

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DIOGO COSTA NASCIMENTO**

**SOLOS DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE: CARACTERIZAÇÃO,  
CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA E SERVIÇO ECOSISTÊMICO**

**UBERLÂNDIA**  
**2023**

DIOGO COSTA NASCIMENTO

**SOLOS DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE: CARACTERIZAÇÃO,  
CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA E SERVIÇO ECOSISTÊMICO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (PPGEO/UFU), como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias

Orientador: Dr. Guilherme Resende Corrêa  
Coorientador: Dr. Frederico dos Santos Gradella  
Coorientadora: Dra. Prímula Vieira Campos

UBERLÂNDIA  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

N244s  
2023 Nascimento, Diogo Costa, 1990-  
Solos do pantanal sul-mato-grossense [recurso eletrônico] :  
caracterização, classificação comparativa e serviço ecossistêmico /  
Diogo Costa Nascimento. - 2023.

Orientador: Guilherme Resende Corrêa.  
Coorientador: Frederico dos Santos Gradella.  
Coorientadora: Primula Vieira Campos.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa  
de Pós-graduação em Geografia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.5015>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Corrêa, Guilherme Resende, 1981-, (Orient.). II.  
Gradella, Frederico dos Santos, 1983-, (Coorient.). III. Campos, Primula  
Vieira, 1987-, (Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-graduação em Geografia. V. Título.

---

CDU: 910.1



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP  
38400-902 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós- Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número 253, PPGGEO				
Data:	30 de novembro de 2023	Hora de início:	14h:00min.	Hora de encerramento:	18h:00min.
Matrícula do Discente:	11913GEO004				
Nome do Discente:	DIOGO COSTA NASCIMENTO				
Título do Trabalho:	SOLOS DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE: CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA E SERVIÇO ECOSISTÊMICO				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Cenários e impactos para o bioma Pantanal: mudanças climáticas; alterações das paisagens; e mitigações socioambientais para os municípios da Bacia do Alto Paraguai				

Reuniu-se no Campus Santa Mônica de forma on-line (Sala 14) do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em **GEOGRAFIA**, assim composta: Professores Doutores: **Davi Feital Gjorup - UFV - MG**; **José João Leis Leal de Souza - UFV - MG**; **Eduardo Osório Senra - UFU-MG**; **Bruno Nery Fernandes Vasconcelos - UFV** e **Guilherme Resende Corrêa - IG-UFU** (orientador do candidato). Os Professores externos participaram de forma online.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, **Professor Guilherme Resende Corrêa - IG-UFU**, apresentou a Comissão Examinadora e o (a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado, considerando o(a) candidato(a):

**Aprovado(a).**

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Doutor**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Resende Correa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 01/12/2023, às 16:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do **Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015**.



Documento assinado eletronicamente por **José João Leis Leal de Souza, Usuário Externo**, em 02/12/2023, às 22:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Davi Feital Gjorup, Usuário Externo**, em 07/12/2023, às 09:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Nery Fernandes Vasconcelos, Usuário Externo**, em 07/12/2023, às 09:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Osório Senra, Professor(a) do Magistério Superior**, em 08/12/2023, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4978551** e o código CRC **EE47C8E8**.

---

**Referência:** Processo nº 23117.081745/2023-54 SEI nº 4978551

## AGRADECIMENTOS

Os caminhos que me trouxeram até aqui foram muitos e as pessoas envolvidas diversas. Agradeço então a todos que de alguma maneira contribuíram com a minha formação humana. Aos meus estimados professores, orientadores, aos amigos de recente e longa data, aos colegas de trabalho e aos familiares. Levo um pouco de cada um com muito carinho.

Agradeço ao Rene (*in memoriam*), por sempre ter confiado e incentivado a busca de melhores oportunidades, pela visão de mundo e por todos os aprendizados. Também a Aparecida e ao Emerson por fornecerem uma base de apoio familiar imprescindível.

Ao Vinícius pela paciência, amor e pelos dias compartilhados. Com você me torno uma pessoa melhor.

Ao professor Guilherme Resende Corrêa, pela confiança depositada, oportunidades e ensinamentos. Tenho grande estima pela orientação e exemplos recebidos. Também agradeço ao professor Frederico dos Santos Gradella pela coorientação e por ter aberto as portas do Pantanal e ter fornecido importantes ensinamentos sobre esse bioma.

A Aline, Ana Paula, Gabriel, Flávia, Maiko, Stefány, Viviane e a todo pessoal que passou pelo LAPEP pelas vivências. Obrigado pelos momentos de descontração, de ajuda na bancada de laboratório e do museu, de estudos e trocas de informações e de bons trabalhos de campo nos rincões da Caatinga, Cerrado e Pantanal. Especialmente agradeço a Prímula pela coorientação e por ser porto de incentivo.

Aos professores Bruno Nery, Davi Feital, Eduardo Senra e José João Lelis Leal de Souza por toparem participar da banca de defesa, agradeço o tempo dispendido, a leitura cuidadosa e as importantes observações e contribuições para a melhoria do trabalho.

Às instituições e conseqüentemente as muitas mãos que tornaram possível a concretização de um trabalho de tamanha dimensão. Ao CEFET-MG pela concessão de afastamento para dedicação às atividades de pesquisa; a UFMS pelo suporte logístico às atividades de campo; a UFV pelo grupo de pesquisa e determinações analíticas de atributos de solo e composição da serrapilheira e a UFU pelas instalações de permanência, de triagem e preparo de amostras e de laboratórios.

A FUNDECT e ao CNPq pelo apoio essencial na execução do projeto de pesquisa “Cenários e impactos para o bioma Pantanal: mudanças climáticas; alterações das paisagens; e mitigações socioambientais para os municípios da Bacia do Alto Paraguai” e fomento ao aprimoramento da ciência brasileira.

“São como veias, serpentes  
Os rios que trançam no coração do Brasil  
Levando a água da vida  
Do fundo da terra ao coração do Brasil.”

Canção sobre o Pantanal

## RESUMO

NASCIMENTO, Diogo Costa. Solos do Pantanal Sul-Mato-Grossense: Caracterização, Classificação Comparativa e Serviço Ecológico. 2023. 101 f. Tese (Doutorado em Geografia – Estudos Ambientais e Geotecnologias). Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2023.

O estudo dos solos é efetivo para estratificar e compreender o funcionamento de paisagens. A classificação de solos, visando a correspondência mais precisa quanto possível em sistemas taxonômicos nacionais e internacionais, é um desafio para comunicação científica e transferência de conhecimento na ciência do solo. Os objetivos do presente trabalho são: (1) realizar uma caracterização física, química e da matéria orgânica de solos de sistemas lacustres e florestais do Pantanal da Sul-Mato-Grossense; (2) classificar solos e comparar equivalências entre os sistemas taxonômicos SiBCS e WRB em doze pedons representativos da área; e (3) explorar a relação entre solo e serrapilheira com vistas a compreensão de serviços ecológicos de solos do Pantanal. Para isso, foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos: trabalhos de campo para prospecção de amostras e classificação de solos, nas regiões da Nhecolândia, Miranda e Abobral; determinações analíticas de atributos do solo e da composição química da serrapilheira e; análises estatísticas visando a síntese dos dados e apresentação dos resultados. As baías se destacam pela maior acidez potencial (H+Al), teores de MO ligeiramente elevados e disponibilidade de íons metálicos, sobretudo Fe; nas cordilheiras, maiores médias de P-rem e textura muito arenosa são mais evidentes; já os solos de salinas se relacionam a valores de pH mais alcalinos, elevada saturação por bases e altos índices de saturação por Sódio (ISNa). No SiBCS, foram levantadas quatro classes de solo no primeiro nível categórico (Espodossolo, Gleissolo, Neossolo e Planossolo) enquanto o WRB apresenta três *Reference Soil Groups* (*Arenosol*, *Stagnosol* e *Solonetz*). Solos classificados de acordo com SiBCS não têm sua correspondência equivalente no WRB, devido a discrepâncias relacionadas a atributos como C-org, cor, pH e salinidade. Os solos interagem com composição química da serrapilheira, destacando a grande interdependência existente entre propriedades edáficas e ciclagem de nutrientes, com influência na composição química da serrapilheira e velocidade de decomposição, como indicam as significativas correlações entre N, P, Ca, Mg, Mn e relação C/N com atributos físicos, químicos e MOS. O Carbono, apesar de abundante na serrapilheira, apresentou fraca correlação com os constituintes do solo.

**Palavras-chave:** área úmida; classificação de solos; serrapilheira; SiBCS; WRB.



## ABSTRACT

The study of soils is effective for stratifying and understanding the functioning of landscapes. Soil classification, aiming for the most precise correspondence possible in national and international taxonomic systems, is a challenge for scientific communication and knowledge transfer in soil science. The objectives of this study are: (1) to perform a physical, chemical, and organic matter characterization of soils from lacustrine and forest systems in the Pantanal of Mato Grosso do Sul; (2) to classify soils and compare equivalences between the SiBCS and WRB taxonomic systems in twelve representative pedons of the area; and (3) to explore the relationship between soil and litter for understanding ecosystem services of Pantanal soils. For this, the following methodological procedures were conducted: fieldwork for sample prospecting and soil classification in the regions of Nhecolândia, Miranda, and Abobral; analytical determinations of soil attributes and chemical composition of litter; and statistical analyses aiming at data synthesis and presentation of results. Bays stand out for higher potential acidity (H+Al), slightly elevated organic matter content, and availability of metallic ions, especially Fe; in ridges, higher mean P-rem and very sandy texture are more evident, whereas soils from salt flats are related to more alkaline pH values, high base saturation, and high sodium saturation indices (ISNa). In SiBCS, four soil classes were identified at the first categorical level (Espodosolo, Gleissolo, Neossolo, and Planossolo), while WRB presents three Reference Soil Groups (Arenosol, Stagnosol, and Solonetz). Soils classified according to SiBCS do not have their equivalent correspondence in WRB due to discrepancies related to attributes such as C-org, color, pH, and salinity. Soils interact with litter chemical composition, highlighting the great interdependence between soil properties and nutrient cycling, influencing litter chemical composition and decomposition rate, as indicated by significant correlations between N, P, Ca, Mg, Mn, and C/N ratio with physical, chemical, and organic matter attributes. Carbon, despite being abundant in litter, showed weak correlation with soil constituents.

**Keywords:** wetland; soil classification; soil litter, SiBCS, WRB.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Trajetória evolutiva do SiBCS. ....	19
Figura 2 – Região da Nhecolândia no Pantanal brasileiro. ....	26
Figura 3 – Hipsometria no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	27
Figura 4 – Imagens aéreas de paisagens no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	28
Figura 5 – Pontos de amostragem e coletas de solo. ....	29
Figura 6 – Matriz e círculo de correlação das componentes principais CPs 1 e 2. ....	32
Figura 7 – Gráfico biplot de representação das CPs 1 e 2 e coordenadas amostrais. ....	33
Figura 8 – Triângulos texturais dos ambientes de baía, cordilheira e salina. ....	37
Figura 9 – Boxplots dos atributos químicos do solo. ....	38
Figura 10 – Boxplots dos atributos químicos e matéria orgânica do solo. ....	39
Figura 11 – Pontos de descrição de perfis e coletas de solo. ....	48
Figura 12 – Perfis de solo descritos no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	49
Figura 13 – Composição granulométrica de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	56
Figura 14 – Feo e Alo em horizontes espódicos no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	61
Figura 15 – Climograma e extrato do balanço hídrico no Pantanal brasileiro. ....	75
Figura 16 – Localização de parcelas amostrais no Pantanal brasileiro. ....	77
Figura 17 – PCA biplot de amostras e atributos do solo. ....	85
Figura 18 – Matriz de correlação entre atributos do solo e da serrapilheira. ....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação múltipla entre grupos de permutação em uma matriz de distâncias. .	34
Tabela 2 – Resultados das análises físicas, químicas e da matéria orgânica do solo. ....	36
Tabela 3 – Coordenadas UTM e dados altimétricos.....	49
Tabela 4 – Atributos morfológicos e físicos de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	54
Tabela 5 – Atributos químicos e C-org de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	59
Tabela 6 – Comparação entre a classificação de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS. ....	62
Tabela 7 – Atributos químicos e físicos do solo de comunidades florestais no Pantanal brasileiro. ....	81
Tabela 8 – Composição química da serrapilheira de comunidades florestais no Pantanal brasileiro. ....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Agência Nacional de Águas - ANA

Análise de Componentes Principais – ACP

Análise de Variância Permutacional Multivariada – PERMANOVA

Capão – CAP

Cordilheira Abobral / Miranda – CORD.AM

Cordilheira Nhecolândia – CORD.N

Floresta de Cambará / Canjiqueira – CC

Food and Agriculture Organization – FAO

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC

Mata de Corixo – CORX

Murundu – MUR

Serviço Ecossistêmico – SE

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS

The United States Department of Agriculture – USDA

World Reference Base for Soil Resources – WRB

WRB Reference Soil Group – RSG

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1 Sistemas de classificação do solo .....	17
2.2 Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos .....	18
2.3 World Reference Base .....	20
2.4 Serviço ecossistêmico e a serrapilheira do solo .....	21
<b>3. SOLOS DE AMBIENTES LACUSTRES DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE..</b>	<b>23</b>
3.1 Resumo.....	23
3.2 Introdução .....	24
3.3 Materiais e métodos .....	26
3.3.1 Área de estudo.....	26
3.3.2 Delineamento amostral e coletas de solo .....	28
3.3.3 Caracterização química, física e da matéria orgânica do solo.....	30
3.3.4 Análises estatísticas .....	30
3.4 Resultados e discussão .....	31
3.4.1 Análise de Componentes Principais (ACP) .....	31
3.4.2 Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA).....	34
3.4.3 Resultados analíticos e estatísticas descritivas .....	34
3.4.4 Relação solo-paisagem.....	39
3.5 Conclusão.....	43
<b>4. CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE SOLOS DO PANTANAL BRASILEIRO USANDO OS SISTEMAS SiBCS E WRB .....</b>	<b>44</b>
4.1 Resumo.....	44
4.2 Introdução .....	45
4.3 Materiais e métodos .....	47
4.3.1 Área de estudo.....	47
4.3.2 Procedimentos amostrais, descrição e coleta do solo no campo .....	47
4.3.3 Caracterização física, química e da matéria orgânica do solo.....	50
4.4 Resultados e discussão .....	52
4.4.1 Descrição morfológica e caracterização física dos solos .....	52
4.4.2 Caracterização química e do C-org dos solos .....	57
4.4.3 Classificação comparativa: entre SiBCS e WRB .....	61
4.5 Conclusão.....	70
<b>5. ATRIBUTOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA EM COMUNIDADES FLORESTAIS DO PANTANAL BRASILEIRO.....</b>	<b>72</b>
5.1 Resumo.....	72

<b>5.2 Introdução</b> .....	<b>73</b>
<b>5.3 Materiais e métodos</b> .....	<b>75</b>
5.3.1 Área de estudo.....	75
5.3.2 Delineamento amostral e trabalhos de campo .....	77
5.3.3 Determinações analíticas .....	78
5.3.4 Análise dos dados.....	80
<b>5.4 Resultados e discussão</b> .....	<b>81</b>
<b>5.5 Conclusão</b> .....	<b>91</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>92</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>93</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Cerca de 20% do território brasileiro são cobertos por áreas úmidas, o que estimula a condução de estudos científicos em diferentes áreas do conhecimento em virtude da importância social, ecológica e econômica dessas áreas face a contínua e dramática deterioração ambiental as quais estão submetidas (Junk *et al.*, 2014).

O Pantanal é reconhecido como uma das principais áreas úmidas do mundo e compreende um mosaico de paisagens biodiversas com características pedológicas, de fitofisionomias e gradientes de inundação distintos, inseridas no contexto da bacia hidrográfica do rio Paraguai e com território em três países latino-americanos: Brasil, Paraguai e Bolívia, com cerca de 80% de inserção no território brasileiro (Junk *et al.*, 2006; Couto *et al.*, 2023).

Os ecossistemas do Pantanal compreendem áreas úmidas de grande relevância, em termos econômicos, culturais, recreativos, estéticos, científicos e educacionais (Alho; Sabino, 2011; Junk *et al.*, 2006; Schulz *et al.*, 2019). Por esta razão, o Pantanal é considerado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira (Brasil, 1988) e Reserva da Biosfera pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) no ano de 2000 (Agência Nacional de Águas, 2018).

Os recursos naturais e processos ambientais que ocorrem em áreas do Pantanal possibilitam uma gama de serviços ecossistêmicos como: manutenção do ciclo hidrológico e da sociobiodiversidade associada a seus ecossistemas, ciclagem biogeoquímica, remediação e retenção de elementos nocivos à saúde humana, controle e estabilização de processos erosivos acelerados, polinização, fonte de matérias primas e recursos genéticos, além do valor estético, científico e cultural (Seidl; Moraes, 2000).

No Brasil a região pantaneira se localiza entre as coordenadas geográficas 55° a 59° W e de 16° a 22° S e se estende por uma área de aproximadamente 150.000 km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004), abrangendo os estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso na região Centro-Oeste do Brasil. A região do Pantanal se insere no contexto da bacia hidrográfica do Rio Paraguai, ocupando boa parte (~ 40%) dos 360.000 km<sup>2</sup> de área de drenagem dessa bacia (Agência Nacional de Águas, 2018).

No entanto a delimitação da planície intermitentemente inundada - o Pantanal - não é bem definida temporalmente e espacialmente, pois varia em função dos ciclos de inundação e vazante. Adicionalmente, critérios geopolíticos e de atributos da paisagem também são utilizados para delimitar a região do Pantanal (Silva; Abdon, 1998; Couto *et al.*, 2023).

Estudos baseados na revisão de pesquisas relacionados com a delimitação fisiográfica do

Pantanal e análise de aspectos relacionados a inundação, relevo, solo e vegetação, levantados por meio de cartas topográficas e imagens de satélite, na escala de 1:250.000, e apoiados em trabalhos de campo, definiram 11 sub-regiões no complexo do Pantanal, a saber: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda, Nabileque e Porto Murtinho (Silva; Abdon, 1998). As propostas mais recentes visando a compartimentalização de processos e estruturas geomorfológicas e da dinâmica de inundação do Pantanal estabelecem 25 sub-regiões (Padovani, 2010).

Mesmo assim, as sub-regiões do Pantanal ainda compreendem vastas e complexas áreas úmidas, com particularidades ecológicas, sociais, econômicas, culturais e legais (Junk *et al.*, 2014; Schulz *et al.*, 2019) necessitando de informações a níveis mais detalhados da paisagem.

Os solos, reconhecidamente, possuem relevância na estratificação da paisagem, permitindo, a partir dos seus atributos físicos, químicos e morfológicos, a obtenção de informações de um local, o que corrobora para evidenciar fenômenos geoambientais da paisagem além de evidenciar os processos pedogenéticos atuantes (Schaefer *et al.*, 2017).

Além disso, os solos são recursos naturais não renováveis a nível do tempo histórico e são importantes em razão de seus diversos serviços ecossistêmicos, tais como: produção de alimentos, regulação hídrica, regulação climática e estoque de carbono, purificação da água, ciclagem de nutrientes, tamponante de poluentes e contaminantes, suporte físico para infraestruturas, herança arqueológica e cultural, entre tantos outros.

Então, o estudo da natureza do solo possibilita a compreensão de suas propriedades físicas, químicas e biológicas; permitindo compreender o passado e o presente do solo e prever o seu futuro (IUSS Working Group WRB, 2022).

Sob o contexto de mudanças climáticas globais, há cenários que podem efetivamente ameaçar todo o bioma Pantanal, pois com base na variabilidade climática e hidrológica atuais e as projeções de modelos globais explorados no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), é evidenciado que as temperaturas podem se elevar em até 7°C com redução generalizada das precipitações, repercutindo em estiagens mais prolongadas e mudança do balanço hídrico da região e conseqüentemente dos ecossistemas pantaneiros (Marengo; Oliveira; Alves, 2015).

No entanto, o impactos de mudanças climáticas ainda são pequenos face aos danos causados pela ineficiência da gestão ambiental a nível estratégico devido a fragilidade de políticas de mitigação (Marengo; Oliveira; Alves, 2015). Dessa maneira, compreender a diversidade de paisagens sob o ponto de vista pedológico é um desafio para a pesquisa científica sobre o Pantanal, em um cenário onde a dinâmica econômica de uso do território vem se intensificando e comprometendo a qualidade ambiental à custa da integridade dos ecossistemas pantaneiros.



A caracterização, classificação comparativa entre sistemas taxonômicos e a compreensão de serviços ecossistêmicos de solos do Pantanal corrobora a geração e transferência de conhecimento do bioma, individualizando áreas com características ambientais semelhantes e com potencial para subsidiar as melhores estratégias de uso, monitoramento e conservação do recurso solo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistemas de classificação do solo

A classificação e a taxonomia são postulados basilares da ciência, com vistas ao ordenamento dos complexos fenômenos e características da natureza. Trata-se, portanto, de esforços para simplificar as observações da paisagem, frente ao crescente número de informações que são levantadas e disponibilizadas a todo tempo. Desse modo, sistemas de classificação do solo visam atender aos interesses e aspirações humanas (Resende *et al.*, 2015).

Sistemas de classificação do solo refletem o ganho de informações acerca desse recurso pela humanidade ao longo do tempo. O agrupamento de percepções a respeito dos solos é um conhecimento primitivo que vem sendo constantemente aperfeiçoado, sobretudo a partir do final do século XIX, com os critérios de classificação propostos por Dokuchaev e posteriormente com a *Soil Taxonomy*, com publicações de referenciais a partir de 1975 (Resende *et al.*, 2015).

Assim, os sistemas de classificação do solo evoluíram de primitivas classificações ecológicas das terras, que foram concebidos como estratégias de sobrevivência para organizar informações e previsões importantes (com fins utilitaristas) para sistemas taxonômicos, baseando-se em critérios diagnósticos intrínsecos ao solo, suas propriedades morfogenéticas, características individuais e também características covariantes (Resende *et al.*, 2015).

Sistemas de classificação dos solos são importantes ferramentas de predição. Ao estabelecer classes e enquadrar os solos, a partir de suas propriedades e características, em sistemas de organização previamente definidos, é exequível a previsão de atributos e de seu comportamento face a condições ambientais e manejo. Essas previsões não poderiam ser concebidas sem um sistema que possibilitasse algum tipo de organização a partir de classes. Desse modo, sistemas de classificação do solo corroboram para identificar as potencialidades e fragilidades para as mais diversas atividades e funções do solo nos vários biomas do Brasil e mundo, fomentando a transferência de conhecimentos de nível local a global e o uso sustentável do solo (Resende *et al.*, 2015).

Por outro lado, o insuficiente conhecimento acerca dos solos pode contribuir para a perda constante de produtividade agrícola e ocorrência de diferentes processos de degradação física (erosão, assoreamento de cursos d'água, compactação, arenização, desertificação etc.) e química (poluição, alteração dos ciclos biogeoquímicos, emissão de gases de efeito estufa, salinização etc.). Tal fato torna essencial o levantamento, caracterização e classificação do solo e de sua variabilidade espacial nos diversos domínios da natureza do Brasil, com enfoque também na governança.

No Brasil, esforços para sistematizar e classificar os solos são notadamente mais recentes, remontando o final do século XX, sobretudo com a publicação da primeira edição do Sistema

Brasileiro de Classificação de Solos (SiBSC) pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária em 1999. No mundo, esforços da FAO-UNESCO vêm contribuindo para a nomenclatura e padronização dos solos do globo, sobretudo com a publicação da *World Reference Base* (WRB)

Apesar do Brasil figurar entre as grandes economias e maiores produtores de alimentos do mundo, o país contrasta, no que tange ao nível de conhecimento e detalhamento dos solos, com a realidade de outros países como Austrália, Holanda e França, onde são continuamente aplicados recursos na caracterização e cartografia de solos em níveis de detalhe cada vez maiores. Como exemplo, os Estados Unidos possuem mapeamento de solos de abrangência nacional em escalas de 1:20.000 e 1:40.000, possuindo 1 perfil de solo descrito para aproximadamente 15.000 ha. Na realidade brasileira, a densidade média de amostragem é de aproximadamente 1 perfil para cada 100.000 ha do território (Polidoro *et al.*, 2016).

No caso do Brasil as principais informações cartográficas disponíveis de solos são: (i) o mapa de solos do Brasil (editado pela Embrapa, 2011) em escala de 1:5.000.000; (ii) os mapas exploratórios de solos do Projeto Radam Brasil em escala de 1:1.000.000; e (iii) o levantamento de solos realizado pelo IBGE em escala 1:250.000. Reitera-se que os dois últimos não abrangem a totalidade do território brasileiro (Lima *et al.*, 2013). Adicionalmente existem Banco de dados de Solos mantidos por centros de pesquisa, como a Embrapa e universidades.

O nível de conhecimento atual sobre os solos brasileiros é incipiente, com carência de dados e características de solos em escalas adequadas para tomada de decisão. Para fins de compreensão, o território brasileiro possui 5,91% dos solos com reconhecimento de média ou alta intensidade (escala de 1:100.000 ou maior) e apenas 1,31% da cobertura pedológica está em nível semidetalhado (escala 1:50.000). Tais fatos contribuem para que o nível de conhecimento acerca dos solos seja inadequado para orientar o planejamento de uso da terra e tampouco para promover ações de conservação do solo e da água em nível de bacias hidrográficas (Polidoro *et al.*, 2016)

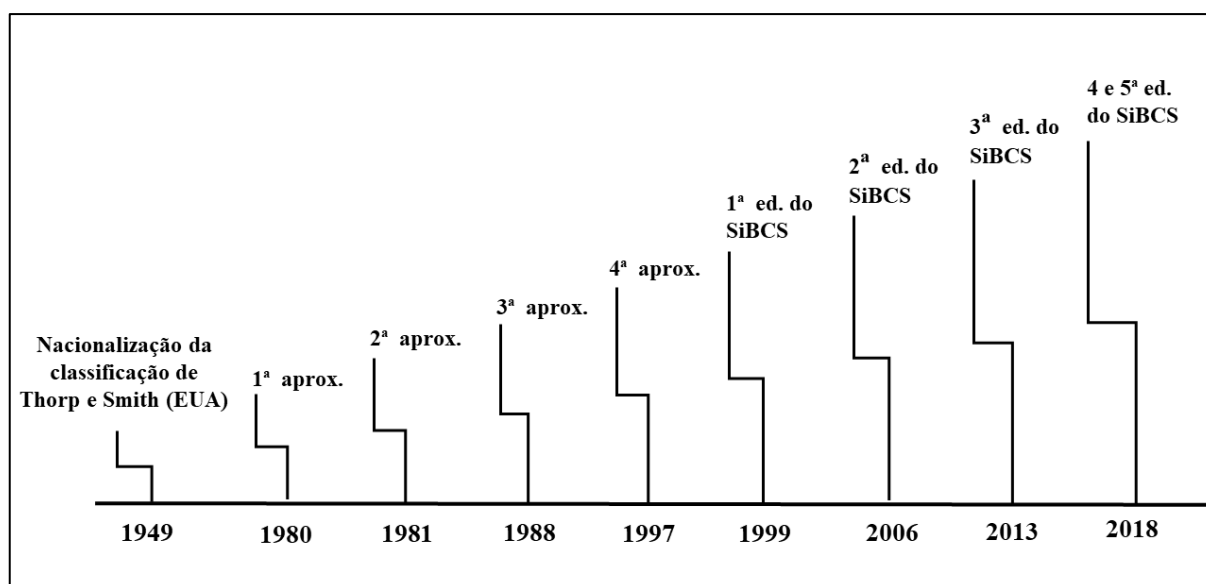
## **2.2 Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**

A classificação de solos no Brasil tem sido essencialmente motivada pelas necessidades decorrentes de levantamentos pedológicos que demandam a classificação de solos. Nesse contexto, o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) foi concebido para ser um sistema taxonômico e possibilitar a comunicação (transferência de conhecimento) sobre as classes de solos do Brasil, estando sujeito a constantes modificações a título de complementações e aperfeiçoamentos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015).

O SiBCS possui trajetória evolutiva fruto do projeto de prioridade nacional compartilhado

por várias instituições de ensino e pesquisa no Brasil ao longo dos anos (Figura 1). O sistema taxonômico foi elaborado a partir do antigo sistema estadunidense, formulado por Baldwin, Kellogg e Thorp (1938), modificado por Thorp e Smith (1949), e foi progressivamente incorporando conceitos e critérios, criação e desmembramento de classes originais e reconhecimento de subclasses, motivadas pelas carências que se iam revelando ao se classificar os solos existentes no território nacional (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015)

Figura 1 – Trajetória evolutiva do SiBCS.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2015.

O SiBCS é um sistema taxonômico, morfopedogenético, multicategórico, aberto e com abrangência no território brasileiro. Sua concepção comporta seis níveis categóricos (Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupo, Família e Série), tendo sido, até o momento, os quatro primeiros níveis estruturados em classes hierárquicas, subsequentes e organizados em chave taxonômica (Anjos *et al.*, 2015).

No nível de Ordem, ocorre 13 classes separadas por propriedades ou características diferenciais, percebidas pela presença ou ausência de horizontes diagnósticos e atuação de processos pedogenéticos. A nível de Subordem (2º nível categórico), as classes são determinadas por atributos diagnósticos, como processos de formação e atributos diferenciais com variações importantes dentro das classes do 1º nível categórico. A nível de Grande Grupo (3º nível categórico), as classes separam-se em função do arranjo de horizontes, atividade da argila, saturação de bases,  $Al^{3+}$  ou  $Na^+$  e/ou por sais solúveis e, também, pela presença horizontes que afetam o desenvolvimento de raízes e drenagem de água no solo. Já o Subgrupo (4º nível categórico) contempla solos intermediários dos níveis categóricos anteriores, além de características extraordinárias que indicam

variações relevantes ou se trata do exemplar típico e central da classe (Anjos *et al.*, 2015).

### 2.3 World Reference Base

A *World Reference Base* (WRB) é o sistema taxonômico adotado pela FAO e endossado pela União Internacional de Ciências do Solo (IUSS) e que substituiu a *Legend for the Soil Map of the World* (FAO/UNESCO), sendo o atual padrão internacional para classificação de solos do mundo. Foi desenvolvido por meio de colaboração internacional entre diversos países e coordenado pelo Grupo de Trabalho da IUSS. A WRB foi concebida para facilitar correlações entre diferentes sistemas de classificação de solos (*Soil Taxonomy*, *Référentiel Pédologique*, sistema russo etc.) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022)

O Grupo de Trabalho da IUSS apresentou a primeira edição da WRB em 1998 durante o 16º Congresso Mundial de Ciência do Solo, em Montpellier; a segunda edição foi lançada em 2006; a terceira no ano de 2015 e, em 2022, foi atualizada a 4ª edição do sistema taxonômico. A WRB baseia-se fortemente em conceitos modernos de classificação de solos e na medida do possível, os critérios de diagnóstico correspondem aos dos sistemas existentes de modo que a correlação com os sistemas nacionais e internacionais anteriores seja a mais direta possível (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022).

A WRB é um sistema hierárquico que se baseia em atributos morfológicos do solo, que por sua vez, refletem os processos pedogenéticos. A WRB possui dois níveis categóricos: O primeiro contém 32 grupos de solo de referência; o segundo nível é composto por combinações de séries de prefixos e sufixos que identificam atributos qualificadores ou modificadores do solo que são adicionados aos grupos de referência, tendo equivalência com o 4º nível categórico do SiBCS (Subgrupo) (Anjos *et al.*, 2015).

A WRB tem sua taxonomia baseada nas propriedades do solo definidas em termos de horizontes diagnósticos, propriedades diagnósticas e materiais diagnósticos, que na medida do possível devem ser mensuráveis e observáveis em campo. O sistema possui uma abordagem abrangente e holística para tratar do recurso pedológico, visando classificar os solos que compõem a crosta terrestre, independente da situação. Nesse contexto, o sistema contempla solos urbanos pavimentados, solos de áreas industriais, solos de cavernas, solos subaquáticos, solos sob rocha contínua, paleoambientes, entre outros (IUSS Working Group WRB, 2022).

Pelo fato de o WRB ser um sistema de classificação abrangente, ele comporta a acomodação dos sistemas nacionais de classificação de solos, no entanto, não pretende ser um substituto para os sistemas nacionais de classificação de solos, mas sim, servir como um denominador comum para

comunicação em nível internacional, pois muitos grupos no WRB são representativos dos solos das principais regiões do globo, o que fornece uma visão ampla da cobertura pedológica mundial (IUSS Working Group WRB, 2022).

#### **2.4 Serviço ecossistêmico e a serrapilheira do solo**

Todas as pessoas no mundo dependem completamente dos ecossistemas da Terra e dos serviços que estes fornecem. Ao longo dos últimos anos, os seres humanos alteraram estes ecossistemas de forma mais rápida e extensiva do que em qualquer período comparável da história humana. Esta transformação do planeta contribuiu para ganhos líquidos substanciais no desenvolvimento econômico, mas nem todas as regiões e grupos de pessoas se beneficiaram deste processo, onde muitos foram prejudicados (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Assim os serviços ecossistêmicos (SE) surgem como um mecanismo que visa mostrar nossa dependência da natureza para obter recursos essenciais à vida e que deve ser considerado e valorado no processo de tomada de decisão como um capital natural (Braga *et al.*, 2021).

Por definição, os serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. A espécie humana, embora protegida contra as mudanças ambientais pela cultura e pela tecnologia, depende fundamentalmente do fluxo de serviços ecossistêmicos. Assim, os serviços ecossistêmicos relacionam-se com o bem-estar humano. Por sua vez, o bem-estar humano tem múltiplos constituintes. Assim os SE podem se relacionar a serviços de suporte (como a ciclagem de nutrientes, formação do solo, produção primária), serviços de provisionamento (como produção de água potável, alimentos, madeiras e fibras), serviços de regulação (como regulação do ciclo hidrológico e do clima) e serviços culturais (como realização espiritual e prazer estético (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

As principais investigações desenvolvidas sobre SE têm por objetivo compreender os processos ambientais e aprender sobre seus custos e benefícios (Prado *et al.*, 2016). O estudo sobre serviços ecossistêmicos cresceu rapidamente nas últimas duas décadas no mundo, e o Brasil acompanhou essa evolução, sendo que a Mata Atlântica e a Amazônia são os biomas mais estudados nas pesquisas brasileiras (Parron *et al.*, 2019).

O solo é um recurso natural de formação muito lenta e está sujeito a pressões crescentes devido a atividades do antropoceno; seus serviços ecossistêmicos proporcionam múltiplos benefícios aos seres humanos. O solo é um dos habitats mais ricos em espécies dos ecossistemas terrestres e as suas funções incluem a produção de biomassa, a manutenção do equilíbrio de nutrientes, a reciclagem química e o armazenamento de água, dentre vários outros serviços ecossistêmicos de

provisionamento, regulação, produção e científicos e culturais (Jónsson; Davíðsdóttir, 2016).

O sistema solo funciona como uma interface tampão/reativa/controladora, cobrindo a maior parte da superfície continental, podendo ser alterado pela ação humana. O interesse pelos serviços ecossistêmicos do solo se justifica dado a sua multifuncionalidade que é base para um sistema complexo intrinsecamente relacionado com a segurança humana, a integridade ambiental e com aspectos económicos (Prado *et al.*, 2016)

A compreensão da dinâmica do solo permite considerar suas funções na avaliação e quantificação dos serviços ecossistêmicos. Assim compreender as funções do solo e a forma de aplicar a abordagem de serviços ecossistêmicos tem sido um desafio, pois são necessários avanços na ciência do solo para compreender suas funcionalidades, especialmente porque os serviços do solo surgem em escalas muito diferentes, variando de microns à paisagem e ao próprio planeta. Considerando ainda as relações complexas entre a gestão do solo e as políticas, há ainda o desafio de evidenciar os SE e desenvolver métodos rápidos e simples para sua avaliação (Prado *et al.*, 2016).

A serrapilheira é um componente do solo e pode abranger a camada de material vegetal parcialmente decomposto ou o material vegetal que se destacou recentemente de uma planta viva, pois não há referência para o início da decomposição da serrapilheira. A presença de uma grande quantidade de serrapilheira no solo tem uma influência significativa na dinâmica do ecossistema florestal (Krishna; Mohan, 2017).

A serrapilheira compreende o material vegetal parcialmente decomposto, constituído por galhos, folhas, frutos, sementes e flores e refugo de difícil caracterização, que é a base de cadeias alimentares terrestres. A decomposição da serrapilheira e a liberação de nutrientes nela contida depende da presença de umidade para lixiviação dos minerais solúveis e compostos orgânicos, ação de grandes organismos detritívoros e decomposição por fungos e bactérias (Ricklefs, 2009).

A ciclagem de nutrientes é ligada à produtividade primária, uma vez que a decomposição da serrapilheira fornece os nutrientes disponíveis para o crescimento vegetal, pois ela possibilita a incorporação de Carbono e demais nutrientes das plantas ao solo. Assim a quantidade e qualidade da serrapilheira determinam o funcionamento e resiliência dos ecossistemas florestais (Giweta, 2020).

Nos ecossistemas florestais, a serrapilheira regula a acumulação de matéria orgânica do solo (MOS), a entrada e saída de nutrientes e a conservação da biodiversidade e a sua produção, composição química e decomposição é dependente de outras variáveis ambientais e antropogênicas, como clima, atributos do solo, diversidade de espécies, padrão estrutural da vegetação, comunidades decompositoras do solo, etc. (Giweta, 2020).

### 3. SOLOS DE AMBIENTES LACUSTRES DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

#### 3.1 Resumo

O Pantanal compreende um conjunto de paisagens heterogêneas e biodiversas de estimado valor ambiental, econômico e social. O estudo dos solos é efetivo para estratificar e compreender o funcionamento desses ambientes. Objetivou-se caracterizar e comparar solos de paisagens lacustres do Pantanal Sul-Mato-Grossense: baías (lagos de água doce), salinas (lagos alcalinos) e suas respectivas cordilheiras (cordões arenosos originalmente com vegetação florestal). Para tanto, realizou-se trabalho de campo com amostragens, em triplicata, de camadas superficiais do solo em 12 áreas representativas da baixa e alta Nhecolândia; procedeu-se determinações analíticas de 26 atributos do solo, totalizando 936 variáveis resposta e; análises estatísticas foram realizadas visando a síntese dos dados e apresentação dos resultados. Em ambas as paisagens predomina a fração areia fina na granulometria do solo. A classe textural dos solos variou de muito arenosa, arenosa média e média arenosa para as baías; muito arenosa para as cordilheiras, com Dp relacionada a presença do quartzo; e muito arenosa, arenosa média, média argilosa e argilosa para as salinas. Com relação aos atributos químicos e matéria orgânica, as baías se destacam pela maior acidez potencial (H+Al), teores de MO ligeiramente elevados e disponibilidade de íons metálicos, sobretudo Fe; nas cordilheiras, maiores médias de P-rem são mais evidentes; já os solos de salinas se relacionam a valores de pH mais alcalinos, elevada saturação por bases e altos índices de saturação por Sódio (ISNa). Paisagens de salinas apresentaram a maior variabilidade de dados e possuem atributos do solo que remetem a ação de diferentes processos ambientais.

**Palavras-chave:** área úmida; Baía; Cordilheira; Salina; Nhecolândia.



### 3.2 Introdução

O Pantanal compreende um mosaico de paisagens com características pedológicas, de fitofisionomias e gradientes de inundação distintos, inseridas no contexto da bacia hidrográfica do rio Paraguai e com território em três países latino-americanos: Brasil, Paraguai e Bolívia. É reconhecido pela exuberância de seus ambientes e por sua grande biodiversidade associada, sendo uma das principais áreas úmidas do mundo (Junk *et al.*, 2006).

Em virtude de serviços ecossistêmicos indispensáveis para a sociedade e manutenção de processos ecológicos, as áreas úmidas têm sido foco de variados estudos científicos (Junk *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2019). Por ser constituído por um conjunto de grandes extensões de áreas úmidas contínuas do planeta, o Pantanal é considerado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988 (Brasil, 1988). Assim, suas paisagens compreendem ambientes reconhecidos pela grande relevância, em termos econômicos, culturais, recreativos, estéticos, científicos e educacionais (Alho; Sabino, 2011; Junk *et al.*, 2006; Schulz *et al.*, 2019).

Apesar da grande relevância ecológica e social que as áreas úmidas intactas fornecem à sociedade brasileira (Junk *et al.*, 2014), o conjunto de ecossistemas pantaneiros são áreas vulneráveis às mudanças promovidas pelas atividades antrópicas (Ab'Saber, 1988; Junk *et al.*, 2006; Oliveira; Pla-Pueyo; Hackney, 2019).

A planície intermitentemente inundada – onde se estabelece o Pantanal - não é homogênea, pois varia em função dos ciclos de inundação e vazante, dentre outras variáveis (Silva; Abdon, 1998). Nesse sentido, as variações geomórficas sutis na abrangência das planícies resultam em diferenças comparativamente grandes na extensão da área de inundação (Junk *et al.*, 2018) influenciando sobre as dimensões físicas, ecológicas e humanas da região pantaneira (Schulz *et al.*, 2019).

Dentre os “Pantanais”, a região denominada Nhecolândia desperta a atenção em virtude da coexistência de centenas de lagos com características geoquímicas distintas, que desembocam em inúmeras interações ecológicas entre os elementos bióticos e abióticos da paisagem (Furquim *et al.*, 2017; Menezes *et al.*, 2022).

Os solos, reconhecidamente, possuem relevância na estratificação da paisagem, permitindo, a partir dos seus atributos, a obtenção de informações de um local, além de evidenciar os processos pedogenéticos atuantes (Resende *et al.*, 2014; Schaefer *et al.*, 2017).

O estudo da natureza do solo possibilita a compreensão de suas propriedades físicas, químicas e biológicas; permitindo compreender o passado e o presente do solo e prever o seu futuro (IUSS Working Group WRB, 2022). Dessa maneira, compreender a diversidade de paisagens sob o ponto de vista pedológico é um desafio para a pesquisa científica sobre o Pantanal, em um cenário

onde a dinâmica econômica de uso do território vem se intensificando à custa da integridade dos ecossistemas pantaneiros.

Estudos de pedologia nos ambientes do Pantanal ainda são escassos, o que indica a necessidade de pesquisas de levantamento e caracterização dos solos para as grandes áreas da planície inundável (Menezes *et al.*, 2022). Assim, a caracterização dos solos nas paisagens lacustres de regiões pantaneiras corrobora a definição de regiões mais homogêneas e informações ambientais em escala mais abrangente, individualizando aquelas com características semelhantes e com potencial para subsidiar estratégias de uso e monitoramento dos recursos naturais, contribuindo para a gestão sustentável e preservação (Cunha; Junk, 2009; Junk *et al.*, 2018; Schulz *et al.*, 2019).

O objetivo deste estudo é realizar a caracterização e comparação dos atributos químicos, físicos e de matéria orgânica de solos de diferentes paisagens de sistemas lacustres do Pantanal da Nhecolândia: baías (lagos de água doce), salinas (lagos alcalinos) e as respectivas cordilheiras (cordões arenosos originalmente com vegetação florestal).

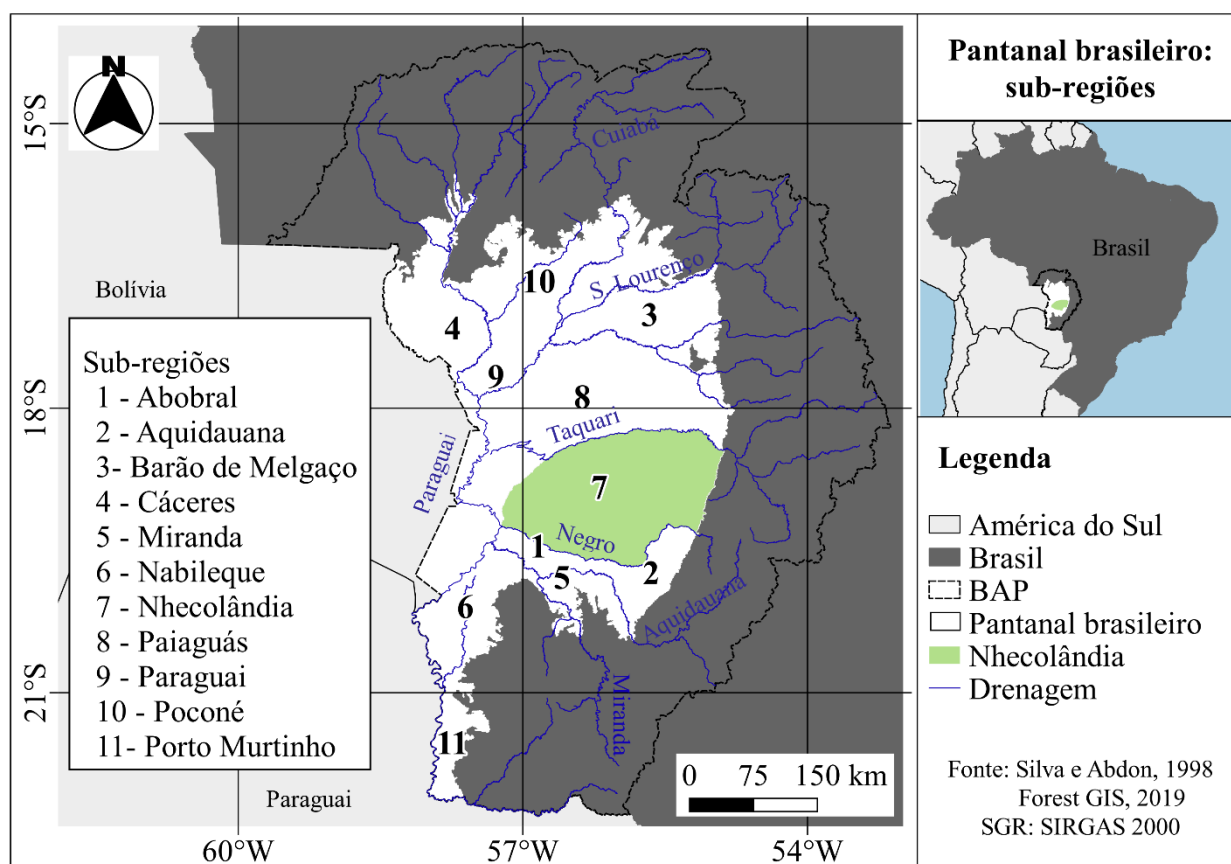
### 3.3 Materiais e métodos

#### 3.3.1 Área de estudo

O Pantanal é uma bacia sedimentar ativa preenchida com uma sequência espessa de sedimentos quaternários, cujas características geomórficas são relíquias de mudanças paleoclimáticas e paleogeográficas ocorridas desde o Pleistoceno (Assine; Soares, 2004). Sua litologia é compreendida majoritariamente pela unidade litoestratigráfica denominada Formação Pantanal, caracterizada pela presença de depósitos aluviais antigos recobertos por sedimentos mais recentes que constituem as planícies de inundação formando camadas sobre o embasamento Paleozóico da bacia do rio Paraguai (Bazzo; Cardoso; Santos, 2012).

A área de estudo corresponde à região da Nhecolândia, que faz parte do Pantanal brasileiro, abrangendo uma área de 26.921 km<sup>2</sup>, correspondente a 19,5% da sua área total (Silva; Abdon, 1998). Limita-se ao norte pelo rio Taquari, a leste pelo planalto da Serra de Maracaju, ao sul pelo rio Negro e a oeste pela confluência dos rios Taquari e Negro com o rio Paraguai (Figura 2).

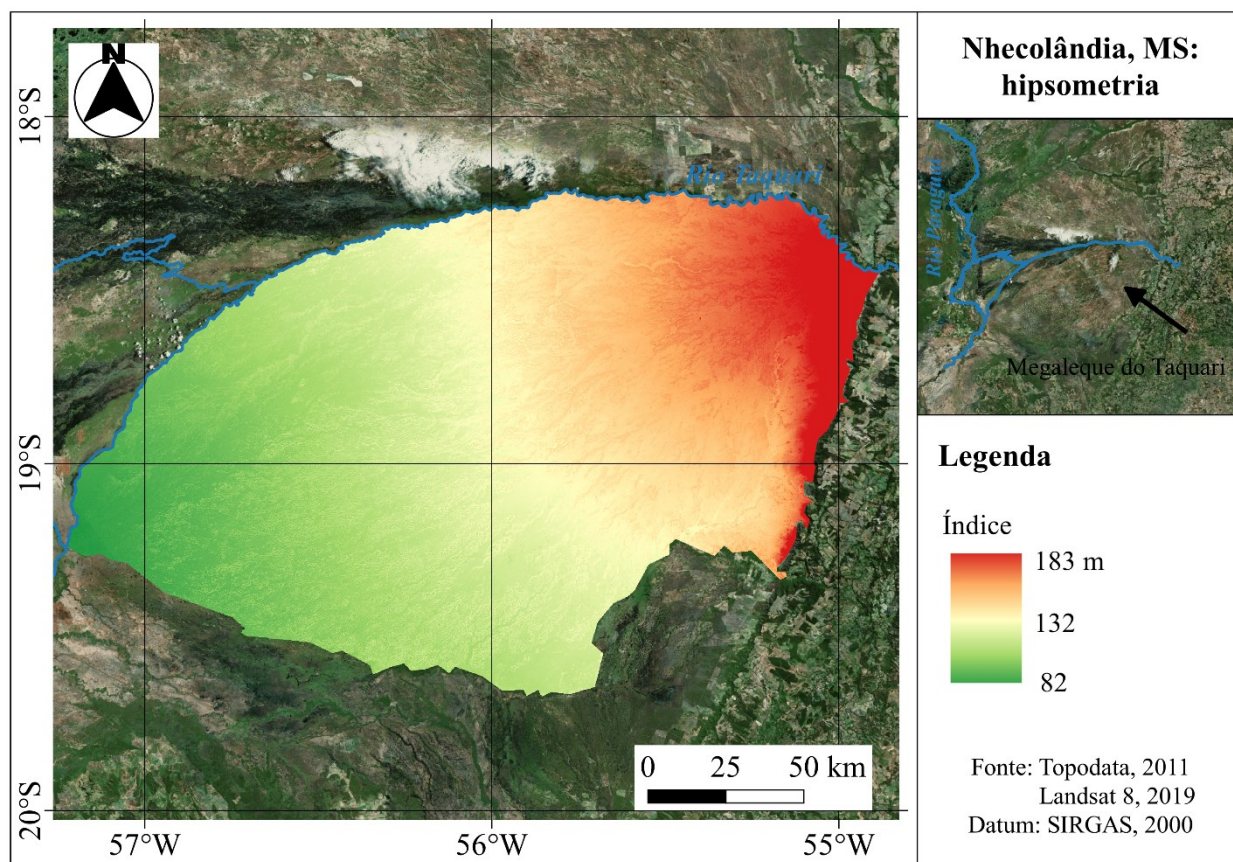
Figura 2 – Região da Nhecolândia no Pantanal brasileiro.



Fonte: SILVA; ABDON, 1998. Elaborado pelo autor.

A Nhecolândia se situa na porção sul do megaleque aluvial do rio Taquari, em cotas hipsométricas baixas, entre 82 e 183 m acima do nível do mar (Figura 3). É constituída por lóbulos deposicionais abandonados em duas situações contrastantes: a região superior marcada por paleossolos e antigos canais de drenagem; e a região inferior que concentra centenas de pequenos lagos (Guerreiro *et al.*, 2018).

Figura 3 – Hipsometria no Pantanal da Nhecolândia, MS.



Fonte: TOPODATA, 2011 e USGS, 2019. Elaborado pelo autor.

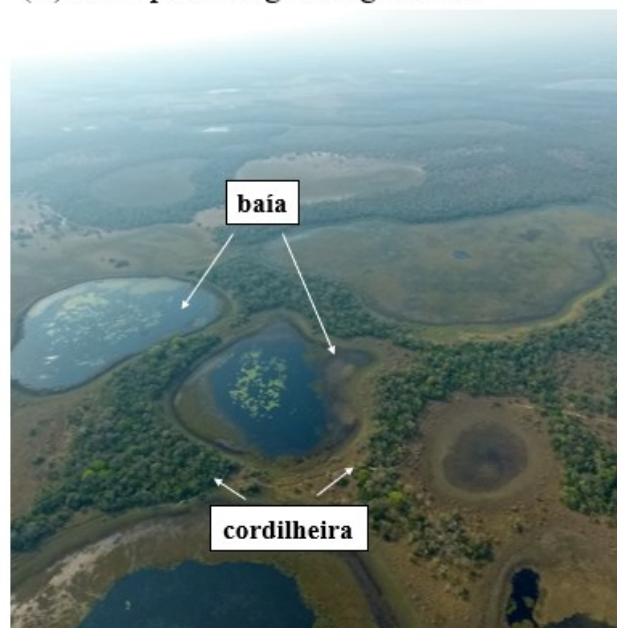
As paisagens da Nhecolândia possuem denominações regionais típicas, como: baías, salinas e cordilheiras (Figura 4). As salinas normalmente encontram-se associadas a renques arenosos (chamados cordilheiras), constituídas por águas alcalinas e comumente com presença de carbonato de cálcio e conchas preservadas de moluscos (Assine; Soares, 2004), possuindo pH básico ( $\sim 10$ ) e elevada condutividade elétrica ( $500-65.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Já as baías podem ocorrer dissociadas de cordilheiras em meio a canais intermitentes (vazantes e corixos), que se conectam periodicamente à rede de drenagem superficial, podem atingir a profundidades de  $\sim 2$  m e pH variando de 5 a 8, baixa condutividade elétrica ( $750-2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) e presença de macrófitas (Guerreiro *et al.*, 2018).

Figura 4 – Imagens aéreas de paisagens no Pantanal da Nhecolândia, MS.

(A) Exemplo de lago alcalino-salino



(B) Exemplo de lago de água doce



Fonte: Imagens obtidas por drone. Elaborado pelo autor.

O clima da região da Nhecolândia se enquadra no tipo Aw (Köppen; Geiger, 1928). A temperatura média anual do ar é de 25 °C, com médias de mínimas e máximas de 18 e 29 °C, respectivamente; o regime de chuvas possui dois períodos bem definidos: um chuvoso (outubro a março), que concentra cerca de 80% do volume total de chuvas, e outro seco (abril a setembro), tipicamente de clima tropical savânico. A precipitação média anual é de 1100 mm. A evapotranspiração da região é superior a precipitação, totalizando uma deficiência hídrica anual de 289 mm (INMET, 2019).

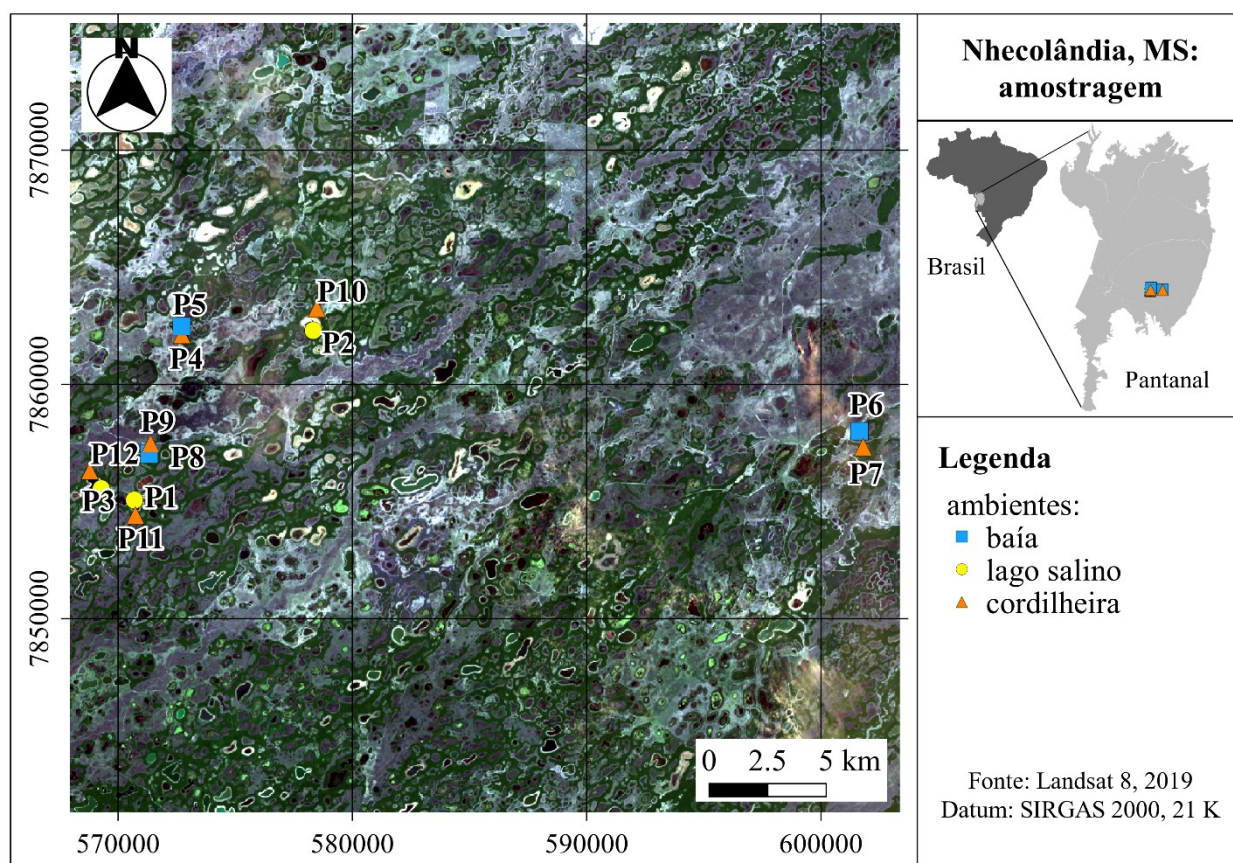
A Nhecolândia comporta formações vegetais constituída por espécies de fitofisionomias do Cerrado, compreendendo Campos inundáveis, Cerrados, Cerradões e Florestas. As formas de vegetação são fortemente influenciadas pela topografia local e pelos diferentes níveis de inundação ou alagamento, assim há a presença de estrato de vegetação arbórea, campestre e aquática (Bazzo; Cardoso; Santos, 2012).

### 3.3.2 Delineamento amostral e coletas de solo

Com a mediação de imagens do satélite Landsat-8 OLI, foram selecionadas paisagens típicas do Pantanal da Nhecolândia: baías, cordilheiras associadas às baías, salinas e cordilheiras associadas às salinas. Em campo, doze pontos de amostragem foram estabelecidos (Figura 5) através de tradagens (trado holandês), a partir de onde foram diferenciadas as classes de solos com base em

atributos morfológicos (cor, mosqueados, textura, presença de nódulos e concreções etc.) e então estabelecidos pedons representativos para proceder as coletas. Os trabalhos de campo foram conduzidos durante períodos de vazante (estação seca), onde se torna possível a prospecção de amostras nas extensas bordas de ambientes sazonalmente inundáveis.

Figura 5 – Pontos de amostragem e coletas de solo.



Fonte: Landsat 8 OLI - USGS, 2019. Elaborado pelo autor.

Em cada um dos pontos (Figura 5), foram coletadas nove amostras de solo na camada 0-20 cm, totalizando 108 amostras simples que posteriormente foram homogeneizadas em 36 amostras compostas. Os procedimentos de coleta, na camada 0-20 e em diversos pontos do terreno, estão em consonância com o preconizado no manual de coleta e descrição de solo no campo, para fins de caracterização analítica da variação de atributos do solo (Santos *et al.*, 2015).

Em laboratório as amostras compostas de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de aço inoxidável com 2 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente as amostras foram destinadas para a realização de análises químicas, físicas e de matéria orgânica do solo.

### 3.3.3 Caracterização química, física e da matéria orgânica do solo

Foram determinados 26 atributos do solo, a saber: atributos físicos (areia grossa, areia fina, silte, argila e densidade de partículas), químicos (pH H<sub>2</sub>O, pH KCl, P, K, Na, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al, SB (soma de bases trocáveis), t (CTC efetiva), T (CTC a pH 7), V% (porcentagem de saturação por bases), m% (porcentagem de saturação por alumínio), ISNa (índice de saturação por Na), Cu, Mn, Fe, Zn, P-remanescente e matéria orgânica do solo. Os métodos de análises, unidades do SI adotadas e a precisão analítica estão de acordo com recomendações descritas por Teixeira *et al.* (2017).

### 3.3.4 Análises estatísticas

Para a estatística descritiva foram calculadas medidas de tendência central (média e mediana), de posição (quartis), de dispersão (desvio padrão e intervalo interquartil), além de valor mínimo e máximo. Para a Análise de Componentes Principais, os dados foram previamente padronizados, uma vez que as variáveis estão em escalas diferentes. No teste de hipótese com dados multivariados (PERMANOVA), os ambientes foram avaliados através da função de comparação múltipla de grupos multivariados *pairwise.perm.manova* do pacote *RVAideMemoire*. O nível de significância considerado foi de 5% de probabilidade.

As análises foram realizadas no software R 4.1.1 (2022), utilizando os pacotes *FactoMineR* (Husson *et al.*, 2020), *factoextra* 1.0.7 (Kassambara; Mundt, 2020), *dplyr* (Wickham *et al.*, 2022), *ggplot2* (Wickham *et al.*, 2022), *RVAideMemoire* (Hervé, 2022) e *vegan* (Oksanen *et al.*, 2022) e apresentadas em tabelas e gráficos.

### 3.4 Resultados e discussão

#### 3.4.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

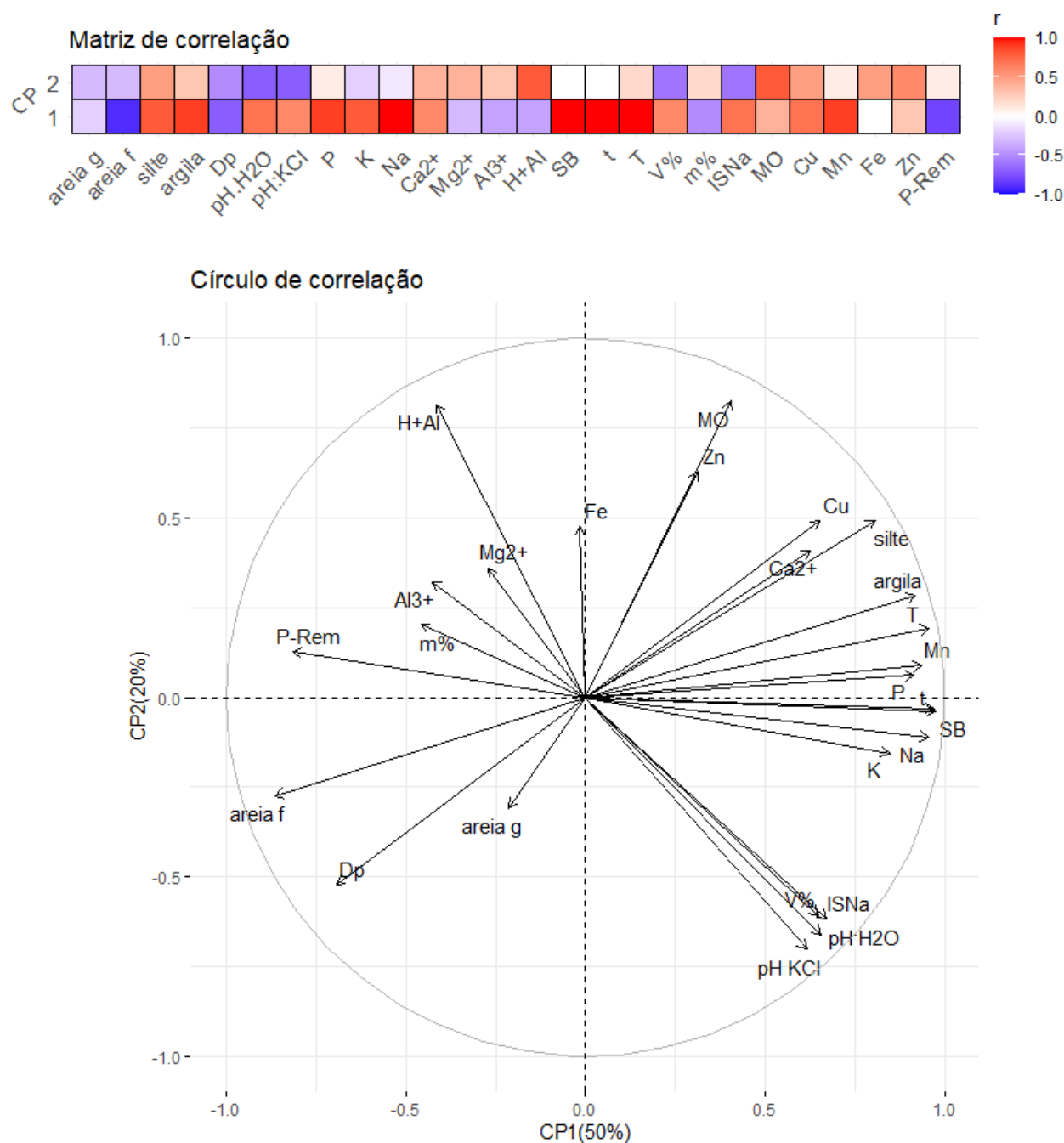
A ACP contemplou o conjunto de 936 variáveis resposta (26 atributos do solo x 36 amostras compostas). O primeiro componente principal (CP1) foi responsável por representar 49,9% da variância total dos dados, já o segundo componente (CP2) 20,2%, portanto, os dois primeiros componentes principais foram suficientes para explicar 70% da variância total dos dados (Figura 6). O limiar de 70% da variância total explicada é um ponto de corte comum para a definição do número de CPs a serem avaliadas (Jolliffe; Cadima, 2016). Sendo assim, foram considerados os dois primeiros componentes.

Com relação ao CP1, os atributos do solo que tiveram maior contribuição foram SB, t, T, Na, Mn, argila, P e areia fina (Figura 6). A contribuição desses atributos corresponde a 54,1% do CP1, portanto, entende-se que esse componente principal represente principalmente esses atributos. Já na CP2, os atributos que contribuíram de maneira mais evidente foram MO, H+Al, pH KCl, pH H<sub>2</sub>O, Zn, ISNa, V% e Dp, cujo peso da contribuição somou 70,9% neste componente.

A representação gráfica da ACP é apresentada na matriz e círculo de correlação de variáveis (Figura 6).



Figura 6 – Matriz e círculo de correlação das componentes principais CPs 1 e 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a correlação das variáveis com o componente principal 1, nota-se que dentre as variáveis que mais contribuem (SB, t, T, Na, Mn, argila, P e areia fina), todas possuem uma correlação positiva muito forte com esse componente ( $r > 0,90$ ), exceto areia fina, cujo  $r$  é  $-0,86$ , estando negativamente correlacionada com o CP1 (Figura 6). Já o CP2 é caracterizado por apresentar correlação positiva com os atributos MO, H+Al e Zn ( $r$  0,82; 0,81 e 0,61,

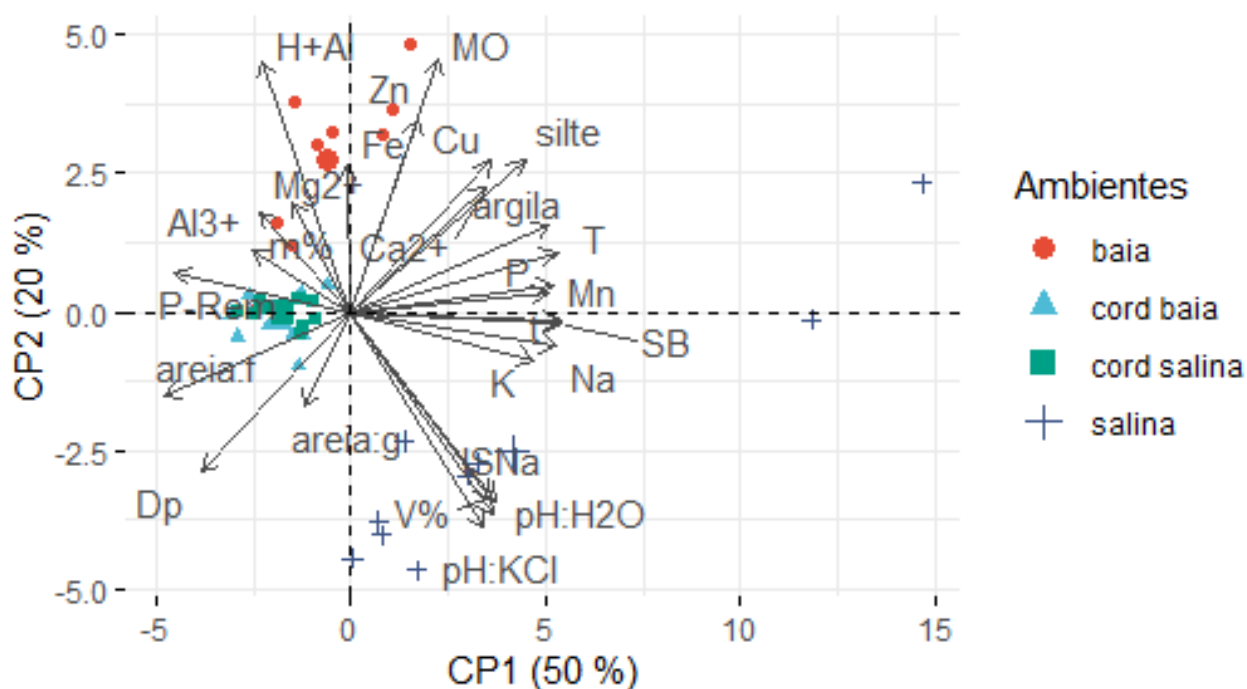
respectivamente) e correlação negativa com pH KCl, pH H<sub>2</sub>O e ISNa (r -0,70; -0,66 e -0,61, respectivamente).

O círculo de correlações das variáveis resposta (Figura 6), evidencia que os atributos pH H<sub>2</sub>O, pH KCl, ISNa e V% estão altamente correlacionadas entre si. Constata-se que esse grupo de variáveis está correlacionado positivamente ao CP1 e opostamente ao CP2. Do mesmo modo, existe associação entre um amplo grupo de variáveis, como MO, Zn, K, Na, SB, P, t, T, Mn, argila e silte. Ainda em relação ao gráfico, é possível constatar que H+Al possui uma relação inversa com pH, V% e ISNa, bem como areia f e Dp possuem uma relação inversa com MO, Zn, Cu, Ca, silte e argila. As variáveis m%, Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe e areia grossa, apresentaram uma baixa qualidade de representação (vide comprimento do vetor).

A representação combinada das coordenadas dos pontos amostrais e variáveis respostas (vetores) da CP1 e CP2 é apresentada em gráfico biplot (Figura 7).

As amostras de salinas estão relacionadas aos maiores valores de ISNa, pH H<sub>2</sub>O, V% e pH KCl. O ambiente de baía, possui uma relação positiva com as variáveis H+Al, MO, Zn, Fe e Cu. Já ambos os ambientes de cordilheiras apresentam comportamento muito semelhante na ACP, o que indica grande similaridade de condições ambientais dado as sobreposições evidenciadas, estando relacionadas positivamente com os atributos P-Rem, frações areia e Dp (Figura 7).

Figura 7 – Gráfico biplot de representação das CPs 1 e 2 e coordenadas amostrais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4.2 Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA)

O uso de testes de hipótese com dados multivariados visa obter inferências sobre as várias médias de atributos do solo para testar a igualdade das variáveis respostas, que são tidas como preditores comuns das paisagens estudadas. Para definir se as médias são estatisticamente significativas, foram selecionados para análise aqueles atributos com maior contribuição na CP1 e CP2: SB, t, T, Na, Mn, argila, P, MO, H+Al, pH KCl, pH H<sub>2</sub>O, Zn, ISNa.

Com base no teste de normalidade multivariada de Henze-Zirkler ( $p < 0,001$ ), os dados não possuem uma normalidade multivariada (requisito para a realização da MANOVA) o que motivou a realização da PERMANOVA.

Procedeu-se a análise da PERMANOVA, sendo observado um efeito significativo de ambientes, ou seja, existe uma diferença significativa entre ambientes, em outras palavras, o ambiente é influenciado pelas variáveis resposta. Como a PERMANOVA indicou efeito significativo de ambientes, procedeu-se a comparação entre grupos de permutação em matriz de distância euclidiana (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação múltipla entre grupos de permutação em uma matriz de distâncias.

	baía	cord. baía	cord. salina
cord. baía	0,0012**	-	-
cord. salina	0,0012**	0,267ns	-
salina	0,0012**	0,0012**	0,0012**

Fonte: Organizado pelos autores

Com base no teste de comparação, constatou-se que ocorre diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os grupos testados, exceto entre os ambientes “cordilheira baía” e “cordilheira salina”, que possuem igualdade estatística dos atributos do solo simultaneamente avaliados.

### 3.4.3 Resultados analíticos e estatísticas descritivas

De posse dos resultados obtidos (Tabela 2), atributos dos solos característicos das paisagens de baía (B), cordilheira (C) e salina (S) são evidenciados.

A fração areia fina predomina nos solos, sobretudo nas cordilheiras. Para as baías, cordilheiras e salinas, o teor médio de areia fina na composição granulométrica do solo é, respectivamente: 622, 696 e 557 g kg<sup>-1</sup>. Teores de argila maiores e com elevada dispersão são

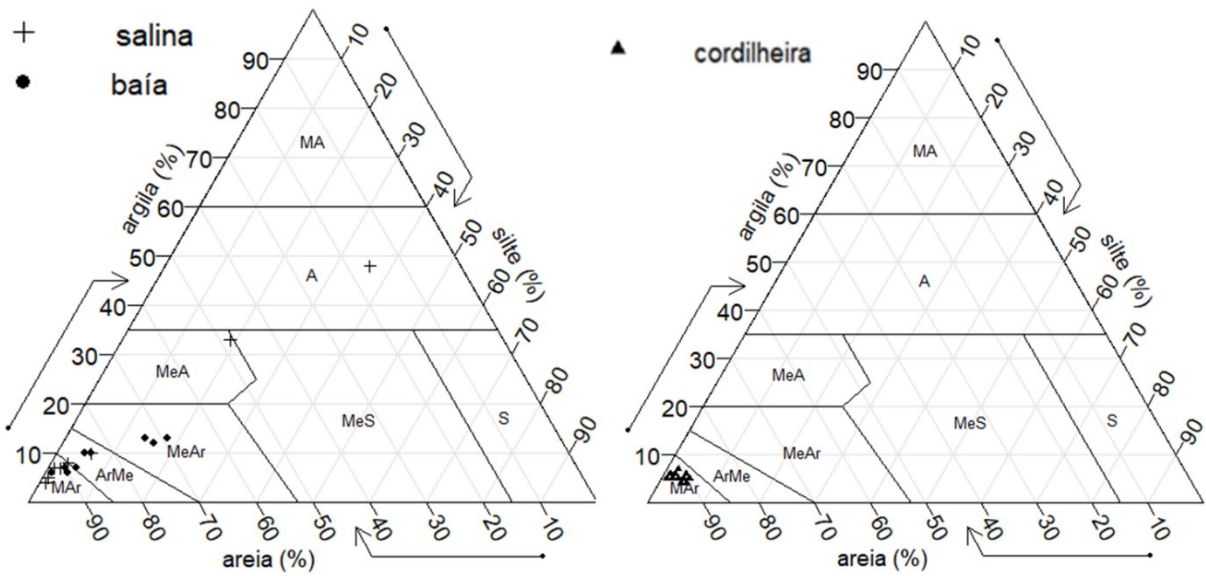
observados em ambientes de salinas ( $143 \pm 144 \text{ g kg}^{-1}$ ), seguido de baías ( $92 \pm 28 \text{ g kg}^{-1}$ ). Já nos ambientes de cordilheira o teor de argila é, em média,  $52 \text{ g kg}^{-1}$ . A granulometria do solo reflete na ocorrência de variadas classes texturais (Figura 8). Os ambientes de cordilheira apresentam menor variabilidade de classes texturais.

1 Tabela 2 – Resultados das análises físicas, químicas e da matéria orgânica do solo.

ID / Paisagem	Granulometria				Dp	pH		P	Cátions trocáveis					
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		H2O	KCl		Mehlich	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	g kg <sup>-1</sup>				kg dm <sup>-3</sup>	-		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>			cmolc kg <sup>-1</sup>		
P1	S	166±11	767±11	10±1	57±16	2,61±0,04	10,2±0,0	9,2±0,2	5±0	130,13±45,44	351,77±63,46	0,4±0,1	0,0±0,0	0,0±0,0
P2	S	157±68	336±211	203±122	304±154	2,41±0,09	10,0±0,0	8,3±0,1	40±32	391,39±342,04	238,11±224,50	0,8±0,0	0,1±0,1	0,0±0,0
P3	S	346±49	569±41	19±9	66±9	2,61±0,03	8,8±1,9	7,5±2,3	18±6	410,47±146,53	832,37±106,43	0,7±0,3	0,1±0,1	0,0±0,0
P5	B	175±12	703±22	46±2	76±15	2,57±0,04	5,5±0,1	4,0±0,0	1±0	32,80±3,46	6,23±1,47	0,8±0,1	0,1±0,0	0,2±0,1
P6	B	199±7	514±9	160±17	127±7	2,42±0,03	5,7±0,1	4,4±0,0	1±0	53,97±6,99	7,67±2,41	1,5±0,3	0,3±0,1	0,0±0,0
P8	B	241±13	651±25	34±22	74±17	2,54±0,04	5,1±0,5	3,9±0,2	1±0	10,87±10,01	1,10±1,56	0,4±0,2	0,0±0,0	0,3±0,1
P4	CB	192±13	712±8	52±1	44±5	2,63±0,03	5,8±0,2	4,9±0,3	5±1	38,50±9,61	0,00±0,00	1,1±0,3	0,2±0,1	0,0±0,0
P7	CB	189±20	740±23	12±8	59±2	2,61±0,03	5,6±0,2	4,0±0,1	2±0	20,77±5,05	0,00±0,00	0,1±0,0	0,1±0,0	0,3±0,1
P9	CB	244±13	661±25	41±22	54±17	2,62±0,04	5,5±0,2	4,5±0,2	7±3	26,97±7,43	0,00±0,00	0,9±0,1	0,3±0,1	0,1±0,1
P10	CS	203±34	726±35	24±13	47±4	2,61±0,01	5,2±0,3	4,4±0,5	4±1	23,27±10,20	0,00±0,00	0,7±0,5	0,2±0,1	0,2±0,1
P11	CS	195±14	726±12	23±6	56±8	2,61±0,03	5,2±0,1	4,3±0,2	9±2	23,10±3,43	0,00±0,00	0,5±0,3	0,1±0,0	0,1±0,1
P12	CS	301±84	612±94	39±9	48±2	2,64±0,03	5,7±0,1	4,7±0,1	8±2	33,93±4,13	0,00±0,00	1,0±0,2	0,3±0,0	0,0±0,0
ID / Paisagem	Acidez	Complexo sortivo				m	ISNa	microelementos				P-rem	MO	
	H+Al	SB	t	T	V			Cu	Mn	Fe	Zn			
	cmolc kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>				%	%	mg kg <sup>-1</sup>			mg L <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		
P1	S	0,0±0,0	2,3±0,2	23±0,2	2,3±0,2	100±0	0±0	67±5	0±0	13±3	7±1	0±0	40,7±3	0,3±0,1
P2	S	0,7±0,5	3,0±1,8	3,0±1,7	3,7±1,2	100±0	0±0	60±13	0±0	46±17	32±39	0±0	15,4±8	1,9±1,4
P3	S	0,5±0,8	4,4±1,8	4,4±1,8	4,9±1,3	86±19	0±0	68±4	0±0	77±26	197±148	0±0	26,4±5	0,2±0,2
P5	B	2,8±0,5	1,0±0,2	1,2±0,2	3,8±0,7	27±0	14±2	1±0	0±0	27±9	205±56	0±0	44,3±2	2,5±0,6
P6	B	2,9±0,4	1,9±0,4	1,9±0,4	4,8±0,8	40±1	0±0	1±0	0±0	39±5	248±51	1±0	43,4±3	2,4±0,4
P8	B	2,8±1,1	0,5±0,2	0,7±0,4	3,3±1,4	14±4	37±2	0±0	0±0	9±5	303±108	0±0	39,2±6	1,9±0,9
P4	CB	1,0±0,2	1,4±0,4	1,4±0,4	2,4±0,2	58±12	0±0	0±0	0±0	20±2	20±13	0±0	55,8±1	0,6±0,1
P7	CB	1,7±0,0	0,3±0,1	0,6±0,1	1,9±0,0	16±4	47±8	0±0	0±0	17±3	34±9	0±0	48,2±2	0,4±0,0
P9	CB	1,1±0,3	1,3±0,2	1,4±0,1	2,4±0,3	55±9	7±10	0±0	0±0	26±8	36±10	0±0	51,1±1	0,5±0,2
P10	CS	1,3±0,3	0,9±0,7	1,1±0,6	2,2±0,4	38±21	23±18	0±0	0±0	23±11	35±12	0±0	48,4±2	0,7±0,2
P11	CS	1,9±0,0	0,7±0,3	0,9±0,2	2,6±0,3	26±9	19±14	0±0	0±0	24±4	22±6	0±0	46,0±2	0,9±0,1
P12	CS	1,2±0,1	1,4±0,2	1,4±0,2	2,6±0,3	54±5	0±0	0±0	0±0	34±5	15±2	0±0	54,0±1	0,7±0,0

2 Fonte: Organizado pelo autor. Média aritmética seguida de desvio padrão. Legenda: baía (B), cordilheira baía (CB) cordilheira salina (CS) e salina (S).

Figura 8 – Triângulos texturais dos ambientes de baía, cordilheira e salina.

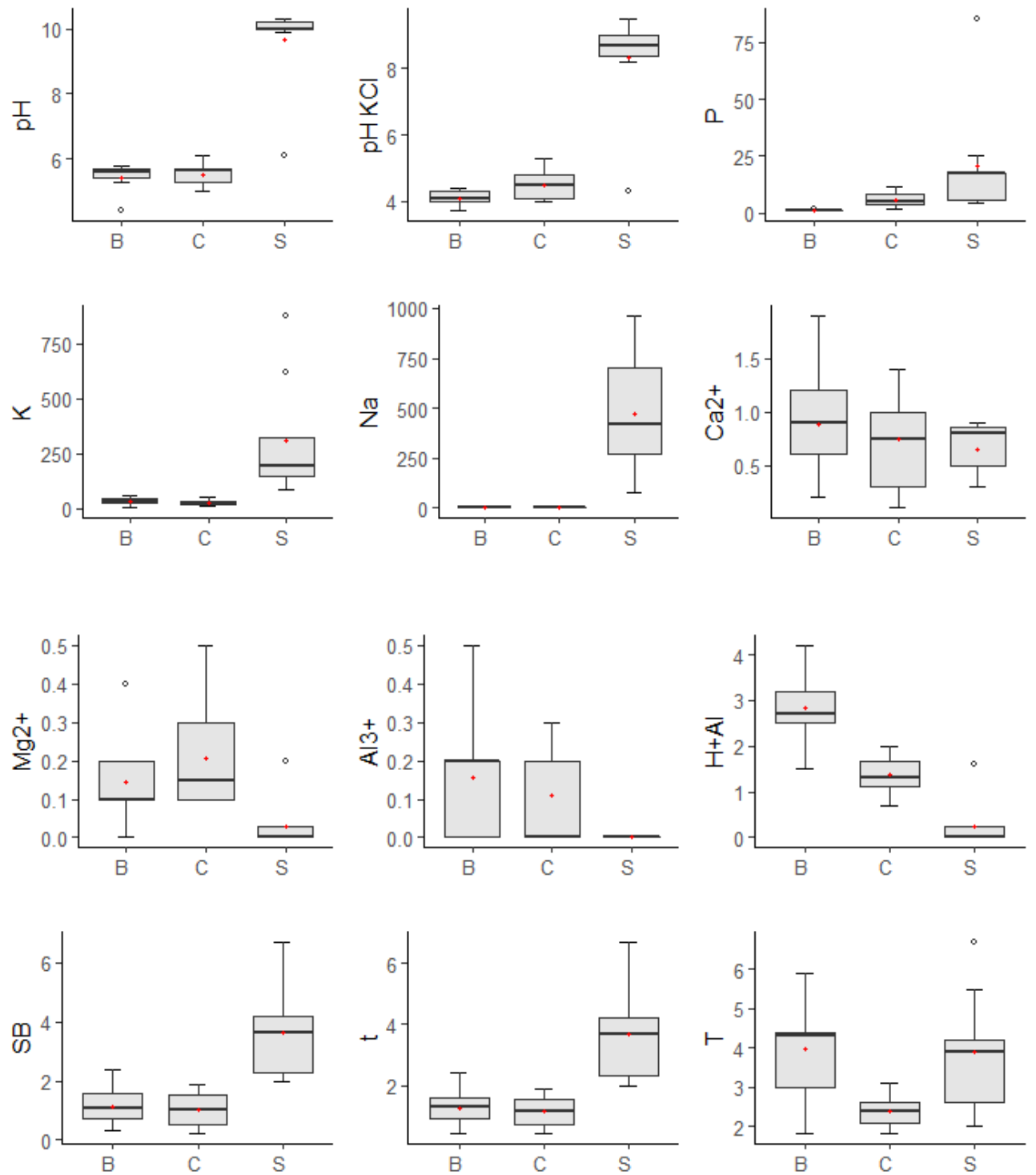


Fonte: Teixeira *et al.*, 2017. Elaborado pelo autor.

A média da densidade de partículas ( $D_p$ ) nas cordilheiras é a mais elevada ( $2,62 \text{ kg dm}^{-3}$ ) se comparada com as das baías e salinas ( $2,51$  e  $2,54 \text{ kg dm}^{-3}$ , respectivamente).

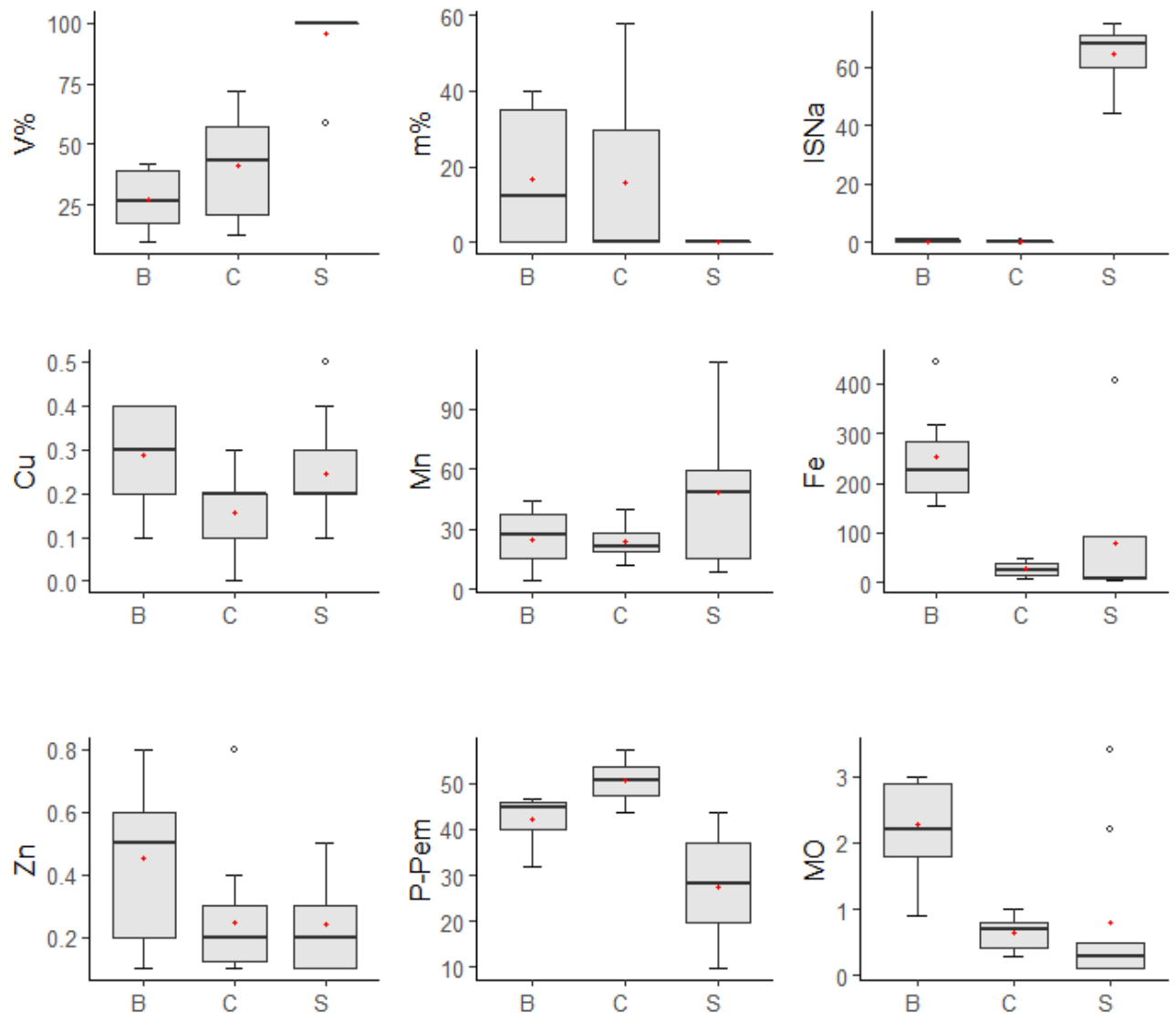
Gráficos boxplot (Figuras 9 e 10) comparam a variabilidade dos atributos químicos e matéria orgânica do solo, através das medidas de estatísticas descritivas (valores mínimos, máximos, quartis, IIQ, mediana, média e *outliers* da base de dados).

Figura 9 – Boxplots dos atributos químicos do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor. Unidades: vide tabela 2. Abreviações: B = baía, C = cordilheira, S = salina.

Figura 10 – Boxplots dos atributos químicos e matéria orgânica do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor. Unidades: vide tabela 2. Abreviações: B = baía, C = cordilheira, S = salina.

#### 3.4.4 Relação solo-paisagem

As baías são áreas sujeitas ao pulso de inundação sazonal da planície pantaneira, e se conectam periodicamente à rede fluvial através de corixos e vazantes. Os atributos do solo mais relacionados são: H+Al, MO e Fe.

Tais atributos são tradicionalmente relacionados ao processo de podzolização (solos ácidos devido ao acúmulo de vegetação em decomposição e consequente iluviação de MO e óxidos no horizonte espódico). No entanto, pesquisas (Menezes *et al.*, 2022; Schiavo *et al.*,



2012) vêm apontando particularidades (MO, pH, Al, Fe) dos solos do Pantanal que divergem da literatura central sobre *Podzols* (Espodosolos), que é mais relacionada a regiões bioclimáticas frias com vegetação de coníferas (Resende *et al.*, 2014).

Comparando baías, cordilheiras e salinas, constatou-se que os maiores teores de MO foram observados em baías, porém em baixos níveis ( $2,3 \pm 1,1 \text{ g kg}^{-1}$ ). Em três perfis de uma baía da Nhecolândia, Menezes *et al.* (2022) também determinaram, em horizontes superficiais, baixos teores ( $< 10,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) de MO, sem observar a ocorrência de acumulação iluvial em subsuperfície característica do processo de podzolização (Menezes *et al.*, 2022).

A condição do aporte de MOS nas baías é atribuída à anaerobiose e deposição de remanescentes orgânicos pelo ciclo sazonal de cheia, especialmente de macrófitas aquáticas (Cardoso *et al.*, 2016). Já os baixos níveis de MO verificados têm relação com maior taxa de ciclagem dos constituintes orgânicos em paisagem tropical dinâmica.

A MOS atua como ácido fraco com ação tamponante em ampla faixa de pH do solo (Silva; Mendonça, 2007). Esse processo, em nosso estudo, se relaciona com a acidez ativa média (pH  $\text{H}_2\text{O}$   $5,4 \pm 0,4$ ) e, conseqüentemente, com os maiores valores observados ( $2,6 \pm 0,8 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ) de acidez potencial (H+Al) na camada superficial dos solos de baías. Também, sob pH ácido, o alumínio se torna mais solúvel, o que contribui para valores de Índice de Saturação por Alumínio elevados (valor m de até 40%).

Como efeito indireto do pH está a atividade de  $\text{H}^+$ , que altera a solubilidade dos micronutrientes do solo, tornando-os mais disponíveis em meio mais ácido (Sousa; Miranda; Oliveira, 2007). Esse processo é típico das paisagens de baía de nosso estudo, sendo caracterizadas por teores elevados de Fe ( $252 \pm 86 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e, comparativamente, também do Zn ( $0,5 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mesmo com incipiente MOS.

As paisagens de cordilheiras estão situadas em cotas hipsométricas ligeiramente superiores aos dos ambientes lacustres (até  $\sim 5\text{m}$ ), onde predomina reduzida pedogênese, por ser área pouco sujeita a ciclos de inundação somado a um clima com pronunciados déficits hídricos. Assim, os solos são pouco desenvolvidos, com textura arenosa (frações areia  $> 900 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Dp, variando de ( $2,59 - 2,66 \text{ kg dm}^{-3}$ ) (Tabela 2), refletindo a presença dominante do quartzo (peso específico de  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ ) na composição mineralógica do solo.

A predominância de areias de granulometria fina, originada de áreas fontes ao longo do megaleque do rio Taquari, é um processo sugestivo das condições paleoclimáticas operadas no Pleistoceno, devido a deflação eólica, com remobilização, transporte e sedimentação das areias finas (Soares; Soares; Assine, 2003). Com o advento de período mais úmido novos retrabalhamentos vêm alterando a paisagem muito rapidamente, potencializados

pela ação humana, com aumento da erosão e aporte de sedimentos no leque aluvial (Assine; Soares, 2004).

As paisagens de cordilheiras apresentam baixa quantidade de cátions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) em condição permutável (t); bem como baixos níveis de CTC a pH 7 (T), indicando pequena capacidade para reter cátions em forma trocável. Variações dos atributos dos solos nesses ambientes, como a saturação por alumínio (m%), não é devido a influência dos ambientes lacustres, hipótese verificada pelo teste PERMANOVA (Tabela 1). As elevadas médias de P-rem nas cordilheiras estão relacionadas a baixa capacidade de adsorção dos solos nessas paisagens, devido ao baixo teor de MO e textura arenosa (Tabela 2). Dado os atributos físicos e químicos dessas paisagens, a substituição de cordilheiras por pastagens favorece a erosão dos solos.

Solos salino-sódicos resultantes da acumulação de água em canais abandonados em altos topográficos durante o Holoceno são característicos de salinas (Furquim *et al.*, 2017). Solos afetados por sais têm características ainda pouco compreendidas em muitas situações em todo o mundo (Oliveira Junior *et al.*, 2019). Acreditava-se que as salinas permaneciam isoladas das cheias em níveis mais elevados (Guerreiro *et al.*, 2018; Radam Brasil, 1982). No entanto, perspectivas recentes vêm apontando para a degradação das salinas pelo aporte atípico de água doce (Furquim *et al.*, 2017).

A Nhecolândia passou por dessalinização geral em decorrência da dinâmica fluvial estabelecida em fases climáticas úmidas com o fim do Pleistoceno. Assim, algumas salinas vêm experimentando a lixiviação dos solos por enchentes sazonais, modificando os atributos pedológicos dessas paisagens que ficam sob influência de diversos processos pedogenéticos: salinização, solonização e solodização (Furquim *et al.*, 2017). Os resultados apontam a complexidade da pedogênese dos solos de salinas, em virtude da grande variabilidade de atributos apresentada, sobretudo com relação à granulometria, pH, K, Na, H+Al, complexo sortivo, Mn e Fe.

De maneira geral, os solos de salinas estudados são alcalinos (pH  $\text{H}_2\text{O}$   $9,8 \pm 0,6$ ), possuem alta saturação por bases (V%), devido aos altos teores de sódio disponível (trocável) e CTC muito baixa. Elevados índices de saturação por Sódio (ISNa  $64 \pm 9$  %) os caracterizam como solos sódicos (ISNa  $> 15\%$ ) (Santos *et al.*, 2018).

Solos sódicos tem gênese relacionada a pouca precipitação aliada à alta evapotranspiração, o que favorece a dissolução de minerais primários com altos teores de  $\text{Na}^+$ . Nessas condições há maior dispersão das argilas, o que interfere em suas propriedades físicas, como preenchimento do espaço poroso e adensamento em subsuperfície,

desfavorecendo a lixiviação das bases do solo, resultando no estabelecimento de condições alcalinas (Oliveira Júnior *et al.*, 2017).

Devido ao elevado pH, espera-se que ocorra a precipitação do Al e que os íons metálicos como o Fe, Zn, Mn e Cu, tornem-se escassos no complexo de troca, restando os cátions básicos na solução do solo de forma trocável (Sousa; Miranda; Oliveira, 2007). No entanto, em salinas do nosso estudo (P2 e P3), o Fe e Mn encontram-se disponíveis apesar da influência de pH alcalino, o que é sugestivo de um desequilíbrio na ciclagem de nutrientes desses solos. Com relação a acidez total, amostra da salina P3 apresentou teor de  $H+Al$  mais elevado, relacionando-se com a maior disponibilidade observada de Fe e menores  $ISNa\%$ , o que indica a ocorrência de mudanças dos padrões ambientais alcalinos nessas paisagens.

### 3.5 Conclusão

Conclui-se que em ambas as áreas predomina a fração areia fina, sendo que a classe textural dos solos variou de muito arenosa, arenosa média e média arenosa para as baías; muito arenosa para as cordilheiras, com Dp relacionada a mineralogia do quartzo; e muito arenosa, arenosa média, média argilosa e argilosa para as salinas.

Com relação aos atributos químicos e matéria orgânica, as baías se destacam pela maior acidez potencial (H+Al), teores de MO ligeiramente elevados e disponibilidade de íons metálicos, sobretudo Fe. Nas cordilheiras, maiores médias de P-rem são mais evidentes, já os solos de salinas se relacionam a valores de pH mais alcalinos, elevada saturação por bases e altos índices de saturação por Sódio (ISNa).

Inferese também, que os solos de paisagens lacustres do Pantanal possuem especificidades, devido, provavelmente, à coexistência entre sistemas lacustres com características geoquímicas distintas, sobretudo nas paisagens de salinas, que apresentam grande variabilidade dos dados e casos de atributos não condizentes com ambiente alcalino.

## 4. CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE SOLOS DO PANTANAL BRASILEIRO USANDO OS SISTEMAS SiBCS E WRB

### 4.1 Resumo

A classificação dos solos visando a correspondência mais precisa quanto possível em sistemas taxonômicos nacionais e internacionais é um desafio para comunicação científica e transferência de conhecimento na ciência do solo. Objetivamos caracterizar perfis de solos que ocorrem em diferentes paisagens do Pantanal Sul-Mato-Grossense e explorar os princípios de classificação do solo usando os sistemas taxonômicos *The World Reference Base* (WRB) e Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) para fins de comparação. Para tal, foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos: (1) Foram descritos 12 perfis de solos em sistemas lacustres e florestais do Pantanal da Nhecolândia; (2) Procedeu-se a caracterização de atributos físicos, químicos e C-orgânico dos solos; (3) Com base na descrição morfológica e atributos dos solos os pressupostos dos sistemas taxonômicos foram aplicados à classificação dos solos. A diversidade de paisagens do Pantanal da Nhecolândia suporta diferentes classes de solo, relacionados à gênese em ambientes de inundação com limnologias distintas e em meio a densas paisagens florestais. No SiBCS, foram levantadas quatro classes de solo no primeiro nível categórico (Espodossolo, Gleissolo, Neossolo e Planossolo) enquanto o WRB apresenta três *Reference Soil Groups* (*Arenosol*, *Stagnosol* e *Solonetz*). Com a variedade de atributos do solo e horizontes de subsuperfície ocorre ainda a categorização em diferentes tipos de solo a partir de pressupostos dos níveis categóricos dos sistemas taxonômicos analisados (WRB e SiBCS). Solos classificados de acordo com SiBCS não têm sua correspondência equivalente no WRB, devido a discrepâncias relacionadas a atributos como C-org, cor, pH e salinidade. A pesquisa e levantamento de solos constitui o princípio indutor para revelar novas questões ainda não incluídas nos sistemas taxonômicos e aumentar a sua abrangência.

**Palavras-chave:** classificação de solos; sistema taxonômico do solo; Pantanal; Nhecolândia.

## 4.2 Introdução

Os seres humanos classificam os ambientes ao seu redor para ordená-los, tornando-os mais compreensíveis e para auxiliar na lembrança de algo já observado, criando condições para adquirir, inferir e comunicar conhecimentos. Assim os sistemas de classificação e taxonomia são postulados do conhecimento científico de grande utilidade para a humanidade (van Huyssteen; Turner; Le Roux, 2013; Resende, 2015).

Em especial, a classificação dos solos é um dos assuntos mais importantes e uma produtiva especialidade de pesquisa em muitos países, com aplicações práticas para diversos fins: prever o comportamento do solo, identificar seus melhores usos, estimar sua produtividade, agrupar e aprofundar o conhecimento científico, promover a transferência de conhecimento (Hartemink, 2015; Srivastava; Shukla; Bansal, 2021) e inventariar o recurso solo nos territórios (van Huyssteen; Turner; Le Roux, 2013).

Os sistemas de classificação do solo visam atender aos interesses e aspirações humanas e refletem o ganho de informações acerca desse recurso pela humanidade ao longo do tempo, evoluindo de primitivas classificações ecológicas das terras (com fins utilitaristas) para os atuais sistemas taxonômicos, sobretudo a partir do final do século XIX, valendo-se de critérios diagnósticos intrínsecos ao solo, suas propriedades morfogenéticas, características individuais e covariantes (Resende, 2015).

Desde que os sistemas taxonômicos internacionais (*Soil Taxonomy*/USDA e WRB/FAO) foram concebidos, já na segunda metade do século XX, tem se observado um aumento exponencial no uso da classificação de solo, que, no entanto, encontra desafios com relação a adesão por cientistas do solo de diferentes campos e uso adequado de sistemas taxonômicos, o que dificulta a transferência de informações, dados e resultados (Hartemink, 2015).

Os sistemas de classificação de solos não são consistentes entre países ou organizações. A aplicação de diferentes abordagens de classificação resulta em comunicação limitada sobre informações do solo, gerando lacunas e dificultando assim a comunicação e gestão dos recursos do solo (Shi *et al.*, 2010).

Assim, por ser a Pedologia uma ciência de desenvolvimento relativamente recente, a proliferação de esforços para impulsionar os sistemas taxonômicos ao redor do mundo é requerido para atender às crescentes demandas colocadas na interpretação dos solos (van Huyssteen; Turner; Le Roux, 2013).

O Pantanal compreende uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta e está

localizado no centro geográfico da América do Sul, com mais de 80% de inserção no território brasileiro. É reconhecido pela exuberância de suas paisagens e grande biodiversidade associada, que provém serviços ecossistêmicos indispensáveis para a sociedade e manutenção de processos ambientais (Junk *et al.*, 2006; Junk *et al.*, 2014). Desse modo, paisagens do Pantanal tem áreas úmidas reconhecidas pela grande relevância, em termos econômicos, culturais, recreativos, estéticos, científicos e educacionais (Alho; Sabino, 2011; Junk *et al.*, 2006; Schulz *et al.*, 2019).

Na região do Pantanal conhecida localmente como Nhecolândia (estado do Mato Grosso do Sul) existe uma grande diversidade paisagística e dos ecossistemas associados, que são constituídos por sistemas lacustres com características geoquímicas diferentes (Barbiéro *et al.*, 2002; Nascimento *et al.*, 2023). Essa configuração ecológica peculiar, torna essa porção do Pantanal um profícuo laboratório a céu aberto e reflete na ação de diversos processos pedogenéticos e conseqüentemente na existência de diferentes classes de solos.

Estudos de pedologia nos ambientes do Pantanal ainda são escassos, o que denota a necessidade de pesquisas de levantamento e caracterização dos solos para grandes áreas da planície inundável (Menezes *et al.*, 2022), pois o estudo da natureza do solo possibilita a compreensão de suas propriedades físicas, químicas e biológicas; permitindo compreender o passado e o presente do solo e prever o seu futuro (IUSS Working Group WRB, 2022).

O presente estudo objetiva caracterizar perfis de solos que ocorrem em diferentes paisagens do Pantanal Sul-Mato-Grossense e explorar os princípios de classificação do solo usando os sistemas taxonômicos Base de Referência Mundial para Recursos de Solo (FAO *Classificativo System*) e Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS / Embrapa) para fins de comparação.

### 4.3 Materiais e métodos

#### 4.3.1 Área de estudo

A Nhecolândia é uma das principais sub-regiões do Pantanal brasileiro, ocupando 19,5% de sua área total. Está inserida na bacia do Alto Paraguai, majoritariamente entre as latitudes 18°30' a 19° 30' S e longitudes 55° a 57° O, possuindo grande extensão de área no estado de Mato Grosso do Sul (Silva; Abdon, 1998).

O clima se enquadra no tipo Aw, com temperatura média anual compensada de 25°C, e médias anuais de mínimas e máximas de 18 e 29 °C, respectivamente nos meses de julho e novembro; o regime de chuvas é marcado por um período chuvoso (outubro a março), que concentra cerca de 80% do volume total de chuvas, e outro seco (abril a setembro). A precipitação média anual é de 1100 mm e anualmente a evapotranspiração da região é superior a precipitação, totalizando uma deficiência hídrica anual de 289 mm (Nascimento *et al.*, 2023).

A geologia é compreendida pela unidade litoestratigráfica “Formação Pantanal”, sendo caracterizada pela presença de depósitos aluviais antigos recobertos por sedimentos mais recentes que constituem as planícies de inundação formando camadas sobre o embasamento Paleozóico da bacia do rio Paraguai (Bazzo; Cardoso; Santos, 2012).

A hidrografia se estabelece nas planícies de inundação influenciada principalmente pelo regime de cheias do Rio Taquari e Rio Negro, por meio de canais sinuosos – como os corixos e vazantes, que erodem superfícies em cotas hipsométricas suaves, com variações no terreno entre 82 a 163 m, possibilitando a formação de inúmeras lagoas (Nascimento *et al.*, 2023).

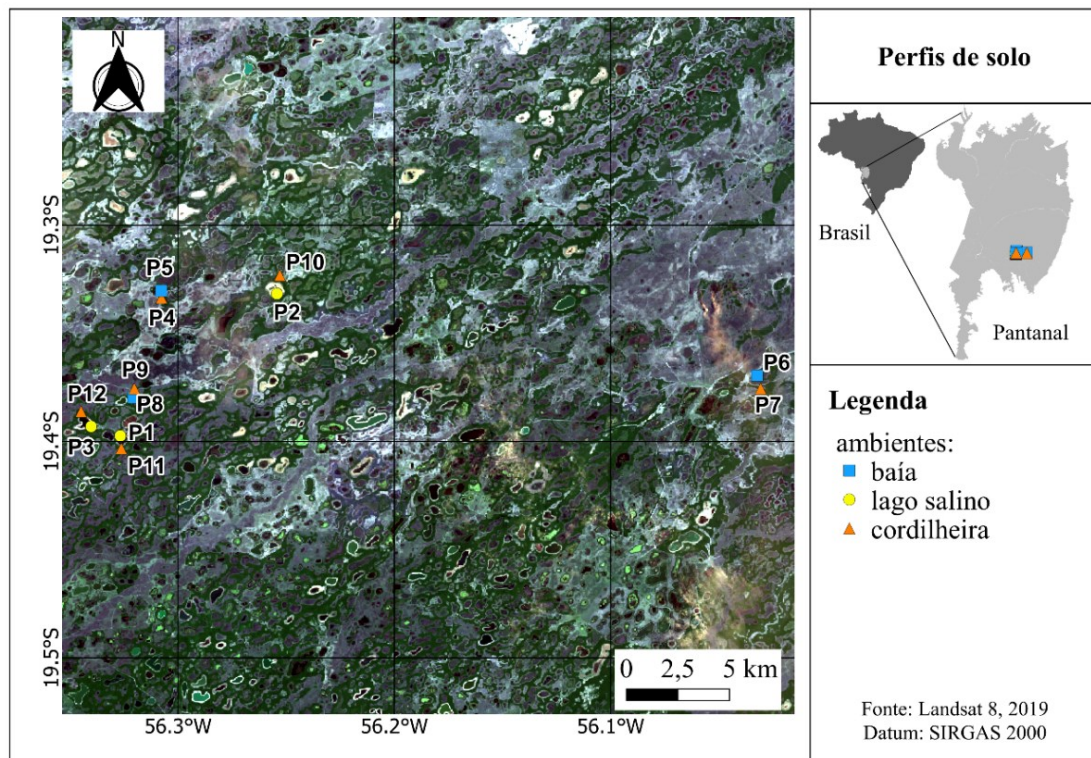
As lagoas do pantanal da Nhecolândia possuem características geoquímicas diferentes: as de água doce são conhecidas localmente por “baías”, enquanto os sistemas lacustres alcalinos são chamados de “lagoas salinas” (Costa *et al.*, 2015; Evans; Costa, 2013). Comumente tais ambientes estão circundados por depósitos arenosos de difícil inundação conhecidos como “cordilheiras”, que em estado original são cobertos por densa vegetação de Cerrado (Nascimento *et al.*, 2023).

#### 4.3.2 Procedimentos amostrais, descrição e coleta do solo no campo



Os trabalhos de campo visando o estudo, a prospecção de amostras e a classificação dos solos foram conduzidos no período da vazante, situação em que o nível de inundação da região é reduzido e se torna possível o acesso via terrestre à remotas regiões pantaneiras. Assim, doze pedons representativos foram selecionados para abertura de perfis, descrição morfológica e coletas de solo para análises de laboratório no município de Aquidauana, próximo à divisa com Corumbá, noroeste do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 11).

Figura 11 – Pontos de descrição de perfis e coletas de solo.



Fonte: Landsat 8 OLI - USGS, 2019

Os solos em questão sustentam paisagens representativas do Pantanal da Nhecolândia, estando associados a diferentes ambientes e processos pedogenéticos: lagoas salinas (P1, P2 e P3), cordilheiras associadas a lagoas salinas (P10, P11 e P12), baías (P5, P6 e P8) e cordilheiras associadas a baías (P4, P7 e P9) (Tabela 3) (Figura 12).

Tabela 3 – Coordenadas UTM e dados altimétricos

Perfil	Ambiente	Fitofisionomia	Coordenadas UTM		Elevação (m)
			(zona 21K) E	S	
P01	Lagoa salina	Gramíneas/Macrófitas	570692	7855212	110
P02	Lagoa salina	Gramíneas/Macrófitas	578491	7862531	108
P03	Lagoa salina	Gramíneas/Macrófitas	569255	7855986	103
P04	Cordilheira	Cerradão/Mata Seca	572735	7862261	114
P05	Baía	Gramíneas/Macrófitas	572744	7862293	109
P06	Baía	Gramíneas/Macrófitas	601692	7857563	116
P07	Cordilheira	Cerradão	601664	7857459	120
P08	Baía	Gramíneas/Macrófitas	571380	7857418	110
P09	Cordilheira	Cerradão/Mata Seca	571386	7857479	112
P10	Cordilheira	Mata Semidecídua	578573	7862927	119
P11	Cordilheira	Cerradão	570474	7854651	115
P12	Cordilheira	Cerradão-Floresta Estacional	568794	7856308	116

Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 12 – Perfis de solo descritos no Pantanal da Nhecolândia, MS.



Fonte: CORRÊA, 2018 e 2019.

A descrição dos perfis ocorreu a partir da delimitação dos horizontes pedogenéticos do solo e identificação dos atributos ou propriedades adicionais reconhecíveis no campo, com registro das características morfológicas de cada um: profundidade, transição entre horizontes, cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, cimentação, cerosidade, presença de nódulos e concreções e demais características associadas ao perfil (Santos *et al.*, 2015).

Em seguida realizou-se a coleta de amostras deformadas e indeformadas (anel volumétrico) dos horizontes identificados. Ambos procedimentos foram realizados conforme preconizados no Manual Técnico de Pedologia e Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015; Santos *et al.*, 2015).

#### 4.3.3 Caracterização física, química e da matéria orgânica do solo

Os procedimentos de caracterização física, química e matéria orgânica dos solos foram baseados nos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solo (Teixeira *et al.*, 2017).

As amostras de solo dos perfis foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de aço inoxidável com 2 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente foram determinados 26 atributos físicos, químicos e da matéria orgânica dos solos, a saber: areia, silte, argila, densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt), pH H<sub>2</sub>O, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al<sup>3+</sup>, SB (soma de bases trocáveis), t (CTC efetiva), T (CTC potencial), V% (porcentagem de saturação por bases), m% (porcentagem de saturação por alumínio), ISNa (Índice de Saturação por Na), condutividade elétrica, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> solúveis na pasta de saturação, equivalente de carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>), compostos de Ferro e Alumínio solúveis em oxalato ácido de amônio (Feo Alo) e Carbono orgânico do solo.

A composição granulométrica foi determinada a partir da dispersão de 20 g de TFSA com 10 mL NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e 190 mL de água destilada. Procedeu-se a agitação rotativa com 50 rpm durante 16 horas em agitador do tipo Wagner. Em seguida, a fração areia foi separada por tamisação em peneira com malha 0,053 mm de abertura. A fração argila (< 0,002 mm) foi obtida pela velocidade diferencial de sedimentação dessa partícula em detrimento do silte em um meio viscoso, considerando a Dp para o cálculo de sedimentação da fração argila, onde definiu-se a profundidade de coleta do sobrenadante com uso de pipeta volumétrica a 20 cm. Os parâmetros foram aplicados à equação de Stokes.

A densidade de solo foi obtida com utilização de anel cilíndrico de volume conhecido com massa de solo determinada após secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. Para a

densidade de partículas utilizou-se o método do balão volumétrico de 50 mL preenchido com álcool etílico. A porosidade total foi calculada pela relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas.

O pH foi medido em água, com relação solo-solução 1:2,5.  $K^+$  e  $Na^+$  foram determinados por leitura do extrato de saturação em fotômetro de chama; já  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , foram determinados por espectrômetro de absorção atômica e  $Al^{3+}$  por titulação com NaOH após extração em KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ). A acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) foi extraída por acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 e quantificada por titulometria com NaOH.

A partir desses resultados, a soma de base (SB) foi calculada pela soma de  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$ ; a capacidade de troca catiônica a pH 7 (T) se refere a soma de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $H^+ + Al^{3+}$ ; já a capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi determinada pela soma das quantidades trocáveis dos cátions  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $Al^{3+}$ , não incluindo o  $H^+$  que compartilha elétrons com as cargas do solo; a saturação por bases (V%) obtida pela expressão  $V\% = 100 * SB / CTC \text{ total}$ ; a porcentagem de saturação por alumínio (m%) trata-se da proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo e  $ISNa, 100 Na^+ / T$ .

Para a pasta de saturação utilizou-se 100 g de TFSA com adição inicial de 15 mL de água deionizada até saturação da pasta, com posterior repouso da massa de solo e determinação da porcentagem de saturação, em %. A CE foi determinada por condutivímetro direto em  $dS \text{ cm}^{-1}$ , a partir do extrato do filtrado da pasta saturada com sucção por bomba de vácuo. Posteriormente a presença de sais solúveis ( $K^+$  e  $Na^+$ ) no extrato da pasta de saturação foi determinada por fotômetro de chamas.

O equivalente de  $CaCO_3$  foi determinado com ataque do solo com solução padronizada de HCl  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em chapa aquecedora com posterior resfriamento, filtragem e titulação da mistura ácida com solução padronizada de NaOH  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ . Compostos de ferro e alumínio (Feo e Alo) amorfos foram extraídos por solução de oxalato ácido de amônio ( $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  pH 3,0) com leitura de extrato em ICP-OES. Por fim, os teores de Carbono orgânico foram determinados pelo método de oxidação por dicromato em meio ácido (Walkley-Black).

Com base nos dados das análises laboratoriais e nas características morfológicas, os perfis foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos *et al.*, 2018) e WRB (IUSS Working Group WRB, 2022).

## 4.4 Resultados e discussão

### 4.4.1 Descrição morfológica e caracterização física dos solos

Perfis de solos de lagoas salinas (P1, P2 e P3) apresentam características físicas e morfológicas variadas, principalmente com relação a cor, estrutura e composição textural. Geralmente há a presença de padrão de cor mosqueado, refletindo a possível acumulação de materiais orgânicos e minerais (P1 e P3). Nos perfis também ocorrem a presença de nódulos e concreções minerais (P2 e P3) de tamanho pequeno e médio e de forma irregular (Tabela 4).

O perfil 1 possui horizonte B plânico, com a estrutura em blocos sub-angulares de tamanho médio e cor com as seguintes características em Bt: matiz 5Y e croma igual a 3, 5Y 5/3 (oliva). Para os demais horizontes tem-se: A 5Y 6/2 (cinzento-oliváceo-claro); A2 coloração variegada com predominância de 5Y 3/2 (cinzento-oliváceo-escuro) e porções de 5Y 4/2 (cinzento-oliváceo); E1 5Y 5/4 (oliva) e E2 5Y 7/3 (amarelo-claro-acinzentado).

Já no perfil 2 a transição entre horizontes é clara e plana; abrupta e plana e; clara e plana entre A2, E e Bh. A estrutura é composta majoritariamente por blocos sub-angulares e angulares. O perfil 2 exhibe as seguintes cores, que se relacionam a fortes condições de redução: no horizonte A1, 5GY 3/2 (verde-acinzentado muito escuro); em A2 10Y 4/2 (verde-acinzentado); e E 5Y 6/2 (cinzento-oliváceo-claro) e; em Bh 5Y 5/2 (cinzento-oliváceo).

No perfil 3 não ocorre estrutura definida (grão simples quando seco e maciça quando úmida) em todos os horizontes. Os horizontes A e Bh têm cor 5Y 3/2 (cinzento-oliváceo-escuro). A partir de Bhs, todos os horizontes apresentam segregações com acúmulos de nódulos e mosqueados em proporções de 50 % no horizonte Bs2, 40% em Bs e 30% em Bs2. O horizonte Bhs tem variegado de 5Y 6/2 (cinzento-oliváceo-claro) e 5YR 4/2 (cinzento-avermelhado-escuro); Bs tem variegado de 5YR 4/3 (bruno avermelhado) e 5Y 5/3 (oliva); e em Bs2 ocorre 5Y 5/2 (cinzento-oliváceo) e 5 YR 4/6 (vermelho-amarelado).

Nos perfis de solos de baías ocorrem solos com (P5 e P8) e sem (P6) a presença de horizonte diagnóstico constituído (Tabela 4).

No perfil P5, a transição é clara e plana em todos os horizontes, com ausência de estrutura (grãos simples, quando seco e maciça, quando úmido) e consistência macia e muito friável, quando seco e úmido, respectivamente. Quando molhado não se observa plasticidade e pegajosidade em amostras dos horizontes. A cor escura em Bh (2,5 YR 2,5/1) é importante indicativo morfológico do horizonte B espódico.

No perfil P8, a transição entre horizontes é gradual e plana em A para Bh e gradual e

ondulada de Bh para C. Os horizontes A e C não possuem estrutura (grãos simples). Em Bh, existe a presença de estrutura do tipo blocos sub-angulares pequenos de fraco grau de desenvolvimento, sendo essa uma ocorrência menos comum em horizontes do tipo espódico. A existência de matéria orgânica em decomposição é evidenciada pela cor cinzento muito escuro (2,5 Y 3/1) presente no horizonte Bh.

Por sua vez, o perfil P6 tem a sequência de horizontes A (0-15 cm), AC (15-22 cm) e C (22-50+ cm) em ambiente mal drenado, sendo um solo mineral pouco desenvolvido e sem horizonte B diagnóstico. A transição entre os horizontes é plana e gradual. Não apresentam unidades estruturais (grão simples e maciça); os horizontes têm a consistência macia ou solta e quando úmidos são muito friáveis. Além disso não apresentam, quando molhados, plasticidade e pegajosidade.

Por fim, os perfis de solos sob ambientes de cordilheiras têm características morfológicas mais uniformes (P4, P7, P9, P10, P11 e P12) herdadas do material originário, sendo constituídos essencialmente por material mineral de textura arenosa, sendo solos pouco desenvolvidos e sem horizonte B diagnóstico (exceto perfil P4), sendo encontrado, na maioria dos casos, a presença de horizonte A seguido de C (Tabela 4).

Com relação à cor, nesses perfis analisados, o matiz 10 YR predominou em todos os horizontes, com proporções variando entre 2 e 6 para valor e croma. As cores amarelo-brunado (10 YR 6/6), bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2), bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4) e bruno-escuro (10 YR 3/3) foram as predominantes nos perfis P7, P10, P11 e P12, respectivamente.

No perfil P4, a característica diferencial é o caráter espódico observado na descrição morfológica a partir da profundidade de 96 cm, no horizonte Bh (96-107), e sequencialmente no horizonte Bsk (107-110+). Por consequência, especificamente no perfil 4, também ocorre a presença de horizontes na sequência A-AE de translocação iluvial de complexos organometálicos. Nesse perfil a cor dominante compreende o matiz 2,5 Y com variações entre 2,5 e 7 para valor e entre 2 e 3 croma. Em Bsk ocorre mosqueados em proporção de 20% para 5Y 6/3 (oliva-claro-acinzentado) e 80% para 7,5 YR 4/2 (bruno), sendo essa feição morfológica uma evidência de caráter espódico.

Nos horizontes do perfil P9 a cor dominante nos horizontes contempla o matiz 2,5 Y com variações entre 3 e 7 para valor e 2 a 4 para croma. Em C1 e Cf ocorre a presença de mosqueados difusos com cor 10 YR 6/6 (amarelo-brunado) originadas por concreções minerais de forma irregular com tamanhos grandes e aspectos duros (material plíntico). Características morfológicas e físicas observadas no horizonte C1 e especialmente em Cf, que

apresentou quantidade de concreções minerais e mosqueados em quantidade de 5 a 15% de concentração no horizonte, corrobora a evidência do caráter plíntico nesse perfil.

Tabela 4 – Atributos morfológicos e físicos de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Horizontes e profundidade (cm)	Transição entre horizontes (1)	Cor da matriz dominante (2)	Textura (3)	Estrutura (4)		Consistência (5) seco; úmido; plasticidade; pegajosidade	Ds kg dm <sup>-3</sup>	Dp m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Pt (6)
				Tipo, tamanho, grau					
<b>Perfil P1 – Lagoa salina, relevo plano, imperfeitamente drenado</b>									
A1 (0-6)	clar; plan	5 Y 6/2	AR	bsan; med; frac		solt; solt; npla; npeg	1,64	2,59	0,37
A2 (6-15)	grad; irreg	5 Y 3/2*	AF	bsan; med; mod		ldur; firm; npla; npeg	1,71	2,70	0,37
E1 (15-50)	clar; plan	5 Y 5/4	AF	bang; med; frac		mdur; mfir; npla; npeg	1,77	2,65	0,33
E2 (50-54)	clar; plan	5 Y 7/3	FAR	bang; med; frac		dura; firm; npla; npeg	1,77	2,65	0,33
Bt (54-90+)	-	5 Y 5/3	FAAR	bang; gran; mod		mdur; firm; lipl; pega	1,86	2,59	0,28
<b>Perfil 2 - Lagoa salina, relevo plano, moderadamente drenado</b>									
A1 (0-16)	clar; plan	5 GY 3/2	A	bang; gran; fort		mdur; firm; mpla; mpeg	0,93	2,29	0,59
A2 (16-27)	abru; plan	10 Y 4/2*	FAAR	bsan; gran; mod		dura; fria; npla; lpeg	1,01	2,67	0,62
E (27-60)	clar; plan	5 Y 6/2*	AR	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,70	2,66	0,36
Bh (60-90+)	-	5 Y 5/2	AF	bsan; gran; frac		maci; mfri; npla; npeg	1,72	2,65	0,35
<b>Perfil 3 - Lagoa salina, relevo plano, imperfeitamente drenado</b>									
A (0-5)	clar; plan	5 Y 3/2	AR	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,45	2,65	0,45
Bh (5-10)	abru; plan	5 Y 3/2*	AR	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,58	2,58	0,38
Bhs (10-28)	clar; ondu	5 YR 4/2*	AF	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,52	2,54	0,43
Bs1 (28-48)	clar; plan	5 YR 4/3*	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,64	2,68	0,37
Bs2 (48-70+)	-	5 YR 4/6*	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,73	2,68	0,34
<b>Perfil 5 – Baía, relevo plano, mal drenado</b>									
A (0-5)	clar; plan	2,5 Y 3/2	AF	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	0,83	2,48	0,66
E (5-13)	clar; plan	2,5 YR 5/1	AR	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,58	2,56	0,38
Bh (13-29)	clar; plan	2,5 YR 2,5/1	AR	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,61	2,63	0,39
C (29-60)	-	2,5 Y 6/3	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,57	2,66	0,41
<b>Perfil 6 – Baía, relevo plano, mal drenado</b>									
A (0-15)	grad; plan	2,5 Y 2,5/1	AF	mac (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,45	2,12	0,32
AC (15-22)	grad; plan	2,5 Y 4/1	AR	gsim (s); mac (u)		maci; mfri; npla; npeg	1,65	2,50	0,34
C (22-50+)	-	2,5 Y 5/2	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,66	2,60	0,36
<b>Perfil 8 – Baía, relevo plano, imperfeitamente drenado</b>									
A (0-9)	grad; plan	2,5 Y 3/2	AF	gsim		maci; mfri; npla; npeg	0,98	2,65	0,63
Bh (9-25)	grad; plan	2,5 Y 3/1	AF	bsan; pequ; frac		maci; mfri; npla; npeg	1,45	2,51	0,43
C (25-70+)	-	2,5 Y 7/3	AR	gsim		solt; mfri; npla; npeg	1,66	2,54	0,38
<b>Perfil 4 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>									
A (0-36)	grad; plan	2,5 Y 4/3	AR	gsim		maci; solt; npla; npeg	1,46	2,59	0,44
AE (36-53)	grad; plan	2,5 Y 6/3	AR	gsim		maci; solt; npla; npeg	1,39	2,59	0,46
E (53-96)	abru; plan	2,5 Y 7/3	AR	gsim		maci; solt; npla; npeg	1,56	2,63	0,41
Bh (96-107)	abru; plan	2,5 Y 4/2	AF	mac		dura; mfri; npla; npeg	1,43	2,59	0,45
Bsk (107-110+)	-	7,5 YR 4/2*	AF	mac		exdu; mfir; npla; npeg	-	2,47	-
<b>Perfil 7 – Cordilheira, relevo plano, fortemente drenado</b>									
A (0-17)	grad; plan	10 YR 6/2	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,30	2,59	0,50
CA (17-55)	grad; plan	10 YR 6/4	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,46	2,59	0,44
C1 (55-103)	grad; plan	10 YR 6/6	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,45	2,66	0,45
C2 (103-130+)	-	10 YR 6/6	AR	gsim (s); mac (u)		solt; mfri; npla; npeg	1,60	2,66	0,40
<b>Perfil 9 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>									
A1 (0-6)	clar; plan	2,5 Y 4/2	AR	gsim		solt; mfri; npla; npeg	1,41	2,55	0,45
A2 (6-55)	grad; plan	2,5 Y 3/2	AR	gsim		solt; mfri; npla; npeg	1,43	2,59	0,45
CA (55-69)	grad; plan	2,5 Y 5/3	AF	gsim		solt; mfri; npla; npeg	1,42	2,49	0,47
C1 (69-114)	grad; plan	2,5 Y 6/4*	AR	gsim		maci; mfri; npla; npeg	1,47	2,66	0,42
Cf (114-120+)	-	2,5 Y 7/3*	AR	gsim		maci; mfri; npla; npeg	1,50	2,70	0,41
<b>Perfil 10 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>									
A1 (0-24)	grad; plan	10 YR 3/2	AR	gsim		solt; fria plas, npeg	1,41	2,62	0,46

A2 (24-33)	grad; plan	10 YR 4/2	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,42	2,66	0,47
CA (33-59)	grad; plan	10 YR 4/2	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,48	2,67	0,45
C1 (59-106)	difu; plan	10 YR 4/4	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,48	2,66	0,44
C2 (106-120+)	-	10 YR 3/4	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,42	2,63	0,46
<b>Perfil 11 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>								
A (0-6)	clar; plan	10 YR 3/2	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,42	2,59	0,45
CA (6-35)	difu; plan	10 YR 4/2	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,44	2,63	0,45
C1 (35-51)	difu; plan	10 YR 4/3	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,43	2,70	0,47
C2 (51-97)	difu; plan	10 YR 3/4	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,42	2,70	0,47
C3 (97-120+)	-	10 YR 4/4	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,47	2,63	0,44
<b>Perfil 12 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>								
A1 (0-9)	grad; plan	10YR 3/2	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,44	2,58	0,44
A2 (9-23)	grad; plan	10YR 2/2	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,43	2,63	0,46
CA (23-52)	grad; plan	10YR 3/3	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,45	2,66	0,45
C1 (52-99)	difu; plan	10YR 3/3	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,44	2,66	0,46
C2 (99-130+)	-	10YR 3/3	AR	gsim	solt; fria; plas; npeg	1,45	2,66	0,46

(1) Transição entre os horizontes – nitidez/contraste: abrupta = abru, clara = clar, gradual = grad, difusa = difu; topografia da linha de separação: plana = plan, ondulada = ondu, irregular = irreg, descontínua = desc.

(2) Munsell Color Company, 2009. \* Presença de nódulos, concreções e/ou mosqueados na matriz de cor dominante

(3) Textura do solo – A = Argila, AR = Areia, AF = Areia Franca, FAR = Franco arenosa, FAAR = Franco-argilo arenosa.

(4) Estrutura do solo – grau grãos simples = gsim, maciça = mac, fraca = frac; moderada = mod, forte = fort; tamanho muito pequena = mpeq, pequena = pequ, média = med, grande = gran, muito grande = mgra; tipo laminar = lami, prismática = pris, colunar = colu, blocos angulares = bang, blocos subangulares = bsan, granular = gran, grumosa = grun; situação (s) seco, (u) úmido.

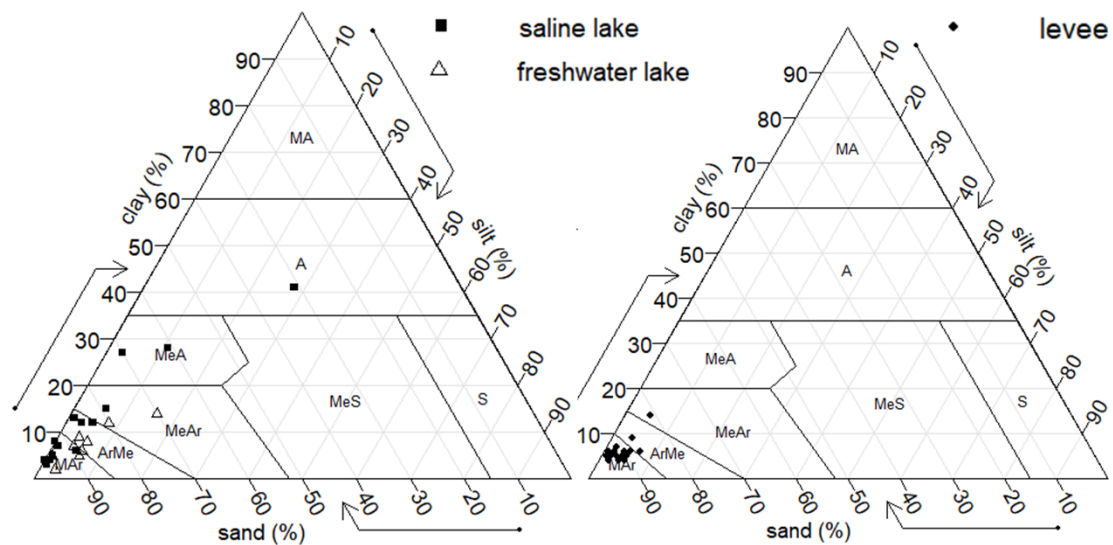
(5) Consistência do solo – quando seco: solta = solt, macia = maci, ligeiramente dura = ldur, dura = dura, muito dura = mdur, extremamente dura = exdu; quando úmido: solta = solt, muito friável = mfri, friável = fria, firme = firm, muito firme = mfir, extremamente firme = exfi; plasticidade: não plástica = npla, ligeiramente plástica = lipl, plástica = plas, muito plástica = mpla; pegajosidade: não pegajosa = npeg, ligeiramente pegajosa = lpeg, pegajosa = pegaj, muito pegajosa = mpeg.

(6) Dp = Densidade de partículas; Ds = Densidade do solo; Pt = Porosidade total.

A textura foi avaliada inicialmente por sensação tátil em campo, durante a descrição morfológica e, em laboratório as proporções relativas das frações granulométricas (areia, silte e argila) que compõem a massa do solo foram quantificadas (Figura 13). No geral, as frações granulométricas são arenosas, predominando as classes de textura muito arenosa e arenosa-média, sobretudo em perfis de cordilheiras. No entanto, em solos de lagoas salinas e baías, a depender de processos pedogenéticos atuantes, também ocorre textura argilosa, média-argilosa e média-arenosa (Figura 13).



Figura 13 – Composição granulométrica de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS.



Fonte: Elaborado pelo autor

Em bordas salinas, no perfil 1, ocorre horizonte B plânico, com aumento vigoroso de argila do horizonte A para o horizonte B, caracterizando mudança da classe textural, a partir dos teores crescentes de argila dos horizontes do solo desde a sua superfície: 38, 130, 116, 152 e 273 g Kg<sup>-1</sup>, respectivamente para A1, A2, E1, E2 e Bt. O incremento de argila total tem relação textural B/A calculada de 2,04, sendo que o horizonte A tem 15 cm de espessura e a média a partir do topo do horizonte B é 134 g Kg<sup>-1</sup>. No horizonte Bt, ocorre adensamento do solo, com porosidade de apenas 0,28 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (a menor entre os solos estudados), condição esta que responde pela restrição à percolação de água.

No perfil P2 há acúmulo superficial de argila, com decréscimo ao longo do perfil. Observa-se o seguinte gradiente, para A1, A2, E e Bh, respectivamente, 411 kg dm<sup>-3</sup>, 280 kg dm<sup>-3</sup>, 55 kg dm<sup>-3</sup> e 116 kg dm<sup>-3</sup>. Horizontes menos densos e mais porosos são observados em A1 (Ds de 0,93 kg dm<sup>-3</sup> e porosidade de 0,59 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e A2 (Ds de 1,01 kg dm<sup>-3</sup> e porosidade de 0,62 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Ocorre adensamento do solo em profundidade e há permeabilidade muito lenta nos horizontes superficiais porosos, constituindo caráter plânico na extensão do horizonte.

O perfil P3 apresenta textura essencialmente arenosa e areia franca, com teores de areia variando de 864 g kg<sup>-1</sup> em Bhs a 955 g kg<sup>-1</sup> em Bs2. A densidade de partículas média é de 2,63 kg dm<sup>-3</sup> com pouca variação no horizonte (desvio padrão de 0,04). A maior porosidade é encontrada no horizonte superficial A, 0,45 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e o maior adensamento é observado em Bs2, com porosidade total de 0,34 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Em baías, nos perfis P5 e P8, as classes texturais compreendem areia, areia franca e franco-arenosa, com proporções de areia variando  $802 \text{ g kg}^{-1}$  a  $949 \text{ g kg}^{-1}$ . Em ambos os casos é observado baixa densidade do solo (Ds) nos horizontes superficiais,  $0,83 \text{ kg dm}^{-3}$  no perfil 5 e  $0,98 \text{ kg dm}^{-3}$  no perfil 8, e conseqüentemente porosidade total com valores superiores a 60% ( $0,66$  e  $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

A textura no P6 abrange as classes de areia franca em A ( $695 \text{ g kg}^{-1}$  de fração areia), areia em AC ( $884 \text{ g kg}^{-1}$  de fração areia) e em C ( $943 \text{ g kg}^{-1}$  de fração areia). A densidade de partículas em A ( $2,12 \text{ kg dm}^{-3}$ ) contrasta com a dos horizontes AC ( $2,50 \text{ kg dm}^{-3}$ ) e C ( $2,60 \text{ kg dm}^{-3}$ ) com pouca influência na densidade do solo e porosidade.

Com relação a composição granulométrica, nos perfis sob cordilheiras (P4, P7, P9, P10, P11 e P12), são observados teores de areia variando entre  $895$  e  $943 \text{ g Kg}^{-1}$  (classe textural areia). A densidade de partículas média é de  $2,64 \text{ g kg dm}^{-3}$ , apresentando gradativo aumento em profundidade.

Sobre o perfil P4, a granulometria é caracterizada pela ocorrência da classe textural areia nos três primeiros horizontes. Em Bh e Bsk ocorre mudança de classe textural para areia franca em virtude de ligeiro incremento da fração argila da superfície para horizonte Bsk, de  $56 \text{ g kg}^{-1}$  para  $139 \text{ g kg}^{-1}$ .

A classe textural dos horizontes diagnosticados no perfil P9 compreendem areia e areia franca, com média de  $900 \text{ g kg}^{-1}$  da fração areia e densidade de partículas  $2,55 \text{ kg dm}^{-3}$ . Nas camadas superiores ocorrem expressiva porosidade em função da presença abundante de raízes com diâmetros diversos.

#### 4.4.2 Caracterização química e do C-org dos solos

No perfil P1, em paisagem de lagoa salina, ocorre caráter sódico ( $\text{ISNa} \geq 15\%$ ) (Santos *et al.*, 2018) em todo os horizontes diagnosticados, com acúmulo mais pronunciado no horizonte Bt (54-90+), com teor de ISNa de 58%. Horizontes desse perfil não apresentaram caráter salino ( $\text{CE} \geq 4 < 7 \text{ dS m}^{-1}$ ) apesar de a CE ser pronunciada no horizonte superficial, atingindo  $3,22 \text{ dS m}^{-1}$ . O pH apresenta alta alcalinidade, variando entre pH 10 – 10,3 ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Teores de Na e K são abundantes, com acúmulo evidente no horizonte Bt (54-90+), onde também se evidencia os mais altos teores de sais de  $\text{Na}^+$  solúveis do perfil (Tabela 5).

O perfil P2 apresenta nos horizontes superficiais (A1 0-16; A2 16-27) caráter

hipocarbonático, com variações de 85,7 a 92,8 g kg<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> indicando a ocorrência de carbonatos sob qualquer forma de segregação nesses horizontes. O caráter sálico (CE > 7 dS m<sup>-1</sup>) foi mensurado no horizonte A1, com a presença mais evidente de sais solúveis (Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>) e, também, elevado teor de C orgânico. O Caráter sódico (ISNa ≥ 15%) foi encontrado em todos os horizontes do perfil em questão (Tabela 5).

Com relação ao P3, ocorre pH com valores moderadamente ácidos em Bs1 (28-48) e Bs2 (48-70+), praticamente neutro em Bhs (10-28) e moderadamente alcalino em Bh (5-10) e A1 (0-5). A saturação de bases, como esperado, também acompanha a variação do pH, decrescendo desde o horizonte superficial. O caráter sódico é observado apenas no horizonte superficial A1 (ISNa = 31%). A CE é baixa em todo o perfil, com exceção também de A1, onde é ligeiramente elevada (2,62 dS m<sup>-1</sup>). O C-org é maior na superfície com decréscimo no horizonte. (Tabela 5). O perfil apresenta ainda o acúmulo de Fe e Al nos horizontes espódicos Bs, Bhs e Bh (Figura 14)

Solos de baías (P5, P6, P8) revelam atributos químicos e MOS atrelados ao grau de desenvolvimento pedogenético, sendo que em solos com horizonte B definido (P5 e P8) são observados elevados valores de saturação por alumínio (m%) relacionado à atividade do pH. O pH varia de extremamente ácido a fortemente e moderadamente ácido, com valores entre 3,9 e 5,8. No P5, no horizonte B espódico, é evidenciado o ligeiro incremento de Alo.

O teor de C-org é pronunciado nos ambientes de baía em detrimento dos solos dos demais ambientes. Em todos os solos desse ambiente determinamos taxas superiores a 14 g Kg<sup>-1</sup> de C-org na superfície e decréscimo ao longo do perfil, evidenciando que não ocorre o acúmulo em subsuperfície.

Os perfis de solos diagnosticados em ambientes de cordilheiras (P4, P7, P9, P10, P11 e P12) apresentam mais homogeneidade também em relação aos atributos químicos, relacionado às características inerentes ao material originário e exígua diferenciação de horizontes que caracterizam os processos pedogenéticos e conseqüentemente a classificação dos solos (exceto P4). No entanto aspectos relacionados ao pH e complexo catiônico apresentam questões particulares.

Com relação ao pH, a média observada em cordilheiras é de 6,3, com grande amplitude, variando de pH fortemente ácido (pH 5,2 no horizonte A do P7) a fortemente alcalino (pH 8,9 no horizonte BsK do P4). Já condições elevadas do teor de Na disponível (troçável) e ISNa são observadas no P7, que no horizonte C2, tem ISNa = 51,2, indicando caráter sódico.

Por outro lado, demais variações no complexo catiônico em ambientes de cordilheira

são devidas a condições de saturação por bases. Considerando os horizontes superficiais, em P7 e P11 observa-se solos com caráter distrófico, condição caracterizada por saturação por bases V% <50%. Já nos perfis 4, 9, 10 e 12, predomina solos com caráter eutrófico, apresentando saturação de bases V% > 50% e incremento de C-org.

Tabela 5 – Atributos químicos e C-org de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS.

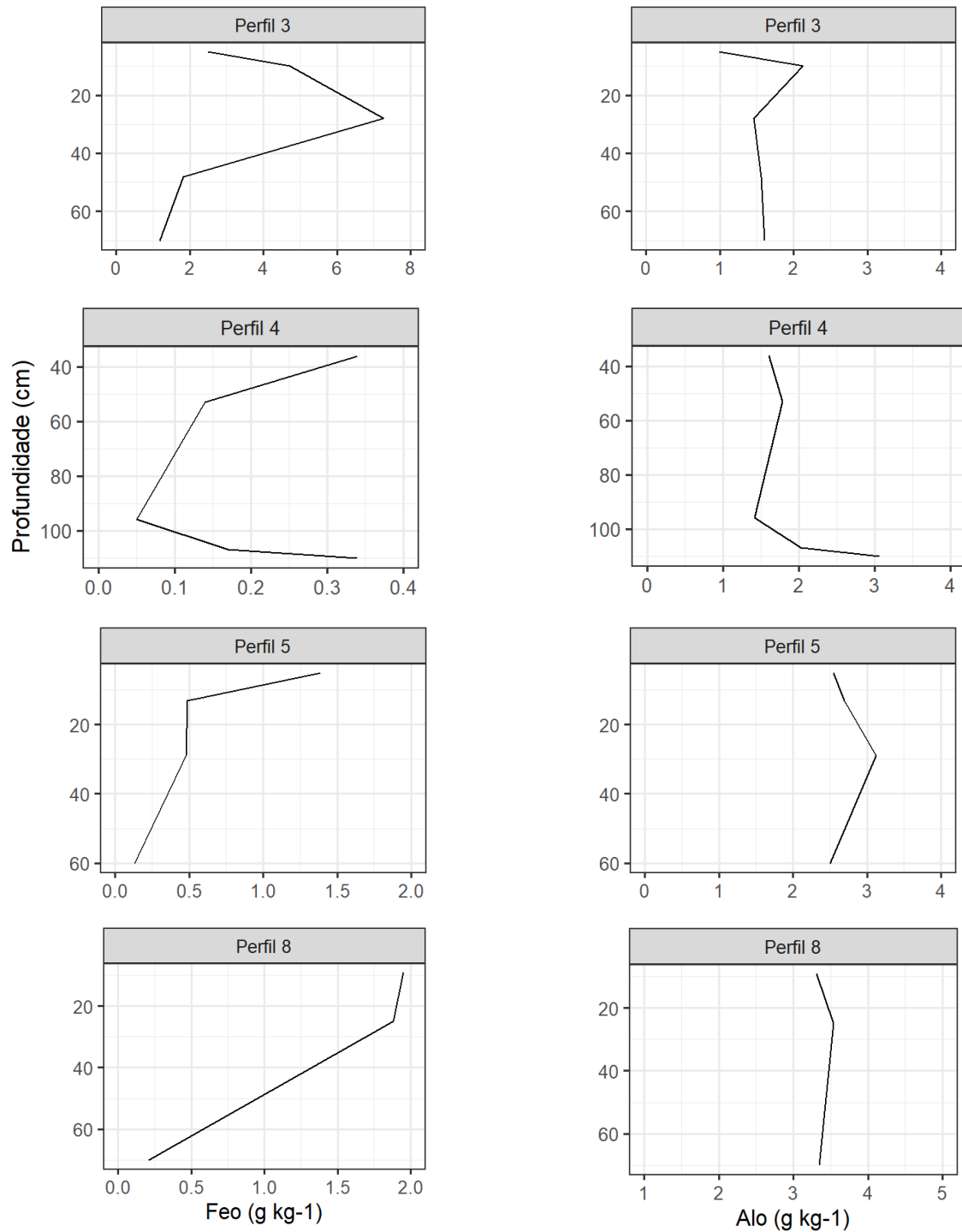
Hor	pH	Complexo catiônico					Completo sortivo			Alguns índices		saís solúveis			CaCO <sub>3</sub> g kg <sup>-1</sup>	C-org g Kg <sup>-1</sup>
		H <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup> mg kg <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	CEC	V %	m	ISNa	CE dS m	K <sup>+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>		
<b>Perfil P1 – Lagoa salina, relevo plano, imperfeitamente drenado</b>																
A1	10,3	277,9	303,6	0,3	0,0	0,0	2,3	2,3	100,0	0,0	57,1	3,2	0,1	0,6	13,2	0,8
A2	10,0	1094,7	673,0	0,8	0,0	0,0	6,6	6,6	100,0	0,0	44,5	1,9	0,2	0,4	6,1	0,8
E1	10,3	706,8	667,3	0,3	0,0	0,0	5,0	5,0	100,0	0,0	58,4	2,4	0,1	0,7	11,2	0,7
E2	10,3	622,1	526,5	0,3	0,0	0,0	4,2	4,2	100,0	0,0	54,5	2,1	0,2	0,0	8,3	0,7
Bt	10,2	1368,3	1299,6	0,6	0,0	0,0	9,7	9,7	100,0	0,0	58,0	2,9	0,2	1,1	7,3	0,7
<b>Perfil 2 - Lagoa salina, relevo plano, moderadamente drenado</b>																
A1	10,3	2993,6	4281,8	1,3	0,0	0,0	27,6	27,6	100,0	0,0	67,4	7,7	1,4	5,1	92,8	14,4
A2	9,9	977,6	1036,9	2,3	0,1	0,0	9,3	9,3	100,0	0,0	48,3	1,8	0,3	0,8	86,2	2,3
E	10,0	183,7	183,1	0,6	0,0	0,0	1,8	1,8	100,0	0,0	43,2	1,7	0,1	0,4	18,8	0,8
Bh	10,0	432,9	327,8	0,9	0,0	0,0	3,4	3,4	100,0	0,0	41,6	1,2	0,1	0,1	13,5	0,8
<b>Perfil 3 - Lagoa salina, relevo plano, imperfeitamente drenado</b>																
A	8,6	510,1	358,8	1,9	0,2	0,0	5,0	5,0	100,0	0,0	31,1	2,6	0,2	0,7	3,1	6,8
Bh	7,4	235,1	52,2	1,8	0,5	0,0	3,1	3,1	78,8	0,0	5,7	0,6	0,1	0,1	11,0	2,3
Bhs	7,0	137,1	12,4	1,3	0,5	0,0	2,2	2,2	64,0	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0	13,3	1,5
Bs1	6,6	17,8	1,1	0,2	0,0	0,0	0,3	0,3	43,2	0,0	0,8	0,2	0,0	0,0	4,9	0,8
Bs2	6,0	12,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	28,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	12,8	0,8
<b>Perfil 5 – Baía, relevo plano, mal drenado</b>																
A	5,3	75,1	18,0	1,1	0,2	0,2	1,6	1,8	27,5	9,0	1,4	0,6	0,1	0,1	8,7	17,4
E	5,6	23,2	1,4	0,5	0,1	0,2	0,7	0,8	27,6	19,2	0,2	0,2	0,0	0,0	11,1	3,8
Bh	5,8	18,7	1,2	0,4	0,1	0,1	0,6	0,7	29,4	19,4	0,3	0,2	0,0	0,0	11,2	3,8
C	5,3	2,6	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	31,5	45,2	0,0	0,3	0,0	0,0	8,1	0,8
<b>Perfil 6 – Baía, relevo plano, mal drenado</b>																
A	5,6	50,2	4,0	1,5	0,2	0,0	1,9	1,9	40,2	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	8,4	17,0
AC	5,3	18,1	1,2	0,5	0,1	0,0	0,6	0,6	36,7	0,0	0,3	0,5	0,0	0,1	10,6	2,3
C	5,8	5,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	57,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	10,3	1,5
<b>Perfil 8 – Baía, relevo plano, imperfeitamente drenado</b>																
A	4,0	33,4	11,1	1,4	0,3	0,2	1,8	2,0	32,7	8,9	0,9	0,5	0,0	0,1	13,8	14,5
Bh	3,9	30,9	0,0	1,1	0,1	0,2	1,3	1,4	35,1	10,8	0,0	0,3	0,0	0,0	13,5	4,6
C	3,9	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	37,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	14,1	0,0
<b>Perfil 4 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>																
A	7,3	76,3	2,5	1,0	0,2	0,0	1,4	1,4	72,0	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0	11,2	3,0
AE	7,3	18,9	0,0	0,8	0,1	0,0	1,0	1,0	87,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	0,8
E	8,5	20,2	0,0	1,1	0,0	0,0	1,2	1,2	100,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	5,4	0,8
Bh	8,6	178,3	20,9	1,9	0,4	0,0	2,8	2,8	100,0	0,0	3,2	0,4	0,0	0,1	2,3	0,8
Bsk	8,9	708,0	119,3	3,3	1,6	0,0	7,3	7,3	100,0	0,0	7,2	0,6	0,1	0,1	4,5	0,8
<b>Perfil 7 – Cordilheira, relevo plano, fortemente drenado</b>																
A	5,2	20,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	7,5	64,9	0,0	0,3	0,0	0,0	8,9	5,3
CA	5,6	17,6	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	11,0	54,3	0,0	0,2	0,0	0,0	11,1	1,5
C1	5,4	11,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	12,3	57,6	0,0	0,1	0,0	0,0	11,7	0,8
C2	6,8	1,5	65,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	60,0	0,0	51,2	0,2	0,0	0,1	11,1	0,8
<b>Perfil 9 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>																
A1	5,7	47,0	0,0	2,1	0,4	0,0	3,7	3,7	62,8	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	13,2	7,7

A2	5,4	25,5	0,0	0,7	0,2	0,1	1,3	1,5	33,0	12,5	0,0	0,3	0,0	0,0	10,2	2,3
CA	5,5	44,7	0,0	0,3	0,1	0,2	0,8	1,1	27,2	26,1	0,0	0,3	0,0	0,0	8,6	2,3
C1	6,4	72,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,7	0,7	58,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	7,7	0,0
Cf	6,4	34,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	100,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	10,5	0,0
<b>Perfil 10 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>																
A1	5,8	47,0	4,5	1,8	0,3	0,0	2,3	2,3	59,1	0,0	0,5	0,3	0,0	0,0	7,6	9,1
A2	6,0	26,7	7,0	0,9	0,2	0,0	1,1	1,1	49,5	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0	5,7	3,7
CA	6,0	23,7	5,9	0,8	0,1	0,0	1,0	1,0	49,8	0,0	1,3	0,1	0,0	0,0	16,0	1,5
C1	6,1	26,1	7,2	0,4	0,1	0,0	0,6	0,6	38,1	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	11,6	1,5
C2	5,8	29,2	7,0	0,3	0,1	0,1	0,5	0,6	40,2	20,4	2,4	0,1	0,0	0,0	10,2	0,8
<b>Perfil 11 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>																
A	5,5	10,3	8,8	0,1	0,0	0,0	2,0	2,0	49,0	0,0	0,7	0,4	0,1	0,0	9,6	10,9
CA	5,6	9,3	5,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,4	13,2	47,5	0,7	0,3	0,0	0,0	5,7	2,9
C1	5,4	7,6	3,5	0,1	0,0	0,3	0,2	0,5	17,1	54,2	0,5	0,1	0,0	0,0	6,6	2,9
C2	5,4	10,3	22,8	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	15,8	49,2	0,0	0,1	0,0	0,0	8,6	1,5
C3	5,8	9,0	4,9	0,1	0,0	0,3	0,2	0,5	18,2	57,4	1,1	0,1	0,0	0,0	7,6	1,5
<b>Perfil 12 – Cordilheira, relevo plano, bem drenado</b>																
A1	6,7	53,3	8,3	3,6	0,9	0,0	4,6	4,6	72,7	0,0	0,6	0,5	0,0	0,0	13,5	12,8
A2	6,5	17,6	5,9	1,0	0,2	0,0	1,3	1,3	50,9	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	12,5	3,7
CA	6,3	14,4	7,2	0,7	0,2	0,0	1,0	1,0	45,4	0,0	1,5	0,1	0,0	0,0	11,1	3,7
C1	6,1	16,9	9,9	0,3	0,1	0,1	0,5	0,6	34,0	22,1	3,1	0,1	0,0	0,0	12,4	2,2
C2	6,2	12,7	8,4	0,4	0,0	0,1	0,5	0,6	34,0	22,1	2,7	0,1	0,0	0,0	12,5	1,5

Fonte: Organizado pelo autor. Legenda: CEC: CTC a pH 7. V%: saturação por bases. m%: saturação por alumínio. ISNa: índice de saturação de sódio. CE: Condutividade elétrica.

Os teores de Fe e Al extraídos por oxalato ácido de amônio nos perfis de solo com feições espódicas mostram que apenas no perfil P3 há acumulação de Feo no Bhs, enquanto os demais apresentam incremento de Alo em Bh, Bsk, Bh e Bh, respectivamente para os perfis P3, P4, P5 e P8 (Figura 14).

Figura 14 – Feo e Alo em horizontes espódicos no Pantanal da Nhecolândia, MS.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.3 Classificação comparativa: entre SiBCS e WRB

O Pantanal da Nhecolândia é o maior e mais diversificado campo de lagos da região tropical do planeta, com cerca de 10.000 lagos com variações de salinidade, pH, alcalinidade,

cor, fisiografia e atividade biológica interessantes (Almeida *et al.*, 2011). No contexto da paisagem a complexidade das feições e características dos solos são indicadores de múltiplos processos pedogenéticos neste ambiente (Menezes *et al.*, 2022; Couto *et al.*, 2023; Nascimento *et al.*, 2023), o que resulta na ocorrência de diferentes classes de solo (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparação entre a classificação de solos no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Perfil	SiBCS	WRB
<b>Salina</b>		
1	PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico méxico	Stagnic Abruptic Solonetz (Differentic, Hypernatric)
2	GLEISSOLO SÁLICO Sódico planossólico	Gleyic Stagnosol (Alcalic, Endoabruptic, Sodíc)
3	ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Hidromórfico arênico	Eutric Arenosol (Ochric, Oxyaquic, Protospodic)
<b>Baía</b>		
5	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico típico	Eutric Arenosol (Ochric, Oxyaquic)
6	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico	Eutric Arenosol (Ochric, Oxyaquic)
8	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico típico	Eutric Arenosol (Ochric, Oxyaquic)
<b>Cordilheira</b>		
4	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico	Eutric Arenosol (Ochric, Protospodic)
7	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico	Eutric Arenosol (Ochric)
9	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico plintossólico	Eutric Arenosol (Ochric)
10	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico	Eutric Arenosol (Ochric)
11	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico	Eutric Arenosol (Ochric)
12	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico	Eutric Arenosol (Ochric)

Fonte: Organizado pelo autor.

No SiBCS, foram levantadas quatro ordens (Espodosolos, Gleissolos, Neossolos e Planossolo) de solo no primeiro nível categórico do sistema taxonômico, enquanto o WRB apresenta três *Reference Soil Groups* (RSG): *Arenosol*, *Solonetz* e *Stagnosol* (Tabela 6).

A ordem Espodosolo ocorre em lagoa salina (P3), cordilheira (P4) e baías (P5 e P8). Segundo o SiBCS, os Espodosolos “são solos, em geral, muito pobres em fertilidade pela baixa reserva de nutrientes, de moderados a fortemente ácidos, normalmente com saturação por bases baixa, podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível” (Santos *et al.*, 2018, p. 91), cujo critério diagnóstico é o desenvolvimento de diferentes tipos de horizonte B espódico, sendo este “um horizonte mineral subsuperficial, com espessura mínima de 2,5 cm, que apresenta acumulação iluvial de matéria orgânica humificada combinada com alumínio, podendo ou não conter Ferro” (Santos *et al.*, 2018, p. 62).

O WRB, por sua vez, elege uma série de critérios diagnósticos do solo para enquadramento no RSG *Podzol* por meio de um horizonte espódico:

Um horizonte espódico consiste em material mineral e:

1. tem pH < 5,9, a menos que o solo tenha sido corrigido ou fertilizado;
2. tem um sub-horizonte com valor  $A_{lo} \geq 1,5$  vezes o menor valor  $A_{lo}$  de todas as camadas minerais acima do horizonte espódico;
3. tem no seu 1 cm superior um ou ambos dos seguintes elementos:
  - a.  $\geq 0,5\%$  de carbono orgânico do solo; ou
  - b. croma de cor Munsell  $\geq 6$ , úmido, em  $\geq 90\%$  de sua área exposta;
4. possui um ou mais sub-horizontes com as seguintes cores Munsell, úmidos, em  $\geq 90\%$  de sua área exposta:
  - a. uma tonalidade de 5YR ou mais vermelha; ou
  - b. matiz de 7,5YR e valor  $\leq 5$ ; ou
  - c. uma tonalidade de 10YR e um valor e croma  $\leq 2$ ; ou
  - d. matiz 10YR e croma  $\geq 6$ ; ou
  - e. uma cor de 10YR 3/1; ou
  - f. uma tonalidade de N e um valor  $\leq 2$ ;
5. um ou mais dos seguintes:
  - a. é coberto por material clárico que não está separado do horizonte espódico por uma descontinuidade lítica e que cobre o horizonte espódico diretamente ou acima de um horizonte de transição que tem uma espessura de um décimo ou menos do material clárico subjacente; ou
  - b.  $\geq 10\%$  dos grãos de areia do horizonte apresentam revestimentos fissurados; ou
  - c. possui sub-horizonte cimentado com classe de cimentação pelo menos fracamente cimentada em  $\geq 50\%$  de sua extensão horizontal; ou
  - d. tem um sub-horizonte com um valor  $A_{lo} + \frac{1}{2} Fe_o \geq 0,5\%$  que é  $\geq 2$  vezes o valor  $A_{lo} + \frac{1}{2} Fe_o$  mais baixo de todas as camadas minerais acima do horizonte espódico;
6. não faz parte de horizonte nátrico;
7. tem espessura  $\geq 2,5$  cm (IUSS WORKING GROUP WRB, 2022, p. 66).



No atual SiBCS as características morfológicas, como espessura do horizonte no perfil e cor são chaves na classificação dos horizontes B espódico. Outros atributos como Carbono orgânico (C-org), Ferro e Alumínio extraídos por oxalato (Feo e Alo), apesar de mencionados, não têm seus limites quantitativos indicados, o que torna mais abrangente e menos específica a classificação dos solos.

Já para os horizontes espódicos no WRB os mencionados atributos têm valores definidos, como pH, conteúdo de C-Org e relação de acumulação dos compostos iluviais dominantes de Feo e Alo, que são relacionadas as condições dominantes e essenciais relacionadas a gênese do solo.

Assim, os critérios utilizados no SiBCS para definição de horizonte espódico permitem a classificação de solos que se afastam dos conceitos centrais do processo de podzolização e o estabelecimento de valores quantitativos para atributos associados a esse processo é importante para correlacionar com sistemas taxonômicos de solo internacionais e bancos de dados globais (Menezes, Fontana e Anjos, 2018).

A descrição morfológica e resultados analíticos no P3 indicam a acumulação subsuperficial de Feo e Alo nos horizontes espódicos diagnosticados. No entanto, a condição de ambiente variando de neutro (pH 7,0) a moderadamente alcalino (pH 7,4) e ínfimos teores de C-Org, na subsuperfície, não é condizente com o conceito central do SRG *Podzol*, que requiere valor de pH < 5,9 e valores de teor de C orgânico  $\geq 5,0 \text{ g kg}^{-1}$ . Demais indicativos de valor Alo, cor, nódulos e mosqueados corroboram o conceito central.

O perfil P4, diagnosticado em ambiente florestal de cordilheira, tem pedogênese marcada por processos de alteração e acumulação mais fortes, com intenso acúmulo subsuperficial de Alo (Figura 14), evidenciando a aderência ao horizonte B espódico descrito pelo SiBCS, mas da mesma forma que o ocorrido em P3, o solo não possui limiares do potencial hidrogeniônico e C-Org requeridos, sendo que os valores encontrados de pH atingem valores fortemente alcalinos, variando de 7,3 a 8,9 no perfil e teores de C-Org são baixos ( $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Os perfis P5 e P8 também apresentam acumulação iluvial de Alo e são caracterizados por pH < 5,9, mas sem horizontes com C-org característicos do B espódico do WRB, apesar de muito abundante na superfície. Estes perfis não atendem também aos requisitos de cor, pois não possuem um ou mais sub-horizontes com as cores Munsell requeridas, em  $\geq 90\%$  de sua área exposta. Nesses horizontes as cores Munsell compreendem o matiz 2,5 Y e 2,5 YR, correspondendo às cores espectrais dominantes nesses solos (Tabela 4).

O sistema brasileiro indica que em Bh dominam “cores escuras, com valor < 4 e

croma < 3” (Santos *et al.*, 2018, p. 63) o que, por outro lado, inclui as situações descritas nos perfis P5 e P8. No SiBCS a cor relacionada ao processo de podzolização tem um amplo espectro, podendo a cor do horizonte espódico variar desde cinzenta, de tonalidade escura ou preta, até avermelhada ou amarelada (Santos *et al.*, 2018).

No Pantanal, algumas pesquisas já têm indicado a presença de horizontes espódicos em condições antagônicas ao ambiente de formação. Isto é, ser classificados como B espódicos horizontes que não atendam as características e limiares indicados para o processo pedogenético específico de podzolização, devido a carência de definições e atributos diagnósticos no SiBCS (Menezes *et al.*, 2022; Menezes, Fontana e Anjos, 2018; Schiavo *et al.*, 2012).

Em um desses estudos, Espodossolos foram descritos em um trabalho que abrangeu dois perfis de solo em área de baía e dois em várzea de inundação, e que de acordo com os critérios adotados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a nível de subgrupo, foram classificados, respectivamente como: P1: Espodossolo Ferrohumilúvico Hidromórfico orgânico, P2: Espodossolo Ferrohumilúvico Órtico típico, P3: Espodossolo Ferrolúvico Hidromórfico típico e P4: Espodossolo Ferrolúvico Órtico arênico (Schiavo *et al.*, 2012).

Nesses perfis foram diagnosticados horizontes espódicos com pH moderadamente alcalino, sendo que o pH (H<sub>2</sub>O) dos solos da área da baía, variaram de 5,0 a 7,5, associado à dominância de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e alta saturação por bases em alguns horizontes (V% ≥ 50). Comparativamente, nos campos alagados o pH dos solos foram ligeiramente mais ácidos, variando de 4,9 a 5,9 e a saturação por bases foi < 50 %. Também se observou a presença de C-org em níveis elevados (chegando a 110,5 g kg<sup>-1</sup>) nos horizontes superficiais de Espodossolos com distribuição errática ao longo dos perfis, sem acumulação iluvial nos horizontes espódicos.

Em outro estudo, em um sítio representativo de solos com horizontes diagnóstico B espódico, quatro perfis de solo foram descritos e estudados por Menezes *et al.* (2022) em bacias salinas do Pantanal da Nhecolândia. De acordo com os critérios adotados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a nível de subgrupo, os solos desse estudo foram classificados, respectivamente como: P1: Espodossolo Ferri-Humilúvicos Hidromórfico típico; P2: Espodossolo Humilúvicos Hidromórfico típico; P3: Espodossolo Humilúvicos Órtico arênico e P4: Espodossolo Ferri-Humilúvicos Hidromórfico típico.

Menezes *et al.* (2022) objetivaram avaliar se os atributos do solo com características espódicas correspondiam ao processo clássico de podzolização. Os autores concluíram que os

solos com horizontes espódicos do pantanal da Nhecolândia divergem do conceito do processo pedogenético envolvido e da definição atual de horizontes espódicos nos sistemas internacionais de classificação de solos e na literatura, pois foram evidenciadas especificidades dos atributos químicos dos solos afetados por processos redoximórficos que apresentam pH (H<sub>2</sub>O) em condições neutras a alcalinas (geralmente  $\geq 6,0$ ), alta soma de bases (SB > 1,0 cmolc kg<sup>-1</sup>), saturação por bases geralmente alta (V%  $\geq 50$ ), teores máximos de saturação por sódio (ISNa) variando entre 13% e 28%, baixo Al no horizonte B e níveis ínfimos de C-org.

A ordem Gleissolo ocorre em lagoa salina (P2). De acordo com o SiBCS, o critério diagnóstico é a manifestação de atributos que evidenciam gleização conjugada ao horizonte glei, que é definido “um horizonte mineral subsuperficial ou eventualmente superficial, com espessura de 15 cm ou mais, caracterizado pela redução de Ferro e prevalência do estado reduzido, devido principalmente à água estagnada” (Santos *et al.*, 2018, p. 69). Adicionalmente o caráter sálico (CE > 7 dS m<sup>-1</sup>) e alta concentração de sais solúveis (os maiores teores K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> diagnosticados) principalmente nos horizontes superficiais (A1 e A2), corroboram a subordem Gleissolo Sálico.

Com esses atributos a correspondência aproximada do P2 estaria relacionada ao RSG *Solonchaks*, devido à alta concentração de sais solúveis e horizonte sálico definido no SiBCS. No entanto, a definição de horizonte sálico para enquadramento no citado RSC parte do critério diagnóstico:

Um horizonte sálico tem:

1. em alguma época do ano:
  - a. se o pH da água do extrato de saturação for  $\geq 8,5$ , uma condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) de  $\geq 8$  dS m<sup>-1</sup> medida a 25 °C e um produto de espessura (em centímetros) e CE (em dS m<sup>-1</sup>) de  $\geq 240$ ; ou
  - b. uma condutividade elétrica do extrato de saturação (ECe)  $\geq 15$  dS m<sup>-1</sup> medida a 25 °C e um produto da espessura (em centímetros) e ECe (em dS m<sup>-1</sup>)  $\geq 450$ ; e
2. espessura  $\geq 15$  cm (espessura combinada se existirem sub-horizontes sobrepostos que cumpram os critérios 1.a e 1.b) (IUSS WORKING GROUP WRB, 2022, p. 64).

Assim, a CE no extrato da pasta de saturação não chega a atingir o limiar de condutividade elétrica do extrato de saturação (ECe) de  $\geq 8$  dS m<sup>-1</sup> requerido para horizonte sálico (IUSS Working Group WRB, 2022). Assim, o P2 não atende aos limiares de salinidade compatíveis entre os dois sistemas, pois a CE no extrato da pasta de saturação atinge o limiar de condutividade elétrica do extrato de saturação (ECe) requerido apenas para o SiBCS. O valor de pH alcalino em H<sub>2</sub>O e camadas argilosa na superfície relacionam-se aos

qualificadores desse perfil.

Pesquisas de gênese de solos afetados por sais foram realizadas por Furquim *et al.*, (2017) em lagos salinos e salobros do pantanal da Nhecolândia. No estudo foram abertos doze perfis de solo divididos em três transectos, no sentido borda-centro dos lagos, em uma área experimental da Fazenda Nhumirim. Todos os solos foram genericamente classificados como *Entisols* (equivalência a ordem dos Neossolos no SiBCS), sendo que esta classificação também não reflete as condições de solos afetados pelo sal e os processos de gênese dos solos estudados.

A ordem Neossolo abrange os ambientes de cordilheira e (P7, P9, P10, P11 e P12) e baía (P6). No SiBCS essa ordem contempla solo em vias de formação, cujo critério diagnóstico é “a insuficiência de expressão dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação, exígua diferenciação de horizontes” (Santos *et al.*, 2018, p. 85).

Os solos classificados nessa ordem não possuem nenhum tipo de horizonte B diagnóstico e a nível de subordens correspondem a Neossolos Quartzarênicos, pois não apresentam contato lítico ou fragmentário dentro de 50 cm e possuem sequência A-C com textura variando de areia a areia franca em todos os horizontes (Santos *et al.*, 2018).

Por se tratar de solos pouco evoluídos e constituídos por material mineral os Neossolos Quartzarênicos têm estrita aderência ao SRG *Arenosols* no sistema WRB, cuja chave para esse grupo de referência é:

Outros solos minerais em que se encontram a menos de 100 cm da superfície:

1. classe de textura média ponderada de areia ou areia franca ( $> 70$  areia  $\leq 90$  %); e
2. camadas de textura mais fina, se presentes, com espessura combinada  $< 15$  cm; e
3. camadas com  $\geq 40\%$  (em volume, em relação a todo o solo) de fragmentos grosseiros, se presentes, com espessura combinada  $< 15$  cm (IUSS WORKING GROUP WRB, 2022, p. 125).

Os qualificadores do SRG *Arenosols* estão principalmente relacionados a baixa concentração de Carbono orgânico do solo ( $\geq 2,0$  g kg) (média ponderada) nos primeiros 10 cm do solo mineral; atendendo à definição do qualificador *Ochric e*, presença de camada com  $\geq 25$  cm de espessura e começando  $\leq 75$  cm da superfície mineral do solo que fica saturada com água durante um período  $\geq 20$  dias consecutivos, para o qualificador *Oxyaquic*. Os perfis P3 e P4 atendem também ao qualificador *Protospodic*.

Em um trabalho de caracterização da camada superficial (0-20 cm) de solos de

cordilheiras no Pantanal da Nhecolândia (Nascimento *et al.*, 2023), constatou-se que os solos desses ambientes, que sustentam exuberantes formações florestais, são correlacionadas positivamente com os atributos P-Rem, frações areia e Dp, sendo a composição granulométrica da fração areia predominante, variando entre 895 a 943 g Kg<sup>-1</sup> e a densidade de partículas média de 2,62 g kg dm<sup>-3</sup>, relacionada a dominância do quartzo na composição mineralógica.

Por fim, a ordem Planossolo foi diagnosticada em lagoa salina (P1). No SiBCS o horizonte B plânico “é um tipo especial de horizonte B textural, com ou sem caráter sódico, subjacente a horizontes A ou E, apresentando mudança textural abrupta ou transição abrupta associada a relação textural” (Santos *et al.*, 2018 p. 65).

Atributos físicos e químicos do P1 contemplam os pressupostos para alocação no Grupo de Solo de Referência (RSG) *Solonetz*, pela constituição do *Natric Horizon*, que é definido como um horizonte denso, com incremento de argila e elevado teor de Na e eventualmente um teor relativamente alto de Mg trocável (IUSS Working Group WRB, 2022). O conjunto de critérios diagnósticos para esse RSG é:

Um horizonte nátrico consiste em material mineral e:

1. possui classe de textura areia franco ou mais fina e  $\geq 8\%$  de argila; e
2. um ou ambos os seguintes:
  - a. tem uma camada sobreposta de textura mais grossa com todos os seguintes:
    - i. a camada de textura mais grossa não está separada do horizonte nátrico por uma descontinuidade lítica; e
    - ii. se a camada de textura mais grossa se sobrepõe diretamente ao horizonte nátrico, sua subcamada mais inferior não faz parte de uma camada de arado; e
    - iii. se a camada de textura mais grossa não se sobrepõe diretamente ao horizonte nátrico, o horizonte de transição entre a camada de textura mais grossa e o horizonte nátrico tem uma espessura  $\leq 15$  cm; e
    - iv. se a camada de textura mais grossa tiver  $< 15\%$  de argila, o horizonte nátrico terá  $\geq 6\%$  (absolutamente) mais argila; e
    - v. se a camada de textura mais grossa tiver  $\geq 15$  e  $< 50\%$  de argila, a proporção de argila no horizonte nátrico em relação à camada de textura mais grossa é  $\geq 1,4$ ; e
    - vi. se a camada de textura mais grossa tiver  $\geq 50\%$  de argila, o horizonte nátrico terá  $\geq 20\%$  (absolutamente) mais argila; ou
  - b. tem evidência de argila iluvial em uma ou mais das seguintes formas:
    - i. pontes de argila conectando  $\geq 15\%$  dos grãos de areia; ou
    - ii. revestimentos argilosos cobrindo  $\geq 15\%$  das superfícies de agregados de solo, fragmentos grosseiros e/ou paredes de bioporos; ou
    - iii. em seções delgadas, corpos argilosos orientados (puros ou intercalados com camadas de silte) que constituem  $\geq 1\%$  da seção e que não foram transportados lateralmente após terem sido formados; ou
    - iv. uma proporção de argila fina para argila total no horizonte nátrico maior em  $\geq 1,2$  vezes do que a proporção na camada sobrejacente de textura mais grossa; e
2. tem um ou mais dos seguintes:
  - a. uma estrutura colunar ou prismática em alguma parte do horizonte; ou

- b. ambos os seguintes:
  - i. uma estrutura em blocos angular ou subangular; e
  - ii. penetrações de uma camada sobrejacente de textura mais grossa, na qual há areia não revestida e/ou grãos de silte grosso, estendendo-se  $\geq 2,5$  cm no horizonte nátrico; e
- 3. tem um dos seguintes:
  - a. percentual de Na trocável (ESP)  $\geq 15$  em todo o horizonte nátrico ou em seus 40 cm superiores, o que for mais fino; ou
  - b. ambos os seguintes:
    - i. mais Mg trocável mais Na do que Ca mais acidez de troca (tamponada em pH 8,2) em todo o horizonte nátrico ou em seus 40 cm superiores, o que for mais fino; e
    - ii. uma porcentagem de Na trocável (ESP)  $\geq 15$  em algum sub-horizonte começando  $\leq 50$  cm abaixo do limite superior do horizonte nátrico; e
- 4. Tenha uma espessura igual ou superior a um décimo da espessura do material mineral sobrejacente, se presente, e uma das seguintes características:
  - a.  $\geq 7,5$  cm (se composto por lamelas: espessura combinada até 50 cm do limite superior da lamela superior) se o horizonte nátrico tiver classe de textura franco-arenosa ou mais fina; ou
  - b.  $\geq 15$  cm (se composto por lamelas: espessura combinada dentro de 50 cm do limite superior da lamela superior) (IUSS WORKING GROUP WRB, 2022, p. 53).

Para esse perfil, os qualificadores principais incluem diferença textural abrupta e *stagnic properties*, pois a saturação de água possibilita condições redutoras. Qualificadores suplementares incluem *Differentic e Hypernatric* (IUSS Working Group WRB, 2022).

Alguns sistemas de taxonomia do solo se mostram mais adequados que outros para certas regiões do globo, assim critérios de diferenciação são úteis para compreender os processos de formação do solo, bem como horizontes diagnósticos, sendo que os sistemas taxonômicos que exploram desde o processo de formação do solo até todas as suas propriedades são apropriados por evidenciar diferentes condições e propriedades do solo (Abdelfattah; Shahid, 2007).

Assim as condições e limites estabelecidos pelo homem para construção taxonômica necessitam de constante revisão e atualização à medida que o conhecimento avança, principalmente em regiões onde ocorrem solos e ambientes pouco conhecidos, como o Pantanal. Portanto com o estabelecimento de limiares para a adequada classificação dos solos ocorre o aprimoramento da taxonomia. Desse modo, a classificação de solos deve cada vez mais refletir de fato o processo pedogenético pelo qual o solo foi formado, possibilitando a aquisição de conhecimento e a melhor comunicação possível com outros sistemas taxonômicos.

## 4.5 Conclusão

Os resultados mostram que os solos das paisagens do Pantanal da Nhecolândia são enquadrados em diferentes classes de solo, relacionados à gênese do solo em ambientes de inundação com limnologias distintas e em meio a densas paisagens florestais com solos, de maneira geral, pouco desenvolvidos, mas que sustentam vigorosas formações florestais.

No SiBCS, foram levantadas quatro classes de solo no primeiro nível categórico (Espodossolo, Gleissolo, Neossolo e Planossolo) enquanto o WRB apresenta três *Reference Soil Groups* (*Arenosol*, *Stagnosol* e *Solonetz*). Com a variedade de atributos do solo e horizontes de subsuperfície ocorre ainda a categorização em diferentes tipos de solo a partir de pressupostos dos níveis categóricos dos sistemas taxonômicos analisados (WRB e SiBCS).

Os Espodossolos não estão estreitamente associados a uma vegetação específica e ocorrem em lagoa salina (P3), baías (P5 e P8) e cordilheira (P4). Seus atributos (principalmente pH, C-org e cor) divergem do conceito central do RSG *Podzol* (ou seja, o primeiro nível da classificação do sistema WRB) em todas as situações analisadas. Assim a classe dos Espodossolos carece de melhor definição para os atributos essenciais na sua gênese e classificação.

O principal atributo do solo que corrobora à diferenciação entre os sistemas taxonômicos analisados para Gleissolo Sáfico (P2) é a sutil variação (apenas  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) da condutividade elétrica (CE) requerida para o enquadramento no SRG *Solonchaks*, que é o grupo de referência que melhor traduz as condições de salinidade desse solo.

Os solos classificados como Neossolos Quartzarênicos estão presentes em ambiente lacustre de baía (P6) e formações florestais de cordilheira (P7, P9, P10, P11 e P12) e são os solos que apresentam maior homogeneidade de atributos físicos, havendo correspondência entre os dois sistemas e diferenciação apenas a nível de qualificadores suplementares, levando à necessidade de uso destes para nomear solos com características diferenciais.

Planossolo Nátrico é a classe que apresenta o maior número de requisitos para ser enquadrada em um SRG, no caso o grupo de referência *Solonetz*. Nesse estudo constata-se que há semelhança entre os solos dessa classe, que ocorrem nas condições tropicais do Pantanal, e os solos com pedogênese equivalente que ocorrem em condições parecidas no mundo, devido a aderência aos critérios de classificação da WRB.

A coerente correspondência entre sistemas taxonômicos nacionais, como o SiBCS, e legendas mundiais, como o WRB, deve ser continuamente buscada através de

aperfeiçoamento nos sistemas de classificação. Nesse sentido a pesquisa e levantamento de solos constitui o princípio indutor para revelar novas questões ainda não incluídas nos sistemas e aumentar a sua abrangência. A padronização de métodos de análise do solo pode ainda melhorar a confiabilidade dos resultados analíticos necessários à classificação.



## 5. ATRIBUTOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA EM COMUNIDADES FLORESTAIS DO PANTANAL BRASILEIRO

### 5.1 Resumo

A serrapilheira é um componente importante que regula a ciclagem de nutrientes e a conservação da biodiversidade do solo. O escopo deste trabalho é investigar a relação entre solo e serrapilheira em típicas comunidades florestais do Pantanal. Para tanto, realizou-se trabalho de campo com amostragens em 152 parcelas; em laboratório, procedeu-se determinações analíticas de 22 atributos do solo e 11 elementos da composição química da serrapilheira; e análises estatísticas foram conduzidas. As comunidades florestais apresentam grande diversidade pedológica, variando de ambientes com solos marcados por elevada fertilidade natural (Capão e Cordilheira Abobral / Miranda), solos ácidos com alta proporção de  $Al^{3+}$  solúvel (Cambará / Canjiqueira e Corixo) e solos pouco desenvolvidos, com textura muito arenosa (Cordilheira Nhecolândia e Murundu). As maiores concentrações dos nutrientes da serrapilheira nas comunidades estudadas são  $Ca > N > K > Mg > P$ . Os solos interagem com composição química da serrapilheira como indicam significativas correlações entre N, P, Ca, Mg, Mn e relação C/N com atributos físicos, químicos e MOS. O Carbono, apesar de abundante na serrapilheira, apresentou fraca correlação com os constituintes do solo. Menores relações C/N nas áreas florestadas do Pantanal do Abobral / Miranda sugerem maiores taxas de decomposição da serrapilheira e ciclagem de nutrientes mais dinâmica, em comparação com os demais ambientes.

**Palavras-chave:** área úmida; serviço ecossistêmico; solo-serrapilheira; nutrientes.

## 5.2 Introdução

O Pantanal é uma importante área úmida de água doce do planeta; está localizado na bacia hidrográfica do rio Paraguai, centro geográfico da América do Sul, com cerca de 80% de extensão no território brasileiro. É reconhecido por ser um mosaico de diferentes ecossistemas, resultado da interação dos fatores ambientais e antrópicos ao longo do tempo (Schulz *et al.*, 2019), e pela grande biodiversidade associada (Junk *et al.*, 2006).

Processos ambientais que ocorrem no Pantanal possibilitam uma gama de serviços ecossistêmicos, como: manutenção do ciclo hidrológico e da sociobiodiversidade associada a seus ecossistemas, ciclagem biogeoquímica, remediação e retenção de elementos nocivos à saúde humana, controle e estabilização de processos erosivos acelerados, polinização, fornecimento de matérias primas e recursos genéticos, entre outros (Seidl e Moraes, 2000). Desse modo, as paisagens do Pantanal compreendem ambientes reconhecidos pela grande relevância, em termos econômicos, culturais, recreativos, estéticos, científicos e educacionais (Alho; Sabino, 2011; Junk *et al.*, 2006; Schulz *et al.*, 2019).

O Pantanal tem passado por intensas alterações da cobertura vegetal, com efeitos na condição hidrológica e diversidade biológica (Miranda; Paranho Filho; Pott, 2018). Também existem cenários de mudança do clima e uso da terra que podem afetar significativamente a configuração do Pantanal (Marengo; Oliveira; Alves, 2015). Apesar da grande relevância ecológica e social que as áreas úmidas intactas fornecem à sociedade brasileira (Junk *et al.*, 2014), o conjunto de ecossistemas pantaneiros são áreas vulneráveis às mudanças promovidas pelas atividades antrópicas (Ab'Saber, 1988; Junk *et al.*, 2006; Oliveira; Pla-Pueyo; Hackney, 2019; Schulz *et al.*, 2019).

O estudo da natureza do solo possibilita a compreensão de suas propriedades físicas, químicas e biológicas; permitindo compreender o passado e o presente do solo e prever o seu futuro (IUSS Working Group WRB, 2022). Adicionalmente, fatores edáficos são considerados fortes preditores da distribuição de espécies vegetais em paisagens tropicais, explicando as demandas ecológicas únicas de diferentes espécies de plantas em função de atributos do solo (Rodrigues; Silva; Schaefer, 2019). No entanto, poucos estudos têm focado na interação da composição da serrapilheira com os atributos do solo, face a sua propriedade de alterá-lo em diferentes direções e magnitudes (Giweta, 2020; Mishra *et al.*, 2019; Veen *et al.*, 2019).

A serrapilheira é um componente chave no entendimento da interação solo-vegetação, com efeitos relacionados a germinação de sementes, estrutura do solo, nutrição vegetal,

composição de comunidades e a ciclagem de nutrientes. Assim, a serrapilheira relaciona-se a aspectos físicos, químicos e bióticos com forte impacto no funcionamento dos ecossistemas terrestres e no crescimento das plantas (Alves *et al.*, 2021; Veen *et al.*, 2019).

Dessa maneira, a diversidade dos atributos edáficos e interações com a serrapilheira é uma lacuna na pesquisa científica sobre solos de ambientes florestais do Pantanal, em um cenário onde o uso do território vem se intensificando à custa da integridade dos ecossistemas pantaneiros.

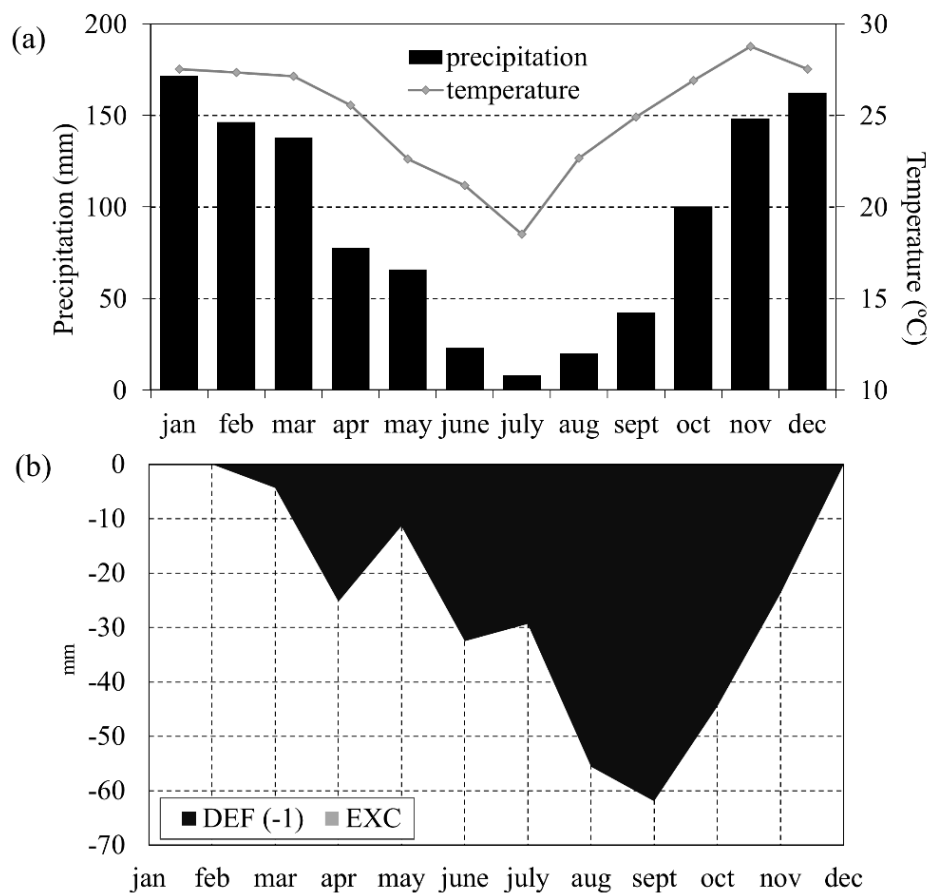
Neste estudo investigou-se a relação entre os atributos do solo e a química da serrapilheira em seis comunidades florestais típicas do Pantanal brasileiro, que se estabelecem em fisionomias regionalmente conhecidas como: Capão (CAP), Floresta de Cambará / Canjiqueira (CC), Cordilheira Abobral / Miranda (CORD.AM), Cordilheira Nhecolândia (CORD.N), Mata de Corixo (CORX) e Murundu (MUR).

### 5.3 Materiais e métodos

#### 5.3.1 Área de estudo

O clima da região se enquadra na classificação climática de Köppen; Geiger como Aw. A temperatura média anual compensada é de 25 °C, com médias anuais de mínimas e máximas de 18 e 29 °C, respectivamente nos meses de julho e novembro; a precipitação média anual é de 1100 mm, com dois períodos climáticos bem definidos: um chuvoso (outubro a março), que concentra cerca de 80 % do volume total de chuvas, e outro seco (abril a setembro) (INMET, 2019). Anualmente a evapotranspiração da região é superior a precipitação (Figura 15), totalizando uma deficiência hídrica anual de 289 mm, conforme balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (Figura 15).

Figura 15 – (a) Climograma e (b) extrato do balanço hídrico no Pantanal brasileiro.



Fonte: Fazenda Nhumirim, estação n° 83513. INMET, 2019. Capacidade de Água Disponível = 50 mm.

Dado à grande diversidade de solos, o Pantanal comporta diversos habitats que, sob

variação do pulso de inundação, permitem o estabelecimento e sobrevivência de uma flora peculiar (Ferreira-Júnior *et al.*, 2016). Assim, há grande diversidade fitogeográfica no Pantanal, com influência de províncias biogeográficas, como Cerrado, Amazônia, Mata Atlântica e Chaco, além de plantas exóticas (Pott; Silva, 2015). Desse modo, as formas de vegetação são fortemente influenciadas pela topografia local e pelos diferentes níveis de inundação, com a presença de estrato de vegetação arbórea, campestre e aquática presentes em paisagens bem definidas (Alho, 2008; Bazzo; Cardoso; Santos, 2012).

Considerando os aspectos fisiográficos, onde pequenas variações do relevo implicam em distintos gradientes de inundação, o Pantanal brasileiro pode ser regionalizado em 12 sub-regiões, dentre elas citamos a sub-região da Nhecolândia e a sub-região do Abobral / Miranda; que juntas correspondem à 24,7% da área total da planície pantaneira (Silva; Abdon, 1998).

As mencionadas sub-regiões têm paisagens heterogêneas: a Nhecolândia é formada por milhares de lagoas conectadas ou não à rede de drenagem e com características geoquímicas diferentes em meio a elevações arenosas não inundáveis no terreno, constituindo ecossistemas variados nas diversas feições da paisagem (Barbiéro *et al.*, 2002; Nascimento *et al.*, 2023). O Pantanal do Abobral / Miranda ocorre ao longo da planície de inundação dos rios de nomes análogos, onde se estabelece grandes extensões de áreas sazonalmente inundáveis que podem se configurar em canais de drenagem durante o período das cheias (Queiroz *et al.*, 2019).

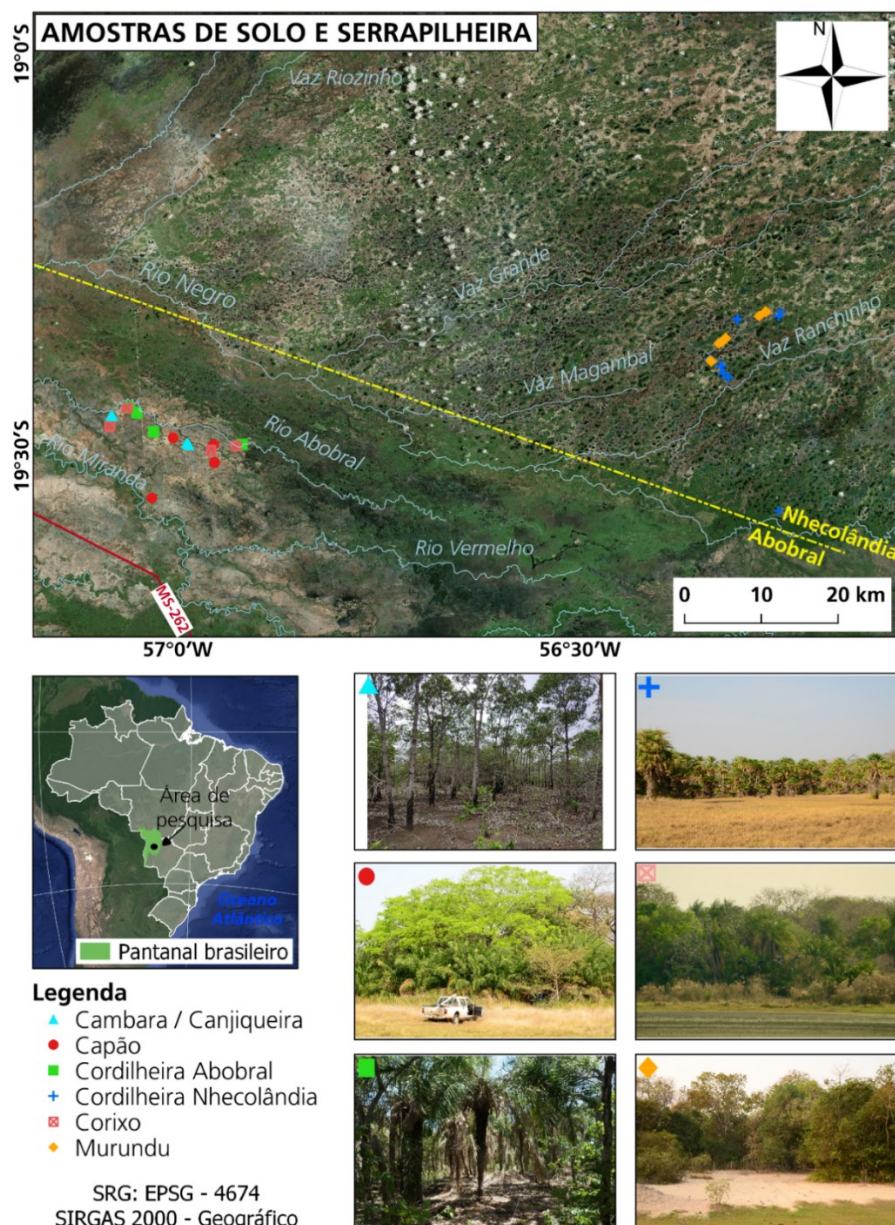
As formações florestais regionalmente denominadas de Capões e Cordilheiras geralmente não sofrem inundação sazonal na superfície do solo (Andrade *et al.*, 2022). Estas, ao contrário do que o nome sugere, são renques (cordões arenosos) originalmente cobertas por savana arborizada ou floresta semidecídua (Alho, 2008; Guerreiro *et al.*, 2018). Já os Capões são bolsões arbóreos de Cerrado de menor dimensão, que se constituem em verdadeiras ilhas de vegetação no período das cheias (Alho, 2008; Andrade *et al.*, 2022).

Os campos de Murundus são áreas planas sujeitas a inundação, onde se encontram várias elevações de terra (os murundus) com vegetação lenhosa típica de Cerrado (Marimon *et al.*, 2012; Moraes; Moraes; Lima, 2014). Já nas florestas de Cambará / Canjiqueira ocorrem a mista dominância da espécie amazônica Cambará (*Vochysia divergens*) e da Canjiqueira (*Byrsonima orbignyana*), tolerantes à inundação (Pott; Pott, 2009). Matas de Corixos se desenvolvem às margens dos canais intermitentes que periodicamente se conectam à rede fluvial (Barbiéro *et al.*, 2002).

### 5.3.2 Delineamento amostral e trabalhos de campo

Trabalhos de campo foram realizadas nos ambientes florestais anteriormente descritos, com vistas a prospecção de amostras para caracterização dos solos e serrapilheira das comunidades vegetais. Para tanto, houve a definição de 152 parcelas amostrais representativas distribuídas na área de estudo (Figura 16). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. As parcelas foram georreferenciadas com aparelho GPS *Garmin eTrex* e demarcadas em campo com o auxílio de fita métrica, piquetes e cordão de algodão.

Figura 16 – Localização de parcelas amostrais no Pantanal brasileiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em cada uma das 152 parcelas amostrais coletou-se em triplicata: solo na profundidade de 0-20 cm e serrapilheira (material vegetal parcialmente decomposto, constituído por galhos, folhas, frutos, sementes e flores) depositada na superfície do terreno com o uso de gabarito de dimensões de 50 cm x 50 cm. O material das coletas foi homogeneizado para cada parcela e acondicionado em sacos plásticos identificados para posterior análise laboratorial.

As amostragens e coletas de solos e serrapilheira ocorreram entre os anos de 2019 e 2020, no período de seca, situação cujo nível de inundação da região é reduzido e se torna possível o acesso via terrestre às remotas regiões pantaneiras.

### 5.3.3 Determinações analíticas

Os procedimentos de caracterização física, química e matéria orgânica dos solos foram baseados nos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solo (Teixeira *et al.*, 2017).

As amostras compostas de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de aço inoxidável com 2 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente foram determinados 22 atributos do solo, a saber: atributos físicos (areia, silte, argila), químicos (pH H<sub>2</sub>O, P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al, SB (soma de bases trocáveis), t (CTC efetiva), T (CTC a pH 7), V% (saturação por bases), m% (saturação por alumínio), Cu, Mn, Fe, Zn, P-remanescente e matéria orgânica do solo.

A composição granulométrica foi determinada a partir da dispersão de 20 g de TFSA com 10 mL NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e 190 mL de água destilada. Procedeu-se a agitação rotativa com 50 rpm durante 16 horas em agitador do tipo Wagner. Em seguida, a fração areia foi separada por tamisação em peneira com malha 0,053 mm de abertura. A fração argila (< 0,002 mm) foi obtida pela velocidade diferencial de sedimentação dessa partícula em detrimento do silte em um meio viscoso, considerando a D<sub>p</sub> para o cálculo de sedimentação da fração argila, onde definiu-se a profundidade de coleta do sobrenadante com uso de pipeta volumétrica a 20 cm. Os parâmetros foram aplicados à equação de Stokes:

$$t = \frac{(9 \cdot h \cdot \eta)}{2 \cdot (D_p - D_f) \cdot g \cdot r^2} \quad (1)$$

Onde: t é tempo de sedimentação (s); h é queda vertical, definida como 20 cm;  $\eta$  é a viscosidade da água a temperatura ambiente (0,009579 poises), D<sub>p</sub> é a densidade de partículas do solo (g cm<sup>-3</sup>); D<sub>f</sub> é a densidade da água (0,9987 g cm<sup>-3</sup>); g é aceleração da gravidade (978,4221 cm/s) e r<sup>2</sup> é o quadrado do raio da menor partícula a

se sedimentar (0,0001<sup>2</sup> cm).

O pH foi medido em água, com relação solo-solução 1:2,5. O P foi determinado por espectrofotometria após extração em solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, por leitura do extrato de saturação em fotômetro de chama; já Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, foram determinados por espectrômetro de absorção atômica e Al<sup>3+</sup> por titulação com NaOH após extração em KCl (1 mol L<sup>-1</sup>). A acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e quantificada por titulometria com NaOH.

A soma de base (SB) foi determinada pela soma de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>; a capacidade de troca catiônica a pH 7 (T) se refere a soma de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e H+Al<sup>3+</sup>, já a capacidade de troca catiônica efetiva (t) é determinada pela soma das quantidades trocáveis dos cátions Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>, não incluindo o H<sup>+</sup> que compartilha elétrons com as cargas do solo; a saturação por bases (V%) obtida pela expressão  $V\% = 100 * SB / CTC \text{ total}$ ; a porcentagem de saturação por alumínio (m%) trata-se da proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo.

Os micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) foram extraídos com solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica de chama após digestão em solução DTPA. O fósforo remanescente (P-rem) foi obtido a partir de leitura em espectrofotômetro calibrado com soluções padrão diluídas de fósforo; as amostras foram preparadas com TFSA e solução 0,010 mol L<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub> com 60 mg L<sup>-1</sup> de P. Já os teores de MOS foram determinados pelo método de oxidação por dicromato em meio ácido (Walkley-Black).

As amostras de serrapilheira foram peneiradas para retirada de solo e submetidas a secagem até peso constante em estufa de circulação e renovação de ar, a 60 °C, por 48 h; posteriormente o peso da liteira completamente seca foi obtido em balança de precisão (0,01g). Em seguida o material foi triturado em moinho tipo Wiley com malha ≤ 2 mm para realização de análises químicas do tecido vegetal. Procedeu-se então a determinação das concentrações via serrapilheira do: N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu, Na e C. Para o N realizou-se digestão sulfúrica, seguida de destilação e titulação do elemento de acordo com o método Kjeldahl. Para os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu e Na realizou-se digestão nítrico-perclórica. com quantificação por meio de espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Já o C foi determinado por calcinação em mufla. Os procedimentos de análise são descritos em Sarruge e Haag (1974) e Carmo *et al.* (2000).



#### 5.3.4 Análise dos dados

Os atributos do solo foram sintetizados por meio de Análise de Componentes Principais (PCA). A análise foi realizada após a padronização das variáveis do solo, com a transformação pelo seu logarítmico natural (ln). Ao conjunto de autovalores da PCA sobrepôs-se elipse de confiança de 90% em torno dos dados para avaliação da variabilidade amostral entre as sub-regiões no plano de ordenação multivariado.

A composição química da serrapilheira foi comparada entre as comunidades florestais por análise de variância. Após determinar a diferença entre as médias, teste *post hoc* de comparações múltiplas entre pares (teste de Tukey) foi aplicado. Previamente a ANOVA houve a realização de teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (teste de Bartlett), ambos a 5% de significância. As variáveis que não atenderam aos pressupostos citados foram logaritimizadas com base no ln.

A ciclagem de nutrientes no sistema solo-serrapilheira foi avaliada a partir dos atributos do solo de maior contribuição nos CP's e analisado por matriz numérica do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Para tanto, utilizou-se atributos do solo de maior importância nos CPs 1 e 2, a saber: argila, areia, MO, Fe, m%, t, K, P, pH e SB. Na matriz, os p-valores dos coeficientes foram calculados ( $\alpha = 0,05$ ) para definição de interações estatisticamente significativas. Todos os procedimentos e geração de gráficos estatísticos foram realizados no software R 4.1.1 (2022).

## 5.4 Resultados e discussão

Uma gama de características do solo foi analisada em todas as comunidades florestais, demonstrando que os solos florestais do Pantanal apresentam grande diversidade de atributos físicos, químicos e de matéria orgânica (MO) (Tabela 7).

Tabela 7 – Atributos químicos e físicos do solo (camada 0-20 cm) de comunidades florestais no Pantanal brasileiro.

	CAP	CC	CORD.AM	CORD.N	CORX	MUR
pH	7,6±0,5	5,0±0,4	7,6±0,5	5,8±0,6	5,3±0,4	5,0±0,2
P	243,7±221,7	3,7±1,1	166,7±103	14,5±9,1	3,6±2,2	7,5±3,0
K	247,0±41,1	59,3±28,0	203,2±65,3	83,6±34,1	97,2±40,9	47,4±14,1
Na	26,2±9,9	1,0±3,6	13,6±8,9	0,0±0,2	3,0±6,8	0,0±0,1
Ca <sup>2+</sup>	13,1±2,5	0,7±0,4	12,2±3,3	2,1±1,7	1,5±1,0	0,2±0,2
Mg <sup>2+</sup>	2,0±0,4	0,1±0,1	1,7±0,4	0,6±0,4	0,5±0,4	0,0±0,0
Al <sup>3+</sup>	0,0±0,0	0,6±0,3	0,0±0,0	0,2±0,3	0,6±0,7	0,5±0,2
H+Al	0,2±0,6	2,8±0,5	0,2±0,6	2,6±1,2	3,5±1,5	3,1±1,2
SB	15,9±2,8	1,0±0,5	14,5±3,7	2,9±2,1	2,3±1,4	0,4±0,2
t	15,9±2,8	1,6±0,3	14,5±3,7	3,0±1,9	2,9±1,3	0,9±0,3
T	16,1±2,4	3,8±0,5	14,7±3,2	5,5±1,5	5,8±1,8	3,5±1,3
V	98,2±4,9	26,0±10,8	96,6±11,8	48,1±25,2	38,0±16,3	10,9±5,3
m	0,0±0,0	38,8±20,6	0,4±1,7	14,1±25,9	23,0±20,1	60,3±14,6
MO	7,0±2,5	1,1±0,2	5,6±2,1	1,8±0,6	1,7±0,8	1,1±0,6
Prem	40,2±4,3	43,4±2,8	38,4±9,1	55,3±1,8	38,9±8,5	53,8±3,2
Cu	0,4±0,3	1,2±0,2	0,4±0,3	0,2±0,0	1,2±0,5	0,4±0,1
Mn	37,3±44,9	23,7±5,2	45,3±49,2	58,7±32,9	27,0±13,3	20,0±14,5
Fe	16,1±35,8	172,5±29,3	17,8±64,4	21,1±20,6	215,4±93,2	48,5±31,0
Zn	2,1±3,3	1,5±0,8	1,5±1,7	0,7±0,4	1,9±0,9	0,3±0,1
Areia	612±128	847±18	670±80	914±12	764±102	919±18
Silte	128±36	88±14	121±22	30±9	132±61	27±17
Argila	260±99	65±7	209±66	56±7	104±47	54±5

Fonte: Organizado pelo autor. Legenda: CAP = Capão. CC = Cambará / Canjiqueira. CORD.A = Cordilheira Abobral. CORX = Corixo. CORD.N = Cordilheira Nhecolândia, MUR = Murundu. Os valores apresentados se referem a média seguido pelo desvio padrão. Unidades: pH H<sub>2</sub>O 1:2,5; P, K, Na, Cu, Mn, Fe, Zn = mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al, Soma de Bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T) = cmolc dm<sup>-3</sup>; Saturação por Bases (V), Saturação por Alumínio (m) = %; Matéria Orgânica (MO) = dag kg<sup>-1</sup>; P-rem = mg L<sup>-1</sup>; Areia, Silte e Argila = g Kg<sup>-1</sup>.

De acordo com critérios adotados pelo SiBCS (Santos *et al.*, 2018) o pH dos solos amostrados varia de neutro (pH 6,6 – 7,3) a moderadamente alcalino (pH 7,4 – 8,3) nas paisagens de Capão (CAP) e Cordilheira Abobral / Miranda (CORD.AM). Relacionado à atividade do pH, também há elevada saturação por bases (V% > 90) nessas paisagens em

detrimento das demais. Tal condição ambiental também se relaciona aos maiores teores de cátions permutáveis ( $SB = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ) e, conseqüentemente, alta capacidade de troca de cátions (t) nesses ambientes. Nas demais formações florestais varia de fortemente (pH 4,3 – 5,3) a moderadamente (pH 5,4 – 6,5) ácido (Tabela 7).

O fósforo disponível para as plantas é baixo nas formações monodominantes de Cambará / Canjiqueira (CC), Cordilheira Nhecolândia (CORD.N), Corixo (CORX) e Murundu (MUR), diante das elevadas disponibilidades de CAP e CORD.AM (244 e 167 mg  $Kg^{-1}$ ). Por sua vez, o P-Rem, que é um indicador da capacidade de adsorção do solo, é superior a 50 mg  $L^{-1}$  em CORD.N e MUR, relevando baixa capacidade de retenção na superfície desses solos (Tabela 7).

O teor de alumínio na forma iônica ( $Al^{3+}$ ), tóxica à maioria das plantas, é mais elevado nas comunidades florestais de CORX, CC e MUR, correspondendo a alta acidez trocável ( $Al^{3+} > 1,0$  cmol<sub>c</sub>  $dm^3$ ). Com relação à saturação em alumínio (m), as maiores porcentagens de  $Al^{3+}$  no complexo sortivo ( $m > 70\%$ ) são identificadas em MUR (Tabela 7).

No geral, os microelementos não apresentam um padrão de distribuição bem definido, principalmente o Mn; mas também Zn e Cu, presentes em baixos níveis. Os teores mais abundantes de Fe ( $\sim 215$  mg  $dm^{-3}$ ) são observados em áreas sujeitas a inundações, CORX, seguido de CC ( $\sim 172$  mg  $dm^{-3}$ ) e taxas mais semelhantes nos demais casos (Tabela 7).

Com relação aos atributos físicos, em observância às classes definidas pelo SiBCS (Santos *et al.*, 2018), na Nhecolândia (CORD.N e MUR) observa-se textura muito arenosa, com conteúdo de areia comumente superior a 900 g  $kg^{-1}$ . No Pantanal do Miranda / Abobral, CC apresenta textura arenosa (areia  $> 700$  g  $kg^{-1}$ ), CORX e CORD.AM compreendem solos com textura média ( $< 350$  g  $kg^{-1}$  de argila e  $> 150$  g  $kg^{-1}$  areia) e CAP têm texturas variando de média a argilosa (350 a 400 g  $kg^{-1}$  de argila) (Tabela 7).

A MO, originada preferencialmente pela decomposição de resíduos da parte aérea e raízes das plantas, de micro-organismos e exsudato radicular, é mais elevada em CAP e CORD.AM. Nessas áreas, a MO apresenta alto teor, e chega a corresponder a 7,0 dag  $kg^{-1}$  e 5,6 dag  $kg^{-1}$  respectivamente. Nas demais comunidades florestais da sub-região do Abobral / Miranda (CC e CORX) o percentual corresponde em média a 1,1 e 1,7 dag  $kg^{-1}$ , se assemelhando ao que é observado em MUR (1,1 dag  $kg^{-1}$ ) e CORD.N (1,8 dag  $kg^{-1}$ ), na Nhecolândia (Tabela 7).

Na serrapilheira, a disponibilidade de nutrientes revela teores químicos que variam significativamente nas áreas estudadas (Tabela 8).

Tabela 8 – Composição química da serrapilheira de comunidades florestais no Pantanal brasileiro.

	CAP	CC	CORD.AM	CORD.N	CORX	MUR
<b>N</b>	a 1,8±0,3	d 0,9±0,1	b 1,5±0,3	c 1,0±0,3	c 1,0±0,1	cd 1,0±0,1
<b>P</b>	a 0,1±0,0	b 0,0±0,0	a 0,1±0,0	a 0,1±0,0	b 0,0±0,0	b 0,0±0,0
<b>K</b>	ab 0,4±0,0	d 0,1±0,0	bc 0,3±0,0	a 0,5±0,2	c 0,2±0,0	bc 0,3±0,0
<b>Ca</b>	a 3,5 ±1,1	b 1,3±0,2	a 3,4±1,2	b 1,4±0,7	b 1,3±0,4	c 0,5±0,1
<b>Mg</b>	ab 0,4±0,1	cd 0,2±0,0	a 0,4±0,1	bc 0,3±0,1	c 0,2±0,0	d 0,1±0,0
<b>Cu</b>	a 7,9±2,2	ab 6,9±2,0	a 7,2±1,9	b 5,2±1,7	a 8,0±1,0	b 5,1±1,7
<b>Fe</b>	a 1338±629	b 647±216	ab 767±269	c 266±129	ab 1094±113	c 259±107
<b>Zn</b>	a 25,5±7,9	a 18,8±4,3	a 22,0±13,0	b 11,2±3,3	a 19,5±2,5	b 10,5±4,3
<b>Mn</b>	d 197±57,2	a 1197±226	d 211±151	c 490±350	ab 728±132	bc 704±427
<b>Na</b>	a 0,0±0,0	a 0,0±0,0	a 0,0±0,0	a 0,0±0,0	a 0,0±0,0	a 0,0±0,0
<b>C</b>	b 47,8±3,1	c 44,7±3,5	bc 46,6±3,0	a 52,2±1,6	b 47,6±1,8	a 53,9±1,4
<b>C/N</b>	c 27,7±5,3	ab 53,0±5,8	c 33,0±7,0	ab 51,0±9,9	b 45,7±5,9	a 57,1±9,8

Fonte: Organizado pelo autor. Legenda: CAP = Capão. CC = Cambará / Canjiqueira. CORD.A = Cordilheira Abobral. CORX = Corixo. CORD.N = Cordilheira Nhecolândia. MUR = Murundu. Os valores apresentados se referem a média seguido pelo desvio padrão. Médias antecedidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Unidades: N, P, K, Ca, Mg, Na e C = dag kg<sup>-1</sup>; Cu, Fe, Zn, Mn = mg kg<sup>-1</sup>.

As maiores concentrações médias de macronutrientes, como N e P, são observadas respectivamente em CAP (1,8 e 0,1 dag kg<sup>-1</sup>) e CORD.AM (1,5 e 0,1 dag kg<sup>-1</sup>). Já o teor de K é significativamente maior em CORD.N (0,5 dag kg<sup>-1</sup>), com elevada dispersão dos dados. Com relação ao Ca e Mg, os teores mais elevados também são observados nas comunidades CAP (3,5 e 0,4 dag kg<sup>-1</sup>) e CORD.AM (3,4 e 0,4 dag kg<sup>-1</sup>). Os teores de Na determinados na serrapilheira são diminutos, não sendo observado diferença entre os ambientes (Tabela 8). De maneira geral, o gradiente de concentração dos nutrientes na serrapilheira é Ca>N>K>Mg>P, nas comunidades estudadas.

Com relação aos micronutrientes, em CORX observa-se o maior teor de Cu (8 mg kg<sup>-1</sup>), apresentando igualdade com CAP (7,9 mg kg<sup>-1</sup>) e CORD.AM (7,2 mg kg<sup>-1</sup>). Níveis mais elevados de Fe (> 1000 mg kg<sup>-1</sup>) estão em CAP e CORX (Tabela 8). Já nas paisagens da Nhecolândia (CORD.N e MUR) estão os menores níveis de Fe observados (~ 260 mg kg<sup>-1</sup>) na serrapilheira, sem ocorrência de diferenciação estatística entre elas. O Zn, presente em baixos níveis (10 a 25 mg kg<sup>-1</sup>), também é ligeiramente inferior em CORD.N e MUR. Já os teores mais elevados de Mn estão em CC (1197 mg kg<sup>-1</sup>) diferindo das demais comunidades florestais (Tabela 8).

O Carbono orgânico total (dag kg<sup>-1</sup>) predomina na composição da serrapilheira. E é significativamente maior em CORD.N (52,2) e MUR (53,9) em comparação com as florestas do Abobral / Miranda: CAP (47,8), CC (44,7), CORD.AM (46,6) e CORX (47,6). A relação

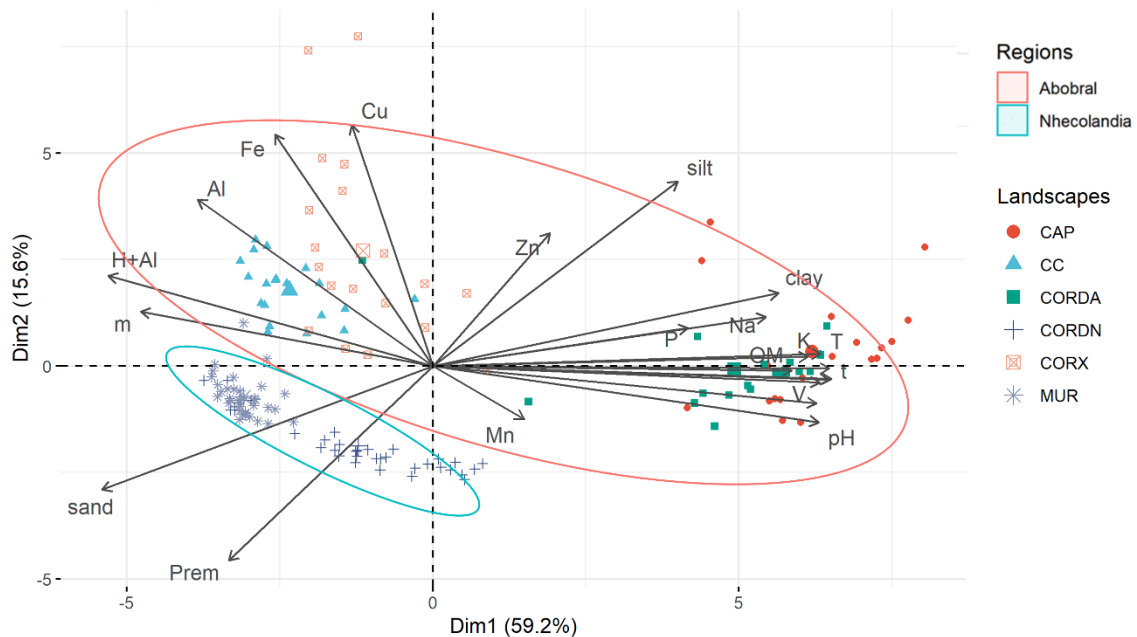
C/N é maior na serrapilheira de MUR (57,1), seguida de CC (53,0), CORD.N (51,0) e CORX (45,7) (Tabela 8). Já a relação C/N da serrapilheira em CAP e CORD.AM é estatisticamente similar, apresentando as menores taxas observadas.

A PCA contemplou um conjunto de 3344 variáveis resposta (22 atributos do solo x 152 amostras compostas). Os dois primeiros componentes principais (CPs) foram suficientes para explicar aproximadamente 75% da variância total dos dados (Figura 17). O limiar de 70% da variância total explicada é um ponto de corte comum para a definição do número de CPs a serem avaliadas (Jolliffe; Cadima, 2016). Sendo assim, foram considerados os dois primeiros componentes.

Com relação ao CP1, os atributos do solo que tiveram maior contribuição foram SB, t,  $\text{Ca}^{2+}$ , T,  $\text{Mg}^{2+}$ , pH, V,  $\text{K}^+$ , MOS, argila e  $\text{Na}^+$ . A contribuição desses atributos corresponde a 73,2% do CP1 com forte correlação positiva ( $r > 0,8$ ), portanto, entende-se que esse componente principal represente principalmente esses atributos. Já na CP2, os principais atributos que se correlacionaram positivamente foram Cu, Fe, Zn,  $\text{Al}^{3+}$  cujo peso da contribuição somou 57,6 % neste componente (Figura 17).

O gráfico biplot (Figura 17) evidencia que as fisionomias da Nhecolândia (CORDM e MUR) apresentam pouca variabilidade de atributos do solo. Beirigo *et al.* (2011) indicam, em um estudo no Pantanal de Barão de Melgaço (outra sub-região do Pantanal), que existem fortes evidências de que Murundus sejam oriundos de antigas Cordilheiras remodeladas por erosão diferencial, o que pode indicar o porquê da similaridade desses solos também em nossa área de estudo.

Figura 17 – PCA biplot de amostras e atributos do solo.  
PCA - Biplot



Fonte: Elaborado pelo autor. Elipses de confiança têm 90% de sobreposição.

Em Cordilheiras da Nhecolândia ocorrem solos pouco desenvolvidos, com textura muito arenosa (frações areia > 900 g kg<sup>-1</sup>) e densidade de partículas variando de 2,59 a 2,66 kg dm<sup>-3</sup> (típico de Neossolos Quartzarêmicos) (Nascimento *et al.*, 2023). Do mesmo modo, as características edáficas das formações CORD.N e MUR do presente estudo, estão associadas a vetores de areia e P-rem, diferenciando fortemente de outras áreas homônimas do conjunto do Pantanal

Em Cordilheiras do Abobral há presença de solo naturalmente fértil e básico (Chernossolos), que suporta o estabelecimento de floresta estacional semidecídua, com presença abundante da palmeira bacuri (*Pradosia lutexens*) e estratos arbustivo e herbáceo (Queiroz *et al.*, 2019). Cordilheiras em Barão de Melgaço compreendem paleossolos e solos com horizonte textural e presença de estrutura (Planossolos) (Beirigo *et al.*, 2011). Campos de Murundus do Pantanal norte também têm características edáficas dispareas as do presente estudo, sendo minerais hidromórficos, profundos, imperfeitamente a mal drenados, com baixa permeabilidade (Plintossolos), com presença de espécies lenhosas típicas de formações savânicas (Marimon *et al.*, 2012).

A região do Abobral / Miranda compreende um amplo gradiente pedológico (Figura 17), com marcantes distinções entre as paisagens de Capão e Cordilheira, que se associaram a vetores de MO, bases (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>), CTC e argila em detrimento de formações

monodominantes de Cambará / Canjiqueira (CC) e matas de Corixos (CORX), cujas amostras melhor se associam aos microelementos (Fe e Cu) e vetores como acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e acidez potencial (H+Al).

No Abobral / Miranda, CC e CORX são ambientes sazonalmente inundáveis que possuem solos ácidos, Al mais solúvel, baixos teores de nutrientes (P, Ca, Mg) e maior disponibilidade de íons metálicos (Fe, Mn, Zn). As condições do solo e do ambiente redutor impõe restrições a diversidade de comunidades vegetais e favorecem a dominância de espécies tolerantes e acumuladoras de alumínio (Queiroz *et al.*, 2019).

Em Campo de Cambará (Queiroz *et al.*, 2019) o pedoambiente ácido e com alta saturação em alumínio em superfície ( $m = 35,3\%$ ) tem favorecido a ocupação por Cambará e formações monodominantes em grandes áreas do Pantanal. Neste estudo, a média de saturação por alumínio no solo em CC foi ligeiramente maior ( $m = 38,8\%$ ), sendo inferior apenas ao observado em MUR, na Nhecolândia ( $m = 60,3\%$ ) (Tabela 7).

Nos ambientes de CORX, observamos médias de  $m=23\%$ , a acidez potencial mais elevada ( $H+Al = 3,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ) e pH ligeiramente elevado se comparado a CC (Tabela 7), semelhante ao descrito por Queiroz *et al.* (2019), que também constataram que a maior acidez potencial em um geoambiente de Corixo se deve ao efeito tampão da matéria orgânica, que é depositada na ocasião da cheia e passa por lenta decomposição. Assim, considerando as condições menos restritivas, assumimos que solos de CORX diferem-se dos de CC.

Cordilheiras e Capões do Abobral são formações florestais não inundáveis que apresentaram composição florística semelhante, de pouca variedade, típicas de floresta secundária, mas com diferentes graus de abundância-dominância, sociabilidade e dinâmica dos estratos nas formações florestais (Andrade *et al.*, 2022). Em Cordilheira do Abobral, Queiroz *et al.*, (2019) identificou Chernossolos influenciado por um acúmulo de carbonatos biogênicos que se associou a uma maior biomassa vegetacional dentre outros geoambientes da região.

No presente estudo, atentamos para a semelhança dos atributos do solo de CAP e CORD.M no que se refere às disponibilidades máximas de nutrientes (e.g. P,  $Ca^{2+}$  e  $K^+$ ) e de MO dentre as comunidades florestais avaliadas. Essa configuração influencia na capacidade de trocas de cátions, possibilitando que os íons adsorvidos na superfície dos coloides presentes no solo sejam trocados com o ambiente ou usados pelas plantas. Assim, CAP e CORD.M são os solos florestais de maior fertilidade natural.

A dinâmica da serrapilheira nos ecossistemas terrestres envolve diferentes mecanismos, pois a produção, taxa de decomposição e teor de nutrientes da serrapilheira

variam em função da sazonalidade climática e diversidade de comunidades da cobertura vegetal, onde espécies nativas tem potencial para conferir maior produção anual e material de melhor qualidade nutricional (Valente *et al.*, 2023).

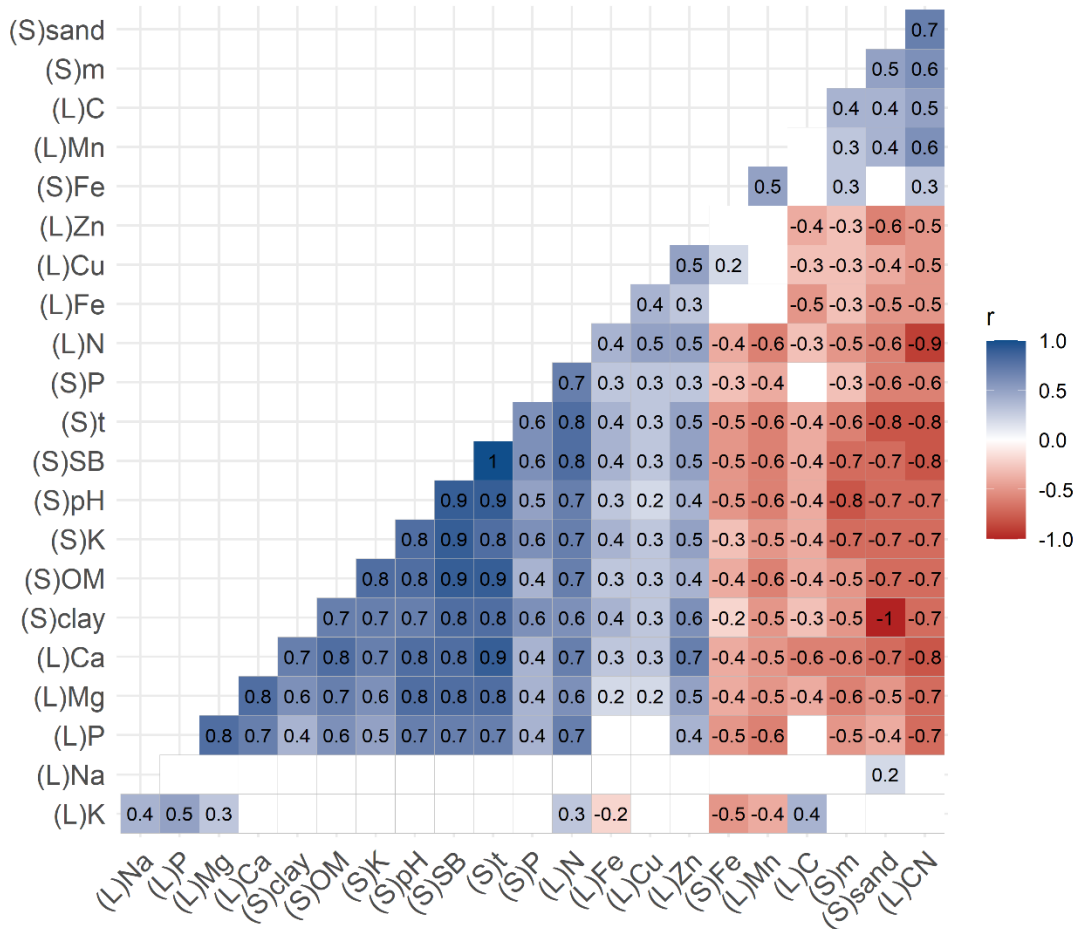
O solo é um ecossistema com comunidade altamente diversificada de organismos, que são vitais para o funcionamento dos ciclos da vida no planeta (Brady; Weil, 2013). É na serrapilheira que se encontra a maior parte da biomassa microbiana do solo. Os microrganismos, visando a obtenção de energia e nutrientes, tem ação nos processos de oxidação, redução e complexação de compostos minerais e orgânicos que ocorrem no solo. (Silva; Mendonça, 2007). É a dinâmica de ação dos microrganismos que governa o ciclo e concentração de diversos nutrientes, como N, P e S nos compartimentos terrestres (Silva; Mendonça, 2007).

As maiores concentrações de nutrientes na serrapilheira, para todas as comunidades, apresentam-se na ordem  $Ca > N > K > Mg > P$ , sendo a mesma configuração do que foi observado em uma floresta estacional semidecídua no sul do Brasil (Pimenta *et al.*, 2011), e bem similar ao descrito em fisionomias do Cerrado do Distrito Federal (Ribeiro *et al.*, 2017).

Uma correlação entre as características do solo e a química da serrapilheira indica o papel da serrapilheira na mudança das propriedades do solo e vice-versa (Ficken; Wright, 2017). Assim, os quocientes de correlação de Pearson entre os atributos do solo e a química da serrapilheira (Figura 18) demonstram claramente o nível das relações estabelecidas.



Figura 18 – Matriz de correlação entre atributos do solo e da serrapilheira.  
correlation matrix



Fonte: Elaborado pelo autor. Apenas correlações significativas ( $p\text{-valor} \leq \alpha$ ) são mostradas. Legenda: (S) = solo, (L) = liteira.

Observamos correlação significativa entre a maioria dos atributos do solo e nutrientes presentes na serrapilheira, a exceção de K e Na. Os nutrientes da serrapilheira que mais se relacionam com a composição dos solos são N, P, Ca, Mg, Mn e relação C/N. Já os que são menos relacionados são Fe, Cu e Zn, que apresentam, majoritariamente, fraca correlação ( $r < 0,5$ ). O C-orgânico, apesar de abundante na composição da serrapilheira, apresentou correlação fraca com os constituintes do solo avaliados (Figura 18).

No tocante aos atributos químicos do solo, o indicativo de que a química da serrapilheira desempenha uma interação significativa com o pH do solo é uma perspectiva elucidada por Mishra *et al.* (2019). Neste estudo, é constatado que o pH do solo se correlaciona fortemente ( $r = 0,7$  e  $0,8$ ) à disponibilidade de nutrientes, como N, P, Mg e Ca na composição química da serrapilheira. No mesmo sentido, a SB e t (que tem atividade relacionada ao pH), apontam para as mesmas correlações.

As plantas necessitam em grandes quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , N e P, nutrientes estes

pouco abundantes no solo. Geralmente os nutrientes presentes no solo são consumidos muito mais rapidamente do que são gerados pelo intemperismo do material parental (Ricklefs, 2009). Adicionalmente cálcio, nitrogênio e fósforo são rapidamente mineralizados na serrapilheira (Krishna; Mohan, 2017). Ademais a produção vegetal nas comunidades CORD.MA e CAP (com pH mais alcalino e melhores condições de fertilidade natural) é emanada pela eficiente ciclagem de nutrientes, mediada pela interação do solo e serrapilheira.

As interações da serrapilheira com atributos físicos do solo têm recebido pouca atenção em pesquisas sobre relação solo-planta, apesar do fortes efeitos exercidos no ambiente físico do solo, em aspectos como retenção de umidade, germinação de sementes, crescimento de mudas e melhoria da estrutura do solo (Veen *et al.*, 2019). A textura do solo também influencia a atividade de microrganismos, pois relaciona-se a disponibilidade de água no solo e, portanto, pode influenciar nas taxas de decomposição da serrapilheira em nutrientes, passíveis de ser assimilados pelas plantas para a produção vegetal (Alves *et al.*, 2021). No presente estudo a composição da serrapilheira pode ter interação com as características físicas do solo, em especial N e relação C/N, que apresentam correlação moderada ( $r = 0,6$ ) e forte ( $r = 0,7$ ) com as frações texturais do solo (areia e argila) (Figura 18).

A MO do solo é uma mistura complexa e variada de substâncias orgânicas, onde o C compreende cerca da metade da massa. A MO é intimamente relacionada ao N, pois contém cerca de 5% do nitrogênio total (Brady; Weil, 2013). Forte correlação ( $r = 0,7$ ) entre a MO e N é observada na serrapilheira, reforçando essa condição no Pantanal brasileiro.

A MO também influencia outros atributos físicos e químicos do solo e exerce papel fundamental nas taxas decomposição da serrapilheira, que são evidenciadas pela relação C/N (Krishna; Mohan, 2017). Sabe-se que a taxa de decomposição é alta diante de menores razões C/N (Krishna; Mohan, 2017). No solo, relações C/N mais estreitas resultam em maior mineralização enquanto as mais largas podem resultar na imobilização de nutrientes e lentas taxas de decomposição. Assim relações C/N < 30, possibilitam condições de mineralização líquida dos nutrientes (Silva; Mendonça, 2007).

Há forte correlação existente entre a MO do solo e relação C/N ( $r = - 0,7$ ) (Figura 18). Assim as menores relações C/N observadas nesse estudo (CORD.M = 33,0 e CAP = 27,7) convergem também para alta dinamicidade da ciclagem de nutrientes já apontadas nesse estudo, onde o processo de mineralização de nutrientes predomina e, mediado pela MO, há elevada disponibilidade de nutrientes para as plantas (Tabelas 7 e 8).

A decomposição da serrapilheira é altamente significativa no funcionamento dos

ecossistemas, pois é uma das principais formas de ciclagem de nutrientes e elementos como carbono e nitrogênio. Se trata de um processo altamente complexo que envolve uma série de fatores físicos, químicos e biológicos (Krishna; Mohan, 2017). A composição da serrapilheira é determinada pela dinâmica da composição florística que varia em função de atributos dos diferentes pedoambientes do Pantanal brasileiro. Nesse sentido, os resultados contribuem com informações sobre composição da serrapilheira e o papel de fatores ambientais em diferentes ecossistemas pantaneiros.

## 5.5 Conclusão

Os resultados demonstram que os solos do Pantanal interagem com a composição química da serrapilheira à medida que determinamos significativas correlações entre N, P, Ca, Mg, Mn e relação C/N da serrapilheira com atributos físicos, químicos e MO dos solos. O C-orgânico, apesar de abundante na composição da serrapilheira, apresentou fraca correlação com os constituintes do solo. Menores relações C/N em CAP e CORD.M sugerem taxas de decomposição da serrapilheira e ciclagem de nutrientes mais acelerada nessas áreas, em detrimento das demais comunidades florestais no Pantanal brasileiro (CC, CORX, CORD.N e MUR).

## 6. CONCLUSÕES

Na composição textural das camadas superficiais (0-20 cm) de solos do Pantanal da Nhecolândia predomina a fração areia fina, sendo que a classe textural dos solos varia de muito arenosa, arenosa média e média arenosa para as baías; muito arenosa para as cordilheiras, com Dp relacionada a mineralogia do quartzo; e muito arenosa, arenosa média, média argilosa e argilosa para as salinas. Com relação aos atributos químicos e matéria orgânica, as baías se destacam pela maior acidez potencial (H+Al), teores de MO ligeiramente elevados e disponibilidade de íons metálicos, sobretudo Fe. Nas cordilheiras, maiores médias de P-rem são mais evidentes, já os solos de salinas se relacionam a valores de pH mais alcalinos, elevada saturação por bases e altos índices de saturação por Sódio (ISNa).

Os resultados de classificação permitem que os solos das paisagens da Nhecolândia sejam enquadrados em diferentes classes de solo, relacionados à coexistência de sistemas alagados com limnologias distintas em meio a densas paisagens florestais com solos de pouco desenvolvimento. No SiBCS, foram levantadas quatro classes de solo no primeiro nível categórico (Espodosolo, Gleissolo, Neossolo e Planossolo) enquanto o WRB apresenta três *Reference Soil Groups* (*Arenosol*, *Stagnosol* e *Solonetz*). Com a variedade de atributos do solo e horizontes de subsuperfície ocorre ainda a categorização em diferentes tipos de solo a partir de pressupostos dos sistemas taxonômicos analisados (FAO/WRB e SiBCS). No entanto, cerca de 40% dos solos classificados no SiBCS não apresentam sua correspondência equivalente no WRB devido a limiares relacionados a atributos como C-org, cor, pH e salinidade.

Com relação ao serviço ecossistêmico de ciclagem de nutrientes, os resultados demonstram que os solos do Pantanal interagem com a composição química da serrapilheira à medida que determinamos significativas correlações entre N, P, Ca, Mg, Mn e relação C/N da serrapilheira com atributos físicos, químicos e MO dos solos. O C-orgânico, apesar de abundante na composição da serrapilheira, apresentou fraca correlação com os constituintes do solo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELFATTAH, M. A.; SHAHID, S. A. A Comparative Characterization and Classification of Soils in Abu Dhabi Coastal Area in Relation to Arid and Semi-Arid Conditions using USDA and FAO Soil Classification Systems. **Arid Land Research and Management**, Filadélfia, v. 21, n. 3, p. 245-271, jul. 2007. <https://doi.org/10.1080/15324980701426314>
- AB'SABER, A. N. Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 50, n. especial, p. 9-57, 1988.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai – PRH Paraguai**. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/portal/RH-Paraguai/Plano.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2019.
- ALHO, C. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 4, p. 957-966, nov. 2008. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500005>
- ALHO, C.; SABINO, J. A conservation agenda for the Pantanal's biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 1, p. 327-335, abr. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000200012>
- ALMEIDA, T. I. R.; CALIJURI, M. D. C.; FALCO, P. B.; CASALI, S. P.; KUPRIYANOVA, E.; PARANHOS FILHO, A. C.; SIGOLO, J. B.; BERTOLO, R. A. Biogeochemical processes and the diversity of Nhecolândia lakes, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 83, n. 2, p. 391-407, jun. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500005>
- ALVES, V. N.; BERTIN, D. G.; SANTOS, D. D. S.; WENDLING, B.; LANA, R. M. Q.; TORRES, J. L. R.; PINHEIRO, M. H. Q. Decomposition of leaf litter in the Brazilian savanna on limestone and sandstone Neosols. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 93, n. 3, p. e20200372, 2021. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200372>
- ANDRADE, B. DA S.; SILVA, M. H. S. DA; OLIVEIRA, A. K. M. DE; ALHO, C. J. R. Composição e estrutura vegetacional de formações florestais não inundáveis do Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. **Geosul**, Florianópolis, v. 37, n. 83, p. 232-258, out. 2022. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2022.e83899>
- ANJOS, L. H. C.; JACOMINE, P. K. T.; SANTOS, H. G.; OLIVEIRA, V. Á.; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VITAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. cap. 8, p. 303 - 343.
- ASSINE, M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, Amsterdã, v. 114, n. 1, p. 23-34, 2004. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(03)00039-9)
- BARBIÉRO, L.; QUEIROZ NETO, J. P.; CIORNEI, G.; SAKAMOTO, A. Y.; CAPELLARI, B.; FERNANDES, E.; VALLES, V. Geochemistry of water and ground water in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil: variability and associated processes.

**Wetlands**, Wilmington, v. 22, n. 3, p. 528-540, set. 2002. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2002\)022\[0528:GOWAGW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2002)022[0528:GOWAGW]2.0.CO;2)

BAZZO, J. C.; CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. A. Aspectos geofísicos e ambientais do Pantanal da Nhecolândia. **Revista de Geografia**, Recife, v. 29, n. 1, p. 141-161, ago. 2012.

BEIRIGO, R. M.; VIDAL TORRADO, P.; STAPE, J. L.; COUTO, E. G.; ANDRADE, G. R. **P. Solos da Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal**. Rio de Janeiro: SESC, 2011. 76 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2021. 382 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Congresso Nacional, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 4 dez. 2019.

CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. A.; URBANETZ, C.; FILHO, A. DE C.; NAIME, U. J.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. Relação entre solos e unidades da paisagem no ecossistema Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1231-1240, set. 2016. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900023>

CARMO, C. A. F. DE S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. DE C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p.

COSTA, M.; TELMER, K. H.; EVANS, T. L.; ALMEIDA, T. I. R.; DIAKUN, M. T. The lakes of the Pantanal: inventory, distribution, geochemistry, and surrounding landscape. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 23, n. 1, p. 19-39, fev. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9401-3>

COUTO, E. G. *et al.* Soils of Pantanal: The Largest Continental Wetland. *In*: SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **The Soils of Brazil. World Soils Book Series**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 239-267. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_9)

CUNHA, C. N.; JUNK, W. J. A preliminary classification of habitats of the Pantanal of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, and its relation to national and international wetland. *In*: JUNK, W. J.; SILVA, C. J.; CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M. (Eds.). **The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland**. 1. ed. Sofia: PENSOFT Publishers, 2009. cap. 5, p. 127–141.

EVANS, T. L.; COSTA, M. Landcover classification of the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 and ENVISAT/ASAR imagery. **Remote Sensing of Environment**, Nova Iorque, v. 128, p. 118-137, jan. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.022>

FERREIRA-JÚNIOR, W. G.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CUNHA, C. N.; DUARTE, T. G.; CHIEREGATTO, L. C.; CARMO, F. M. S. Flood regime and water table determines tree distribution in a forest-savanna gradient in the Brazilian Pantanal. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 88, n. suppl 1, p. 719-731, abr. 2016. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150341>

FICKEN, C. D.; WRIGHT, J. P. Effects of fire frequency on litter decomposition as mediated by changes to litter chemistry and soil environmental conditions. **PLOS ONE**, São Francisco, v. 12, n. 10, p. e0186292, out. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186292>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World Reference Base**. Roma: FAO, 2022. Disponível em: < <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/en/> >. Acesso em: 12 jan. 2022.

FURQUIM, S. A. C.; SANTOS, M. A.; VIDOCA, T. T.; BALBINO, M. A.; CARDOSO, E. L. Salt-affected soils evolution and fluvial dynamics in the Pantanal wetland, Brazil. **Geoderma**, Amsterdã, v. 286, p. 139-152, jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.030>

GIWETA, M. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. **Journal of Ecology and Environment**, Seul, v. 44, n. 11, p. 1-9, mai. 2020. <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2>

GUERREIRO, R. L.; MCGLUE, M. M.; STONE, J. R.; BERGIER, I.; PAROLIN, M.; SILVA CAMINHA, S. A. F. DA; WARREN, L. V.; ASSINE, M. L. Paleoecology explains Holocene chemical changes in lakes of the Nhecolândia (Pantanal-Brazil). **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 815, p. 1-19, jun. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3429-3>

HARTEMINK, A. E. The use of soil classification in journal papers between 1975 and 2014. **Geoderma Regional**, Amsterdã, v. 5, p. 127-139, ago. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.05.002>

HERVÉ, M. **RVAideMemoire**: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics, 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/RVAideMemoire/index.html>. Acesso em: 9 mai. 2022.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. **FactoMineR**: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/index.html>. Acesso em: 9 mai. 2022.

HUYSSTEEN, C. VAN; TURNER, D.; LE ROUX, P. Principles of soil classification and the future of the South African system. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretória, v. 30, n. 1, p. 23-32, abr. 2013. <https://doi.org/10.1080/02571862.2013.771752>

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos (1993-2019)**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2019. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em <



<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html>>. Acesso em: 30 jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2015. 428 p.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. 4. ed. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS), 2022. 236 p.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, Londres, v. 374, n. 2065, p. 1-16, abr. 2016. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

JÓNSSON, J. Ö. G.; DAVÍÐSDÓTTIR, B. Classification and valuation of soil ecosystem services. **Agricultural Systems**, Essex, v. 145, p. 24-38, jun. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>

JUNK, W. J. *et al.* Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, Chichester, v. 24, n. 1, p. 5-22, fev. 2014. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. DA; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRÜSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, Basel, v. 68, n. 3, p. 278-309, out. 2006. <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0851-4>

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; CUNHA, C. N. DA; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. Macrohabitat studies in large Brazilian floodplains to support sustainable development in the face of climate change. **Ecohydrology and Hydrobiology**, Varsóvia, v. 18, n. 4, p. 334-344, dez. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.007>

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **factoextra**: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses, 2020. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/index.html>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Disponível em: <<https://collections.lib.uwm.edu/digital/collection/agsmap/id/397/>>. Acesso em: 4 dez. 2019.

KRISHNA, M. P.; MOHAN, M. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. **Energy, Ecology and Environment**, Heidelberg, v. 2, n. 4, p. 236-249, ago. 2017. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>

LIMA, L. A. S.; NEUMANN, M. R. B.; REATTO, A.; ROIG, H. L. **Mapeamento de Solos do Tradicional ao Digital**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2013. 51 p.

MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G. G.; ALVES, L. M. Climate Change Scenarios in the Pantanal. In: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (Eds.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in**

**South America.** The Handbook of Environmental Chemistry, vol. 37. Cham: Springer, 2015. 227 -238. [https://doi.org/10.1007/698\\_2015\\_357](https://doi.org/10.1007/698_2015_357)

MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MEWS, H. A.; JANCOSKI, H. S.; FRANZAK, D. D.; LIMA, H. S.; LENZA, E.; ROSSETE, A. N.; MORESCO, M. C. Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 181-196, mar. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000100018>

MENEZES, A. R. D.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C. D.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A. Soils with dark subsurface horizons in saline basins in the Brazilian Pantanal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 46, p. e0210088, mar. 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210088>

MENEZES, A. R. DE; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C. D. Spodosols in Brazil: distribution, characteristics and diagnostic attributes of spodic horizons. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretória, v. 35, n. 4, p. 241-250, ago. 2018. <https://doi.org/10.1080/02571862.2017.1410734>

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis.** Washington: Island Press, 2005. 137 p.

MIRANDA, C. DE S.; PARANHO FILHO, A. C.; POTT, A. Changes in vegetation cover of the Pantanal wetland detected by Vegetation Index: a strategy for conservation. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 18, n. 1, jan. 2018. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0297>

MISHRA, S.; SINGH, K.; SAHU, N.; SINGH, S. N.; MANIKA, N.; CHAUDHARY, L. B.; JAIN, M. K.; KUMAR, V.; BEHERA, S. K. Understanding the relationship between soil properties and litter chemistry in three forest communities in tropical forest ecosystem. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 191, n. suppl 3, p. 797, dez. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7691-x>

MORAIS, R. F.; MORAIS, F. F.; LIMA, J. F. DE. Composição e estrutura da comunidade arbórea e arbustiva em murundus no Pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 443-451, jun. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300006>

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Book.** Grand Rapids: Munsell Color, 2009.

NASCIMENTO, D. C.; CORRÊA, G. R.; GRADELLA, F. S.; CAMPOS, P. V.; KOCH, V. A.; VASCONCELOS, B. N. F. Solos de ambientes lacustres do Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 35, n. 1, p. e67560, mar. 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67560>

OKSANEN, J. *et al.* **Vegan:** Community Ecology Package, 2022. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

OLIVEIRA, E. C.; PLA-PUEYO, S.; HACKNEY, C. R. Natural and anthropogenic influences on the Nhecolândia wetlands, SE Pantanal, Brazil. **Geological Society, London**,

**Special Publications**, Londres, v. 488, n. 1, p. 167-180, jan. 2019.

<https://doi.org/10.1144/SP488.5>

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; CHIAPINI, M.; NASCIMENTO, A. F.; COUTO, E. G.; BEIRIGO, R. M.; VIDAL-TORRADO, P. Genesis and Classification of Sodic Soils in the Northern Pantanal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, p. 1-19, out. 2017.

<https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170015>

OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; FURQUIM, S. A. C.; NASCIMENTO, A. F.; BEIRIGO, R. M.; BARBIÉRO, L.; VALLES, V.; COUTO, E. G.; VIDAL-TORRADO, P. Salt-affected soils on elevated landforms of an alluvial megafan, northern. **Catena**, Amsterdã, v. 172, p. 819-830, jan. 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.041>

PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. 2010. 174 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada)** - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2010.

PARRON, L. M.; FIDALGO, E. C. C.; LUZ, A. P.; CAMPANHA, M. M.; TURETTA, A. P. D.; PEDREIRA, B. C. C. G.; PRADO, R. B. Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 14, n. 3, p. e2263, mai. 2019.

<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2263>

PIMENTA, J. A.; ROSSI, L. B.; TOREZAN, J. M. D.; CAVALHEIRO, A. L.; BIANCHINI, E. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 53-57, mar. 2011.

<https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000100008>

POLIDORO, J. C. *et al.* **Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016. 53 p.

POTT, A.; POTT, V. J. Vegetação do Pantanal: fitogeografia e dinâmica. *In*: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, v. 2, 2009, Corumbá. **Anais [...]**. Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 1065-1076.

POTT, A.; SILVA, J. S. V. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the pantanal wetland. *In*: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (Eds.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. The Handbook of Environmental Chemistry, vol. 37. Cham: Springer, 2015. 111 - 131. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-2304-03>

PRADO, R. B. *et al.* Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1021-1038, set. 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900002>

QUEIROZ, R. F. P.; CORRÊA, G. R.; GRADELLA, F. S.; ROSA, G. P. Gradiente edáfico define as fitofisionomias do Pantanal do Abobral, Brasil. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 730-743, dez. 2019. <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2304.03>

RADAM BRASIL. **Folha SE 21, Corumbá, Porto Murtinho e Aldeia Tomázia: Geologia**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1982. 22 p.

- RESENDE, M.; CURI, N.; OLIVEIRA, J. B.; KER, J. C. Princípios da Classificação dos Solos. *In*: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VITAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. cap. 2, p. 21 - 46.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. DE; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia - Base para distinção de ambientes**. 6. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014. 378 p.
- RIBEIRO, B. T.; NASCIMENTO, D. C.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; COSTA, E. T. S.; LOPES, G.; CARNEIRO, J. P. Assessment of trace element contents in soils and water from Cerrado Wetlands, Triângulo Mineiro region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 43, p. e0180059, abr. 2019. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180059>
- RIBEIRO, F. P.; BUSSINGUER, A. P.; HODECKER, B. E. R.; GATTO, A. Conteúdo de nutrientes na serapilheira em três fisionomias do Cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 92, p. 465-473, dez. 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.92.1312>
- RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 503 p.
- RODRIGUES, P. M. S.; SILVA, J. O.; SCHAEFER, C. E. G. R. Edaphic properties as key drivers for woody species distributions in tropical savannic and forest habitats. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 67, n. 1, p. 70-80, mar. 2019. <https://doi.org/10.1071/BT17241>
- SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; FILHO, J. C. DE A.; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.
- SANTOS, R. D. DOS; SANTOS, H. G. DOS; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. DOS; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56 p.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA NETO, E.; CORRÊA, G. R.; SIMAS, F. N. B.; CAMPOS, J. F.; MENDONÇA, B. A. F. D.; NUNES, J. A. Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, Belém, v. 11, n. 1, p. 85-101, abr. 2017. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v11i1.462>
- SCHIAVO, J. A.; NETO, H. A. D.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; SECRETTI, M. L.; PESSENDA, L. C. R. Characterization and Classification of Soils in the Taquari River Basin - Pantanal Region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 697-707, jun. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300002>

SCHULZ, C. *et al.* Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: Synthesis and research agenda. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 687, p. 1011-1027, out. 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.023>

SEIDL, A. F.; MORAES, A. S. Global valuation of ecosystem services: application to the Pantanal da Nhecolândia, Brazil. **Ecological Economics**, Amsterdã, v. 33, n. 1, p. 1-6, abr. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00146-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00146-9)

SHI, X. Z.; YU, D. S.; XU, S. X.; WARNER, E. D.; WANG, H. J.; SUN, W. X.; ZHAO, Y. C.; GONG, Z. T. Cross-reference for relating Genetic Soil Classification of China with WRB at different scales. **Geoderma**, Amsterdã, v. 155, n. 3-4, p. 344-350, mar. 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.017>

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 6, p. 275 - 374.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. D. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1703–1711, 1998.

SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; ASSINE, M. L. Areiais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 211-224, 2003.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SRIVASTAVA, P.; SHUKLA, A.; BANSAL, A. A comprehensive review on soil classification using deep learning and computer vision techniques. **Multimedia Tools and Applications**, Dordrecht, v. 80, n. 10, p. 14887-14914, abr. 2021.

<https://doi.org/10.1007/s11042-021-10544-5>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil 2011**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

USGS, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Missions 2019**. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

VALENTE, F. D. D. A.; CASTRO, M. F. D.; LUSTOSA, J. F.; LOPES, A. T.; BORGES, S. R.; GOMES, L. C.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R. D.; OLIVEIRA, T. S. D. Litterfall production, decomposition and litter nutrient contents in a mined area revegetated with different forest species. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 47, p. e0220122, mar. 2023. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220122>

VEEN, G. F. (CISKA); FRY, E. L.; HOOVEN, F. C. TEN; KARDOL, P.; MORRIËN, E.; DE LONG, J. R. The Role of Plant Litter in Driving Plant-Soil Feedbacks. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 7, p. 1-10, out. 2019.  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00168>

WICKHAM, H. *et al.* **dplyr**: A Grammar of Data Manipulation, 2022a. Disponível em: <<https://github.com/tidyverse/dplyr>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

WICKHAM, H. *et al.* **ggplot2**: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics, 2022b. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>>. Acesso em: 9 mai. 2022.