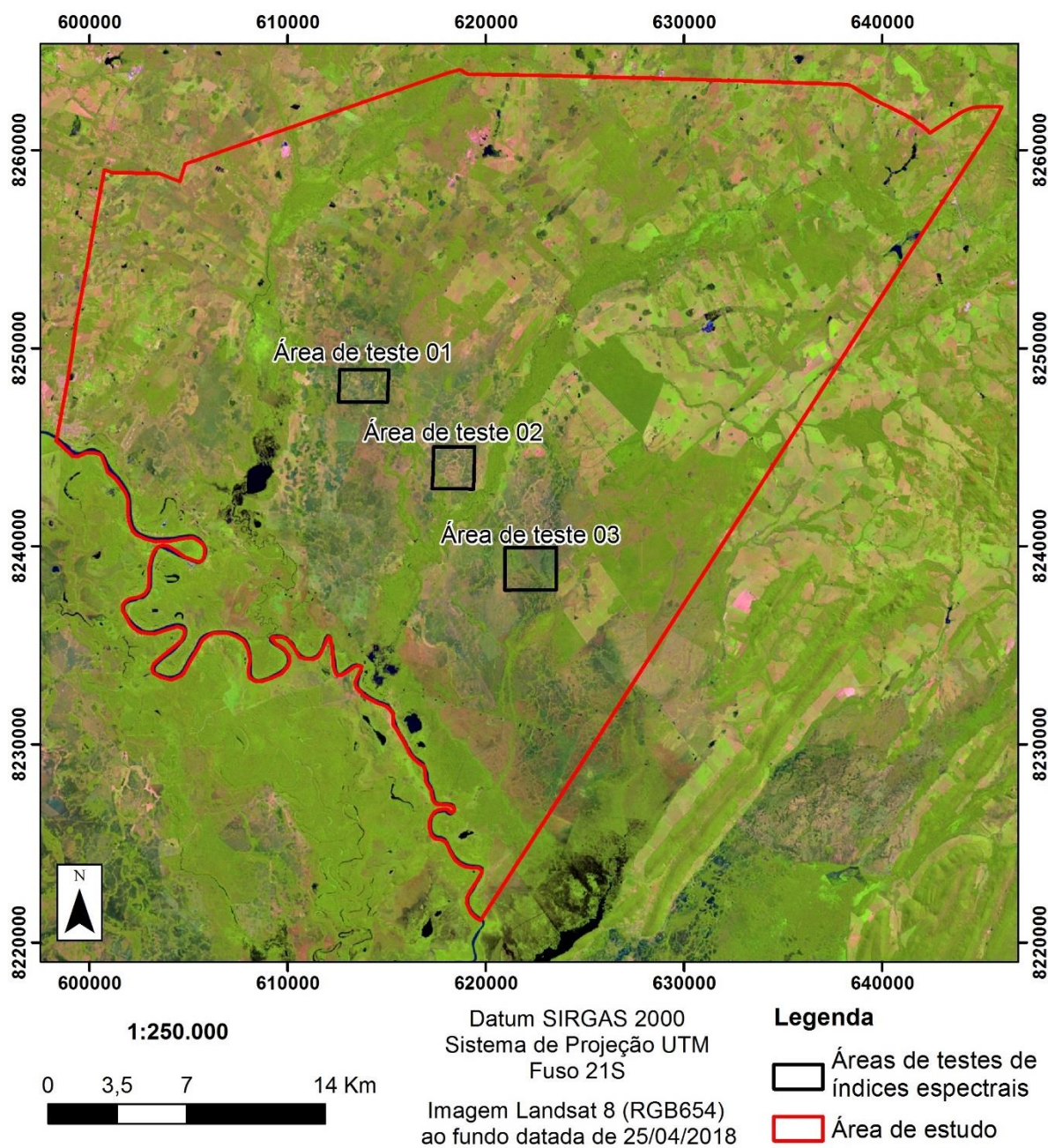


Figura 3 - Localização das áreas teste de validação de índices espectrais.

Para selecionar a cena presente no Google Earth Pro® capaz de ser base para extração dos dados de referência, foi feita busca no referido software com uso da ferramenta “mostrar imagens históricas”, e foi analisada qual a cena do software cuja data coincide ou se apresenta mais próxima de alguma das datas das cenas disponíveis no Landsat 8. Isso porque há uma necessidade de que tanto a imagem da qual será obtido os dados de referência, constituindo a verdade de campo, quanto as imagens das quais serão obtidas os índices espectrais, constituindo

as estimativas, sejam de datas iguais ou próximas, para tornar válida a análise estatística de concordância geral pelo índice Kappa.

A data da imagem do Google Earth Pro® que apresentou ser viável a sua utilização como base de levantamento dos dados de referência foi a de 28/04/2018. Isto porque essa data é próxima da data de uma das cenas adquiridas do Landsat 8 para produção dos índices espectrais. A data do Landsat 8 em questão é de 25/04/2018, portanto, tendo uma diferença de três dias em relação a imagem do Google Earth Pro®. Por mais que haja defasagem de cerca de três dias entre as cenas, por ser data de final do mês de abril, trata-se de final de período chuvoso na região, fato que minimiza possível diferença brusca de umidade no solo entre as duas datas, uma vez que é típico na região durante esse final do ciclo chuvoso o terreno encontrar-se sob influência de águas pluviais acumuladas ao longo dos meses chuvosos anteriores, resultando em subida do lençol freático local e formação de terrenos encharcados, ou mesmo com cobertura de água nas porções de cotas mais inferiores.

Corroborando também para o uso dessas duas cenas o fato de que não houve precipitação pluviométrica na região em intervalo de 25/04/2018 a 28/04/2018, conforme consulta em estação micrometeorológica mais próxima, a estação Padre Ricardo Remetter, situado em Santo Antônio de Leverger, MT. Deste modo, não houve interferência por chuva que pudesse influir em diferença de acúmulo de água no terreno, de modo a comprometer a análise comparativa entre as cenas utilizadas.

Após a obtenção de cada um dos índices nas três áreas de estudos de testes, foi realizada a classificação dos índices de modo a se produzir mapas binários, contendo classes de áreas com inundação e/ou solo úmido e áreas sem inundação e/ou solo úmido. Para se chegar no valor limiar de cada índice espectral, ou seja, identificar o valor limite que separa as áreas com inundação/solo úmido das áreas sem inundação/solo úmido, foi inicialmente dividido cada mapa de índice espectral em valores distribuídos em 32 classes, que são os maiores números de classes que o SIG utilizado (ArcGIS 9.3) permite fazer o fatiamento.

Para se encontrar o valor limiar de cada índice que melhor exibisse o resultado para mapeamento das áreas com inundação/solo úmido, separando-as das áreas sem inundação/solo úmido, foi realizada comparações de diferentes valores dos índices com os dados de referência (verdade de campo), que por sua vez exibem o mapeamento das áreas com inundação/solo úmido obtida por interpretação de imagem do Google Earth e apoiada em informações coletadas em campo.

Essa análise comparativa para se obter o valor limiar de cada índice que melhor coincide com os dados de referência foi realizada pelo método de tentativa e erro, que é bastante

comum em pesquisas envolvendo sensoriamento remoto, como se verifica em trabalhos como de Hamedianfar e Shafri (2015), Albuquerque et al. (2021) e Shuai et. al (2022).

Nessa abordagem de tentativa e erro se avaliou cada um dos 32 valores de classes dos índices que se tornou possível ser separado no software ArcGIS 9.3. Esses 32 valores limiares foram então comparados com os dados de referência (verdade de campo) das áreas com inundação/solo úmido. À medida que a análise por contagem dos pixels de cada um dos 32 intervalos de valores dos índices classificados (áreas com inundação/solo úmido versus áreas sem inundação/solo úmido) se tornava mais refinado, ou seja, corretos em relação aos dados de referência, se avaliava valores de classes mais específicos, ou seja, valores com casas decimais no entorno do número inteiro que exibiu resultado mais pertinente dentre os 32 possíveis. Esse procedimento foi repetido até se encontrar o melhor valor limiar contendo três casas decimais que mais se aproximasse dos resultados de referência.

Valores no nível de três casas decimais se mostraram pertinentes o suficiente para serem estabelecidos como valores limiares representativos de melhor desempenho dos índices. O procedimento de detalhar mais casas decimais para se obter valores limiares mais refinados se mostraram dispendiosos e cujo retorno não justificasse a sua obtenção.

De posse dos mapas com melhores limiares para cada cena e área teste, foi então realizado o cálculo de índice Kappa e acurácia global, com seleção aleatória de dois mil pontos distribuídos em cada cena. Todo o processo de geração de pontos aleatórios e cálculos da matriz de confusão foi desenvolvido em software ArcGIS 9.3, com uso das seguintes ferramentas “Create Accuracy Assessment Points“, “Update Accuracy Assessment Points” e “Compute Confusion Matrix”.

Após obtenção do índice Kappa, foi classificado o respectivo desempenho de cada cena conforme proposta de Landis e Koch (1977), apresentada abaixo (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação de desempenho de Índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977).

Valor Kappa	Desempenho da classificação
<0,00	Inexistente
0,00-0,20	Baixa
0,20- 0,40	Razoável
0,40- 0,60	Boa
0,60- 0,80	Muito boa
0,80- 1,0	Excelente

Após a identificação do índice espectral que apresentou melhores valores de Kappa e acurácia global, foi desenvolvido análise multitemporal com cenas Landsat 8 com datas variando de 2013 a 2020, utilizando cenas do período chuvoso que estivessem totalmente ou em sua maior parte livre de nuvens. As cenas utilizadas são das seguintes datas: 27/04/2013, 16/05/2014, 27/04/2013, 16/03/2015, 03/04/2016, 05/05/2016, 18/03/2016, 19/04/2016, 09/04/2018, 25/04/2018 e 13/03/2020. Essa análise multitemporal permitiu produzir um mapa de frequência média das áreas com inundação/solo úmido ao longo desse intervalo de período das imagens.

3.4 LEVANTAMENTO DOS SOLOS, FORMAS E FEIÇÕES DO RELEVO, E SUBSTRATOS GEOLÓGICOS

O levantamento de solos foi realizado em duas etapas, denominadas de levantamento preliminar e levantamento de campo. No levantamento preliminar foram interpretadas imagens de satélites e fotografias aéreas para identificação de zonas homólogas de solos, realizadas em ambiente SIG.

Na etapa de campo, realizada nos meses de junho e julho de 2019, foram realizadas descrições morfológicas em perfis de solos e trincheiras expostas, além de realização de 20 sondagens a trado e respectivas descrições das amostras coletadas. O levantamento foi realizado em escala de 1:50.000 e baseou-se nos conceitos presentes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), que auxiliou na definição das classes de solos, em nível hierárquico de segundo grau categórico, bem como serviu de base para seleção do padrão de cores e convenções cartográficas para apresentação do mapa de solos.

O levantamento das formas e feições do relevo foi realizada em duas fases, com a primeira denominada de etapa pré-campo e a segunda correspondendo a etapa de campo. Na etapa pré-campo foi realizado levantamento da literatura e realizada a contextualização geomorfológica da área de estudo, seguindo a proposta de classificação taxonômica do relevo apresentada por Ross (1992), que propõe uma classificação do relevo terrestre em seis níveis hierárquicos. Também na etapa pré-campo foi elaborado mapa preliminar das formas e feições de relevo, a partir de técnicas de geoprocessamento com uso de Modelos Digitais de Elevação e imagens de satélites multiespectrais e de alta resolução espacial.

Na etapa de campo, realizada em agosto de 2019, foi realizado caminhamento ao longo da área de estudo para fins de levantamento das formas e feições de relevo que compõe a paisagem na área de estudo, em escala de 1:50.000. Os trabalhos de campo foram auxiliados pelo mapa preliminar de formas e feições de relevo. Como critérios adotados na descrição das formas de relevo foram utilizados parâmetros morfométricos, como amplitude e gradiente topográfico, conforme apresentado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981), e que foi adaptado neste trabalho, especialmente com a inclusão de forma de relevo plano.

Neste levantamento também foi utilizado o Manual Técnico de Geomorfologia, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), que forneceu auxílio na definição de simbologia e padrões cartográficos estabelecidos no mapa final de formas de formas e feições de relevo.

O levantamento geológico foi realizado em três etapas, que consistiram no levantamento e compilação da literatura, aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e etapa de campo.

No levantamento e compilação da literatura foram realizadas pesquisas a respeito de publicações de mapeamentos geológicos existentes na região de estudo, com o posterior compilamento, que consistiu na síntese do que há de consenso a respeito das características geológicas na área estudada, e elaboração de um mapa geológico compilado.

Na aplicação de sensoriamento remoto foi efetuada interpretação visual de imagens e fotos aéreas em ambiente SIG, além de processamento digital de imagens multiespectrais visando aperfeiçoar o mapa geológico compilado, produzindo um mapa geológico preliminar.

Na etapa de campo, de posse do mapa geológico preliminar, foram realizados levantamentos geológicos com caracterização de locais com afloramentos rochosos na área de

estudo, além de checagem geral do mapa geológico preliminar. Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em agosto de 2019.

3.5 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM

Foi realizado estudo de abordagem morfopedológica no sentido de se compartimentar unidades homogêneas do ambiente físico, de modo a definir os locais propensos às inundações e alagamentos. As unidades que resultam da abordagem morfopedológica são conceituadas como produtos da interrelação entre substratos geológicos, formas de relevo, solos e dinâmica hídrica, constituindo unidades têmpora-espaciais homogêneas e intrínsecas do meio físico, passíveis de serem distinguíveis em diferentes escalas (CASTRO e SALOMÃO, 2000).

Os procedimentos adotados na abordagem morfopedológica seguiram como referência os trabalhos de Castro e Salomão (2000) e foi realizada com sobreposição cartográfica dos temas de solo, formas e feições de relevo e características dos substratos rochosos, desenvolvidas em ambiente SIG.

Para o entendimento das relações entre solo, relevo, rochas e o funcionamento hídrico, foi adotado o uso de sistemas pedológicos, que conforme Salomão (1994), são diferenciações lateral e vertical de solos que se repetem sistematicamente na paisagem, constituindo a cobertura pedológica marcante nas vertentes dos compartimentos. Desta forma, os sistemas pedológicos foram identificados como a classe pedológica característica ou como a associação de classes pedológicas marcantes, em cada compartimento.

Deste modo, foi possível reconhecer na área de estudo as diferentes unidades homogêneas do meio físico em relação ao comportamento hídrico, identificando-se as áreas sujeitas a inundação e alagamento periódico ou permanente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ÍNDICES ESPECTRAIS DE ÁGUA NO ESTUDO DE INUNDAÇÃO

Foram estudados os principais índices espectrais voltados ao estudo de cobertura de água e áreas úmidas presentes na literatura. Para avaliação dos resultados dos índices espectrais, tanto por interpretação visual quanto por método estatístico com índice Kappa, foi realizado mapeamento das áreas de inundação ou com presença de solo úmido em três áreas testes (Figura 4). Esse mapeamento teve como auxílio imagens de alta resolução do software Google Earth, além de checagem de campo, resultando nos dados de referência ou verdade de campo.

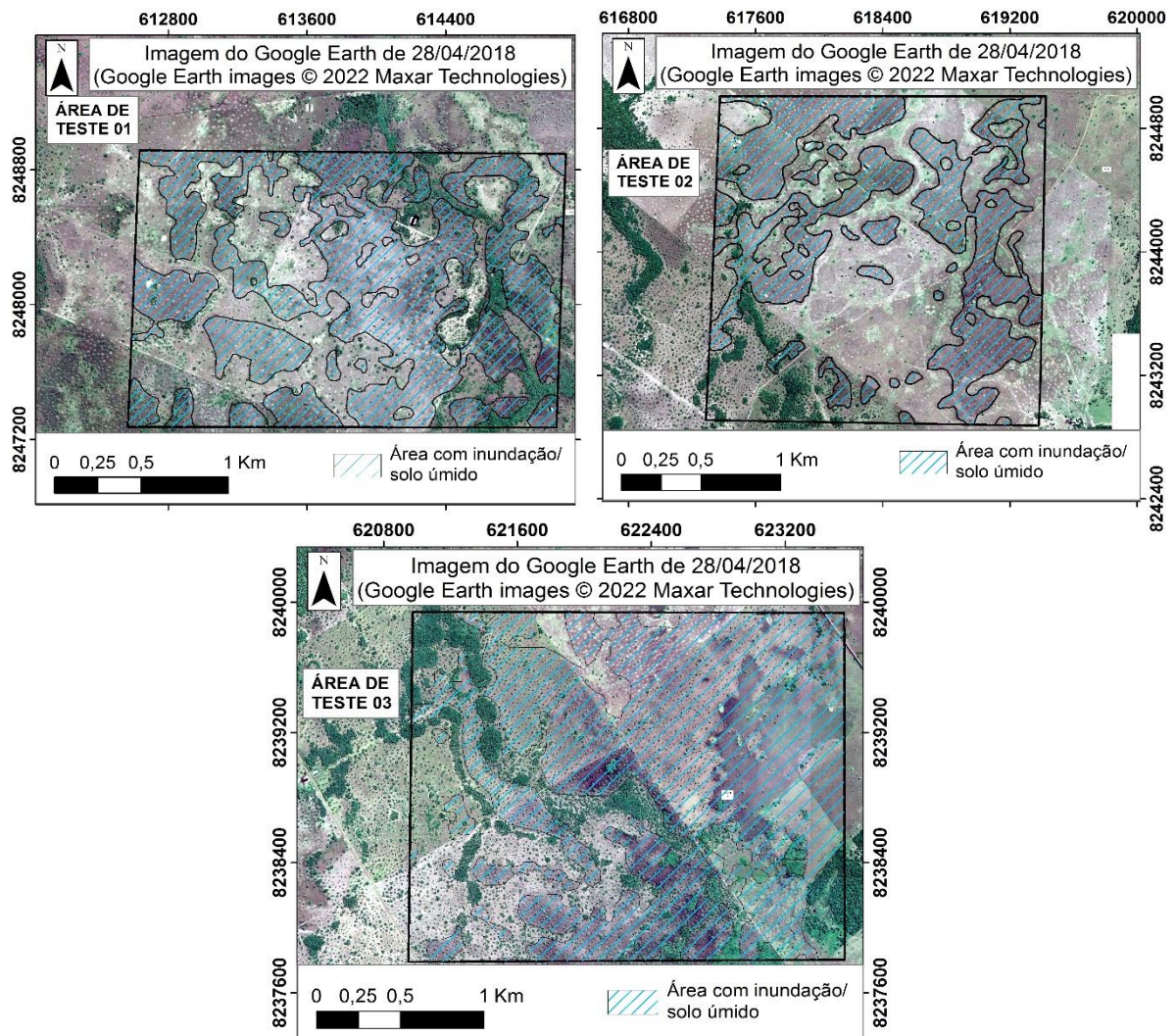


Figura 4 - Áreas de teste contendo regiões de inundação/solo úmido.

A seguir são apresentados os resultados de mapeamento dos índices espectrais nas três regiões selecionadas para teste dentro área de estudo.

4.1.1 NDWI

O NDWI (Normalized Difference Water Index) é um dos mais conhecidos índices espectrais para estudo de cobertura da água, e um dos primeiros a serem propostos com essa finalidade. A seguir é apresentado o mapa exibindo o resultado do NDWI para as três áreas de teste (Figura 5).

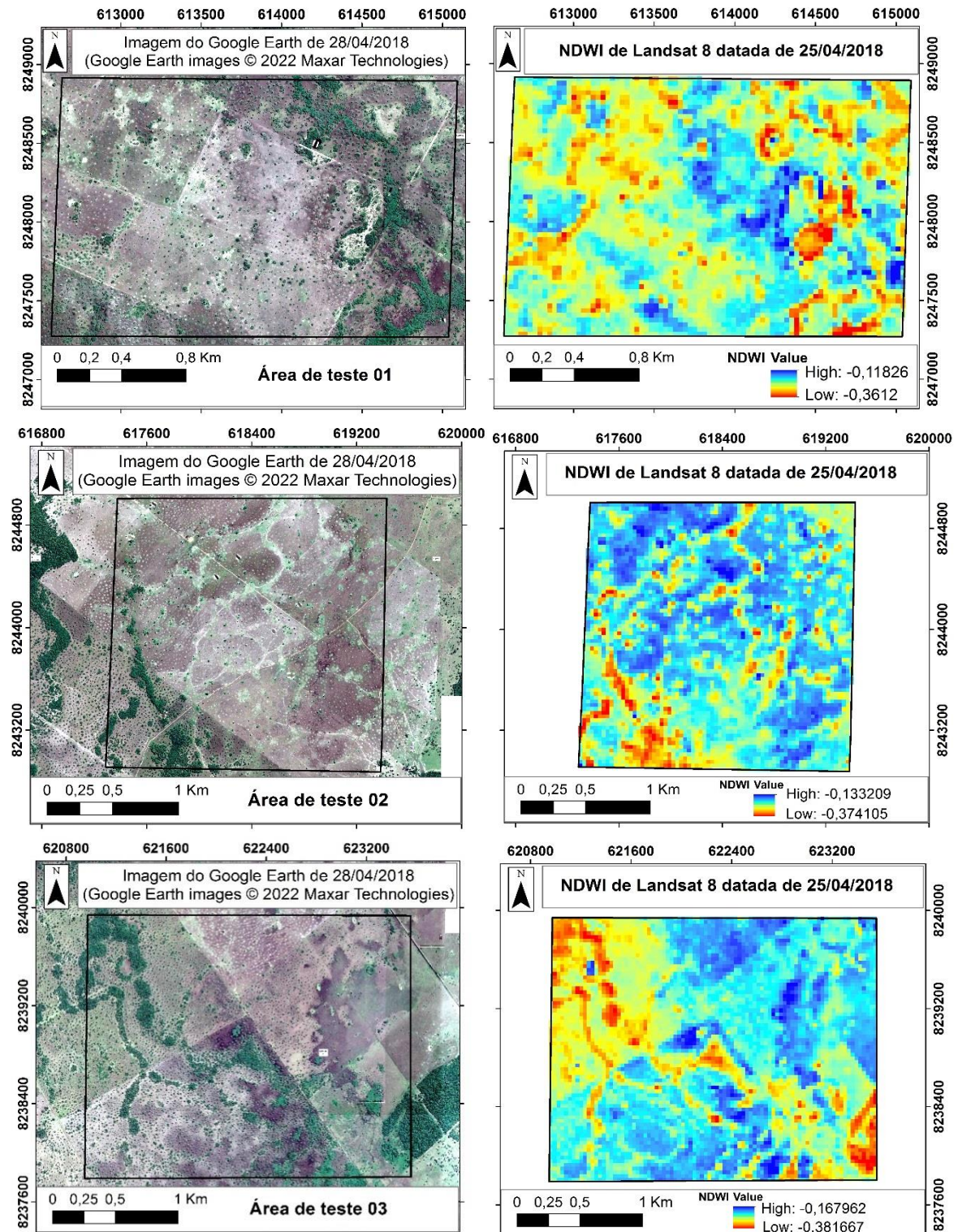


Figura 5 - Resultado do índice NDWI nas três áreas de teste.

A interpretação visual dos resultados realizados nas áreas testes indicam que o NDWI detecta bem as regiões de capões com vegetação de Cerrado que se encontra mais densa. Nas imagens de alta resolução do Google Earth, os capões com vegetação são as áreas esverdeadas. Esses capões são marcadas por valores mais baixos de NDWI, por meio de tons amarelados e

avermelhados na escala de cores usadas nas imagens do índice NDWI. Quanto mais densa são as vegetações de capões, mais ressaltadas são pela cor vermelha no NDWI, e à medida que essa vegetação se torna menos densa, passa a ser marcada pela coloração de tons amarelados e até mesmo azulados nas imagens NDWI, conforme exibida na figura acima (Figura 5).

Visualmente também se percebe que o índice possui capacidade para diferenciação das áreas com presença de água na cobertura do solo, como é o caso da porção a direita da área de teste 03, assumindo valores mais altos e que são marcados pela cor azul nos índices NDWI. Em todas as três áreas de testes, os valores de NDWI se mantiveram negativos, o que indica se tratar de áreas com características de ambiente úmido.

Dentre as pesquisas que utilizam NDWI para estudo em regiões de Pantanal, está o desenvolvido por Mantovani et al. (2017), que analisa o comportamento do NDWI sob diferentes intensidades de pluviosidade no Pantanal de Nhecolândia, MS. Neste trabalho, os autores conseguiram identificar, a partir dos resultados de NDWI, locais onde a vegetação apresentava-se com elevadores teores de água nas folhas, possibilitando o uso desse índice na análise visual da dinâmica hídrica da vegetação daquele Pantanal.

Cardozo et al. (2009) ao compararem resultados de NDWI de dois satélites com resolução espacial distinta, correspondentes ao Landsat 5 e MODIS, em áreas alagadas do Pantanal sul mato-grossense, demonstram a vantagem que os satélites da série Landsat possuem em relação aos satélites de resolução espacial baixa. Os autores conseguiram diferenciar áreas alagadas, regiões não-inundáveis e áreas úmidas a partir do uso do NDWI em uma área de estudo extensa, equivalente a órbita-ponto 226-73 do sensor TM do Landsat.

Pereira et al. (2018) observaram que o NDWI permite evidenciar com facilidade as feições hídricas com lâmina d'água no Pantanal, de modo que essas são as únicas feições a aparecer com valores positivos neste índice. Os autores perceberam também que mesmo terrenos e solos úmidos não são facilmente destacados pelo NDWI, por apresentarem certa confusão espectral com feições como solo exposto e vegetação rasteira.

Pela interpretação visual dos resultados do NDWI nas três áreas de testes utilizadas nesta pesquisa, apesar de demonstrar boa capacidade de identificar capões com vegetação mais densa ou de maior porte, é possível perceber que a confusão espectral de solo úmido, solo exposto e vegetação rasteira apontado por Pereira et al. (2018) também se fez presente. Isso resulta em aparecimento de NDWI com diferentes padrões de valores para uma mesma feição de ambiente de Pantanal, como é o caso de capões com vegetação mais rala ou de menor porte. Esses tipos de capões não são facilmente distinguidos por interpretação visual do NDWI por

apresentar diferentes padrões de valores, e consequentemente, diferentes colorações na escala de cores utilizada.

Essa confusão espectral relatada influi no desempenho do NDWI para separação de áreas com inundação e/ou solo úmido de áreas sem presença de inundação e/ou solo úmido na região de estudo, pois os capões com vegetação mais rala ou de menor porte também constitui uma feição usada como base para distinguir as áreas comumente não inundáveis na região.

Uma diferença envolvendo a presente pesquisa com os principais trabalhos que utilizam índices espectrais no estudo do Pantanal, diz respeito a escala de trabalho. As publicações na literatura abordam o uso dos índices em escala de áreas amplas, ou seja, em escalas regionais, diferindo neste trabalho, que utiliza os índices em escala de maior detalhe. Trata-se de importante diferença, pois mesmo que um índice tenha apresentado resultado satisfatório na identificação da planície do Pantanal em escala regional, este mesmo índice pode ter baixa capacidade para identificação e distinção entre ambientes de capões e campos úmidos com murundus, que é justamente o critério considerado na avaliação do desempenho dos índices espectrais neste trabalho.

Dessa forma, a confusão espectral verificada no NDWI e que impõe certo limite no seu uso para distinguir ambientes de capões e campos úmidos com murundus em escala de trabalho adotada nesta pesquisa não invalida a sua aplicabilidade em contexto de escala mais regional ou mesmo no uso para outros tipos de ambientes úmidos.

4.1.2 NDPI

O NDPI (Normalized Difference Pond Index) é um índice desenvolvido com intuito de identificar corpos d'água. Estudos com NDPI tem indicado que valores próximos a 1 estão associados a presença de lâmina d'água na superfície do terreno ou mesmo presença de solo encharcado. Já valores altamente negativos, próximos de -1, indicam áreas secas, com pouca umidade tanto na vegetação quanto no solo (LACAUX et al., 2007; SILVEIRA, 2019).

A seguir é apresentado o mapa exibindo o resultado do NDPI para as três áreas usadas como teste de desempenho dos índices (Figura 6).

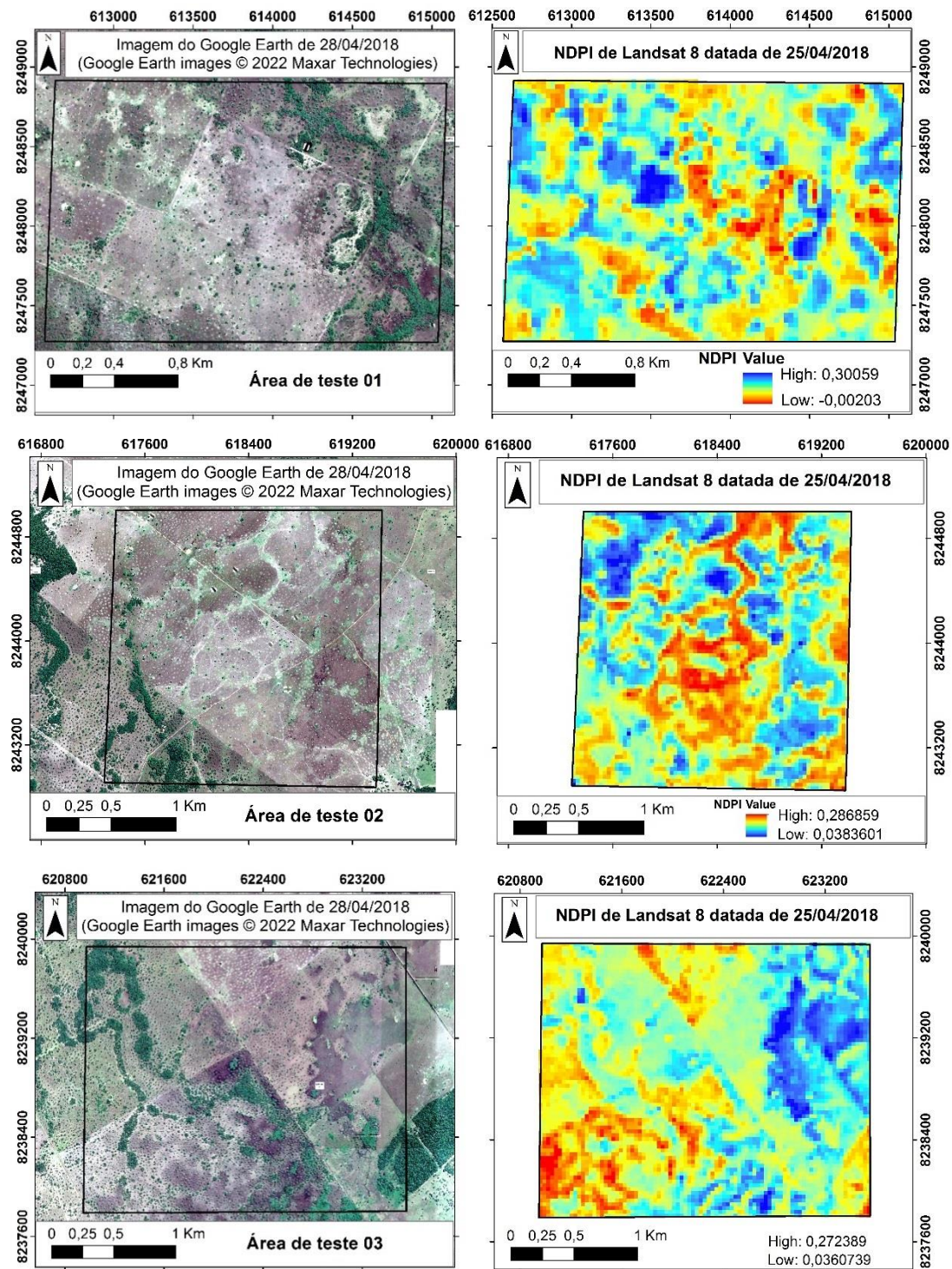


Figura 6 - Resultado do índice NDPI nas três áreas de teste.

Como o NDPI utiliza as mesmas bandas do MNDWI, porém em posições inversas na equação, serão os valores negativos que irão indicar maior presença de água na superfície. Por isso, foi invertida a escala de cores exibida nos mapas das áreas testes (Figura 6), de modo a ter o mesmo padrão de cores em relação aos demais índices, para efeito de interpretação comparativa.

Por interpretação visual dos resultados do NDPI, comparando com as imagens de alta resolução do Google Earth é possível notar que o NDPI consegue diferenciar as áreas mais intensamente úmidas, que aparecem com tons mais roxos nas imagens de satélite do Google Earth, sendo correspondente as áreas com cores azul nos mapas dos índices NDPI. O índice inclusive conseguiu destacar a área com cobertura de água na parte leste da área de teste 03.

Mas em vários trechos das três áreas de teste houve perceptível confusão espectral no mapeamento pelo NDPI, de modo um tanto semelhante ao verificado nos índices NDWI. A principal inconsistência verificada no uso do NDPI para separação de capões de campos úmidos com murundus, é em função se exibir padrões de valores de algumas regiões de como sendo mesmo padrão de valores para locais úmidos.

Especificamente para região de Pantanal há certa escassez de estudos utilizando NDPI, havendo presente na literatura estudos de NDPI em outras regiões úmidas no Brasil e em outros países. Bittencourt e Guasselli (2017), por exemplo, utilizaram NDPI para estudar a dinâmica de inundação de banhado em uma Reserva Biológica situada em São Donato, RS. Os autores mencionam que o NDPI apresentou resultados úteis para identificação das áreas inundadas e corpos, além de ajudar na diferenciação de classes com diferentes teores de umidade.

Mozumder et al. (2014), em estudo de área úmida de região do nordeste da Índia, avaliaram diversos índices espectrais, como NDWI, MNDWI, NDVI e NDPI, e identificaram que para aquela região, o NDPI obteve melhor desempenho para delineamento da área alagada da região. Deste modo, os autores realizaram teste de limiarização para encontrar o valor de NDPI considerado mais adequado para mapear a área úmida. Após uma série de tentativas, os autores encontraram o valor limiar de NDPI como -0,02, que então define melhor os limites das áreas com e sem cobertura de água.

De modo semelhante ao comentado sobre os resultados do NDWI, cabe frisar que apesar dos resultados de NDPI demonstrarem limitada capacidade para distinguir capões e campos úmidos com murundus na área de estudo e na escala utilizada nesta presente pesquisa, tal constatação não invalida o seu potencial para uso em propostas e escalas diferentes, como é o caso verificado no trabalho de Mozumder et al. (2014) em região úmida da Índia.

4.1.3 RSWIR

A seguir é apresentado os mapas do índice RSWIR (Red and Short Wave Infra-Red Index) nas três áreas de teste (Figura 7).

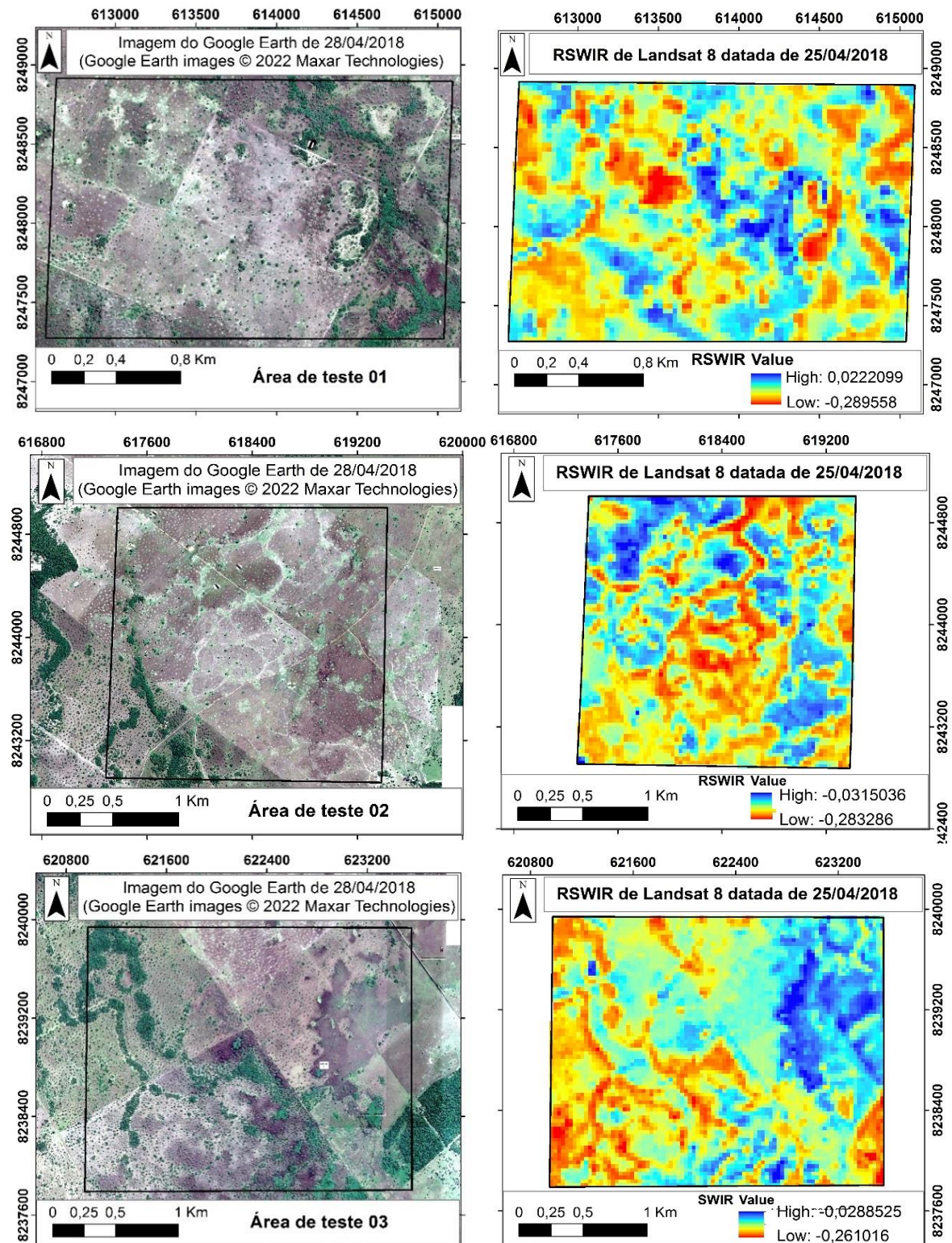


Figura 7 – Resultado do índice RSWIR nas três áreas de teste.

Os resultados do RSWIR nas três áreas de teste demonstraram aplicabilidade na diferenciação de locais mais rebaixados, contendo inundação ou solo úmido, marcados por cores azul e azul ciano nos mapas de RSWIR produzidos (Figura 7). Realizando uma interpretação visual mais detalhada desses mapas, percebe-se que o índice conseguiu na maior parte das três áreas de teste distinguir porções mais intensamente úmidas ou com presença de água na superfície das porções úmidas, mas em menor intensidade de umidade. As áreas mais intensamente úmidas são marcadas como locais de cor azul nos mapas de RSWIR, e as áreas úmidas com menor teor de umidade são as áreas em azul ciano nos mapas RSWIR.

Portanto, este índice aparenta apresentar baixa confusão espectral para o que é proposto nesta pesquisa, possibilitando a diferenciação de diferentes tipos de feições de ambiente de Pantanal presentes na área de estudo, demonstrando potencial para ser usado em escala de detalhe o suficiente para distinguir os capões de campos úmidos com murundus.

Apesar de demonstrar por interpretação visual resultado satisfatório nesta pesquisa, em geral, o índice RSWIR não é tão difundido na literatura comparado a outros índices espectrais de água. Isso talvez se deve ao fato de ser um índice proposto mais recentemente que outros como, NDWI e NDMI. Não foi encontrado publicações a respeito do uso de RSWIR em ambiente de Pantanal.

Dentre os trabalhos na literatura que avaliaram índices espectrais de água para uso no monitoramento de enchentes e inundações, estão o estudo de Memon et al. (2015), que avaliaram uso de RSWIR, NDWI e GSWIR, em região do Paquistão, e concluíram que o RSWIR foi o mais eficiente para delinear corpos d'água durante as cheias que ocorrem naquela região de estudo.

4.1.4 NDMI

Os resultados do índice NDMI (Normalized Difference Moisture Index) são apresentados a seguir para as três áreas de teste (Figura 8).

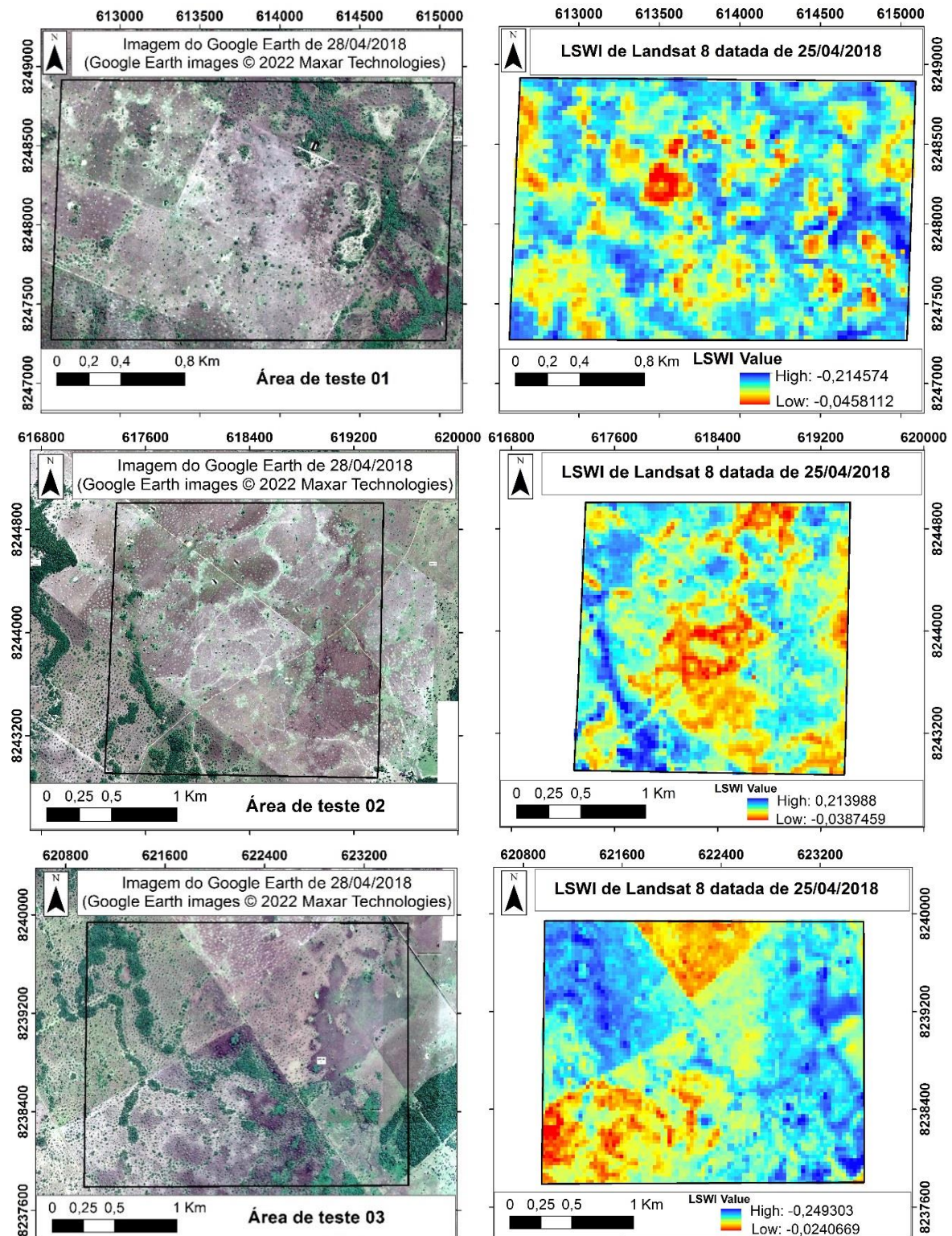


Figura 8 - Resultado do índice NDMI nas três áreas de teste.

Ao analisar os resultados dos mapas de NDMI, comparando-os visualmente com as feições nas imagens de alta resolução do Google Earth, verifica-se que no contexto deste trabalho este índice apresenta uma tendência de superdimensionar resultados de áreas úmidas, abrangendo inclusive nessa classe boa parte dos capões com vegetação que nas imagens do Google Earth são as feições de cor verde mais intenso (Figura 8).

Alguns trabalhos tem mostrado a aplicabilidade do uso de NDMI em estimativas de teor de água na vegetação, o que para essa finalidade tem sido demonstrado potencial deste índice, mas para fins de uso na separação de capões de campos úmidos com murundus na área de estudo, não apresenta consistência para esta finalidade, exibindo comum confusão espectral envolvendo ambientes de capões com os campos úmidos com murundus.

4.1.5 MNDWI

O MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) é um índice desenvolvido por Xu (2006), considerado uma variação do NDWI de McFeeters (1996). O intuito da criação do MNDWI era obter um índice que pudesse melhorar o delineamento de coberturas de água, minimizando o efeito de ruídos por mistura de pixels de água com áreas construídas, solos e vegetação que pode ocorrer com o NDWI.

A seguir é apresentado o resultado do MNDWI para as três áreas usadas como teste de desempenho dos índices (Figura 9).

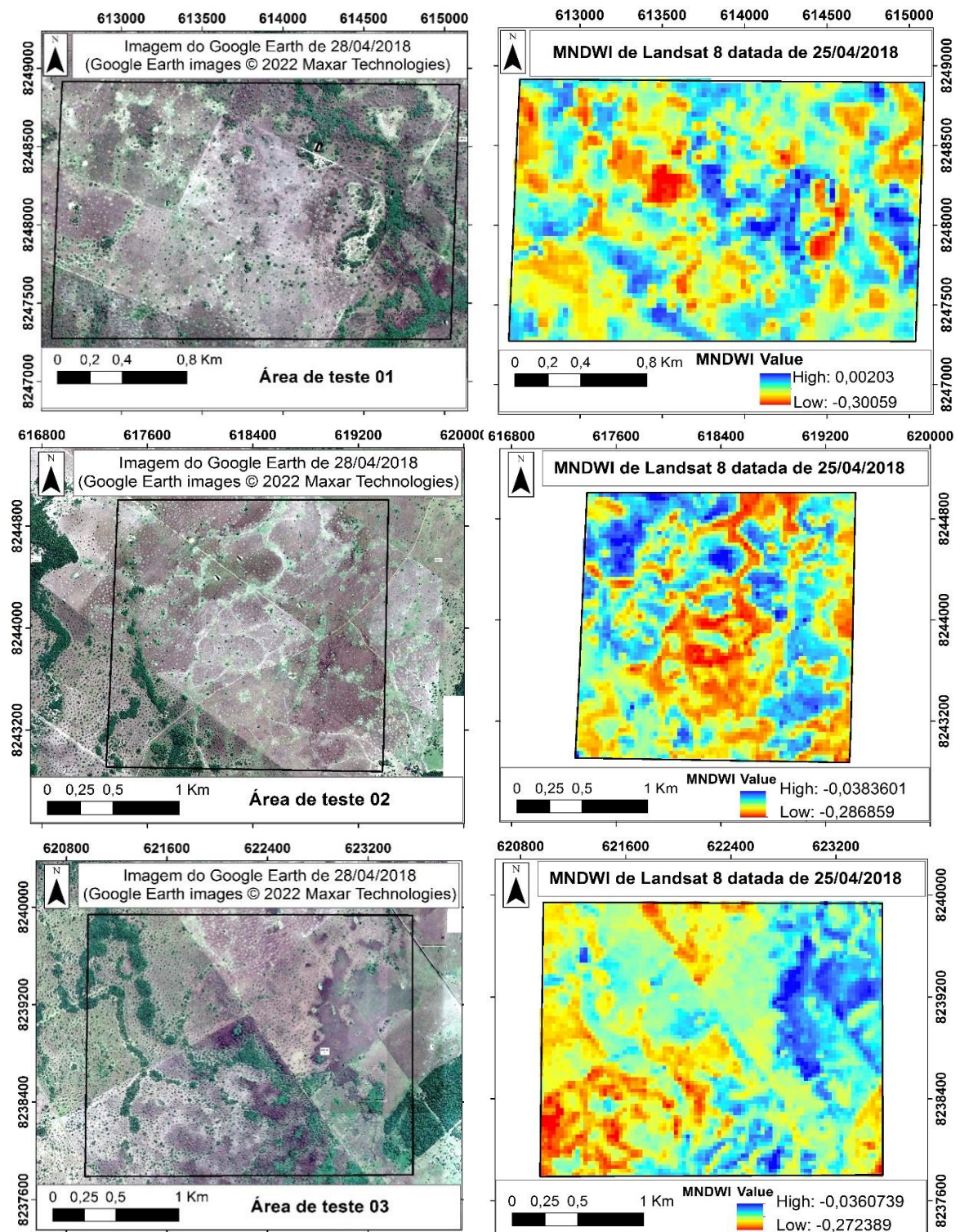


Figura 9 - Resultado do índice NDWI nas três áreas de teste.

Os resultados de MNDWI demonstram visualmente sua potencialidade de distinguir áreas úmidas de áreas secas, em especial pelos resultados visualizados nas áreas de testes 01 e 02 que aparentemente estão mais efetivos para essa finalidade do que em relação a área 03,

tendo em vista o que pode-se comparar com as imagens de alta resolução do Google Earth (Figura 9).

Gil et al. (2019) em pesquisa realizada no Pantanal de Taquari concluem que naquela região estudada o MNDWI apresenta resultado mais refinado para detecção de corpos d'água associados ao ambiente de Pantanal do que em relação ao NDWI, especialmente para separar e delinear águas de leito de rio, de planície, de paleocanais e de meandros abandonados.

4.1.6 Avaliação do desempenho dos índices espectrais

Em razão da limitação e subjetividade envolvida na avaliação de desempenho dos índices por interpretação visual, foi realizado procedimento metodológico de análise de desempenho baseada em estatística, realizada para cada um dos índices em cada uma das três áreas selecionadas para testes de validação.

No mapeamento dessas áreas com inundação e solo úmido, considerou-se que as áreas com inundação correspondem as áreas com lâmina d'água, e as áreas com solo úmido são áreas cujos horizontes de solo mesmo os mais superiores já se encontram com certa influência da água, seja por conta da subida do lençol freático no período chuvoso, seja por dificuldade de infiltração e/ou escoamento da água, tornando-os úmidos ou encharcados. Essas duas situações retratam o caráter hídrico da região de Pantanal, e foram reunidos como áreas rebaixadas sujeitas às inundações e alagamentos periódicos, marcando, assim, os ambientes típicos de Pantanal.

Para avaliação do desempenho dos índices, foram obtidos os valores limiares de cada índice que melhor se aplicam para identificação de área úmida e inundada associada à planície pantaneira na região de estudo. Para avaliação do desempenho de cada índice também foram levantados os seus respectivos índices Kappa e a acurácia global. Abaixo são exibidos o valor limiar, o índice Kappa e a acurácia global de cada índice espectral na área de teste 01 (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores limiares de índices espectrais para extração de área úmida e inundada e suas acurácias na área de teste 01

Índice	Liminar	Acurácia Global	Kappa
NDWI	-0,255	0,604	0,1955
NDMI	0,090	0,779	0,5453
RSWIR	-0,175	0,885	0,7686
MNDWI	-0,155	0,829	0,6569
NDPI	0,155	0,827	0,6542

Em relação à área de teste 01, o RSWIR apresentou acurácia global de 0,885 e índice Kappa de 0,7686, seguido dos índices MNDWI e NDPI, que apresentaram acurácia global de 0,829 e 0,827, e índice Kappa de 0,6569 e 0,6542, respectivamente. Esses três índices de água foram os únicos que na área de teste 01 apresentaram acurácia acima de 80% e índice Kappa definido como substanciais conforme classificação de Landis e Koch (1977).

Em relação aos resultados da área de teste 02, o índice RSWIR também se sobressaiu em relação aos demais índices espectrais, conforme exibido na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores limiares de índices espectrais para extração de área úmida e inundada e suas acurácias na área de teste 02.

Índice	Liminar	Acurácia Global	Kappa
NDWI	-0,243	0,682	0,2860
NDMI	0,090	0,625	0,2249
RSWIR	-0,175	0,906	0,8019
MNDWI	-0,159	0,728	0,4049
NDPI	0,156	0,724	0,3852

Na área de teste 02, o RSWIR apresentou acurácia global de 0,906 e índice Kappa de 0,8019. Com exceção do RSWIR, nenhum índice apresentou desempenhos significativos, sendo todos com acurácia abaixo de 80% e índices Kappa classificados apenas como discretos. O índice MNDWI foi o que apresentou melhor desempenho após o RSWIR, com acurácia global de 0,728 e índice Kappa de 0,4049. Os piores desempenhos verificados na área de teste 2, são dos índices NDWI e NDMI.

Na área de teste 03, o índice RSWIR também se sobressaiu frente aos demais índices (Tabela 6), porém apresentou resultados de acurácia global e índice Kappa menores em relação às áreas 01 e 02

Tabela 6 - Valores limiares de índices espectrais para extração de área úmida e inundada e suas acurácias na área de teste 03.

Índice	Liminar	Acurácia Global	Kappa
NDWI	-0,287	0,799	0,5302
NDMI	0,077	0,610	0,0488
RSWIR	-0,175	0,852	0,6863
MNDWI	-0,162	0,614	0,2038
NDPI	0,169	0,681	0,2912

Na área de teste 03, o índice RSWIR apresentou valor de acurácia global de 0,852 e índice Kappa de 0,6863. Quanto ao desempenho dos demais índices, destaca-se o NDWI que apresentou acurácia global de 0,799 e índice Kappa de 0,5302, sendo considerado um resultado substancial, assim como o RSWIR. O índice NDPI obteve valor de Kappa considerado discreto. E os índices NDMI e MNDWI apresentaram resultados de índice Kappa considerados insignificantes.

Considerando as três áreas de teste de forma geral, o índice RSWIR foi, portanto, o que apresentou melhor desempenho, tanto em termos de acurácia global quanto de índice Kappa. Foi também o único dos índices que apresentou limiar estável para uso nas três áreas, com valor limiar definido em -0,175. Observou-se que dentre as três áreas de testes, a área 02 foi a que o índice RSWIR mais se sobressaiu em relação aos demais índices espectrais

Outros índices em geral, apresentaram oscilação quanto à capacidade de mapeamento, muito possivelmente por influência de ruídos que variam conforme a presença de feições diversas nas áreas de testes. As áreas testes apresentam diferenças não só quanto ao grau de presença de água e umidade no solo, mas quanto ao grau de aparecimento de feições como a vegetação de Cerrado ocupando os capões, gramíneas e solos expostos.

Por exemplo, o índice MNDWI, que foi originalmente concebido para melhorar a detecção de água com o NDWI, é mencionado em publicações na literatura como possuindo capacidade superior que o NDWI para diferenciar as feições de água das áreas com solo exposto, vegetação e construções. Essa tendência foi verificada para as duas primeiras áreas de testes de validação, em que o NDWI obteve melhor desempenho que o NDWI. Contudo, na área de teste 03, o NDWI se comportou melhor que o NDWI, mesmo apresentando a tendência de superestimar mais a presença de água em relação ao MNDWI.

Essa inversão de desempenho do NDWI e MNDWI na área de teste 03, pode estar relacionada a uma maior interferência antrópica no comportamento hídrico local, em razão de

cercas instaladas em divisas de propriedades. Se percebe que algumas dessas cercas presentes na área 3 produz mudança no aspecto visual ao longo dos limites entre elas, retratando possível mudança no grau de umidade ao longo das divisas. Tal situação pode ter favorecido um melhor desempenho do NDWI frente ao MNDWI na área 03.

É inclusive na área de teste 03 que o índice RSWIR teve o resultado mais inferior dentre todas as áreas de testes, mas ainda dentro de margem de aceitação. Isso mostra a importância de ter incluído a área 03 como área de validação, pois esse possível efeito de divisas de cercas retrata uma situação real de campo que está presente na região de estudo, o que por consequência é importante ser considerado na avaliação de desempenho dos índices espectrais.

É importante esclarecer que embora tenha havido um índice espectral que se destacou frente aos demais na detecção de áreas com inundação ou solo úmido, isso não implica que os demais índices não possuam valor ou potencial para este tipo de detecção, seja em ambientes de Pantanal ou não. Há diversos fatores envolvidos na adoção do melhor índice para destacar uma feição específica, sendo uma delas as variações das características das feições presentes na região de estudo, que conforme as espécies vegetais predominantes, tipos de solos presentes, dentre outros, alteram o padrão de comportamento espectral dos chamados “pixels misturados”, que são pixels combinados com proporção variável de um ou mais objeto da superfície (vegetação, solo, água, etc.).

Ademais, soma-se a isso o fator escala, que neste trabalho foi a nível de se entender e visualizar microfieções de relevo, especialmente os capões e campos úmidos de murundus, que exigem abordagem em escala de semi-detálhe a detálhe. É possível que em estudo mais generalizado, ou seja, de menor detálhe, o desempenho dos índices avaliados não se mantenha igual aos alcançados aqui, pois o rigor na identificação das áreas de inundação ou com solo úmido é menor, permitindo generalizações que alterem o desempenho final dos índices.

Tendo em vista que o RSWIR apresentou melhor desempenho dentro da área de estudo, ele foi utilizado em base de dados históricos de Landsat 8 para análise temporal ao longo dos anos, com cenas de 2014 a 2020. Ao todo foram utilizadas oito cenas em que foram gerados os mapas de RSWIR para cada cena, e após isso, obtido um mapa com a média das RSWIR ao longo deste intervalo (Figura 10).

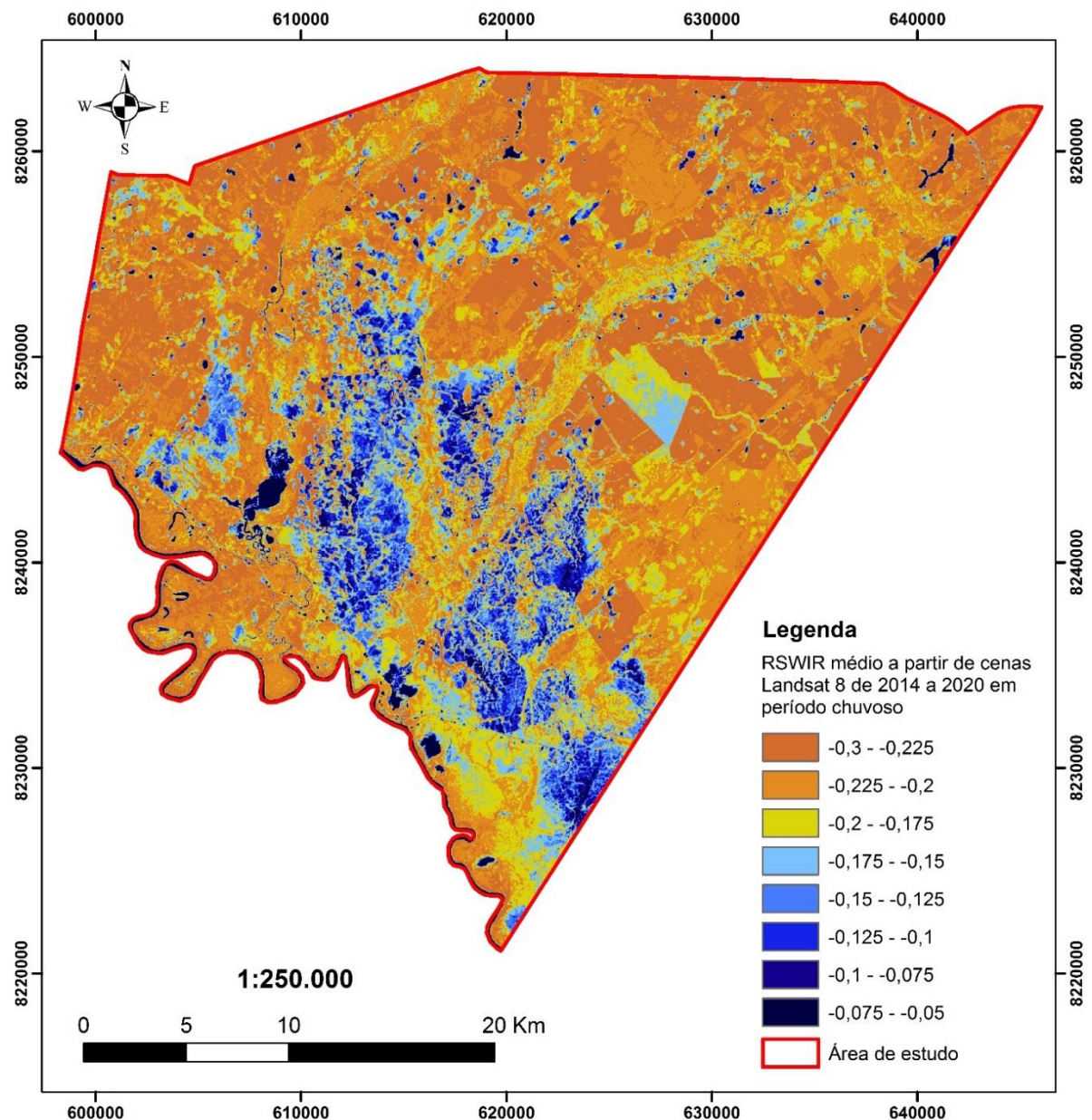


Figura 10 - Mapa de média de RSWIR (Red and Short Wave Infra-Red Index) entre 2014 e 2020.

Por mais que o processo de geração de mapas de índices seja de modo automático com uso de ferramentas de SIG, o entendimento do comportamento espectral das feições presentes na área de estudo e a interpretação dos resultados são cruciais para uso adequado dos resultados. No mapa contendo comportamento médio de RSWIR na área de estudo, é possível perceber que o estudo temporal do índice é útil na detecção de áreas com solo úmido ou coberto por água, porém o traçado do limite que marca a região sujeita a inundação e/ou alagamentos dever feito por interpretação considerando o conhecimento das feições presentes na área de estudo.

Na região ao norte por exemplo há presença de cobertura de água em pequenas áreas, sendo muitas delas lagos oriundos de cavas de garimpos antigos na região, e que não tem relação

direta com ambiente de planície de inundação do Pantanal. Em outro trecho na parte centro-leste da área de estudo nota-se que uma feição em forma de retângulo foi detectada como azul ciano, que é a classe com valores de RSWIR entre -0,175 e -0,15. Se fosse adotado um mapeamento automático a partir do comportamento médio de RSWIR, no sentido de delimitar as áreas frequentemente inundadas e/ou alagadas, o resultado certamente estaria equivocado em virtude de não levar em conta as considerações apontadas.

Com as ressalvas da necessidade da interpretação baseada no conhecimento de campo da área de estudo, foi realizado contorno manual a partir do mapa de comportamento médio de RSWIR ao longo dos anos, obtendo o limite de áreas de planícies sujeitas a inundação e alagamento (Figura 11).

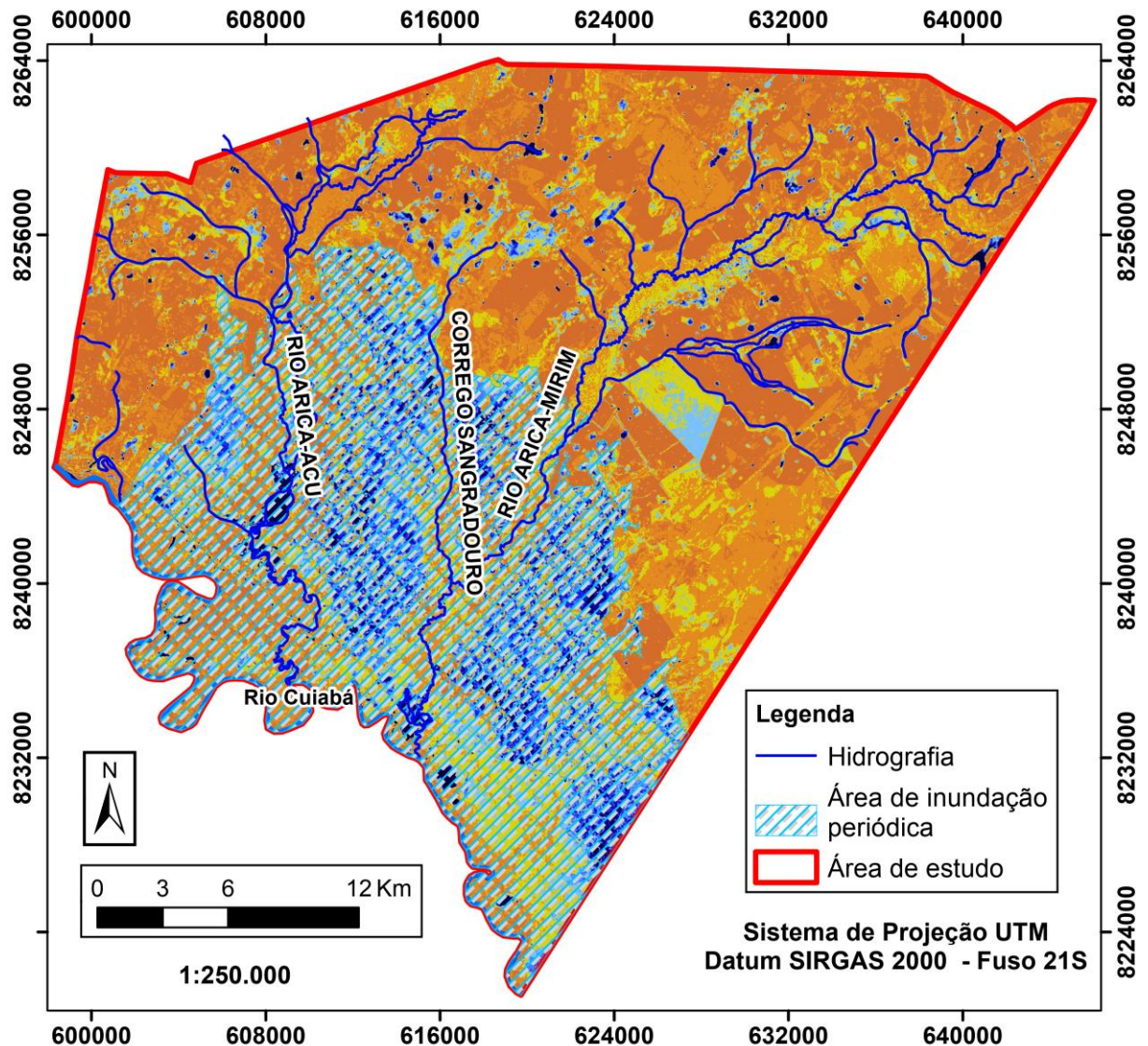


Figura 11 - Limite da área de planície sujeitas a inundação e alagamento periódicos.

Entre algumas áreas em que o índice RSWIR destacou pela cor azul que são periodicamente inundadas, estão localizadas planícies de inundação dos cursos d'água rio Aricá-Açú, córrego Sangradouro e rio Aricá-Mirim. Embora essas áreas não tenham sido detectadas como de maior frequência de inundação pelo RSWIR, foi desenhada também como pertencente à região sujeita à inundação e alagamento período. O índice apenas não foi capaz de identificar essas regiões com alta frequência de inundação, pois essas áreas apresentam vegetação ciliar cujo comportamento espectral mascara a identificação de água junto ao solo.

4.2 MEIO FÍSICO

4.2.1 Solo

O mapeamento de solos identificou cinco unidades, definidos no nível hierárquico de ordem ou subordem do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Figura 12). Dentre as cinco unidades, duas consistem em classes de solos (Plintossolo Pétrico e Planossolo) e três correspondem a associações de solos (Neossolo Flúvico – Gleissolo – Organossolo, Plintossolo Argilúvico – Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico – Cambissolo).

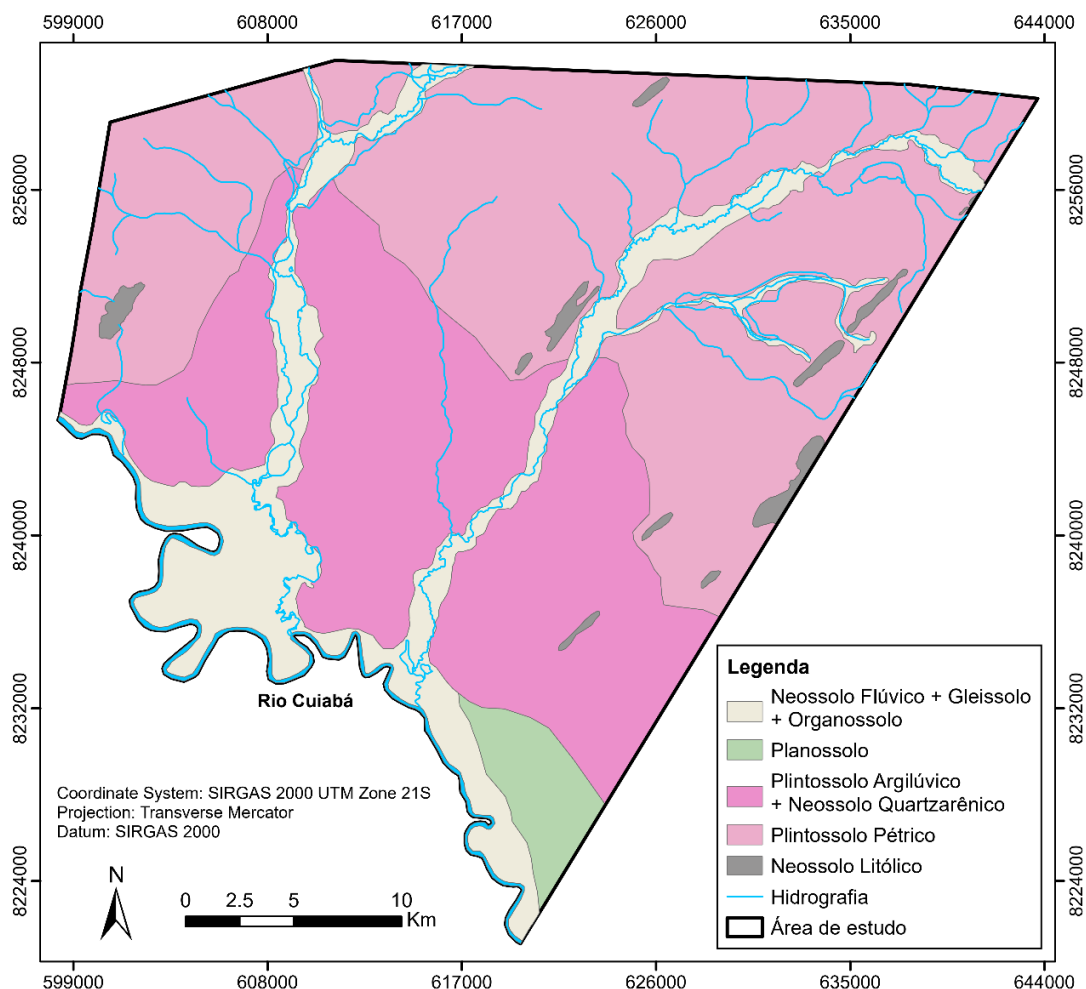


Figura 12 - Classes de solo na área de estudo.

Quanto a representatividade de cada unidade na área de estudo (Tabela 7), a classe de Plintossolo Pétrico é a que apresenta maior abrangência, com cerca de 48% da área total. A associação de Plintossolo Argilúvico e Neossolo Quartzarênico possui cerca de 32,72% de representatividade, seguido da associação de Neossolo Flúvico com Gleissolo e Organossolo, com abrangência de 15%. A classe de Planossolo e a associação de Neossolo Litólico e Cambissolo, ocupam, respectivamente 2,75 e 1,33% da área total.

Tabela 7 - Representatividade das classes de solos na área de estudo.

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Área (Ha)	Porcentagem (%)
Neossolo Flúvico + Gleissolo + Organossolo	15.552,42	15,16
Planossolo	2.824,98	2,75
Plintossolo Argilúvico + Neossolo Quartzarênico	33.568,53	32,73
Plintossolo Pétrico	49.254,20	48,02
Neossolo Litólico + Cambissolo	1.364,21	1,33

A classe Plintossolo Pétrico é a mais predominante na área de estudo, sendo presente nas porções mais ao norte. Esta classe ocupa cotas em geral acima de 160 metros, em topografia relativamente suave, cuja forma de relevo principal são superfícies em rampas. O uso e ocupação do solo presente nesta classe são caracterizadas na maior parte por vegetação de Cerrado e áreas de pastagens, e em menor proporção áreas degradadas por empréstimo de jazidas usadas para revestimento de estradas da região e por garimpos desativados.

O perfil de solo característico desta unidade é presença de um horizonte A de textura areno-argilosa, de cor 5YR 4/3 - 4/4 (bruno avermelhado), e profundidade média entre 15 a 20 centímetros. As estruturas presentes nesse horizonte superficial foram identificadas principalmente como granulares pequenas e médias. O horizonte A é seguido de horizonte B latossólico, argilo-arenoso, com aparecimento de níveis concrecionários com alta presença de petroplintita. Esses níveis concrecionários de petroplintita que ocorrem em espessura e profundidade bastante variável, mas com maior frequência de ocorrência dentro do primeiro metro do perfil, iniciando comumente entre 60 a 90 cm de profundidade, e com espessura de 50 a 90 cm. A cor dos horizontes subsuperficiais são comumente avermelhados, sendo

identificados em maior parte como cor 2.5YR 5/8 - 4/8, e são geralmente compactos e maciços. Esses solos ocorrem recobrimdo possivelmente antigas superfícies de erosão na região.

O comportamento físico hídrico do Plintossolo Pétrico é caracterizado por limitada capacidade de infiltração d'água, em que águas pluviais conseguem infiltrar com maior facilidade apenas no horizonte A, sendo mais dificultoso fluxos d'água no horizonte B latossólico de textura mais fina em relação ao horizonte A. Os níveis concrecionários com alta presença de petroplintita podem ainda funcionar como barreira a infiltração, o que pode contribuir para formação de alagados temporários durante incidência de chuvas intensas, especialmente se o relevo for aplainado (Figura 13).



Figura 13 - Vista de região com concreções lateríticas do tipo petroplintita.

Verificou-se uma estreita relação entre níveis topográficos e as ocorrências de Plintossolo Pétrico e Plintossolo Argilúvico. Como já mencionado anteriormente, em cotas acima de 160 metros e situadas fora das planícies de inundação de cursos d'água, há predomínio de solos que não possuem relação com a atuação de processos de inundações atuais, com marcante presença de concreções do tipo petroplintitas. Em cotas inferiores a 155 metros e em áreas de planícies de cursos d'água, se observa a presença de solos formados por influência de inundação atual, como é o caso do sistema pedológico de Neossolo Flúvico, Gleissolo e Organossolo.

Também nessas cotas mais inferiores, a pedogênese recebe forte contribuição da oscilação do nível d'água, que durante os regimes de cheias se elevam, e nas estiagens se rebaixam, dando origem a concentrações de material ferruginoso denominado de plintita (Figura 14). Diferente da petroplintita, a plintita é um material que não se tornou consolidado,

mas em caso de rebaixamento permanente de lençol freático local, pode passar pelo enrijecimento do material ferruginoso, a ponto de se consolidar de forma irreversível.



Figura 14 - Amostra de solo do tipo Plintossolo Argilúvico, com destaque para os nódulos ferruginosos de cor vermelho.

Muito embora se tenha ocorrência de solos concrecionários nas cotas abaixo de 150 metros, a presença de petroplintita é menos acentuada, sendo mais marcante o aparecimento de mosqueamentos com presença de plintitas. Solos essencialmente arenosos e quartzosos e são encontrados em regiões de cotas também baixas, especialmente em relevos de campos úmidos com murundus e de certas espécies mododominantes no Pantanal, como acurizais.

A associação de solos Plintossolo Argilúvico + Neossolo Quartzarênico compõem-se de duas classes de solos cuja escala adotada no levantamento também não possibilita a distinção entre ambos, em razão da ocorrência do Neossolo Quartzarênico ser em geral bastante restrita, ocupando áreas de pequenas proporções, especialmente em feições de relevos conhecidas como capões e cordilheiras. Em contrapartida a ocorrência dos Plintossolos Argilúvicos se dá de forma mais abrangente em termos espaciais, ocupando áreas maiores e dominando especialmente as porções de terrenos aplainados.

Esta associação ocorre em extensa região na área de estudo, especialmente na parte situada a sul. Os terrenos em que ocorrem os Plintossolos Argilúvicos são principalmente campos úmidos com murundus, nos quais se nota degradação da paisagem natural decorrente de atividade pecuária, resultando muitas vezes em cupinzeiros isolados, com presença de

vegetação gramínea e/ou capim plantado no entorno. A forma de relevo predominante é de superfícies planas, com declividade menor que 2%, podendo ocorrer também em superfícies em rampas com declividades que não ultrapassam os 5%. Esses locais apresentam significativa restrição a percolação de água, com o lençol freático se apresentando a poucos metros de profundidade, mesmo durante o período de estiagem.

Em relação especificamente aos Plintossolos Argilúvicos, comumente inicia com um horizonte A de textura areia fina e média, de coloração castanho claro (10YR 7/2), seguido de horizonte B com a presença de horizonte plântico em geral iniciando entre 40 cm a 2 m de profundidade imediatamente abaixo de horizonte A. Ao longo dos perfis de solos investigados como Plintossolos Argilúvicos foi identificado um progressivo acúmulo de argila em profundidade, com aumento também no aparecimento de grãos de quartzo e petroplintita, até atingir o horizonte plântico, com mosqueamentos que indicam ambiente úmido e de oscilação do nível d'água.

O processo de oscilação do nível freático ao longo dos anos certamente é a causa da progressiva acumulação de quartzo e óxidos de Ferro presentes no horizonte plântico. A investigação realizada em período de estiagem identificou a presença de nível freático variando principalmente entre 1,8 m a 2,5 m de profundidade. Durante o período chuvoso, este nível deve subir e tornar essas áreas em condições de NA sub-aflorante, e em certas regiões até mesmo na condição de NA aflorante.

Os Neossolos Quartzarênicos são solos de textura arenosa, variando principalmente entre areia fina a média, compostos essencialmente de quartzo, de cor cinza acastanhado claro (10YR 6/2). São solos com profundidade variável, mas que em geral ultrapassam os dois metros. Sua ocorrência é mais comum em duas situações observadas, sendo uma delas em locais ocupados por espécies monodominantes, como certos tipos de palmeiras, cuja explicação inclusive para desenvolvimento dessas espécies seja possivelmente a maior oferta de oxigênio neste tipo de solo (SOUZA, 2018) e/ou maior fertilidade natural (CARDOSO et al., 2016).

Outra situação comumente observada para ocorrência de Neossolos Quartzarênicos são em feições de terreno denominada de capões e cordilheiras, cuja forma de relevo é resultante de atividades de cupins, que concentra sedimentos para ficar em nível topográfico mais elevado em relação as adjacências, possivelmente para se proteger de inundação d'água que ocorre periodicamente durante os ciclos chuvosos da região.

A presença de determinada espécie vegetal em uma região é resultado da inter-relação entre diferentes fatores biogeofísicos, que condicionam maior ou menor facilidade de uma determinada espécie ocorrer em ambientes específicos (PERREIRA, 2018). Muito embora a

fertilidade dos solos constitua um dos mais importantes fatores biogeofísicos para o desenvolvimento de espécies vegetais específicas, Souza (2018), em trabalho envolvendo a relação solo-vegetação do Pantanal de Nheconlândia, verificou que a ocorrência de acuri (palmeira *S. phalerata*) em solos arenosos daquele sub-ambiente pantaneiro não é correlacionada a eutrofia ou distrofia dos solos, não podendo essa espécie ser utilizada como estratificador de região pantaneira. A presença de acurizal em solo eminentemente arenoso na área de estudo, a certa semelhança do que constatou Souza (2018), não converge com alguns trabalhos no Pantanal que mencionam não ser frequente o aparecimento desses tipos de palmeiras.

Outra ocorrência de solo pouco desenvolvido se dá em áreas aplainadas, com presença de Neossolo Flúvico no entorno de cursos d'água, ocorrendo em conjunto com outros dois tipos pedológicos, que são Gleissolo e Organossolo. O sistema pedológico de Neossolo Flúvico – Gleissolo – Organossolo ocupam as planícies de inundação dentro da área de estudo, ocorrendo, portanto, em ambiente agradacional e sujeito a enchentes e inundações (Figura 15).



Figura 15 - Vista de região em vegetação ciliar na área de estudo. Detalhe de Neossolo Flúvico formada em margem de curso d'água.

A classe Planossolo ocupa trecho da região sudoeste da área de estudo. O terreno em que ocorre esse solo é caracteristicamente plano, cuja atividade principal observada do uso do solo é a pecuária. São solos com cores de redução, de coloração acinzentada, com horizonte superficial arenoso a médio de poucos centímetros, seguido do aparecimento do horizonte B plânico, de textura argilosa, e dessa forma, constituindo um terreno mal drenado, naturalmente favorável a processos de alagamento durante períodos chuvosos. Durante estiagem, o predomínio de textura argilosa, especialmente em trechos cujo horizonte A foi decapeado ou alterado em razão de atividade pastoreira, propicia exposição de solos bastante endurecidos.

Há presença de solos rasos e pouco desenvolvidos em regiões de relevo ressaltado, como colinas e morrotes, em locais de influência de afloramento rochoso, correspondendo aos Neossolos Litólicos e Cambissolos (Figura 16). Quando os substratos rochosos foram pouco intemperizados, há predomínio de Neossolos Litólicos, em que não houve a formação de horizonte B. E nos locais em que o intemperismo já processou o suficiente para formação de horizonte pedológico B incipiente, ocorrem os Cambissolos.

Os Neossolos Litólicos e Cambissolos funcionam como um sistema pedológico de comportamento físico-hídrico limitado a infiltração de água, pois os horizontes além de serem rasos e/ou pouco desenvolvidos, estão situados em relevo com vertentes mais acentuadas, favorecendo o escoamento de água durante a ação de chuvas. As áreas de exposição desses solos se dispõem em orientação NE-SW, em razão justamente da orientação das rochas matriz a partir da qual se originem. Essa configuração espacial é controlada estruturalmente pelo trend principal observada na região geológica denominada de Faixa Paraguai, no qual a atuação de esforços relacionadas a primeira fase de deformação (D1) originaram esse arranjo.



Figura 16 - Vista de região com Neossolo Litólico na parte direita da imagem.

4.2.2 Relevo

O mapeamento conduziu a espacialização de quatro formas de relevo (Figura 17), conforme critérios adotados a partir de adaptação da proposta de classificação de relevo de Ponçano et al. (1981).

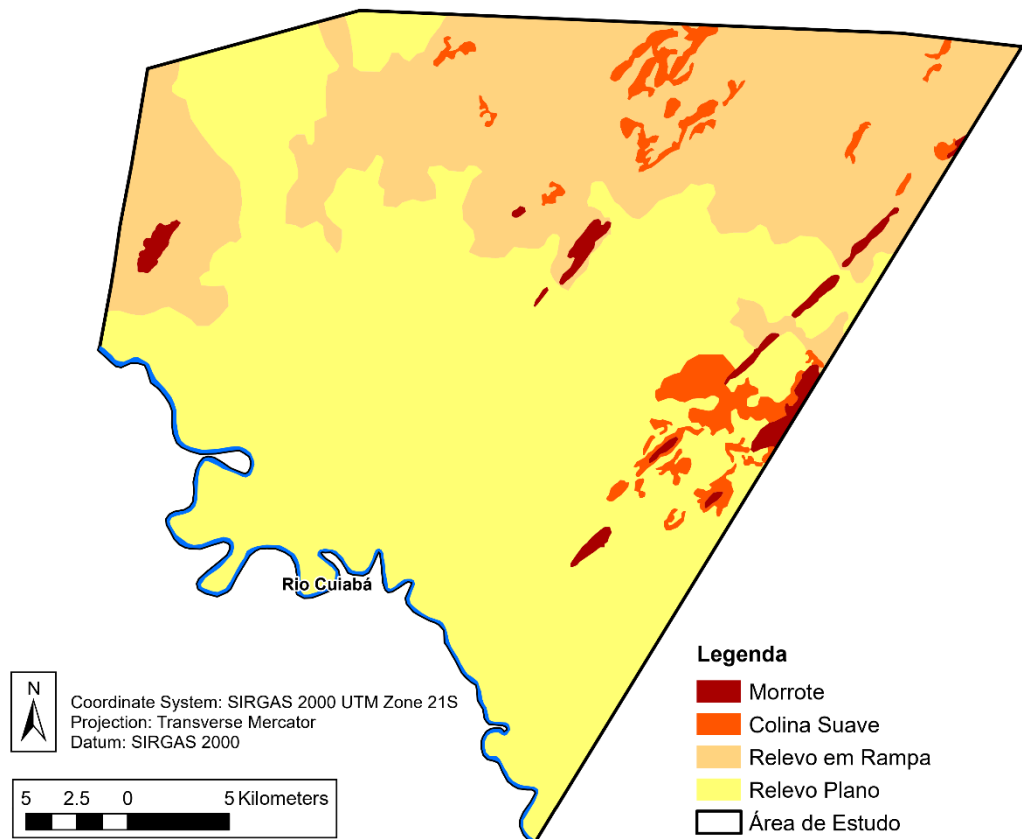


Figura 17 - Classes de formas de relevo na área de estudo.

As superfícies planas abrangem relevo com declividades menores que 2%, e representam a unidade mais abrangente na área de estudo. Essas superfícies ocupam cerca de 70% da área total de estudo, situando desde a região central até a Sul, com um segmento se estendendo também para região noroeste.

Durante levantamento de campo foi identificado um maior aplainamento desta unidade à medida que se segue em direção ao rio Cuiabá, cuja declividade nessa região comumente não ultrapassam 1%. A nível mais local, ou seja, em escala de maior detalhe do que a utilizada neste mapeamento, percebe-se em campo que a ação dos cupins resultam nos microrelevos caracterizados por pequenos ressaltos, denominados de murundus, em que se fazem presentes espécies vegetais do Cerrado de maior porte do que observado na maior parte da área, que são

formadas por gramíneas, tanto naturais quanto plantadas. Essas espécies de Cerrado presentes nos murundus são predominantemente arbustos, mas há também locais com desenvolvimento de árvores, especialmente quando os murundus ocorrem em porte maior.

As superfícies em rampas abrangem regiões de declividade situada principalmente entre 2 e 5%, e corresponde a segunda forma de relevo mais predominante na área de estudo, com cerca de 20% do total. Esta unidade ocupa grande parte da região norte da área de estudo. Neste trecho sua ocorrência praticamente coincide com a ocorrência de rochas do grupo Cuiabá como substrato geológico local, especificamente as rochas da subunidade Individa. Também há presença expressiva de rampas na região noroeste, em trecho cujas rampas ocorrem circundando morrotes sustentados por rochas do Grupo Cuiabá (Subunidade 6).

As colinas suaves compõem trechos situados principalmente na região norte e leste da área de estudo. Esta forma de relevo representa cerca de 7% da área total, e é caracterizada por possuir amplitudes menores que 100 m e declividade entre 5 e 15%, sendo mais comum na área de estudo a presença de superfícies variando entre 5 e 8%.

Os locais identificados como colinas suaves estão em áreas de influência da subunidade Individa do Grupo Cuiabá, muitas vezes próximos de áreas de afloramentos desta unidade geológica, especialmente na região leste.

Essa unidade compõe o relevo mais declivoso da área de estudo, constituindo regiões de expressivos ressaltos topográficos, com amplitude entre 30 e 90 m, e declividade variando principalmente entre 15 e 25%. Esta forma de relevo é sustentada por rochas do Grupo Cuiabá com litotipos relativamente resistentes ao intemperismo. Mas há diferença quanto a unidade geológica que formam esses morrotes. Na região oeste, há morrotes sustentados por rochas da subunidade 6 do Grupo Cuiabá. Nas demais ocorrências de morrotes, situados mais a leste, as rochas que mantêm esses ressaltos topográficos são rochas da subunidade Indivisa do Grupo Cuiabá

4.2.3 Substratos rochosos

Como principal substrato rochoso na área de estudo estão as rochas do Grupo Cuiabá, formadas principalmente por rochas filíticas. Este substrato corresponde ao embasamento geológico da região, que em grande parte da área são sotopostas por sedimentos da Formação Pantanal (Figura 18). A região cuja rocha do Grupo Cuiabá ocorre sem estar coberta por sedimentos da Formação Pantanal situa-se na porção nordeste (Subunidade Indivisa do Grupo Cuiabá), e em pequeno trecho de ocorrência restrito na porção noroeste (Subunidade 6 do Grupo Cuiabá).

Já o trecho de ocorrência da Formação Pantanal e Depósitos Aluvionares recentes abrange todo segmento noroeste-sudeste da área de estudo.

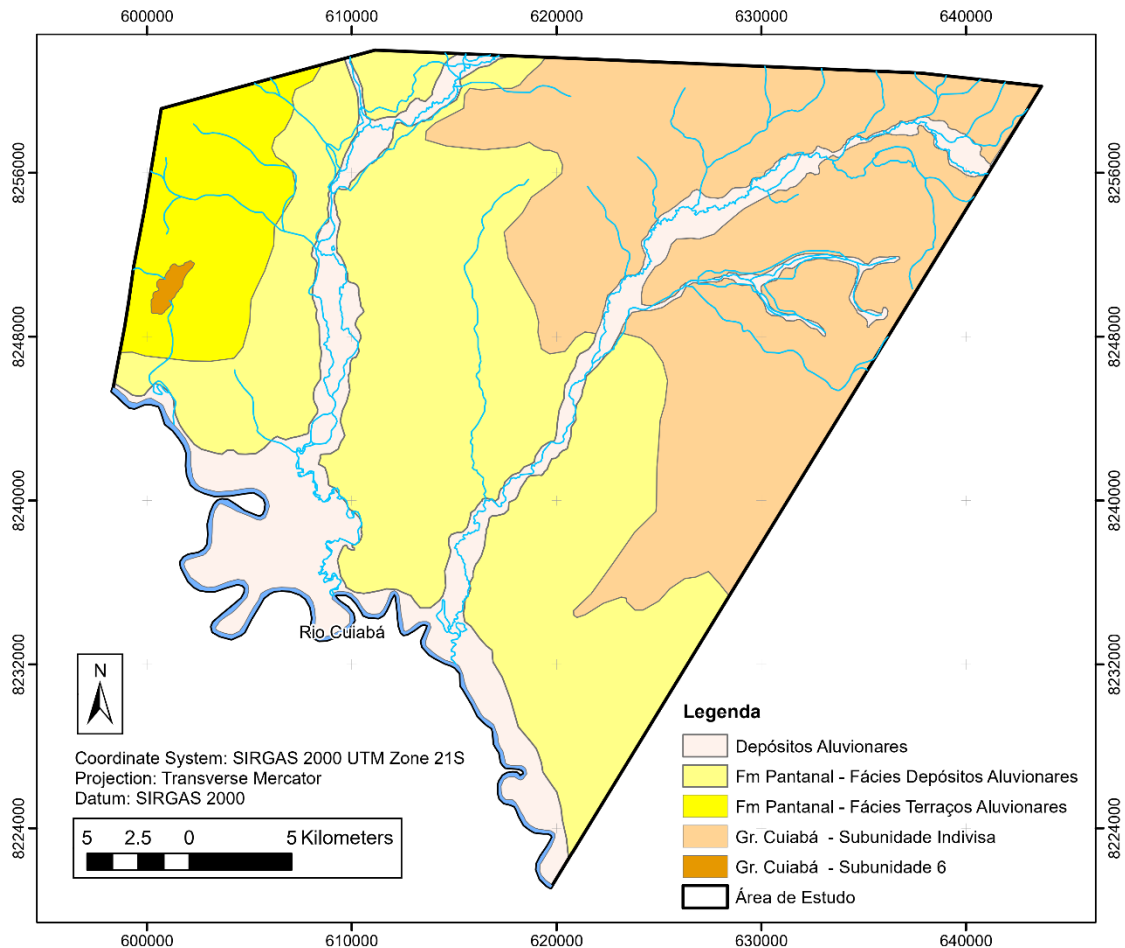


Figura 18 - Unidades geológicas presentes na área de estudo.

Os depósitos aluvionares correspondem a unidade geológica mais recente na área de estudo. Consistem em sedimentos quaternários holocênicos depositados ao longo de margens dos principais cursos d'água presentes na área de estudo, que são os rios Aricá-Mirim, Aricá-Açú e Cuiabá. A ocorrência desses depósitos se situa na maior parte em calhas e margens dos sistemas fluviais, e são formados por sedimentos inconsolidados de granulometria variável, com presença de fração arenosa a argilosa, podendo apresentar níveis locais de cascalhos associados a trechos de maior carga de energia dos sistemas fluviais.

Em geral, essas aluviões recentes cobrem rochas metamórficas do Grupo Cuiabá na região nordeste da área de estudo, mais especificamente ao longo do trecho médio e alto do Aricá-Mirim, em área fora da zona de influência da planície do Pantanal. Nas demais regiões,

as aluviões recentes cobrem os sedimentos da Fácies Depósitos Aluvionares da Formação Pantanal, ou seja, em área de influência da planície pantaneira.

A Formação Pantanal representa um ambiente de sedimentação continental, mais especificamente de sub-ambientes fluvial, lacustre e fluviolacustre, cuja deposição ainda está atualmente em curso. O período de início da sedimentação tem sido atribuído à abertura da “Depressão do Paraguai”, quando na região ao que tudo indica predominava um clima semiárido, o que permitiu a sedimentação do chamado “Pediaplano Plio-Pleistocênico”.

Há diversas propostas na literatura subdividindo os sedimentos da Formação Pantanal. Neste estudo foi adotada a divisão em três fácies, conforme apresentado por Lacerda Filho et al. (2004), correspondentes a Fácies Depósitos Coluvionares, Fácies Terraços Aluvionares e Fácies Depósitos Aluvionares. Dentro da área estudada não foi identificada a Fácies Depósitos Coluvionares, considerada de posição estratigráfica intermediária entre as três. Portanto, as duas fácies mapeadas são a Fácies Terraços Aluvionares e Fácies Depósitos Aluvionares, que são, respectivamente, a porção mais antiga e a mais nova da sequência sedimentar da Fm. Pantanal.

A Fácies Terraços Aluvionares compreende ambientes de terraços aluvionares elevados, que ocupam posição de antigas planícies aluviais. Atualmente a maior parte dessas áreas em geral não estão sujeitas a inundações associadas aos sistemas fluviais. Essa unidade tem origem atribuída à época do Pleistoceno, dentro do período Quaternário, em paleoambiente lacustre e de leque aluvial. São formadas principalmente por sedimentos areno-argilosos e subordinadamente areno-conglomeráticos, em geral semi-consolidados, e com variado grau de laterização.

Já a Fácies Depósitos Aluvionares, também de origem pleistocênica, porém, mais recente que os terraços fluviais, ocupam áreas sujeitas atualmente a inundações fluviais, e são formadas por sedimentos sub-recentes argilo-siltico arenosos (Lacerda Filho et al., 2004). É comum a presença de grãos de quartzo sub-angulosos e pouco selecionados, em processos de laterização.

Na descrição dos substratos rochosos do Grupo Cuiabá, foi seguida a proposta de apresentada por Luz et al. (1980), que subdividiu o Grupo Cuiabá em nove subunidades lito-estratigráficas, denominando-as de subunidades 1, 2, 3, 4; 5, 6, 7, 8 e subunidade indivisa. Foram mapeadas as subunidades 6 e indivisa dentro da área de estudo.

A subunidade 6 do Grupo Cuiabá ocorre em trecho restrito e situado na região oeste da área de estudo, em relevo ressaltado, constituindo um morrote. Na literatura esta unidade é descrita como sendo composta por filitos conglomeráticos, mataparaconglomerados (metadiamicritos) com clastos de quartzo, filitos e quartzitos e intercalações subordinadas de

metarenitos (LACERDA FILHO et al., 2004). As rochas encontradas em campo foram principalmente quartzitos, filitos e metarenitos, com presença comum de veios de quartzo.

A Subunidade Indivisa está presente em extensa área que preenche desde a região central até a região nordeste e seu entorno da área de estudo. Esta unidade é formada principalmente por quartzitos, metarenitos, filitos e filitos conglomeráticos (LACERDA FILHO et al., 2004).

4.3 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM

4.3.1 Abordagem morfopedológica e identificação de área de planície do Pantanal

Tendo como base a proposta metodológica apresentada em Castro e Salomão (2000), foi realizado um estudo integrado de paisagem, considerando especialmente os aspectos do meio físico local, visando entender as relações envolvendo o solo, relevo, rochas e comportamento hídrico local. Com isso, foi possível confirmar os limites das áreas de planície sujeita a inundações e alagamentos periódicos, além de entender o comportamento físico-hídrico do terreno como um todo (Figura 19 e 20).

A visão abrangente da paisagem seguindo os preceitos da abordagem morfopedológica permitiu confirmar que a área delimitada como de inundação periódica a partir das médias de RSWIR ao longo dos anos corresponde sim à área de planície do Pantanal na área de estudo, em razão de várias constatações derivadas da abordagem morfopedológica.

O mapa apresentado na Figura 23 permite entender as principais constatações que levam à confirmação da área de planície. Uma das mais importantes constatações é obtida pelas características dos solos da região, que tem a classe do tipo Plintossolo como mais predominante. A separação das classes de Plintossolo do tipo Pétrico dos Argilúvicos é um dos fatores chaves para o entendimento da pedogênese local, que é fortemente influenciada pela dinâmica hídrica atuante na região, em especial os ciclos intermitentes de chuvas/inundação e estiagem.



Figura 19 - Vista de região de campo úmido com murundus isolados.



Figura 20 - Vista de região de campo úmido com murundus.

O solo dominante na região de planície de inundação é o Plintossolo Argilúvico, que diferentemente do Plintossolo Pétrico, não teve o seu material ferruginoso denominado de plintita endurecido de modo irreversível. Quando a plintita deixa de ser submetida à ação de água que ocorre com o rebaixamento do lençol freático, ele tende a se endurecer, formando a petroplintita (Figura 21).



Figura 21 - Vista de região de domínio de Plintossolo Pétrico, fora da planície do Pantanal.

Em trecho na área de estudo foi observado transição de solo do tipo Plintossolo Pétrico para Plintossolo Argilúvico, indicando passagem de relevo de cotas mais elevadas para cotas mais inferiores, situadas no nível topográfico de planície de inundação.

Outra constatação derivada da análise integrada da paisagem que corrobora com a definição das áreas de planícies, diz respeito ao relevo. As áreas de planícies de inundação ocupam porções limitadas a cotas de até cerca de 155 metros de altitude. Nas regiões limítrofes entre a planície de inundação e o relevo da Depressão Cuiabana, a transição ocorre nas cotas que variam de 150 a 160 metros principalmente.

Em relação aos substratos rochosos, compostos por litologias da unidade geológica Grupo Cuiabá, foi possível constatar que as rochas se apresentam de forma mais rasa na região da Depressão Cuiabana, e tendem a se aprofundar à medida que se avança para o interior da área definida como planície do Pantanal. Isso também contribui para entender a dinâmica hídrica local, ao passo que nas áreas com afloramentos mais rasos, há um predomínio de atuação de forças denudacionais, diferentemente da região mais rebaixada que tende a receber aporte de sedimentos das regiões a montante, formando ambientes agradacionais, em que são trazidos e depositados sedimentos junto com a atuação dos processos hidrológicos de enchentes e inundações.

As características levantadas do meio físico na região permitem afirmar, então, que, apesar da área identificada como propensa a inundação e alagamento não ter uma fauna e flora tão exuberante quanto a existente em regiões interiores do Pantanal, ela corresponde a planície do Pantanal, mais propriamente a área em que se inicia a planície do Pantanal na região de estudos.

A presença de lâmina d'água ou solo úmido mesmo nos horizontes superficiais ocorrem na maior parte do período chuvoso, havendo áreas que permanecem sob essa condição permanentemente ou em meses também do período de estiagem (Figura 22). A área de planície de inundação do Pantanal na área de estudo, constitui-se de um relevo rebaixado, com cotas em geral inferiores a 155 metros (Figura 23), com presença mais característica de solo do tipo Plintossolo Argilúvico nas áreas mais distantes de cursos d'água, e associação de solos do tipo Gleissolo, Neossolo Flúvico e Organossolo nas áreas de entorno dos rios e córregos da região. Há também presença de solos do tipo Neossolo Quartzarênico, especialmente em regiões de feições de relevo de capões inseridas na área da planície de inundação.



Figura 22 - Vista de região em vegetação ciliar na área de estudo. Detalhe de Neossolo Flúvico formada em margem de curso d'água.

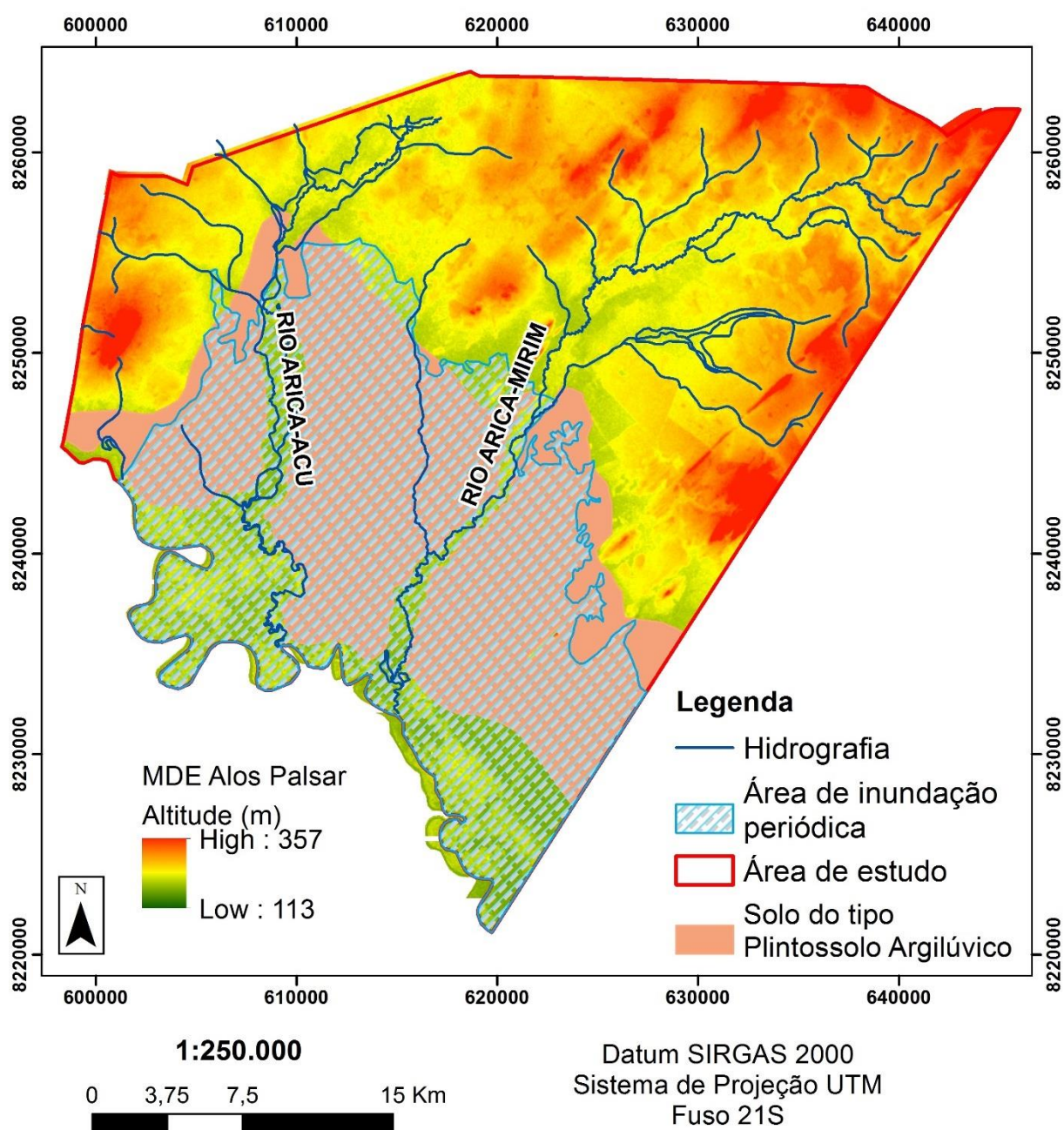


Figura 23 - Área de planície em conjunto com solo característico e MDE Alos Palsar.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu entender as relações entre os solos, formas de relevo e dinâmica hídrica na área de estudo, que por sua vez possibilitou o delineamento da área de planície do Pantanal em região dentro do município de Santo Antônio de Leverger, MT, em escala de referência de 1:50.000. Dentre as características mais marcantes da região mapeada como planície, estão o fato de os solos possuírem pedogênese diretamente relacionada aos aspectos

hidroclimáticos atuantes na região. A intermitência de regimes de cheias e estiagem contribui para o desenvolvimento pedogenético de sistema pedológico formado por Plintossolo Argilúvico e Neossolo Quartazarênico. Os regimes de cheias também contribui para a formação do sistema pedológico formado por Neossolo Flúvico, Gleissolo e Organossolo.

A área mapeada como planície de Pantanal ocorre em relevo de baixo gradiente topográfico, na maior parte aplainado e com cotas de até 155 metros. A região tem como substrato geológico principal as rochas metamórficas do Grupo Cuiabá, que ocorrem de modo mais raso nas bordas da planície, e de forma mais profunda à medida que se adentra ao interior da planície.

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento foram imprescindíveis para realização deste trabalho, tornando viável o processo de mapeamento de inundação de ambiente úmido. A caracterização dos aspectos do meio físico da área por meio de levantamento de campo permitiu a validação dos resultados de identificação de planície do Pantanal a partir de índices espectrais. O trabalho demonstrou que dentre os principais índices espectrais de água, o RSWIR foi o que melhor se ajustou na consecução dos objetivos do trabalho.

Muito embora este trabalho tenha alcançado o objetivo de delimitação cartográfica da planície do Pantanal sujeita a inundação e alagamentos anuais em escala de 1:50.000, isso não implica que no entorno desta área não haverá planície e nem estará sujeita a alagamentos e inundações. No entorno pode haver áreas de planícies de inundação sujeitas a alagamentos e inundações menos frequente, marcadas em ciclos plurianuais ou resultante de chuvas excepcionais. Essa ressalva deve ser feita, pois este trabalho indica que a unidade mapeada como planície sujeita a alagamentos e inundações anuais são áreas indicadas preferencialmente para serem preservadas, dada a fragilidade geoambiental imposta por processos hidrológicos e geológicos. Mas áreas no entorno podem apresentar fragilidade ao ponto de ser também recomendada tal prioridade de uso e ocupação eventualmente nessas áreas, devendo haver estudos específicos com essa finalidade.

6 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

As regiões de limites de Pantanal não são homogêneas em termos de características físicas e bióticas, o que gera certa dúvida a respeito do quão úteis os índices espectrais utilizados nesta pesquisa serão em caso de aplicação em outras áreas de borda de Pantanal.

Diante dos resultados satisfatórios quanto ao uso de índice espectral no estudo de planícies de inundação e áreas úmidas é possível recomendar a realização de novos estudos também para demais ambientes úmidos, como é o caso da planície do Araguaia.

Outro questionamento que podemos fazer quanto à avaliação da metodologia, é se os desempenhos dos índices espectrais utilizados nesta pesquisa se manteriam com resultados similares em caso estudo em outras escalas de trabalho.

Quanto ao uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, é possível prever futuramente maior disponibilidade de dados de sensores remotos orbitais em resolução espacial e espectral cada vez mais refinado. Tal avanço tem acontecido de maneira muito intensa nas geotecnologias, podendo propiciar adoção de escalas cada vez mais detalhadas no estudo de ambientes úmidos como é o caso do Pantanal. Isso nos permite recomendar estudos futuros contínuos que possam acompanhar o avanço das tecnologias de imageamento aplicados a este ambiente.

Uma outra recomendação pertinente é sobre o uso dos produtos de imageamento aéreo com drone, tendo em vista que esses equipamentos estão cada vez mais difundidos e podem ser úteis no desenvolvimento de outras metodologias visando a cartografar áreas úmidas.

Por fim, cabe ressaltar a necessidade de estudos em escalas de detalhe e semidetalhe para as regiões limítrofes de ambiente pantaneiro, e mesmo para o Pantanal como um todo. Em geral, os dados secundários do meio físico disponíveis desse importante ambiente no território brasileiro são de escala regional, dificultando o estabelecimento correto dos limites das áreas de planície e a adoção de medidas técnicas e legais voltadas ao correto uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

- AASEN, H.; HONKAVAARA, E.; LUCIEER, A.; ZARCO-TEJADA, P. J. 2018. Quantitative remote sensing at ultra-high resolution with UAV spectroscopy: a review of sensor technology, measurement procedures, and data correction workflows. *Remote Sensing* 10: 1091.
- ABDON, M. M. ; SILVA, J. S. ; POTT, Vali J ; POTT, A. ; SILVA, M. P. . Utilização de dados analógicos do Landsat-TM na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal.. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* , Brasília, v. 33, n.especial, p. 1799-1813, 1998.
- AB´SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*. n. 18, IG-USP, S. Paulo, 1969
- AB´ SABER, A. N. Paisagens de exceção. O litoral e o pantanal matogrossense – patrimônios básicos. Cotia. Editora Ateliê, 2006.
- ADAMOLI, J. 1982. O pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados. Discussão sobre o conceito de "complexo do pantanal". *Anais do XXXII Cong. Nac. de Botânica*. Teresina-PI, pp. 109-119.
- ALBUQUERQUE, R. dos S.; TAVARES JUNIOR, J. R.; CANDEIAS, A. L. B. Integration of Environmental Parameters in Multispectral Images. *JOURNAL OF HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING*, v. 11, p. 32-50, 2021.
- ALHO, C. J. R. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 957-966, 2008.
- ALMEIDA F. F. M. Contribuição à geologia dos estados de Goiás e Mato Grosso. Notas preliminares da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, Rio de Janeiro, 1948. Bol. 46, p.1-15.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Geologia do centro-oeste matogrossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineração – DNPM/DGM*, v. 2158, p. 1-137, 1964.
- ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL’ARCO, D. M. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE. Campo Grande, 1982. p.125-184. (Levantamento de Recursos Naturais, 28).
- ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; PINHEIRO, R.; KUX, H. J. H. Estudo geomorfológico aplicado à Bacia do Alto Paraguai e Pantanaís Mato-grossenses. Salvador: Projeto RADAMBRASIL, 1984. p.89-183. *Boletim Técnico; Série Geomorfológica*.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., de MORAES GONÇALVES, J. L., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, G. M.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. M.; OLIVEIRA, R. L. 2015. Uso combinado dos índices LSWI e NDVI para análise da inunda  o na bacia do rio Mutum (Pantanal Norte). XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. pp. 1-7. Brasília, Brasil.

ASADZADEH, S., de SOUZA FILHO, C.R., 2016. A review on spectral processing methods for geological remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 47, 69-90.

ASSINE, M. L. L. Sedimenta  o na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro Oeste do Brasil. 2003, 105 p. Tese (Livre-docência em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

ASSINE, M. L.; SOARES, P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*, v. 114, n. 1, p. 23-34, 2004.

ASSINE M. L., CORRADINI F. A., PUPIM F.N., MCGLUE M.M. 2014. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. *Sedimentary Geology* 301:172-184.

BRITTO, M. C. de; FERREIRA, C. C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. *Revista de Geografia*, v. 1, p. 1-10, 2011.

BASTIN, G.N.; LUDWIGB, J.A.; EAGER, R.W.; CHEWINGS, V.H.; LIEDLOFF, A.C. Indicators of landscape function: comparing patchiness metrics using remotely-sensed data from rangelands. *Ecological Indicators*, v.1, 247-260, 2002.

BAZZO, J C.; FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOS, E. L.; SANTOS, S. A. Aspectos geofísicos e ambientais do pantanal da Nhecolândia. *Revista de Geografia*, Recife, PB, v. 29, n. 1, p. 141-161, 2012.

BEIRIGO, R. M.; VIDALTORRADO, P.; STAPE, J. L.; COUTO, E. G.; ANDRADE, G. R. P. Solos da Reserva Particular do Patrim  nio Natural SESC Pantanal. v. 1. Rio de Janeiro: SESC, 2011. 76 p.

BERTALANFFY, L. V. General Theory Sistem. New York, 1969.

BITTENCOURT, D. Z.; GUASSELLI, L. A. Dinâmica de Inunda  o do Banhado a partir do   ndice NDPI, Reserva Biológica de São Donato – RS. *Geography Department University of São Paulo*, v. 33, p. 85, 2017.

BRASIL. Ministério do Interior. Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, v.1, 1974. 284 p.

BRASIL. Ministério do Interior. Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP): relatório da 1   fase. Descri  o física e recursos naturais. Brasília, 1979.

CANCELA D’ABREU, A. d’O. 2007. Paisagem E Ordenamento Do Território. *Inforgo* 20–21: 73–77.

CALHEIROS, D. F.; FONSECA JUNIOR, W. C. Perspectivas de estudo ecológicos sobre o Pantanal. Corumbá, MS: Embrapa-CPAP, p. 41, 1996. (Embrapa-CPAP. Documentos, N° 18).

CARVALHO, N. O. Hidrologia da bacia do Alto Paraguai. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984. Corumbá. Anais... Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986, p.43-49.

CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. A.; URBANETZ, C.; CARVALHO FILHO, A.; NAIME, U. J.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. Relação entre solos e unidades da paisagem no ecossistema Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.51, n.9, p.1231-1240, 2016. Número especial.

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SILVA, G. B. S.; SILVA, F. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais. In: Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Corumbá, 2009. p. 99 - 106.

CARVALHO, N. de O. Hidrologia da Bacia do Alto Paraguai. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. Anais... Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 91-103. (EMBRAPACAP. Documentos, 5).
CASTRO-JÚNIOR, P. R.; SALOMÃO, F. X. T.; BORDEST, S. M. L. Mapeamento geomorfológico da região de Cuiabá. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Cuiabá, set 2006.

CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. de T. Compartimentação Morfopedológica e sua aplicação: Considerações metodológicas. São Paulo: Geosp, 2000.

CHEN, W.; LIU, L.; ZHANG, C.; WANG, J.; WANG, J.; PAN, Y. Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multitemporal TM images, Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp.3379-3382. 2004.

COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Psychological Measurement, v.20, n.1, p. 37-46, 1960.

CORINGA, E. de A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. Acta Amazônica, v. 42, n.1, p. 19 - 28, 2012.

COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A. de. The Soil Diversity of the Pantanal. In: JUNK, W.J.; Da Silva, C. J.; Nunes Da Cunha, C.; Wantzen, K.M.. (Org.). The Pantanal of Mato Grosso: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. Sofia: Pensoft, 2008. p. 40-64.

COUTINHO, L. M. O Conceito de Bioma. Acta Bot. Bras. vol.20 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2006.

CUNHA, C. N. da; VILHALVA, D. A. A.; FERREIRA, H. 2001. Espécies de Campo Inundável e de Brejo, Fazenda Retiro Novo, Pantanal de Poconé, MT (Lista preliminar). Pp. 114. In: Anais do III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal - Os desafios do novo milênio Corumbá-MS 2000. Brasília, EMBRAPA-CPAP. CD-ROM.

CUNHA, C. N. da; JUNK, W. J. 2004. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. *Applied Vegetation Science* 7: 103-110.

DAMASCENO JÚNIOR, G. A.; SIMÕES, M. G.; TREVELIN, C. C.; MANOEL, P. S.; GUIMARÃES, E. Pantanal. In: GUIMARÃES, E.; TREVELIN, C. C.; MANUEL, P. S. (Org.). *Pantanal: Paisagens, Flora e Fauna*. 1ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014, v. 1, p. 11-14.

DIGRA, A.; Kaushal1, A.; Loshali, D. C.; Kaur, S.; Bhavsar, D. Temporal Land-Use/Land-Cover Change Analysis in Kotla Sub-Watershed of Rupnagar District (Punjab) Using Remote Sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ERIKSTAD, L. Geoheritage and geodiversity management – the questions for tomorrow. *Proceedings of the Geologists' Association*, v.124, n.4, p.713-719. 2013.

FANTIN-CRUZ, I.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; COLLISCHONN, W.; CUNHA, C. N da. Unidades fitofisionômicas em mesoescala no Pantanal Norte e suas relações com a geomorfologia. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 2, p. 31–38, 2010.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S; PELLEGRIN, L. A.; LIMA, I. B. T. de. Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61).

FRANCO, M. do S. M.; PINHEIRO, R. 1982. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministerio das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto Radambrasil. Folha SE.21 Corumba e parte da folha SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. p.161-224. il.

FUKANO Y.; GUO W.; AOKI N.; OOTSUKA S.; NOSHITA K.; UCHIDA K.; KATO Y., SASAKI K.; KAMIKAWA S; KUBOTA H. 2021. GIS-Based Analysis for UAV-Supported Field Experiments Reveals Soybean Traits Associated With Rotational Benefit. *Front Plant Sci*.

FRANKLIN, S. E. Interpretation and use of geomorphometry in remote sensing: a guide and review of integrated applications, *International Journal of Remote Sensing*, 41:19, 7700-7733. 2020.

FREITAS JUNIOR, R. L.; RIBEIRO, G. P. Avaliação de Classificação de Imagens para Mapeamento Digital do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). *Revista Brasileira de Cartografia*, n.66/6, p. 1203-1213, 2014.

FREITAS, A. C. de; TREVELIN, C. C.; ALMEIDA, L. F. de; MANOEL, P. S.; DAMASCENO JÚNIOR, G. A.; GUIMARÃES, E. Clima. In: GUIMARÃES, E.; TREVELIN, C. C.; MANUEL, P. S. (Org.). *Pantanal: Paisagens, Flora e Fauna*. 1ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014, v. 1, p. 47-75.

HORTON, B. K.; DeCELLES, P. G. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. *Geology*, v. 25, p. 895-898, 1997.

GAJBHIYE, S. 2015. Estimation of surface runoff using remote sensing and geographical information system. *Int J U- E-Serv Sci Technol* 8(4):118–122.

GAO, B., 1996. NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58, 257-266.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A.L.N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2019.

GODOI FILHO, J. D. Aspectos geológicos do Pantanal Mato-Grossense e de sua área de influência. In: *SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL*, 1., 1984. Corumbá. *Anais...* Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986, p.63-76.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. G. Novo dicionário geológico-geomorfológico. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 648 p.

GUTH, P. Geomorphometry from SRTM: Comparison to NED. - *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72 (3): 269–277. 2006.

HAMEDIANFAR, A.; SHAFRI, H. Z. M. Detailed intraurban mapping through transferable OBIA rule sets using WorldView-2 very-high-resolution satellite images. *Int. J. Remote Sens.*, 36(13), 3380-3396, 2015.

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of south america determined from passive microwave remote sensing, *Arch. Hydrobiol.*, 137, p. 1-23, 1996.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. 2003. O clima da RPPN Sesc Pantanal - Relatório Técnico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 31p.

HENNIES, W. T. Geologia do Centro Norte Mato Grossense. Tese De Doutorado Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, v. 1, p. 65, 1966.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de unidades de relevo do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

IBGE. Compartimentos de Relevo do Brasil (1:250.000). Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019.

ISLAMI, F. A.; TARIGAN S. D.; WAHJUNIE, E. D.; DASANTO, B. D. Accuracy Assessment of Land Use Change Analysis Using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 950, n. 1, p. 012091, 1 jan. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Mapa de Unidades de Relevo do Brasil. Escala 1:5.000.000. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual Técnico em Geomorfologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009, 175p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. v. 1. 94p.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. da. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. *Ecological Engineering*, v.24, p.391-401, 2005.

LACAUX, J.P.; TOURRE, Y.M.; VIGNOLLES, C.; NDIONE, J.A.; LAFAYE, M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sens. Environ.* 106, 66–74, 2007.

LACERDA FILHO, J. V. D.; ABREU FILHO, W.; Valente, C. R.; OLIVEIRA, C. C. D.; ALBUQUERQUE, M. C. D. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME-MT, MME. 235 p. 2004.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA, J. F. M.; TANNO, I. C.; CARMO, L.S.; SOUZA, N. B. Projeto Coxipó. Goiânia: DNPM/CPRM, v. 1, 136p., 1980.

MAHMOM, N. A.; YA'ACOB, N. A review on classification of satellite image using artificial neural network (ANN). *IEEE 5th Control and System Graduate Research Colloquium*, Aug. 11 - 12, UiTM, Shah Alam, Malaysia, 2014.

MANSUR, K. L. Ordenamento territorial e geoconservação: análise das normas legais aplicáveis no Brasil e um caso de estudo no estado do Rio de Janeiro. *Geociências*, 29(2): 237-249. São Paulo: UNESP. 2010.

MANTOVANI, J; SAKAMOTO, A.Y.; GRADELLA, F. S.; BRAZ, A. M. Análise do comportamento do NDWI sob diferentes intensidades da pluviosidade no Pantanal Nhecolândia, MS-Brasil. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 5279 -5186, 2017.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425-1432. 1996.

MEMON, A. A.; MUHAMMAD, S.; RAHMAN, S. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Scienc* 18, 99-106, 2015.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; ALBREZ, E. A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. *Revista Entre-Lugar*, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

MIOTO, C. L.; AMORIM, G.; MACHADO, R.; DALMAS, F. B.; OLIVEIRA, A. P. G.; SAAD, A. R.; DIODATO, M. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Neotectonics as a structural control of the boundaries of the Pantanal Matogrossense Sub-Regions. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 91 (01), 2019.

MOZUMDER, C.; TRIPATHI, N. K.; TIPDECHO, T. Ecosystem evaluation (1989–2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellitederived indices. *Environ. Monit. Assess.* 186(11):7909-7927, 2014.

MOURA, R. M. P. de; ZEILHOFER, P.; SILVEIRA, A. PROPOSTA PARA OPERAÇÃO ECOLÓGICA DA APM – MANSO. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - SBRH, 2007, São Paulo. ANAIS do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8o. SISLUBA. São Paulo : Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2007.

MULDER, V.; de BRUIN, S.; SCHAEPMAN, M.; MAYR, T... The use of remote sensing in soil and terrain mapping - a review. *Geoderma* 62, 1–19. 2011

NOVAIS, J. J.; LACERDA, M. P. C.; SANO, E. E.; DEMATTÊ, J. A. M.; OLIVEIRA JUNIOR, M. P. Digital soil mapping using multispectral modeling with Landsat time series cloud computing based. *Remote Sensing*, v. 13, p. 1181, 2021.

PADOVANI, C. R. Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, 2010.

PENATTI, N. C. Geobotânica e fenologia da superfície terrestre no estudo da diversidade do Pantanal: uma abordagem multi-sensor. 2014. 231p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PEREIRA, L. E.; AMORIM, G.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental - Comparative Analysis of Normalized Difference Water Index (NDWI) Methods in Continental Wetland. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 41, 09/2018. p. 654-662.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. 94p. (Monografias do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 5).

POTT, A. Pastagens no Pantanal. Corumbá EMBRAPA, CPAP, documentos 7, 1988.

POTT, A. Relação da vegetação com ambientes no Pantanal. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto aplicado a estudos no Pantanal, 1995, Corumbá, MS. Livro de Resumos, Encontro sobre Sensoriamento Remoto aplicado a estudos no Pantanal. São José dos Campos, SP: INPE, 1995. p. 5-7.

POTT, V. J.; POTT, A. 1997. POTT, V. J.; POTT, A. Checklist das macrófitas aquáticas do Pantanal, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 11 (2): 215-227. 1997.

POTT, A. Dinâmica da vegetação do Pantanal. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 2007, Caxambu, MG. CD-ROM Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 2007. Caxambu, MG: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007.

POTT, V. J.; POTT, A.; LIMA, L. C. P.; MOREIRA, S. N.; OLIVEIRA, A. K. M. Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. *Brazilian Journal Biology* 71(1): 255-263. 2011.

PRADO, A. L. do; HECKMAN, C. W; MARTINS, F. R. The seasonal succession of biotic communities in wetlands of the tropical wet-and-dry climatic zone .2. The aquatic macrophyte vegetation in the Pantanal of Mato-Grosso, Brazil. *Intern Rev der Gesam Hydrobiol* 79: 569-589, 1994.

REBELLATO, L.; CUNHA, C. N. da. Efeito do “fluxo sazonal mínimo da inundação” sobre a composição e estrutura de um campo inundável no Pantanal de Poconé-MT. *Acta Botanica Brasilica* 19(4):791-801. 2005.

RIZZINI, C.T. 1979. Tratado de fitogeografia do Brasil. Aspectos sociológicos e florísticos. HUCITEC, São Paulo, vol. 2, 374 pp.

RODELA, L. G. Unidades de vegetação e pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. 2006. 222f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROGERS, A.S., KEARNEY, M.S. Reducing signature variability in unmixing coastal marsh thematic mapper scenes using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing* 25, 2317-2335. 2004.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 6. São Paulo, p. 17-30, 1992.

ROSS, J. L. S. Os Fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, Jurandyr Luciano Sanches (org). *Geografia do Brasil*. São Paulo: Edusp. p.13 - 65. 1996.

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. dos. Geomorfologia. Folha SD.21/Cuiabá. BRASIL/Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral, Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 26), p. 156 – 193, Rio de Janeiro. 1982.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, 1973. v.1, p.309-317.

SALOMÃO, F. X. de T. Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. 1994. 200f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SANCHEZ, R. O. Las unidades geomórficas del Pantanal y sus connotaciones biopedoclimáticas. EDIBAP, Programa de desarrollo regional de la OEA.

SANTOS, R. D. dos; CARVALHO FILHO, A. ; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, H.; MOTTA P. E. F.; BARUQUI, A. M.; BARRETO, W.O.; MELO, M. E. C. C. M.; PAULA, J. L.; SANTOS, E. M. R.; DUARTE, M. N. Pedologia. In: Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: PNMA, 1997. p.127-307. v.2, t.1.

SILVA, J. S. V. Elementos fisiográficos para delimitação do Ecossistema Pantanal: Discussão e proposta. *Oecologia Brasiliensis*, 1:439-458, 1995.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; BOOCK, A.; SILVA, M. P. da. Fitofisionomias dominantes em parte das subregiões do Nabileque e Miranda, Sul do Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33 (número especial), p. 1713-1720, out. 1998.

SILVA, M. P., MAURO, R.; MOURÃO, G.; COUTINHO, M. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. *Revista Brasileira de Botânica* 23(2): 143-152. 2000.

SILVEIRA, G. V. Dinâmica das inundações por meio de séries temporais, rio Uruguai - RS. 2019. 114f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SIMENSEN, T.; HALVORSENA, R.; ERIKSTA, L. (2018) Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review. *Land Use Policy*, v. 75. p. 557–569.

SISODIA, P. S.; TIWARI, V.; KUMAR, A. A comparative analysis of remote sensing image classification techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTING, COMMUNICATIONS AND INFORMATICS, 3., 2014, Delhi. Proceedings. New York: IEEE, p.1418-1421, 2014.

SOARES, J. J.; OLIVEIRA, A. K. M. O paratidal do Pantanal de Miranda, CorumbáMS, Brasil. *Revista Árvore*, [s.l.], v. 33, n. 2, p.339-347, abr. 2009.

SOUZA, C. A. de; SOUSA, J. B. de; LEANDRO, G. R dos S; SILVA, L. A. de; SANTANA, M; SANTOS, M. dos. Sedimentação no rio Paraguai e no baixo curso dos tributários Sepotuba, Cabaçal e Jauru, Mato Grosso, Brasil; In: 14º ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA (Egal Peru), 2013.

SOUZA, I. P. Caracterização e Classificação de solos em Cordilheiras do Pantanal da Nhecolândia, MS. 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SOTCHAVA, V. B. (1977). O estudo dos geossistemas. Métodos em questão. São Paulo, Brasil.

STEFAN, E.R. O Pantanal Mato-grossense. *Revista Brasileira de Geografia*. v.26, n.3, p.465-478, 1964.

SZABÓ, S.; GÁCSI, Z.; BALÁZS, B. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment* 10 (3-4): 194-202. 2016.

TRICART, J.; KILIAN, J. *L'éco-Geographie et l'aménagement du Milieu Naturel*. Paris: Maspero, 1979. 325 p.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J. M. L., 1999. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal Wetland, SW Brazil. *Tectonics*, 18(1), 25-39.

WALTER, H. 1986. *Vegetação e Zonas Climáticas*. São Paulo, E.P.U. Ltda.

WANG, S. W.; GEBRU, B. M.; LAMCHIN, M.; KAYASTHA, R. B.; LEE, W. K., 2020. Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability* 122-18.

XU, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27, 3025-3033.

ZHA, Y.; GAO, J. NI, J. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 24, pp. 583–594, 2003.

SHUAI, S.; ZHANG, Z., LV, X.; Hao, L. Assessment of new spectral indices and multi-seasonal ASTER data for gypsum mapping. *Carbonates and Evaporites*, 37(2), 2022.