

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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO POR DADOS
MEDIDOS E ESTIMADOS COM O HYDRUS-1D NO CERRADO E
NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

LARISSA LEITE PAVÃO

LUCIANA SANCHES
Orientadora

Cuiabá, MT
Julho/2023

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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO POR
DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS COM O HYDRUS-1D
NO CERRADO E NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

LARISSA LEITE PAVÃO

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

LUCIANA SANCHES
Orientadora

Cuiabá, MT
Julho/2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P337c Pavão, Larissa Leite.
Caracterização físico-hídrica do solo por dados medidos e estimados com o HYDRUS-1D no cerrado e no pantanal mato-grossense [recurso eletrônico] / Larissa Leite Pavão. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 81 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientadora: Luciana Sanches.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Pedotransferência. 2. Modelagem hidrológica. 3. Condutividade hidráulica saturada. I. Sanches, Luciana, *orientador*. II. Título.

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

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



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

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO POR DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS COM O HYDRUS-1D NO CERRADO E NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

AUTORA: DOUTORANDA LARISSA LEITE PAVÃO

Tese defendida e aprovada em **06 de JULHO de 2023.**

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Profa. Dra. LUCIANA SANCHES (Presidente Banca / **ORIENTADORA**)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Prof. Dr. OSVALDO BORGES PINTO JR. (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE DE CUIABÁ

3. Prof. Dr. CRISTIANO GABRIEL PERSCH (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

4. Profa. Dra. NARA LUISA REIS DE ANDRADE (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

5. Profa. Dra. VANESSA RAKEL DE MORAES DIAS (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO

CUIABÁ, 06/07/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Oswaldo Borges Pinto Junior**, **Usuário Externo**, em 17/07/2023, às 12:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Rakel de Moraes Dias**, **Usuário Externo**, em 17/07/2023, às 12:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **NARA LUISA REIS** **registrado(a) civilmente como NARA LUISA REIS ANDRADE**, **Usuário Externo**, em 18/07/2023, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANA SANCHES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2023, às 09:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CRISTIANO GABRIEL PERSCH**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2023, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Larissa Leite Pavão**, **Usuário Externo**, em 20/07/2023, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 10/08/2023, às 12:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5946896** e o código CRC **15A35382**.

DEDICATÓRIA

A Deus Criador, que se revelou a nós como Pai por intermédio de Seu Filho, Jesus Cristo, pela Graça e Misericórdia concedida a mim e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sustento, misericórdia e graça manifestada durante a minha vida e em especial durante o desenvolvimento desse trabalho. Porque Dele, por Ele e por meio Dele são todas as coisas;

Ao meu esposo Vagner Marques Pavão pela dedicação e companheirismo, ingredientes fundamentais para o bom andamento e conclusão deste trabalho;

Aos meus filhos queridos Salomão, Estêvão e Aurora pelo amor incondicional, compreensão e carinho que me motivam e que tornaram essa caminhada mais leve.

A Prof^a Dra. Luciana Sanches pela orientação, compartilhamento do conhecimento e empatia e compreensão durante todo o período de trabalho;

Ao Prof. Dr. Osvaldo Borges pelo compartilhamento de dados, suporte e sugestões que contribuíram para realização e aprimoramento deste trabalho;

Ao caro amigo Jonas Spolador pela amizade, companheirismo, ajuda nas coletas e análises bem como pelo compartilhamento de dados.

Aos Professores Dr. Carlos Alexandre Santos Querino e Dra. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino pelo incentivo à jornada acadêmica e companheirismo desde os tempos de graduação.

A toda a minha família, em especial, meus pais Valdecir Tadeu Leite e Vilma de Oliveira Leite, pela ajuda e suporte incondicional em cada momento de minha trajetória.

Aos meus irmãos em Cristo que me acolheram, torceram e oraram por mim e pela minha família, cheios de ternos afetos de amor, bondade e misericórdia.

Aos Professores Drs. Sérgio Roberto de Paulo, José de Souza Nogueira (in **memoriam**) e Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelo grande trabalho feito para a realização deste Programa de Pós-Graduação;

A todos os professores e técnicos que integram o Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso;

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste momento;

Agradeço ao CNPQ pelo auxílio financeiro na forma de bolsa.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE SÍMBOLOS E/OU ABREVIATURAS	XII
RESUMO.....	XV
ABSTRACT	XVI
1. INTRODUÇÃO	- 17 -
1.1. PROBLEMÁTICA	- 17 -
1.2. JUSTIFICATIVA	- 19 -
1.3. OBJETIVO GERAL	- 20 -
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	- 20 -
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	- 21 -
2.1. PANTANAL MATO-GROSSENSE	- 21 -
2.1.1. Características dos atributos biofísicos do Acurizal no Parque Baía das Pedras – SESC Pantanal de acordo com a literatura	- 22 -
2.2. CERRADO MATO-GROSSENSE.....	- 23 -
2.2.1. Características dos atributos biofísicos do Cerradão na Fazenda Miranda de acordo com a literatura	- 24 -
2.3. ÁGUA NO SOLO	- 25 -
2.4. RELAÇÕES HÍDRICAS NO SOLO	- 26 -
2.5. ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS	- 27 -
2.5.1. Porosidade do solo.....	- 28 -
2.5.2. Densidade do solo.....	- 28 -
2.5.3. Textura.....	- 29 -
2.5.4. Conteúdo de água no solo.....	- 30 -
2.6. FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA	- 30 -
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	- 33 -
3.1. ÁREAS DE ESTUDO.....	- 34 -

3.1.1. Acurizal	- 35 -
3.1.2. Cerradão.....	- 36 -
3.2. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	- 37 -
3.2.1. Aquisição dos dados micrometeorológicos no Acurizal	- 37 -
3.2.2. Aquisição dos dados micrometeorológicas no Cerradão.....	- 37 -
3.2.3. Aquisição dos dados do vigor da cobertura vegetal	- 38 -
3.2.4. Solo Acurizal	- 38 -
3.2.5. Solo Cerradão	- 39 -
3.2.6. Taxa de Infiltração (medida)	- 39 -
3.2.7. Condutividade hidráulica saturada do solo K_s (medida).....	- 40 -
3.2.7.1. Infiltrômetro de Dupla Carga (DualHead)	- 41 -
3.2.8. Condutividade hidráulica saturada do solo $K(s)$ e taxa de infiltração estimadas	- 43 -
3.3. ANÁLISE DOS DADOS	- 45 -
3.3.1. Análise micrometeorológica.....	- 45 -
3.3.2. Análise dos dados de solo.....	- 45 -
3.3.3. Análise dos dados de infiltração	- 45 -
3.3.4. Análise dos dados de condutividade hidráulica saturada	- 46 -
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	- 48 -
4.1. CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA E DO VIGOR DA COBERTURA VEGETAL DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	- 48 -
4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO.....	- 52 -
4.2.1. Análise dos atributos físicos do solo	- 52 -
4.3. CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DO SOLO.....	- 56 -
4.3.1. Análise da taxa de infiltração no Acurizal.....	- 56 -
4.3.2. Análise da condutividade hidráulica saturada (K_s) medidas e estimadas no Acurizal e no Cerradão	- 58 -
5. CONCLUSÕES	- 63 -
6. REFERENCIAS	- 64 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica do Brasil e do estado de Mato Grosso na América do Sul; distribuição espacial dos biomas Floresta Amazônica, Pantanal e Cerrado em Mato Grosso e localização geográfica das áreas de estudo.- 35 -

Figura 2. - Infiltrômetro de pressão dupla carga e componentes. A: Unidade de controle, B: Anel de inserção, C: prato de condução, D: parte superior do infiltrômetro que se encaixa ao anel de inserção, E: reservatório de água dobrável e F: tubos de conexão entre infiltrômetro, reservatório de água dobrável e unidade de controle.- 41 -

Figura 3. Ilustração dos dados utilizados pelo Hydrus 1D na estimativa dos atributos hidráulicos do solo.....- 44 -

Figura 4. Média mensal de 3 anos (2014, 2015 e 2016 Acurizal e 2016, 2017 e 2018 Cerradão) da Precipitação (PPT, mm) (a), Temperatura do ar (Ta, °C) (b), Déficit de Pressão de Vapor (DPV, KPa) (c) e Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) (d). A área sombreada em cinza claro corresponde ao período seco médio no Cerradão e a área sombreada em cinza escuro corresponde ao período seco médio no Acurizal.....- 49 -

Figura 5. Dados dos atributos físicos do solo em ambas áreas de estudo. Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g.cm⁻³) e Umidade volumétrica (UV, g.cm⁻³)- 53 -

Figura 6. Triângulo textural do solo com as frações Argila (%), silte (%) e Areia (%) das áreas de estudo.....- 55 -

Figura 7. Média da taxa de infiltração (mm.h⁻¹) de água no solo medida com o infiltrômetro de duplo anel e taxa de infiltração estimada com o software Hydrus 1D no Acurizal.**Erro! Indicador não definido.**

Figura 8. Regressão Polinomial e Coeficiente de Determinação (R²) das taxas de infiltração medida (mm.h⁻¹) e estimada (mm.h⁻¹).....**Erro! Indicador não definido.**

Figura 9. Condutividade hidráulica saturada (Ks, mm.h⁻¹) medida com o infiltrômetro

Dual Head e estimada pelo software Hydrus-1D no Acurizal e no Cerradão.- 59 -

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias anual e sazonal de três anos da Precipitação (PPT, mm), Déficit de Pressão de Vapor (DPV, KPa), Temperatura do ar (Ta, °C) e Índice de Vegetação Aprimorado (EVI). (2014, 2015 e 2016 Acurizal e 2016, 2017 e 2018 Cerradão)....- 49 -

Tabela 2. Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g cm⁻³), Umidade volumétrica (UV, g cm⁻³) e frações granulométricas (%) dos atributos físicos do solo nas áreas de estudo.....- 53 -

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g.cm⁻³) e Umidade volumétrica (UV, g.cm⁻³) no Acurizal. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor ≤ 0,05(*); (**) p-valor ≤ 0,01; (***) p-valor ≤ 0,001.- 54 -

Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g.cm⁻³) e Umidade volumétrica (UV, g.cm⁻³) no Cerradão. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor ≤ 0,05(*); (**) p-valor ≤ 0,01; (***) p-valor ≤ 0,001.- 55 -

Tabela 5. Média, amplitude (AM), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das condutividades hidráulicas medidas e estimadas no Acurizal e no Cerradão.....- 59 -

Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a condutividade hidráulica saturada medida e a estimada e os atributos físicos do solo no Acurizal (Densidade do solo (DS), umidade volumétrica (UV), Porosidade total (PT) e as frações granulométricas silte, argila e areia. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor ≤ 0,05(*); (**) p-valor ≤ 0,01; (***) p-valor ≤ 0,001- 60 -

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a condutividade hidráulica saturada medida e a estimada e os atributos físicos do solo no Cerradão (Densidade do solo (DS), umidade volumétrica (UV), Porosidade total (PT) e as frações granulométricas silte, argila e areia. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor ≤ 0,05(*); (**) p-valor ≤ 0,01; (***) p-valor ≤ 0,001- 61 -

Tabela 8. Indicadores estatísticos para análise de desempenho do modelo Hydrus 1D na estimativa da condutividade hidráulica saturada no Acurizal e no Cerradão. Coeficiente de correlação de Pearson (r), Índice de concordância de Willmott (d), Erro Médio Absoluto (MAE; mm.h⁻¹), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; mm.h⁻¹) e Erro Médio Percentual Absoluto (MAPE; %) obtidos entre a Ks medida e a Ks estimada no Acurizal e no Cerradão.....- 61 -

LISTA DE SÍMBOLOS E/OU ABREVIATURAS

q	– Densidade de fluxo laminar de água
K	– Condutividade hidráulica
$K(\theta)$	– Condutividade hidráulica em condição de instauração
K_s	– Condutividade hidráulica saturada
Ψ_t	– Potencial total da água no solo
Ψ_m	– Potencial matricial
Ψ_z	– Potencial gravitacional
Ψ_p	– Potencial de pressão
z	– Caminho percorrido pela água no meio poroso
θ	– Umidade do solo
$\emptyset$	– Diâmetro dos poros
$C(\psi)$	– Capacidade hídrica específica
α, β, n	– Parâmetros de ajuste da equação de Van Genuchten
θ_s	– Umidade de saturação
θ_r	– Umidade residual
m_s	– Massa de solo seco
V_T	– Volume total da amostra de solo
V_a	– Volume de água em uma amostra de solo
V_{ar}	– Volume de ar em uma amostra de solo
SESC	– Serviço Social do Comércio
pH	– Potencial hidrogeniônico
Tar	– Temperatura do ar
UR	– Umidade relativa
DPV	– Déficit de pressão de vapor
PPT	– Precipitação
es	– Pressão de saturação do vapor d'água
ea	– Pressão atual de vapor d'água
°C	– Grau Celsius
mm	– Milímetro
h	– Hora
V	– Voltz

W – Watts

% - Porcentagem

KPa - Quilopascal

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EVI – Índice de Vegetação Aprimorado

MODIS – Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

MOD13A1 V6 – Produto MODIS Índice de Vegetação Aprimorado

TI – Taxa de infiltração

dD – Variação da carga hidráulica

dT – Intervalo de tempo entre medidas

i – Constante final na taxa de infiltração

λ – Comprimento do capilar macroscópico

D – Carga hidráulica

p – Profundidade de inserção do infiltrômetro

b – Raio do infiltrômetro

C_1 e C_2 – Constantes empíricas da equação de Nimmo

FPT – Função de pedotransferência

Σ – Somatório

MAE – Erro Médio Absoluto

RMSE – Raiz do Erro Quadrático Médio

MAPE – Erro Percentual Absoluto Médio

d – Índice de concordância de Willmott

r – Coeficiente de correlação de Pearson

R^2 – Coeficiente de determinação

Máx – Máxima

Mín – Mínima

Méd – Média

DP – Desvio padrão

CV – Coeficiente de variação

AM – Amplitude

DS – Densidade do solo

UV – Umidade volumétrica

PT – Porosidade Total

* – Nível de significância dos testes estatísticos

FAA – Franco argilo arenoso

FA – Franco arenoso

RESUMO

PAVÃO, L. L. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO POR DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS COM O HYDRUS-1D NO CERRADO E NO PANTANAL MATO-GROSSENSE. Cuiabá, 2023, 80f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato-Grosso

As propriedades hídricas da superfície do solo integram parte da dinâmica de troca de energia e massa do sistema superfície-atmosfera e, portanto, o estudo dessas propriedades é fundamental, em termos gerais, para a compreensão do funcionamento do ecossistema. Como as propriedades hídricas do solo são diretamente influenciadas por suas propriedades físicas, supõe-se que as diferenças entre elas reflitam em mudanças nos fluxos de água desse solo. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é caracterizar os atributos físico hídricos do solo por meio de dados medidos e estimados no Cerrado e no Pantanal mato-grossense. O presente trabalho foi desenvolvido em duas fitofisionomias de dois biomas distintos no estado de Mato Grosso: Acurizal (Pantanal) e outra no Cerradão (Cerrado). No Acurizal foram coletadas amostras de solo em 6 pontos distintos, nos quais também foram realizados ensaios de infiltração e condutividade hidráulica. No Cerradão, foi delimitado um transecto com 10 pontos, espaçados linearmente entre si, para coleta de amostras de solo e de dados de condutividade. Os ensaios de condutividade hidráulica saturada foram feitos com infiltrômetro *DualHead* instalado *in situ* em duas campanhas uma em 2016 no Acurizal e outra em 2018 no Cerradão. Os resultados indicaram que os solos do Acurizal e do Cerradão são textura franco-argilo-arenosa, sendo que no Acurizal há maior porosidade e menor densidade do solo. Além disso, o solo no Acurizal possui boa capacidade de infiltração, sendo a densidade e a textura parâmetros suficientes, utilizados pelo Hydrus-1D, para predizer com precisão a taxa de infiltração no Acurizal. Ambas áreas de estudo apresentaram boa permeabilidade sendo a variabilidade da K_s é maior nos dados medidos do que nos estimados. Entretanto, o Hydrus 1D se mostrou limitado para estimar a K_s do planossolo háplico eutrófico típico, na área do Pantanal, e do latossolo-vermelho-amarelo distrófico, no Cerrado Mato-Grossense. Portanto, além do conteúdo abordado, esse trabalho contribui para o direcionamento de próximos estudos que busquem compreender, através da modelagem, o funcionamento dos processos físico-hídricos do solo em áreas naturais.

Palavras-chave: Pedotransferência, modelagem hidrológica, infiltração e condutividade hidráulica saturada.

ABSTRACT

PAVÃO, L. L. **PHYSICAL-HYDRIC CHARACTERIZATION OF THE SOIL BY DATA MEASURED AND ESTIMATED WITH THE HYDRUS-1D IN THE CERRADO AND PANTANAL IN MATO-GROSSE**. Cuiabá, 2023, 80f. Thesis (Doctorate in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato-Grosso

The water properties of the soil surface are part of the dynamics of energy and mass exchange in the surface-atmosphere system and, therefore, the study of these properties is fundamental, in general terms, for understanding the functioning of the ecosystem. As soil water properties are directly influenced by its physical properties, it is assumed that the differences between them reflect changes in soil water fluxes. In this sense, the objective of this work is to characterize the physical water attributes of the soil through measured and estimated data in the Cerrado and Pantanal of Mato Grosso. The present work was developed in two phytophysiological studies of two distinct biomes in the state of Mato Grosso: Acurizal (Pantanal) and another in Cerradão (Cerrado). At Acurizal, soil samples were collected at 6 different points, where infiltration and hydraulic conductivity tests were also carried out. In Cerradão, a transect with 10 points, linearly spaced between them, was delimited for the collection of soil samples and conductivity data. The hydraulic conductivity tests were carried out with a DualHead infiltrometer installed *in situ* in two campaigns, one in 2016 in Acurizal and another in 2018 in Cerradão. The results indicated that the soils of Acurizal and Cerradão have a clayey-sandy loam texture, whereas in Acurizal there is greater porosity and lower soil density. In addition, the soil in Acurizal has good infiltration capacity, with adequate density and texture parameters, used by Hydrus-1D, to accurately predict the infiltration rate in Acurizal. Both study areas adopted good permeability and the variability of Ks is greater in the measured data than in the estimates. However, Hydrus 1D proved to be limited in estimating the Ks of the typical eutrophic haplic planosol in the Pantanal area and the dystrophic red-yellow oxisol in the Cerrado Mato-Grossense. Therefore, in addition to the content exactly, this work contributes to the direction of future studies that seek to understand, through modeling, the functioning of the physical-water processes of the soil in natural areas.

Keywords: Pedotransfer, hydrological modeling, infiltration and saturated hydraulic conductivity.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O estado de Mato Grosso possui em seu território três dos seis biomas brasileiros, por esse motivo, possui significativa relevância ecológica. Dentre esses biomas, tem-se o Cerrado e o Pantanal, os quais se destacam pela variedade de fisionomias que os constituem bem como pela excepcional riqueza biológica (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

O Pantanal é um bioma, majoritariamente brasileiro, caracterizado por ser a maior planície de inundação do mundo com uma área de aproximadamente 140.000 km², apenas em território nacional (GONÇALVES et al., 2011; MARQUES et al., 2017). No Brasil está situado na região Centro-Oeste, sendo alimentado pelo rio Paraguai e seus afluentes, incluindo nascentes nos planaltos circundantes (ALHO, et al., 2019), e abrange parte dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (SOUZA et al., 2006), sendo que 34,27% da sua área está situada no estado de Mato Grosso, e 65,73% no estado de Mato Grosso do Sul (SILVA et. al, 1998).

Uma particularidade desse bioma, que confere a ele grande relevância ecológica, são os pulsos sazonais de inundações que afetam os processos hidrológicos e que, consequentemente, influenciam os processos ecofisiológicos e energéticos do ecossistema (SILVA; ABDON, 1998; LORENZON; MACHADO FILHO, 2012; REBELLATO et al., 2012; NOVAIS et al., 2016). Além disso, a combinação entre o regime de inundação e as variações nas características do solo e relevo, refletem na ocorrência de diferentes fitofisionomias que compõe esse bioma (POTT; ADÁMOLI, 1999; CARNEIRO, 2015).

Uma dessas fitofisionomias é o Acurizal, assim denominado pela dominância da Palmeira Acuri (*Scheelea phalerata* (Mart. Ex Spreng.) Burret), que ocorre com elevada frequência no Pantanal a ponto de ser considerada uma espécie invasora, sendo mais encontrada em áreas de interflúvio (LORENZI, 1992). Além disso, a sua presença considerada como indicativo de solos férteis (NEGRELLE, 2015).

Outro bioma de acentuada relevância ambiental, devido a sua extensão, bem como às suas particularidades vegetativas e hidrológicas, é o Cerrado, pois é o segundo maior bioma da América do Sul em extensão, com uma área aproximada de 2.039.386 km², e

corresponde a cerca de 25% do território brasileiro (KLINK; MACHADO, 2005; MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE, 2015). Sua área contínua abrange os estados da Bahia, Maranhão, Piauí, Tocantins, Rondônia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Distrito Federal (RIBEIRO; WALTER, 2008; SILVA et al., 2008). Por estar localizado, majoritariamente, na porção central do país, no Planalto Central Brasileiro, região que compreende elevadas altitudes, o Cerrado desempenha um importante papel na distribuição dos recursos hídricos do país, pois é o local de origem de grandes regiões hidrográficas brasileiras e sul-americanas (LIMA; SILVA, 2007), uma vez que as águas do Cerrado vertem para oito das doze regiões hidrográficas brasileiras, fenômeno apelidado de "efeito guarda-chuva" (LIMA, 2011).

A vegetação desse bioma é caracterizada por formações campestres, savânicas e florestais, as quais são compostas por diferentes fitofisionomias que diferem umas das outras em densidade de vegetação e no porte das espécies florísticas, sendo que os locais com maior fertilidade do solo refletem em maior diversidade da vegetação (RIBEIRO et al., 2011; VOURLITIS et. al, 2013; ROQUETTE, 2018).

A formação florestal, por sua vez, se destaca das demais por possuir vegetação majoritariamente arbórea. Ela é constituída pela fitofisionomia denominada Cerradão, sendo esta, caracterizada como uma floresta de terra firme, com predomínio de árvores altas (entre 8 a 10 m) incluindo *Astronium fraxinifolium* Schott, *Aspidosperma subincanum* Mart., *Rhamnidium elaeocarpum* Reiss., e *Curatella americana* L (VOURLITIS et al., 2013)

Apesar da relevância hidrológica de ambos os biomas, existem, contudo, poucos estudos que analisam os processos físicos do fluxo de água em áreas naturais. Além disso, a falta de dados medidos limita o uso de modelos preditores do movimento da água no sistema solo – planta – atmosfera.

Neste sentido, para que seja possível analisar de forma panorâmica as trocas de massa entre superfície e atmosfera, é necessário que se compreenda como ocorrem os processos físico-hídricos dentro solo.

Uma variável capaz de descrever o fluxo de água no interior do solo, com influência na superfície, é a condutividade hidráulica, a qual, de acordo com Gonçalves e Libardi (2013), expressa a facilidade com que a água se move no solo. Deste modo, tem relação direta com a infiltração e, conseqüentemente, com o volume do escoamento superficial.

Apesar de atualmente existirem vários métodos consolidados para a medição da condutividade hidráulica, sua determinação em campo é trabalhosa, demanda tempo e gera gastos, sendo uma alternativa relevante, a utilização de modelos matemáticos gerados a partir de atributos do solo que sejam preditores da condutividade hidráulica (BOCUTI, et al., 2020).

A essas funções preditivas, nas quais se usam dados de solo de mais fácil acesso (como textura, porosidade, densidade, conteúdo de água) para estimar àqueles de difícil ou dispendiosa determinação, atribui-se o termo Funções de Pedotransferência (FPTs) (BOUMA, 1989), e são mais comumente usadas para determinar a condutividade hidráulica e a curva de retenção de água no solo (CAVIGLIONE, 2018).

1.2. JUSTIFICATIVA

Atualmente, pesquisadores de diversas áreas do conhecimento tem se dedicado na pesquisa sobre mudanças climáticas, provocada por alterações na superfície. Entretanto, um fator limitante para esses estudos é o fato de que as variações dos componentes do balanço hídrico do solo não são totalmente compreendidas em áreas naturais.

Por se tratarem de dois biomas que possuem acentuada influência na troca de massa com a atmosfera e que desempenham papéis hidrológicos que, na maioria dos casos, extrapolam seus limites geográficos, entender como o solo das fitofisionomias naturais do Cerrado e do Pantanal influenciam o movimento de água nesse sistema é de suma importância para análise dos demais processos hidrológicos que ocorrem em todo sistema solo – planta – atmosfera, visto que os processos físicos relacionados ao fluxo de água no solo exercem papel central na fase terrestre do ciclo hidrológico.

Essa ênfase nos componentes terrestre do ciclo hidrológico é devido ao fato do fluxo de água no solo influenciar qualitativa e quantitativamente as águas superficiais, sub-superficiais e subterrâneas, uma vez que junto com processos físico-hídricos, a água pode atuar como veículo de contaminantes, além do fluxo de água ser responsável pela recarga de aquíferos.

Portanto, a análise de dados do solo, associando atributos físicos, de simples determinação (como densidade, porosidade e umidade volumétrica) aos atributos hídricos como a infiltração e condutividade hidráulica, pode ter aplicações tanto em escala local

como no planejamento urbano, controle de enchentes e aspectos ligados à qualidade das águas, até àquelas em escala macro, como é o caso de estudo de mudanças climáticas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo:

1.3. OBJETIVO GERAL

Analisar e caracterizar algumas das propriedades físico-hídricas do solo em áreas naturais de Cerrado e Pantanal no estado de Mato Grosso, por meio de dados medidos e estimados com o software Hydrus-1D.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar e analisar as variáveis biofísicas no Acurizal e no Cerradão, de forma que se tenha um panorama hidrológico das áreas de estudo;
- II. Caracterizar e analisar os atributos físicos do solo no Acurizal e no Cerradão;
- III. Analisar a infiltração medida e estimada no Acurizal;
- IV. Analisar a condutividade hidráulica saturada, medida e estimada, no Acurizal e no Cerradão;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PANTANAL MATO-GROSSENSE

O Pantanal é um bioma que se estende pela Bolívia (entre 10.000 e 17.500 km²), Paraguai (entre 4.000 e 6.000 km²) Argentina e Brasil (cerca de 140.000 km²), sendo portanto, majoritariamente brasileiro (MARQUES et al., 2017; ALHO, et al., 2019).). No Brasil, se estende em uma porção da região Centro-Oeste do país (35% da sua área, está no Sudoeste de Mato Grosso e 65% no Noroeste de Mato Grosso do Sul) (SILVA; ABDON, 1998).

Está inserido na bacia do Alto Paraguai e no estado de Mato Grosso compreende os municípios de Poconé, Santo Antônio do Leverger, Cáceres, Barão de Melgaço e Nossa Senhora do Livramento (ABDON et al. 1998).

Esse bioma é caracterizado por ser a maior planície aluvial do globo com pulsos sazonais de inundação, que atingem seu pico no final da estação chuvosa (SILVA; ABDON, 1998; LORENZON; MACHADO FILHO, 2012; REBELLATO et al., 2012; NOVAIS et al., 2016). Essa inundação ocorre, principalmente em função da pluviosidade local e pelo transbordamento dos rios, proveniente do planalto adjacente (JUNK et al., 1989).

Em função dessa particularidade hidrológica bem como da sua grande biodiversidade, o Pantanal é uma região de grande importância ecológica, sendo o regime de inundação o fator determinante no controle dos processos bióticos e abióticos que ocorrem nesse bioma (SIGNOR et al., 2010; SANTOS; NOGUEIRA, 2015), pois essa variação sazonal do nível de água na superfície promove uma perturbação tanto no solo como na vegetação, e por consequência, altera as propriedades físico-químicas e biológicas do solo (PAROLIN et. al, 2010).

Além disso, a combinação do pulso de inundação com as variações topográficas e com os diferentes tipos de solo que compõe o mosaico da região, propicia uma variedade de fitofisionomias que modelam a heterogeneidade da paisagem (POTT; ADÁMOLI, 1999; CARNEIRO, 2015). De acordo com Cunha et al. (2010), o termo fitofisionomia engloba a estrutura e as formas de vida dominantes das plantas de um dado lugar e no

Pantanal, há várias fitofisionomias que se diferem umas das outras, como reflexo da duração e profundidade da inundação anual (FANTIN-CRUZ et. al, 2010).

2.1.1. Características dos atributos biofísicos do Acurizal no Parque Baía das Pedras – SESC Pantanal de acordo com a literatura

O Parque Baía das Pedras está situado dentro dos limites da Estância Ecológica SESC Pantanal no município de Poconé no estado de Mato Grosso (MARÇAL; CALLIL, 2017). Uma das fitofisionomias que o compõe, é o Acurizal, assim denominado em função da dominância da palmeira *Scheelea phalerata* (Mart. Ex Spreng.) Burret, localmente conhecida como Acuri (SANCHES et al., 2015). Nesse Acurizal, além da dominância de Acuri, foram identificadas 23 outras espécies de 19 famílias diferentes, dentre as quais se destacam, pela maior densidade (indivíduo por hectare), a *Combretum leprosum* Mart. (81,83 ind./ha), *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg. (58,45 ind./ha) e *Rheedia brasiliensis* Planch. & Triana (46,76 ind./ha) (SANCHES et al., 2015).

A ocorrência de Acuri no Pantanal é bastante acentuada, a ponto de ser considerada uma espécie invasora, além disso, é encontrada com maior frequência em terrenos mais elevados (LORENZI, 1992), sendo a sua presença considerada como indicativo de solos férteis (NEGRELLE, 2015).

O solo do Acurizal do Parque Baía das Pedras é um Planossolo Háplico Eutrófico Típico, imperfeitamente a mal drenado (COUTO et al., 2002), caracterizado por elevada fertilidade natural, evidenciada por valores significativos de capacidade de troca catiônica e saturação por bases (CORINGA, et al., 2012).

Pavão et al., (2019) caracterizaram o perfil físico-hídrico do solo dessa região em 3 profundidades distintas. De acordo com os autores, a textura desse solo, na camada de 0 a 30 cm de profundidade, varia de franco-arenosa a franco-argilo-arenosa, sendo que a densidade desse solo é menor nas camadas superficiais, o que refletiu no aumento da porosidade em profundidade. Ainda segundo os autores, a serapilheira acumulada naturalmente sobre o solo, exerce influência sobre as propriedades físico hídricas do solo, favorecendo a infiltração e redistribuição de água nessa região.

2.2. CERRADO MATO-GROSSENSE

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ficando atrás apenas da Amazônia (KLINK; MACHADO, 2005). Ocupa 25% do território do país, estando a maior parte da sua área localizada no Planalto central do Brasil. Possui 2 milhões de quilômetros quadrados distribuídos nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Goiás, Tocantins, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e o Distrito Federal (SILVA et al., 2008).

Esse bioma é caracterizado por um gradiente de formações campestres, savânicas e florestais (RIBEIRO et al., 2011; ROQUETTE, 2018). Mais especificamente, de acordo com Coutinho (1978), a fitofisionomia campestre, campo limpo de Cerrado, é predominantemente herbácea, podendo ocorrer em diferentes tipos de solo e topografia, enquanto na savânica, estão contidos o campo sujo de Cerrado, Campo Cerrado e Cerrado *Sensu Stricto*, sendo esta fitofisionomia exclusivamente herbáceoarbustiva. Por fim, a fitofisionomia florestal, na qual ocorrem os Cerradões, é constituída por florestas tropicais estacionais escleromorfos semidecíduas mais abertas, arvoredos ou “*woodlands*” (savana florestada), com cobertura arbórea variando entre 50 a 90% (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007), sendo que os Cerradões abrangem 10% desse bioma (COUTINHO, 2006).

De acordo com Silva et al. (2008), em termos hidrológicos, o Cerrado possui duas estações pluviais bem definidas: estiagem e estação chuvosa. Entretanto, segundo os autores, apesar do período de estiagem ser acentuado, as plantas nativas dessa região estão perfeitamente adaptadas a esse evento. Além disso, o Cerrado desempenha papel relevante no processo de distribuição dos recursos hídricos pelo País, uma vez que esse bioma é o local de origem das grandes bacias hidrográficas do Brasil e da América do Sul (SILVA; LIMA, 2008).

A topografia do Cerrado é caracterizada por relevos suaves à levemente ondulados, com solos profundos, normalmente bem drenados e, em sua maioria, de baixa fertilidade (CREMON et al., 2010). De acordo com Vourlitis et. al (2013) o solo desse bioma é espacialmente variável, sendo que áreas mais férteis refletem em maior diversidade de vegetação. Além disso, segundo Reatto et al. (2008), os Latossolos são os tipos de solo com maior ocorrência no Cerrado, sendo que o Latossolo Vermelho-Amarelo

e o Latossolo Vermelho representam, respectivamente, 24,56 e 22,1% de todo solo do bioma.

2.2.1. Características dos atributos biofísicos do Cerradão na Fazenda Miranda de acordo com a literatura

A Fazenda Miranda, está situada em uma área experimental do Cerrado Mato-Grossense, cerca de 15 km a sudeste da região urbanizada da capital Cuiabá (PALÁCIOS et al., 2014). Além da pastagem presente nessa área, ela é composta por um mosaico de fitofisionomias naturais remanescente de Cerrado, sendo identificadas pelo menos cinco fragmentos naturais: Campo Sujo, Campo Limpo, Cerrado Stricto Sensu, Cerradão e Cambarazal (VOURLITIS et al., 2013; IVO et al., 2020).

A fazenda está sob supressão de incêndio, por esse motivo, não ocorrem queimadas nessa região há mais de 35 anos (BIUDES et al., 2021). Entretanto, embora o fogo não seja usado para manejar as pastagens, uma parte da paisagem é cortada anualmente para promover o crescimento das pastagens (ARRUDA et al., 2016)

Em termos florísticos, o Cerradão da fazenda Miranda foi caracterizado por Vourlitis et al. (2013) como uma floresta de terra firme, com predomínio de árvores altas (entre 8 a 10 m) incluindo *Astronium fraxinifolium* Schott, *Aspidosperma subincanum* Mart., *Rhamnidium elaeocarpum* Reiss., e *Curatella americana* L.

Em se tratando das condições micrometeorológicas, as médias anuais da precipitação e da temperatura da região são, respectivamente, de 1500 mm e 23°C, sendo que a precipitação tem sazonalidade bem definida, com uma estação seca, acentuada, que se estende de maio a setembro (NOVAIS, et al., 2017).

A topografia dessa região é caracterizada por apresentar terreno plano com leves ondulações e está a uma altitude de 181 m acima do nível do mar (VOURLITIS et al., 2013). O solo dessa região é um latossolo vermelho-amarelo distrófico (IBGE, 2006), bem drenado (VOURLITIS et al., 2013) e com superfície cascalhenta (ARRUDA, 2014).

2.3. ÁGUA NO SOLO

A água é um componente essencial para manutenção dos seres vivos, pois além de participar da dinâmica biológica dos organismos (BRUNI, 1994; GOMES; BARBIERE, 2004), ela ainda promove uma infinidade de processos físico-químicos nos ecossistemas em que estes estão inseridos (GARRIDO, 2000).

Em condição ambiente, a água existe nos três estados físicos da matéria. Isso significa que existem transferências contínuas de um estado para o outro. Esse movimento se dá horizontal e verticalmente na interface solo – planta – atmosfera, e é impulsionado pela radiação solar, processo esse conhecido como ciclo hidrológico (PREVEDELLO, 2012).

O solo, por sua vez, desempenha um papel fundamental no ciclo hidrológico, pois ele está entre a atmosfera e a subsuperfície da Terra (OLIVEIRA et al., 2021), sendo a água do solo essencial para que ocorram os processos como evaporação, infiltração, recarga das águas subterrâneas e suprimento de demanda hídrica da vegetação (ZHANG; BERNDTSSON, 1991). Além disso, o solo atua como base para atividade humana (WARRICK, 2003).

A água que chega no solo pode ser particionada em diferentes processos dinâmicos que ocorrem na superfície ou no perfil do solo, dentre os quais se destacam a infiltração, a percolação, os escoamentos superficial e subsuperficial, além de retornar à atmosfera através da evapotranspiração (LOYOLA; PREVEDELLO, 2003).

A infiltração é o processo no qual a água penetra a superfície do solo (BRANDÃO et al., 2006), e está diretamente relacionada com os atributos físicos do solo como textura (MESQUITA; MORAES, 2004; SILVA et al., 2005), porosidade (NICOLOSO et al., 2008, SALES et al., 1999), densidade (ALVES et al., 2007; PANACHUKI et al., 2011; ZWIRTES et al., 2012) e umidade (ANDRADE et al., 1987), além da cobertura do solo (TUCCI; CLARKE, 1997).

Findado o processo da infiltração, o fluxo de água no perfil do solo pode ainda perdurar por muito tempo (LOYOLA; PREVEDELLO, 2003). Esse movimento que ocorre após a infiltração é conhecido como drenagem interna ou redistribuição, é favorecido pelo potencial gravitacional (BRESCANSI et al., 2013) e consiste em aumentar a umidade em profundidade à partir da água contida nas camadas superficiais (JURY et al., 1991). A variável que melhor expressa a facilidade com que a água se

movimenta no perfil do solo é a condutividade hidráulica (GONÇALVES; LIBARDI, 2013) e alcança seu valor máximo quando o solo está saturado, uma vez que todos os poros estão conduzindo água e, portanto, não existe capilaridade e a sucção matricial é nula (VIVACQUA, 2012).

2.4. RELAÇÕES HÍDRICAS NO SOLO

O primeiro estudo que quantificou a densidade de fluxo laminar de água em um meio poroso foi o do engenheiro hidráulico Henry Darcy em 1856, do qual se originou a equação de Darcy (BIASSUSI, 2001). Essa equação estabelece que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área pelo meio poroso saturado é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio (LIBARDI, 2005). A constante de proporcionalidade dessa equação foi denominada de condutividade hidráulica (K), de acordo com a **Equação (1)**:

$$q = -K \frac{\Delta \Psi_t}{\Delta z} \quad (1)$$

Na condição de saturação, o potencial total ($\Delta \Psi_t$) é o somatório dos potenciais gravitacional (Ψ_z) e de pressão (Ψ_p). O sinal negativo indica que o fluxo ocorre do maior para o menor potencial.

Entretanto, de acordo com Hillel (1980), a equação de Darcy é aplicável apenas para situações de fluxo permanente, unidimensional em materiais homogêneos e isotrópicos saturados. Como na maioria dos casos, o solo está em condições de não saturação, a equação foi adaptada pelo físico Edgar Buckingham (1867-1940) para essas situações, passando a ser conhecida como Darcy-Buckingham (REICHARDT et al., 1993, SILVA; COELHO, 2014), conforme a **Equação(2)**

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta \Psi_t}{\Delta z} \quad (2)$$

Em que a condutividade hidráulica é função da umidade (θ) ou do potencial matricial (Ψ_m) e o potencial total (Ψ_t) é o somatório dos potenciais gravitacional (Ψ_z) e matricial (Ψ_m).

Richards (1931) redefiniu a equação 2, combinando a equação de Darcy-Buckingham com a equação da continuidade, obtendo a equação diferencial geral que

descreve o movimento da água no solo em regime transiente, conhecida como equação de Richards (GOLÇALVES; LIBARDI, 2003) (**Equação (3)**)

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[-K(\theta) \frac{\partial \Psi_t}{\partial z} \right] \quad (3)$$

Para solucionar a equação de Richards é necessário conhecer uma expressão que relacione o potencial matricial e a umidade, ainda que empírica, de onde se obtém a capacidade hídrica específica $C(\psi)$ e uma expressão para condutividade hidráulica $K(\theta)$ (QUEIROZ, 2017). Dentre os diversos modelos desenvolvidos para se obter essa relação a equação proposta por van Genuchten em 1980 (**Equação (4)**) é uma das mais utilizadas

$$\theta(\Psi_m) = \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^\beta} + \theta_r \quad (4)$$

Em que os parâmetros α e $n \geq 1$ são obtidos por ajuste, $\beta = 1 - 1/n$ (GENUCHTEN, 1980).

A fim de determinar a condutividade hidráulica, van Genuchten associou a sua equação com o modelo preditivo da condutividade hidráulica de Mualem (1976) o qual é baseado na distribuição de poros em um volume elementar do solo. Dessa forma, foi dada origem a equação de van Genuchten-Malem, **Equação (5)**:

$$K(\theta) = K_s S^{\frac{1}{2}} \left[1 - \left(1 - S^{\frac{1}{\beta}} \right)^\beta \right]^2 \quad (5)$$

em que $S(\theta)$ é a saturação efetiva, dada conforme a **Equação (6)**

$$S(\theta) = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (6)$$

Em que θ_r é a umidade residual e θ_s a umidade volumétrica na saturação, ou seja, a porosidade do solo.

2.5. ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS

Os atributos do solo traduzem as características físicas do ambiente, bem como de sua estrutura florestal e climática (PINHEIRO, 2018), pois atuam como meio para que ocorram as trocas de massa no sistema solo-planta-atmosfera. Os atributos físicos do solo

que contribuem na compreensão dos processos físico-hídricos são: densidade, porosidade, resistência do solo a penetração mecânica, condutividade hidráulica e infiltração (INGARAMO, 2003; CASTRO et al., 2012).

Nesse sentido, o conhecimento desses atributos constitui ferramenta de análise e caracterização dos ecossistemas, ao mesmo tempo em que subsidiam técnicas de manejo do recurso natural (SENA et al., 2021), isso porque os atributos descritos têm relação direta com a disponibilidade hídrica para suprimento da demanda vegetativa (VAZ, et al., 2004).

2.5.1. Porosidade do solo

A porosidade do solo consiste em um índice que reflete o volume relativo dos poros no solo, ou seja, a fração volumétrica de poros em relação a uma amostra de solo (HILLEL, 1980).

Esse atributo do solo ainda se subdivide em duas outras categorias: macro e microporosidade. A subdivisão é feita de acordo com o diâmetro dos poros ($\emptyset$). Sendo os microporos àqueles com diâmetro variando entre 0,2 e 50 μm e os macroporos com diâmetro maior que 50 μm (GONÇALVES et al., 2010.)

Os microporos são importantes para a retenção e armazenamento de água pelo solo, enquanto que os macroporos são responsáveis pela infiltração, redistribuição de água e aeração do solo (JONG van LIER, 2010).

2.5.2. Densidade do solo

A densidade do solo (DS) representa a relação entre a massa de solo seco (m_s) em estufa e o seu respectivo volume total (V_T), ou seja, volume do solo incluindo os espaços ocupados pelos sólidos (V_s) pela água (V_a) e pelo ar (V_{ar}), sendo expressa por:

$$DS = \frac{m_s}{V_T} \quad (7)$$

Em que:

$$V_T = V_a + V_{ar} + V_s \quad (8)$$

Trata-se de um atributo físico que diz respeito a sua estrutura e grau de compactação. Em ambientes naturais tem maior relação com processos pedogenéticos (REINERT et al., 2008), e por se relacionar à estrutura, valores de *DS* são reflexo da composição mineralógica da fração argila e do teor de matéria orgânica (JONG van LIER, 2010).

O material constituinte do solo influencia o valor da *DS* que, conseqüentemente, pode ser bastante variável. Por esse motivo, é possível encontrar solos de mesma textura com *DS* diferentes (BICALHO, 2011). Além disso, a *DS* tende a aumentar com a profundidade, como resultado de diversos fatores a exemplo de baixo teor de matéria orgânica, menor agregação, maior adensamento e diminuição da porosidade com a profundidade (KIEHL, 1979).

Dada a sua relevância na caracterização estrutural do solo, a *DS* tem sido bastante utilizada como um parâmetro da qualidade do solo, pois alterações nos seus valores refletem na modificação dos fluxos de ar e água (GUARIZ et al., 2009) e, por conseqüência, na redução da sua capacidade produtiva (PIRES et al., 2011).

2.5.3. Textura

A parte inorgânica do solo é composta por partículas de tamanhos variados, denominadas de areia, silte e argila, as quais, em conjunto, constituem a fração terra fina (< 2 mm). A textura refere-se a distribuição dessas partículas sólidas minerais quanto ao seu tamanho, sendo ela, uma das características físicas mais estáveis do solo (RESENDE et al., 2007; JONG van LIER, 2010).

Cada uma dessas frações minerais do solo apresentam propriedades e comportamentos distintos. A fração areia, devido ao maior diâmetro (0,05 a 2 mm), tem maior permeabilidade e, todavia, baixa capacidade de retenção de água. Já a fração silte (partículas com diâmetro entre 0,05 e 0,002 mm) possui poros menores, porém, mais numerosos, em função disso apresenta boa capacidade de retenção e menor taxa de drenagem quando comparada com a areia. A argila, por sua vez, é a partícula de menor

diâmetro ($> 0,002$ mm), por isso apresenta grande área superficial específica, o que causa elevada retenção de água com fluxos de água e ar mais lentos (MARCOLIN; KLEIN, 2011).

A textura é um dos principais indicadores de qualidade e produtividade dos solos, sobretudo o teor de argila, pois reflete, em boa parte, a distribuição do diâmetro dos poros do solo e, por conseguinte, determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água, influenciando na dinâmica da água no solo (KLEIN et al., 2010; CENTENO et al., 2017).

2.5.4. Conteúdo de água no solo

É a quantidade de água contida no solo em até uma certa profundidade, geralmente até a profundidade do sistema radicular (BUSKE, 2013). O conteúdo de água no solo pode ser definido, em termos de volume, como umidade volumétrica, sendo esta, a razão entre o volume de água, V_a , e o volume total de solo (**Equação (9)**):

$$\theta = \frac{V_a}{V_T} \quad (9)$$

O conteúdo de água no solo está diretamente relacionado com o fluxo de água nesse meio, isso porque o solo saturado conduz água por todos os poros vazios, enquanto que, o não saturado só através dos filmes de água que envolvem suas partículas (CARVALHO, 2002; SILVA JÚNIOR, 2010). Deste modo, quando não saturado o solo, a área útil condutora de água é menor e, conseqüentemente, a tortuosidade do caminamento da água aumenta (LACERDA et al., 2005).

2.6. FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

A determinação de alguns parâmetros hidráulicos do solo em campo torna-se dispendiosa e, muitas vezes, inviável, em função, principalmente, do alto custo para manutenção de pessoal no campo bem como das limitações instrumentais. Como

alternativa, uma prática adotada por pesquisadores é a estimativa desses parâmetros hidráulicos.

Nesse contexto, uma solução a essas dificuldades, é o uso de funções de Pedotransferência (FPT). As FPTs são equações utilizadas na estimativa de propriedades físicas do solo, a partir de características inerentes ao próprio solo (SILVA et al., 2008). Essa ferramenta permite que as características edáficas de difícil determinação sejam definidas a partir de outras mais facilmente obtidas (OLIVEIRA et al., 2002).

Esse tipo de solução consiste na modelagem inversa, na qual a resolução de um problema parte da observação ou mensuração dos seus efeitos, para então chegar às suas causas (NASCIMENTO, 2017). Um dos modelos, com solução inversa, amplamente utilizados na aplicação das FPTs é o Hydrus 1D, o qual simula o movimento unidimensional de água, calor e solutos no perfil do solo, através de solução numérica para a Equação de Richards. As simulações são realizadas a partir de dados de variáveis meteorológicas e características físicas do solo, podendo ser estabelecidas diferentes condições de contorno.

Além disso, O modelo Hydrus1D está associado ao código Rosetta DLL (*Dynamically Linked Library*), que implementa funções hidropedológicas para calcular os parâmetros das curvas de retenção de água no solo bem como da condutividade hidráulica (DIAS; SOARES, 2019). Mais especificamente, as propriedades hidráulicas do solo podem ser estimadas pelo Hydrus 1D, por meio do modelo de van Genuchten-Mualem (VAN GENUCHTEN, 1980) utilizando o pacote Rosetta implementado no software (AQUINO, et al., 2015).

Veloso et al. (2023), ao utilizar FPTs para estimar os parâmetros do modelo de van Genuchten no Bioma Cerrado, relataram que a capacidade preditiva foi moderada na estimativa dos parâmetros θ_s e θ_r e salientaram que houve melhora na estimativa dos mesmos, quando incorporado no preditor, as variáveis areia, argila, macro e microporosidade. Semelhantemente, Rosseti et al. (2022), estimando a retenção de água no solo do Cerrado Brasileiro a partir de FPTs, observaram melhor desempenho das FPTs com o uso da microporosidade bem como com o uso dos parâmetros granulométricos.

Do mesmo modo, Oliveira et al. (2021), estimando a condutividade hidráulica saturada do solo em uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, constataram a viabilidade de FPTs que utilizam da granulometria do solo como parâmetro preditor. Os autores ainda pontuaram que as FPTs são mais adequadas para valores compostos, visto

que em função da grande variabilidade dos valores da condutividade hidráulica saturada, as FPTs não tiveram bom desempenho para estimativas pontuais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi adotada de modo a atingir os objetivos deste trabalho, conforme descritos nos itens 1.3 e 1.4. Para tanto, foram seguidas as seguintes etapas:

- I. Caracterização das áreas de estudo;
- II. Caracterização e análise das variáveis micrometeorológicas e vigor da cobertura vegetal das áreas de estudo: esta etapa foi seguida com a finalidade de compreender melhor como ocorrem os processos hidrológicos na região, visto que as variáveis físico-hídricas do solo, são dependentes do conteúdo de água que chegam na superfície do solo e, que portanto podem sofrer interceptação da cobertura vegetal;
- III. Caracterização e análise dos atributos físicos do solo no Acurizal e no Cerradão: nesta fase foram analisados os solos de ambas as áreas de estudo com a finalidade de compreender como ocorrem os processos hidrológicos tanto na superfície quanto no interior do solo. Além disso, os dados obtidos nesta fase, serviram como parâmetros de entrada para a estimativa das variáveis físico-hídricas.
- IV. Caracterização e análise da infiltração no Acurizal; esta etapa foi seguida somente no Acurizal, em função desses dados já estarem disponíveis por outro trabalho realizado neste local;
- V. Análise da condutividade hidráulica saturada medida e da estimada no Acurizal e no Cerradão: nesta etapa utilizou-se dos dados oriundos das etapas anteriores para melhor compreender os valores medidos, além de se fazer uso dos dados dos atributos físicos do solo como parâmetros de entrada para o modelo usado na estimativa da condutividade hidráulica saturada.

Vale ressaltar, que as datas de coleta, bem como o período de análise, o número de amostras e a metodologia de análise do solo no Acurizal e no Cerradão, foram diferentes em função dos seguintes motivos:

- I. Datas de coleta em períodos diferentes: os dados coletados no Acurizal, fazem parte do banco de dados de outro trabalho, realizado em período distintos da coleta feita no Cerradão.

II. Número de amostras: como a coleta no Acurizal foi feita em um transecto que estava sendo estudado por outro pesquisador, o qual dispunha de seis pontos de análise, foram coletadas, nesses seis pontos, uma quantidade inferior de amostras por pontos, quando comparada com o Cerradão, de maneira a evitar perturbações nos pontos de amostragem cedidos para coleta de dados. Pelo mesmo motivo, optou-se por coletar amostras em profundidade no Acurizal, já que seria possível aproveitar o mesmo ponto de coleta para coletar mais de uma amostra.

III. Metodologia distinta de análise física do solo entre as amostras do Acurizal e do Cerradão: A análise do solo do Cerradão foi feita posterior à análise do solo no Acurizal, ao longo da pesquisa, optou-se por utilizar metodologias com resultados mais detalhados, que permitiram melhor compreensão dos atributos físico hídricos do solo.

3.1. ÁREAS DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido em duas fitofisionomias de dois biomas distintos no estado de Mato Grosso: uma no Acurizal (inserido no Pantanal) e outra no Cerradão (Cerrado). A primeira área de estudo, está situada na porção Norte do Pantanal Mato-Grossense, no Parque Baía das Pedras pertencente a Estância Ecológica do Serviço Social do Comércio (SESC) – Pantanal, no município de Poconé, Mato Grosso, Brasil. O Acurizal, é uma área não antropizada e está localizada sob as coordenadas 16°30'15''S, 56°24'15''O. A segunda, é uma fitofisionomia conhecida como Cerradão, e está localizada em uma área remanescente natural de cerrado, situada na Fazenda Miranda, pertencente ao município de Santo Antônio do Leverger, sob as coordenadas 15°43'40.5"S 56°04'45.6"O (**Figura 1**)

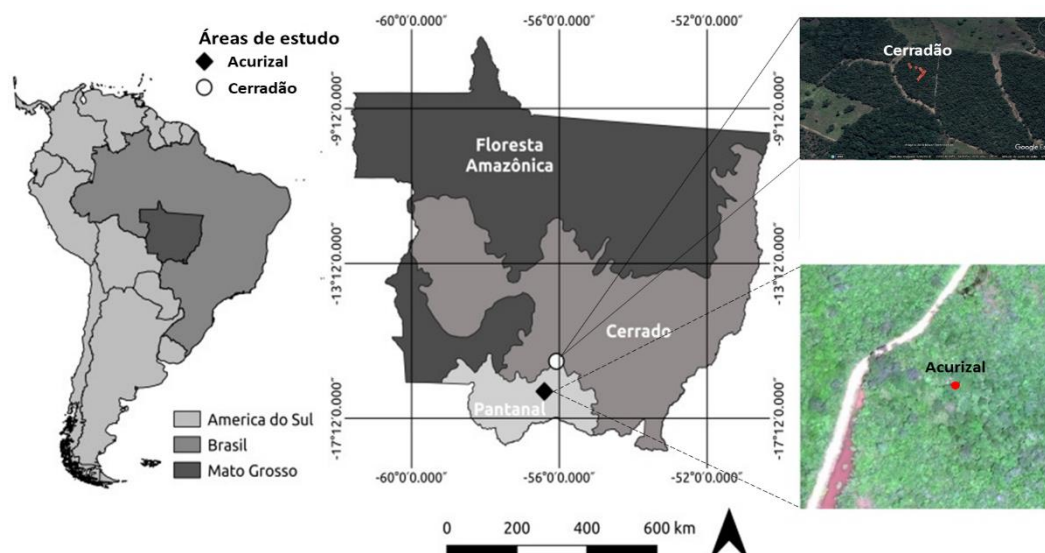


Figura 1. Localização geográfica do Brasil e do estado de Mato Grosso na América do Sul; distribuição espacial dos biomas Floresta Amazônica, Pantanal e Cerrado em Mato Grosso e localização geográfica das áreas de estudo.

3.1.1. Acurizal

O Acurizal, é assim denominado devido a dominância da palmeira *Scheelea phalerata* (Mart. Ex Spreng.) Burret, popularmente conhecida como Acuri. Trata-se de uma região densamente florestada, classificada como floresta semidecídua, onde o sub-bosque é dominado pelo Acuri (HOFMANN et al., 2010).

Apesar do Acuri ser a espécie dominante no Acurizal (362,4 indivíduos/ha), há na região, 23 outras espécies de 19 famílias diferentes, dentre as quais se destacam, pela maior densidade (indivíduo por hectare), a *Combretum leprosum* Mart. (81,83 ind./ha), *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg. (58,45 ind./ha) e *Rheedia brasiliensis* Planch. & Triana (46,76 ind./ha) (SANCHES et al., 2015; VOURLITIS et al., 2017).

O solo da área de estudo é um Planossolo Háplico Eutrófico Típico, (CORINGA, et al., 2012), com textura variando de franco-arenosa a franco argilo-arenosa e porosidade média de $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (PAVÃO et al., 2019). O pH desse solo varia em torno de 6,4, com média anual de carbono 27,55 g/kg (DIAS, 2015).

O clima dessa região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Aw (clima tropical, com inverno seco) (ALVARES et al., 2013). Mais especificamente, é caracterizado por duas estações pluviométricas, uma seca, geralmente, entre maio e

setembro e outra chuvosa entre outubro e abril (CUNHA e JUNK, 2004; VOURLITIS e ROCHA, 2010). A precipitação média anual varia em torno de 1400 mm, com máximas em janeiro e mínimo em agosto, com temperatura média do ar nos meses de verão (dezembro a fevereiro) próximas de 28°C e durante o inverno em torno de 21°C (PCBAP, 1997; PINTO JUNIOR, et al., 2018; HOFMANN et al., 2010).

3.1.2. Cerradão

O solo da área de estudo é um latossolo vermelho-amarelo distrófico (IBGE, 2006), com superfície cascalhenta (ARRUDA, 2014), bem drenado e com domínio de árvores altas (8-10m) (VOURLITIS et al., 2013), sendo que o transecto dessa área de estudo está dentro de uma área de Cerradão (IVO, 2020). Segundo Coutinho (2006) a fitofisionomia cerradão é constituída por florestas tropicais estacionais escleromorfias semidecíduas mais abertas, arvoredos ou "*woodlands*" (savana florestada). Essa fisionomia, corresponde aproximadamente, a 1% da área geográfica total do bioma Cerrado, onde no restante, diversos outros tipos fitofisionômicos compõem a paisagem (MARIMOM JUNIOR e HARIDASAM, 2005).

O clima dessa região é classificado, de acordo com Köppen, como tropical semiúmido (Aw) com duas estações bem definidas, uma seca entre os meses de abril a setembro, e outra chuvosa entre os meses de outubro a março (FONSECA, 2008), sendo a precipitação acumulada média anual superior a 1200 mm e a temperatura média do ar de 26.3±0.9 °C (BIUDES et al., 2015).

3.2. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

3.2.1. Aquisição dos dados micrometeorológicos no Acurizal

As medições foram efetuadas durante o período de janeiro de 2014 a dezembro de 2016, por uma estação micrometeorológica (modelo WXT520, Vaisala Inc., Helsinki, Finland) localizada próxima aos pontos coleta. Os dados foram armazenados, em intervalos de 30 minutos, em um datalogger (modelo CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA), conectado a uma bateria de 12V com uma placa solar (45 W). Com o objetivo de caracterizar as variáveis micrometeorológicas da região, foi computada a média mensal de três anos, das seguintes variáveis: precipitação mensal acumulada (mm), temperatura do ar e (°C), Déficit de Pressão de vapor (DPV; KPa).

Com base nos dados de temperatura do ar (T_{ar} ; °C) e umidade relativa (UR; %), foram calculados a pressão de saturação do vapor d'água (e_s ; KPa) (**Equação (10)**) (TETENS, 1930), pressão atual de vapor d'água (e_a ; KPa) (**Equação (11)**) e déficit de pressão de vapor d'água (DPV; KPa) (**Equação(12)**) nas duas áreas de estudo:

$$e_s = 0.6108 \cdot 10^{\frac{7.5T_{ar}}{237.3+T_{ar}}} \quad (10)$$

$$e_a = UR \cdot e_s \quad (11)$$

$$DPV = e_s - e_a \quad (12)$$

3.2.2. Aquisição dos dados micrometeorológicas no Cerradão

Por não dispor de dados micrometeorológicos dessa área de estudo, os dados micrometeorológicos do Cerradão, foram baixados do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), da estação convencional instalada no município de Santo Antônio do Leverger, localizada sob as coordenadas 15°46'33.6''S 56°04'19.2''W. Foram analisadas a precipitação mensal acumulada (mm), temperatura do ar e (°C), Déficit de Pressão de vapor (DPV; KPa) dos anos 2016, 2017 e 2018, e computada a média mensal dos três anos de cada uma dessas variáveis nesse período.

3.2.3. Aquisição dos dados do vigor da cobertura vegetal

Para caracterizar a cobertura vegetal, utilizou-se o Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), o qual é utilizado na avaliação do vigor da vegetação, visto estar diretamente relacionado com variações ocorridas na cobertura verde (JUSTICE et al., 1998).

O produto MODIS de Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) (MOD13A1 V6) foram baixados do website Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS) (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>) gerenciado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) com base nas coordenadas das áreas estudadas.

O produto MOD13A1 Versão 6 fornece valores de EVI por pixel com resolução espacial de 500 metros (m) e resolução temporal de 16 dias.

Assim como nos dados micrometeorológicos foram computadas, em ambas as áreas de estudo, a média mensal dos 3 anos de dados (2014, 2015 e 2016 no Acurizal e 2016, 2017 e 2018 no Cerradão).

3.2.4. Solo Acurizal

A coleta de dados no Acurizal ocorreu em abril de 2016. Foram coletadas, com auxílio de trado, amostras indeformadas de solo, em 6 pontos paralelos e em 2 profundidades distintas, 0-5 e 10-15 cm, uma amostra em cada profundidade de cada um dos 6 pontos. Uma vez gerados os dados, com a intenção de unificar a informação, por ponto de coleta, foi computada a média dos dados entre as duas profundidades. As amostragens nessas profundidades foram adotadas por serem compatíveis com a profundidade de inserção dos anéis dos equipamentos de medição dos atributos físico-hídricos.

As variáveis analisadas foram umidade volumétrica, densidade do solo, densidade de partícula, porosidade total e textura.

A densidade do solo e a umidade volumétrica foram determinadas a partir de amostras indeformadas. Já a densidade de partícula foi através da determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa; a porosidade total computou-se a partir dos dados de densidade do solo e densidade de partícula e a textura foi determinada pelo método do densímetro. Todas essas análises seguiram recomendações do Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011)

3.2.5. Solo Cerradão

A coleta de solo no Cerradão foi realizada em 10 pontos distintos de um transecto de aproximadamente 100 metros de extensão delimitado no Cerradão. As amostras de solo foram coletadas em quatro datas distintas, entre novembro de 2018 e janeiro de 2019. Em cada ponto, foram coletadas, com auxílio de trado, 4 amostras indeformadas em uma profundidade de 10 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas para serem pesadas em balança analítica em laboratório.

As variáveis processadas foram umidade volumétrica, densidade do solo, macro e micro porosidade, porosidade total e textura. As variáveis foram determinadas segundo os métodos estipulados no Manual da EMBRAPA (2011), sendo que a macro e micro porosidade, foram determinadas pelo método da mesa de tensão e a textura pelo método da pipeta.

3.2.6. Taxa de Infiltração (medida)

A infiltração foi medida no Acurizal, no mesmo período de coleta das amostras de solo, com auxílio do infiltrômetro de duplo anel (Sondaterra, Brasil), um equipamento composto por dois anéis, um de 50 e outro de 25 cm de diâmetro e 30 cm de altura, que são instalados de forma concêntrica (Vista superior). Como os pontos amostrais eram de

outro estudo que estava em andamento, para evitar maiores perturbações na estrutura do solo, foi realizado apenas um ensaio em cada um dos seis pontos de coleta de solo.

As medidas de infiltração seguiram a recomendação do fabricante. Foram realizadas leituras no anel interno, pois o anel externo apenas tem a finalidade de impedir que a infiltração se processe no sentido horizontal do solo (NUNES et al., 2012). Os anéis possuem uma régua graduada na parede interior para medir a variação da lâmina de água.

Para dar início ao ensaio, foi removida a serapilheira contida na superfície do solo (NASCIMENTO et al., 2020), e posteriormente, inseridos de forma concêntrica, os dois anéis do infiltrômetro à uma profundidade próxima de 8 cm. Em seguida, acrescentou-se água até uma altura média de 10 cm e a partir disso verificou-se a variação da lâmina a cada intervalo de 5 minutos. O ensaio foi finalizando quando a variação da lâmina em função do tempo estabilizou, ou seja, quando a infiltração atingiu a velocidade de infiltração básica (VIB) (NUNES et al., 2012; ZWIRTES et al, 2013; FERMINO e SILVA. 2015), o que ocorreu por volta de 1 hora de ensaio. A taxa de infiltração foi calculada conforme a **Equação (13)**:

$$TI = \frac{dD}{dT} \quad (13)$$

Em que TI é a taxa de infiltração (mm.h⁻¹); dD é a variação da carga hidráulica (mm) e dT é o intervalo de tempo entre cada medida. Nesse estudo, $dT = 0,083$ horas.

3.2.7. Condutividade hidráulica saturada do solo K_s (medida)

Foi realizado um ensaio de condutividade hidráulica saturada, K_s , em cada um dos pontos delimitados nas áreas de estudo, o mais próximo possível do ponto de amostragem de solo. O equipamento utilizado para a medição foi o infiltrômetro de dupla carga (*DualHead infiltrometer, Decagon Device*, Estados Unidos, 2016). Como se tratam de áreas naturais, antes da instalação do infiltrômetro, foi retirada toda serapilheira da superfície em que o anel seria inserido, seguindo assim, as recomendações do fabricante para a instalação do equipamento.

Os ensaios de K_s no Acurizal ocorreram em abril de 2016. Já no Cerradão nos ensaios foram em novembro e dezembro de 2018, e janeiro de 2019. Em ambos os casos, os ensaios de condutividade ocorreram simultâneos com as coletas de solo dos respectivos

pontos de coleta. É importante ressaltar, que devido a sucessivos erros de leitura do equipamento no ensaio de K_s no primeiro ponto do Acurizal (P1), assumiu-se como unidades experimentais para análise de K_s somente 5 pontos (P2 a P6).

3.2.7.1. *Infiltrômetro de Dupla Carga (DualHead)*

O infiltrômetro de dupla carga é um infiltrômetro de pressão, que armazena água no topo do solo, e usa a pressão do ar para criar duas cargas de pressão diferentes. Ele mantém automaticamente os níveis corretos de água e mede as taxas de infiltração por meio de dois ciclos de pressão completos, cada ciclo é composto por dois períodos de mesma duração, um com a pressão sendo mantida em uma carga alta e o outro com a pressão mantida em uma carga baixa (**Figura 2**).



Figura 2. - Infiltrômetro de pressão dupla carga e componentes. A: Unidade de controle, B: Anel de inserção, C: prato de condução, D: parte superior do infiltrômetro que se encaixa ao anel de inserção, E: reservatório de água dobrável e F: tubos de conexão entre infiltrômetro, reservatório de água dobrável e unidade de controle.

A unidade de controle coleta todos os dados e calcula a média desses dados em duas pressões diferentes e, desta forma, determina a condutividade hidráulica saturada de campo (K_s). O cálculo da condutividade hidráulica é baseado no método de Reynolds e Elrick (1990) conhecido como método de “Duas cargas hidráulicas”.

O ensaio iniciou-se quando o reservatório foi completado por água e o equipamento programado para os tipos de solos estudados, conforme recomendações do fabricante. A equação usada pelo fabricante para este cálculo é de Nimmo et al. (2009), em que a K_s é calculada a partir da **Equação (14)**:

$$K_s = \frac{i}{F} \quad (14)$$

Em que K_s é a condutividade hidráulica saturada; i é a constante (final) na taxa de infiltração (volume dividido pela área) e F é uma função que corrige sorvidade e efeitos geométricos do infiltrômetro.

Nimmo et al. (2009), calculam F por meio da **Equação (15)**:

$$F = 1 + \frac{\lambda + D}{C_1 p + C_2 b} = 1 + \frac{\lambda + D}{\Delta} \quad (15)$$

Em que λ é o comprimento do capilar macroscópico; D é a carga hidráulica (cm); p é a profundidade de inserção do infiltrômetro (cm); b é o raio do infiltrômetro; Δ é $C_1 p + C_2 b$ em que C_1 e C_2 são constantes determinadas empiricamente, Reynolds e Elrick recomendam os valores 0,993 e 0,578, respectivamente.

É importante ressaltar que o parâmetro λ é estreitamente relacionado com o parâmetro α de Gardner (1958) e também com o conceito de frente de molhamento de Green e Ampt (1911), e os valores particulares para C_1 e C_2 incluem um fator de π . Portanto, Para duas cargas hidráulicas pode-se escrever, conforme a **Equação (16)**:

$$K_s = \frac{i_1 \Delta}{\Delta + \lambda + D_1} = \frac{i_2 \Delta}{\Delta + \lambda + D_2} \quad (16)$$

Reorganizando um dos termos do lado direito para resolver em termos de K_s , em seguida, substituindo isso por λ no outro termo da direita e simplificando os resultados de acordo com a **Equação (17)**:

$$K_s = \Delta \frac{(i_1 - i_2)}{(D_1 - D_2)} \quad (17)$$

O qual remove a dependência das características do solo e conteúdo de água inicial descrito por λ .

Para o infiltrômetro *DualHead* $d = 5$ cm e $b = 7,5$ cm, de modo que $\Delta = 9,3$ cm. A condutividade hidráulica é, portanto, apenas a variação da taxa de infiltração dividida pela diferença da carga hidráulica multiplicado por 9,3 cm.

3.2.8. Condutividade hidráulica saturada do solo $K(s)$ e taxa de infiltração estimadas

As estimativas da condutividade hidráulica saturada (K_s) e da taxa de infiltração, foram feitas por meio do software Hydrus-1D, utilizando-se como parâmetros de entrada os dados geometria do sistema solo. Esse processo foi feito por meio de uma rotina de redes neurais, denominada Rosetta, a qual implementa funções de pedotransferência (FPTs) que preveem os parâmetros de van Genuchten (θ_r , θ_s , α , n e K_s) de forma hierárquica, utilizando dados de textura e densidade dos solos estudados, para estimar os parâmetros hidráulicos do solo (SIMUNEK et al., 2005; SIMUNEK et al., 2012).

Para que a simulação do modelo ocorresse de forma mais representativa das áreas de estudo, as condições de contorno adotadas, foram semelhantes àsquelas de campo, nas quais a K_s e infiltração foram medida. Mais especificamente, na estimativa da K_s as condições de contorno são:

- I. Profundidade do perfil de solo analisado;
- II. Número de camadas desse perfil;
- III. Tempo de ensaio; e
- IV. Intervalo de leitura.

Portanto, assumiu-se apenas uma camada de solo, com profundidade entre 0 a 10 cm nas estimativas do Cerradão e de 0 a 15 cm nas estimativas do Acurizal (profundidade em que ocorreram as amostragens de solo) O tempo de simulação foi de 2 horas para a estimativa da condutividade hidráulica e de 1 hora na estimativa da infiltração (equivalente ao tempo gasto pelos infiltrômetros para realizar os ensaios em solos com a textura encontrada nas áreas de estudo) e o intervalo de leitura foi de 5 minutos, análogo às medições feitas em campo.

Na estimativa da infiltração, são utilizadas as mesmas condições de contorno da estimativa da K_s , e acrescidas:

V. Interação do perfil com a atmosfera (se há ou não interação, neste estudo adotado como “sim”, pois o perfil do solo está exposto às condições atmosféricas);

VI. Condições no interior do perfil (adotado neste estudo como drenagem livre, por se tratar de um solo em que, durante os ensaios de infiltração, houve drenagem suficiente para que não houvesse acúmulo de água na superfície ao longo do tempo de ensaio);

VII. Conteúdo de água inicial (utilizado o valor médio medido em campo: $0,15 \text{ g.cm}^{-3}$);

VIII. Altura máxima de lâmina d'água sobre a superfície do solo (neste estudo adotado o valor de 10 cm, semelhante a coluna d'água inicial nos ensaios de infiltração); e

IX. Precipitação, adotada aqui como de 15 cm para simular o volume de água adicionado inicialmente no infiltrômetro de duplo anel (Como a lâmina máxima permitida é de 10 cm, os 5 cm excedentes o modelo considera como escoamento superficial).

O modelo matemático usado para determinar a K_s e taxa de infiltração foi o de van Genuchten-Mualem, sem histerese, pois é o modelo matemático utilizados pelo software Hydrus 1D para estimar os atributos hidráulicos do solo. Com isso, foi possível estimar os parâmetros hidráulicos do solo a partir de dados relacionados às condições ambientais de contorno e aos dados de textura e densidade do solo (**Figura 3**).

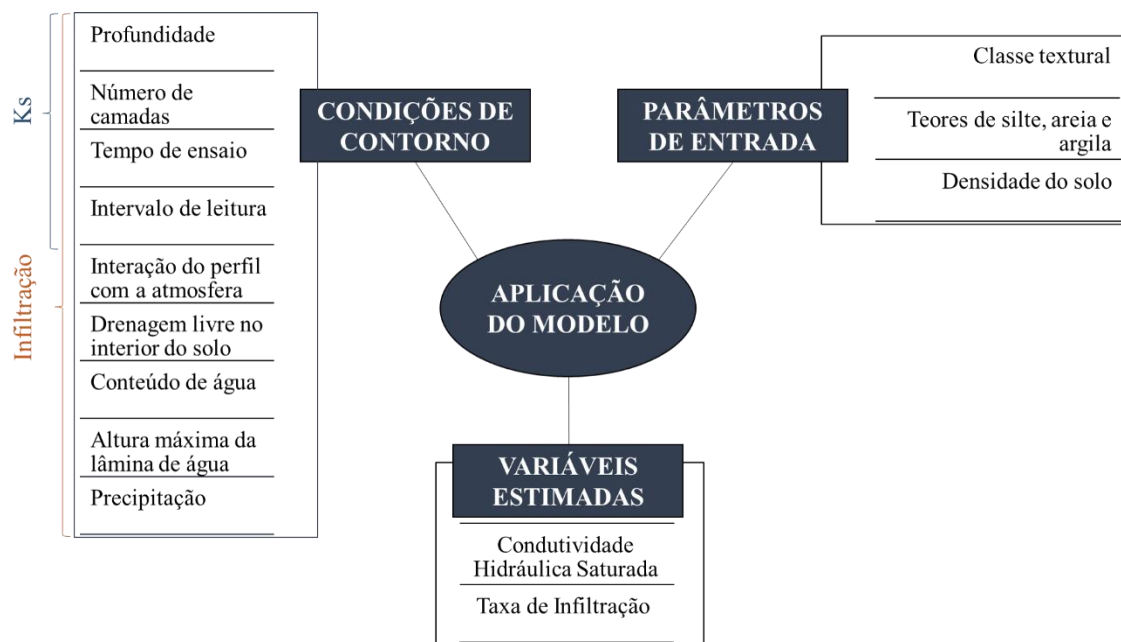


Figura 3. Ilustração dos dados utilizados pelo Hydrus 1D na estimativa dos atributos hidráulicos do solo

3.3. ANÁLISE DOS DADOS

3.3.1. Análise micrometeorológica

Para a análise micrometeorológica, foram computadas as médias mensal anual de 3 anos (dois anos antecedentes e ano de coleta de dados do solo) e as médias geral anual e sazonal de cada uma das variáveis.

3.3.2. Análise dos dados de solo

Os dados de solo foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, após apresentarem distribuição normal, foram submetidos à correlação de Pearson (r) a um nível de significância de 5%. Foram também analisadas as médias e desvio padrão ($\pm DP$) dessas variáveis.

3.3.3. Análise dos dados de infiltração

Foi calculada a média dos seis pontos de coleta da taxa de infiltração em cada um dos intervalos de leitura, ou seja, um valor médio a cada 5 minutos. Posterior a isso, com o intuito de avaliar o desempenho do modelo de estimativa da taxa de infiltração foi feita análise de regressão polinomial para obtenção do coeficiente de determinação.

3.3.4. Análise dos dados de condutividade hidráulica saturada

A acurácia das estimativas dos modelos de condutividade hidráulica foi avaliada pelo o índice de concordância de Willmott (d) proposto por Willmott (1985) (**Equação (18)**), Erro Médio Absoluto (MAE) (**Equação (19)**), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (**Equação (20)**) e Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) (**Equação (21)**) :

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (18)$$

$$MAE = \sum \frac{|P_i - O_i|}{n} \quad (19)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum |P_i - O_i|^2}{n}} \quad (20)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \times 100\% \right| \quad (21)$$

Em que P_i são os valores estimados, O_i os valores observados, O é a média dos valores observados, e n é o número de observações.

O índice de Willmott apresenta o grau de desempenho de uma estimativa baseando-se na distância entre os valores estimados e observados. Seus valores podem variar de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita) (WILLMOTT, 1985).

O MAE indica a distância (desvio) média absoluta, ou seja, a média dos erros absolutos entre os valores medidos e os estimados. O RMSE indica a falha do modelo em estimar a variabilidade das medições em torno da média e mede a variação dos valores estimados em torno dos medidos. O limite mínimo de RMSE é 0 o que representa um acordo perfeito entre as estimativas do modelo e os dados medidos. O MAPE representa a média dos erros percentuais.

A amplitude das K_s medida e estimada foi calculada de acordo com a (22:

$$AM = K_{s_{Máx}} - K_{s_{Mín}} \quad (22)$$

Em que a amplitude é dada pela diferença entre o valor máximo e o mínimo de K_s .

A dispersão dos dados foi analisada através do coeficiente de variação, que é dado pela **Equação (23)**:

$$CV = \frac{DP}{\bar{X}} \quad (23)$$

Em que DP é o desvio padrão e $\bar{X}$ é a média entre os dados analisados.

De acordo com os valores de CV, a variabilidade dessas propriedades foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixa ($CV < 12\%$), média ($12\% < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA E DO VIGOR DA COBERTURA VEGETAL DAS ÁREAS DE ESTUDO

Nesse estudo, as variáveis micrometeorológicas de ambas áreas foram analisadas tomando como referência os 2 anos antecedentes e o ano de coleta. Portanto, as variáveis micrometeorológicas do Acurizal foram computadas entre janeiro de 2014 e dezembro de 2016 e do Cerradão entre janeiro de 2016 e dezembro de 2018.

No Acurizal, o período seco médio, foi compreendido entre maio e setembro, com médias mínimas de 20,26 e 0,28 mm em junho e agosto, respectivamente. Por sua vez, o período chuvoso médio ocorreu entre outubro e abril, com médias máximas de 195,40 e 179 mm em janeiro e fevereiro, respectivamente (**Figura 4 a**). A média anual da precipitação acumulada foi de 1121,7 mm, sendo 89,01% do total anual correspondente ao período chuvoso (**Tabela 1**).

Esses resultados corroboram com os apresentados por Biudes et al. (2013), os quais observaram forte tendência sazonal da precipitação, com 90% da precipitação ocorrendo no período chuvoso, em área periodicamente alagável do Pantanal em Mato Grosso

No Cerradão, o período seco médio, ocorreu entre abril e setembro, com médias mínimas mensais de 7,87 e 0,43 mm em junho e julho, respectivamente. O período chuvoso, esteve entre outubro e março com médias mensais máximas de 237,87 e 236 mm em janeiro e fevereiro, respectivamente (**Figura 4 a**). A precipitação média anual acumulada foi de 1418,90 mm, sendo que 87,3% da precipitação total ocorreu no período chuvoso (**Tabela 1**).

De forma semelhante, Ivo et al. (2015), ao analisar os parâmetros biofísicos de diferentes tipos de cobertura do solo em uma área de Cerrado no Sul de Mato Grosso, observaram os meses de janeiro e fevereiro como os de máxima precipitação acumulada, e o mês de agosto com os menores totais pluviométricos.

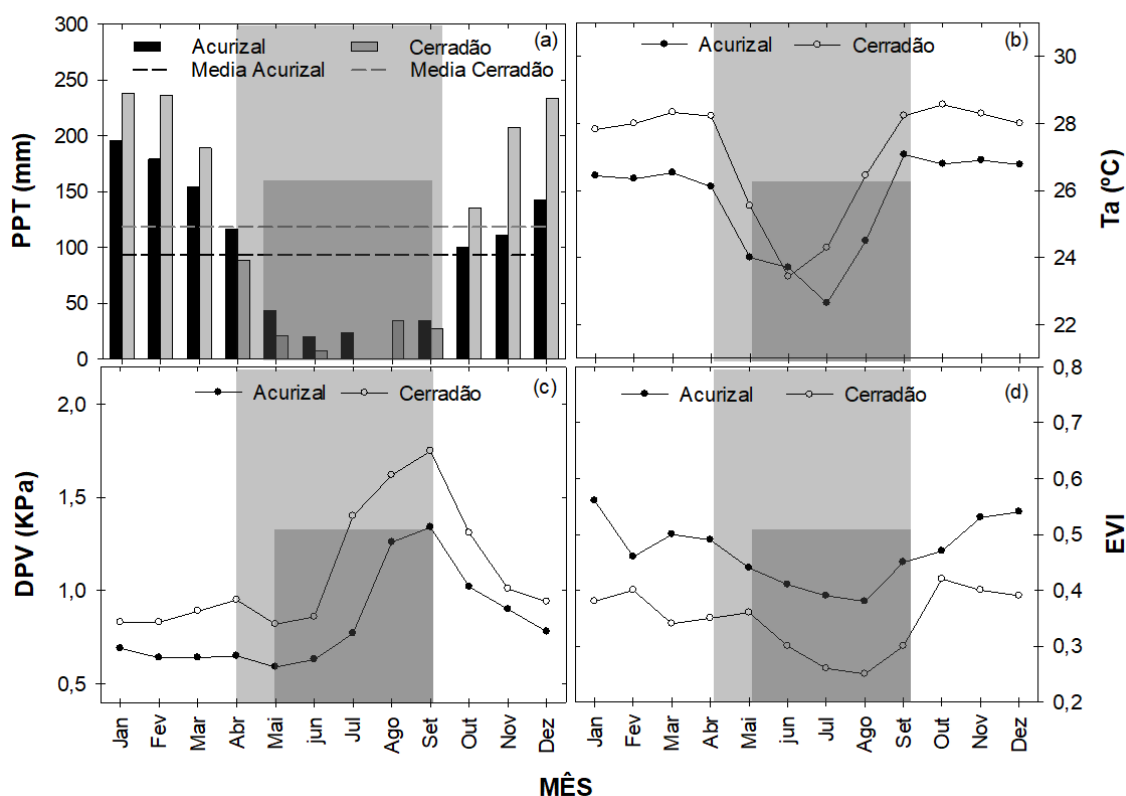


Figura 4. Média mensal de 3 anos (2014, 2015 e 2016 Acurizal e 2016, 2017 e 2018 Cerradão) da Precipitação (PPT, mm) (a), Temperatura do ar (Ta, °C) (b), Déficit de Pressão de Vapor (DPV, KPa) (c) e Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) (d). A área sombreada em cinza claro corresponde ao período seco médio no Cerradão e a área sombreada em cinza escuro corresponde ao período seco médio no Acurizal.

Tabela 1. Médias anual e sazonal de três anos da Precipitação (PPT, mm), Déficit de Pressão de Vapor (DPV, KPa), Temperatura do ar (Ta, °C) e Índice de Vegetação Aprimorado (EVI). (2014, 2015 e 2016 Acurizal e 2016, 2017 e 2018 Cerradão)

	Acurizal			Cerradão		
Variável	média anual	média período seco	média período chuvoso	média anual	média período seco	média período chuvoso
PPT	1121,66	122,63	999,03	1418,90	179,83	1239,07
DPV	0,83	0,92	0,76	1,10	1,23	0,97
Tar	25,65	24,38	26,56	26,03	26,03	28,17
EVI	0,47	0,41	0,51	0,35	0,30	0,38

A temperatura do ar apresentou comportamento sazonal, sendo que os maiores valores no Acurizal ocorreram entre janeiro a abril e setembro a dezembro, com máxima média de 27,07 °C em setembro e mínima média de 22,64 °C em julho (**Figura 4 b**). A

média anual da temperatura do ar foi de 25,65 °C, enquanto a média da temperatura do ar no período seco foi de 24,38 °C e no período chuvoso de 26,56 °C (**Tabela 1**).

No Cerradão, a sazonalidade da temperatura foi semelhante ao observado no Acurizal, com média anual de 26,03 (**Tabela 1**) e com temperaturas mais altas entre janeiro a abril e setembro a dezembro. A temperatura mínima média, 23,43 °C, ocorreu em junho e máxima, 23,79 °C, em setembro (**Figura 4 b**).

Em ambas as áreas é possível observar que valores de temperatura superiores à média são comuns durante o ano todo, enquanto que valores médios mínimos se concentram em junho e julho, coincidindo com o inverno no hemisfério Sul. Segundo Fisch et al. (1998) a região mais ao sul de Mato grosso pode ter essa diminuição na temperatura do ar em meses de inverno relacionadas à incursão de sistemas frontais durante esse período.

No Acurizal, o déficit de pressão de vapor (DPV) médio anual foi de 0,83 KPa, entre 2014 e 2016. A média do DPV durante o período seco, foi de 0,92 KPa, já no período chuvoso foi de 0,76 (**Tabela 1**). A variação ocorreu entre mínima de 0,59 KPa em maio e máxima de 1,34 KPa em setembro (**Figura 4 c**).

No Cerradão, entre 2016 e 2018, o DPV médio anual foi de 1,10 KPa. A média do DPV no período seco foi de 1,79,83 KPa e no período chuvoso de 0,97 KPa (**Tabela 1**). A média mínima mensal ocorreu em maio, 0,82 KPa, e a média máxima em setembro, 1,75 KPa (**Figura 4 c**).

Por ser função da temperatura e da umidade relativa, o DPV tende acompanhar as variações sazonais dessas variáveis, o que explica valores menores em meses de alta pluviosidade e de valores maiores em meses com temperaturas mais elevadas associadas a baixa pluviosidade e, por consequência, menor umidade relativa. Essa mesma tendência sazonal foi observada por Machado et al. (2016) em área arbustiva alagável do Pantanal Mato-Grossense.

A máxima média do EVI no Acurizal foi 0,56 e ocorreu em janeiro, já a mínima média foi de 0,38 em agosto (**Figura 4 d**) coincidindo com as máximas e as mínimas médias pluviométricas mensais, indicando, portanto, a resposta da vegetação a variação da disponibilidade hídrica. O EVI médio anual foi 0,47, sendo a média do período chuvoso de 0,51, superior a média anual, e do período seco de 0,41.

A máxima média do EVI no Cerradão foi de 0,42 em outubro, enquanto a mínima média foi de 0,25 em agosto (**Figura 4 d**). O EVI médio anual foi 0,35, sendo que no período chuvoso o EVI médio foi de 0,38 e no período seco de 0,3 (**Tabela 1**).

Em ambas áreas de estudo o EVI teve comportamento sazonal com valores menores no período de estiagem e maiores na estação chuvosa. É importante observar que nas duas áreas estudadas, após atingir o mínimo valor médio em agosto, o EVI volta a subir em setembro, período marcado pela transição (período intermediário entre os ciclos sazonais) que ocorre entre o período seco-chuvoso. Segundo Danelichen et al. (2015) isso ocorre em função do desenvolvimento de novas folhas, ou seja, há um aumento no índice de área foliar.

De forma geral, no Cerradão ocorreram os maiores valores de precipitação, temperatura do ar e déficit de pressão de vapor e menores valores de EVI quando comparado com o Acurizal. Esse comportamento das variáveis biofísicas está relacionado às características fitofisionômicas bem como à distribuição geográfica das áreas de estudo. Os maiores valores de precipitação no Cerrado estão relacionados às frentes equatoriais provenientes da Amazônia, enquanto que os maiores valores de temperatura ocorrem em função do efeito latitudinal (RAMOS et al., 2017).

Outro padrão notável de precipitação que se pode observar, foi o período de estiagem mais longo no Cerradão, quando comparado com o Acurizal, contudo, com maior precipitação acumulada no período chuvoso neste primeiro bioma.

De acordo Marcuzzo et al. (2011), o maior volume pluviométrico acumulado durante o período chuvoso no Cerrado quando comparado ao Pantanal, ocorre em função da massa de ar Equatorial Continental (mEC) ser o principal mecanismo que atua na formação de chuva em ambas regiões. Portanto, em função da maior distância do Pantanal do local de formação da mEC, a massa de ar tem influência reduzida nessa região.

Em contrapartida, segundo Rosa et al. (2007), durante o período de estiagem, ocorre a inversão desse padrão, com os maiores totais pluviométricos no Pantanal quando comparado com o Cerrado, devido ao fato de nesse período as chuvas serem provenientes da ação frontal das massas de ar, ocasionadas pela passagem de frentes polares trazidas do sul pelo anticiclone polar. Como o Pantanal está situado mais ao sul do que o Cerrado, a ação desses sistemas tende a ser mais intensa nessa região, diminuindo assim, o seu período de estiagem.

4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

4.2.1. Análise dos atributos físicos do solo

No Acurizal a porosidade total (PT) foi superior a 40% em todos os pontos de coleta, sendo porosidade média de $49,95 \pm 4,76$ % (**Tabela 2**). A máxima porosidade, 55,73% foi observada no ponto 2 (P2) e a mínima, 43,52%, no ponto 1 (P1) (**Figura 5 a**). A densidade do solo variou entre $1,15 \text{ g.cm}^{-3}$, P4, e $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$, P6. A média da densidade do solo foi de $1,34 \pm 0,12 \text{ g.cm}^{-3}$ (**Tabela 2**).

No Cerradão, a porosidade total foi inferior a 40%, com predominância de microporos (**Figura 5 b**). A porosidade média foi $33,20 \pm 3,04$ %, já a mínima porosidade foi de 26,95% e a máxima de 37,47%. A densidade foi superior a $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ em todo transecto (**Figura 5 d**) com máxima de $1,62 \text{ g.cm}^{-3}$, mínima de $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ e média de $1,58 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$ (**Tabela 2**).

Resultados semelhantes aos encontrados no Cerradão foram relatados por Silva et al. (2008), no estudo sobre a variação dos atributos físico-hídricos em latossolo vermelho-amarelo do Cerrado mato-grossense. Segundo os autores, esses valores de densidade se encontram dentro da faixa de densidade para solos minerais, que segundo Kiehl (1979) varia entre 1,1 a $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$. A pequena variabilidade da porosidade e da densidade, refletiu na uniformidade dos valores de umidade volumétrica que apresentou mínima de 0,15 e máxima de $0,20 \text{ g.cm}^{-3}$.

A umidade do solo no Acurizal apresentou pequena variação entre os pontos analisados. O maior valor foi observado no ponto 6 (P6) com $0,25 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto que o menor foi de $0,11 \text{ g.cm}^{-3}$ no ponto 5 (P5) (**Figura 5 e**). A umidade volumétrica média do solo no Acurizal foi de $0,15 \pm 0,06 \text{ g.cm}^{-3}$ (**Tabela 2**).

No P6 houve maior densidade associada sem que houvesse variação na porosidade, o que sugere possível predominância de microporos, os quais são responsáveis pela retenção de água no solo (RIBEIRO et al., 2007), o que justifica a maior umidade nesse ponto. A correlação positiva de 0,713 entre a densidade e a umidade volumétrica indica a interação entre essas variáveis (

Tabela 3).

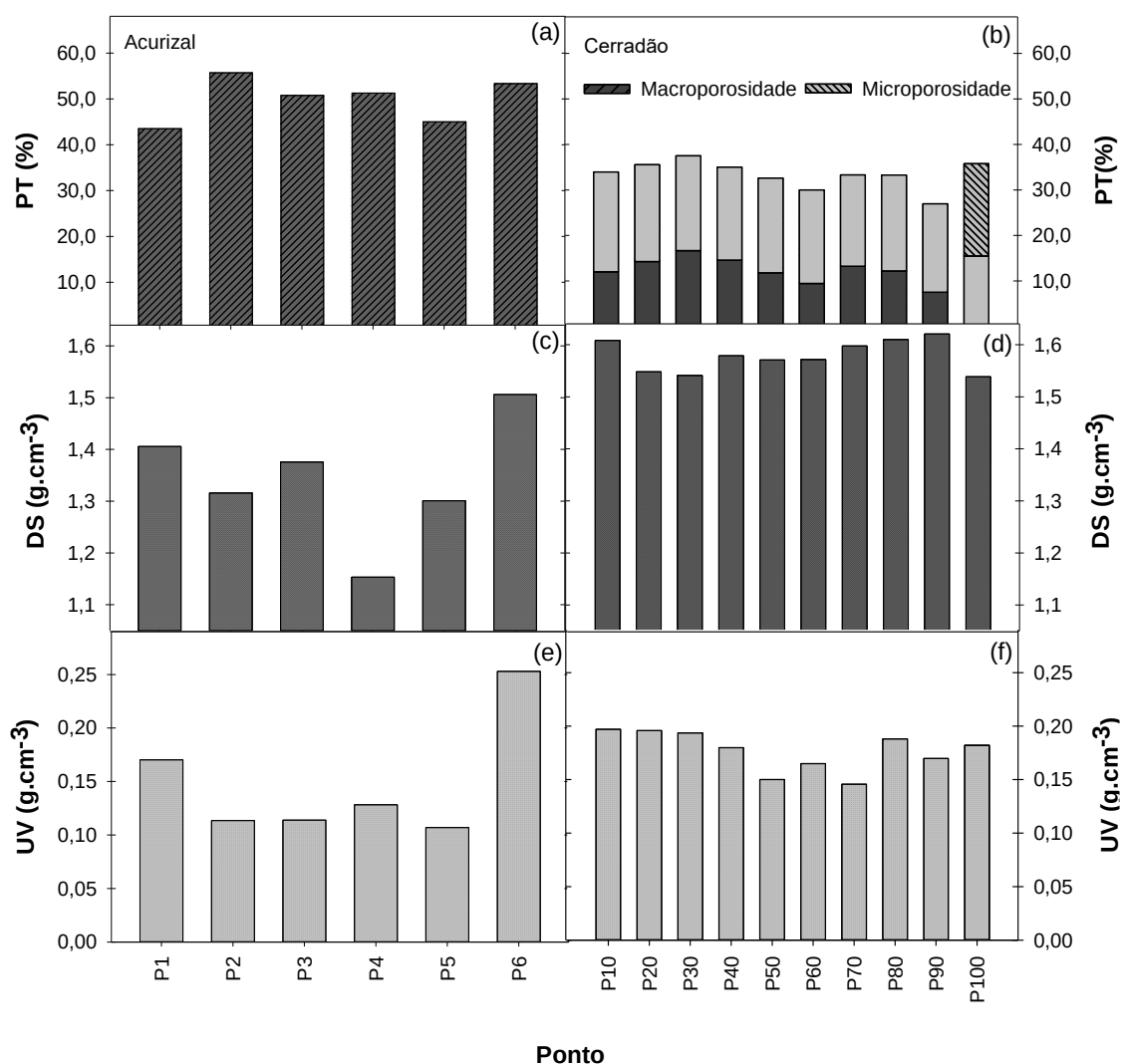


Figura 5. Dados dos atributos físicos do solo em ambas áreas de estudo. Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g.cm⁻³) e Umidade volumétrica (UV, g.cm⁻³)

Tabela 2. Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g cm⁻³), Umidade volumétrica (UV, g cm⁻³) e frações granulométricas (%) dos atributos físicos do solo nas áreas de estudo.

	Acurizal				Cerradão			
Variável	Máx	Mín	Méd	±DP	Máx	Mín	Méd	DP
PT (%)	55,73	43,52	49,95	4,76	37,47	26,95	33,20	3,04
DS (g.cm ⁻³)	1,51	1,15	1,34	0,12	1,62	1,54	1,58	0,03
UV (g.cm ⁻³)	0,25	0,11	0,15	0,06	0,20	0,15	0,18	0,02
Silte (%)	12,00	5,40	9,10	2,32	11,03	3,63	7,57	2,21
Argila (%)	22,92	20,52	21,52	0,98	22,87	11,79	20,02	3,19
Areia (%)	74,08	66,88	69,38	2,75	76,48	68,96	72,42	2,47

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g.cm⁻³) e Umidade volumétrica (UV, g.cm⁻³) no Acurizal. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor ≤ 0,05(*); (**) p-valor ≤ 0,01; (***) p-valor ≤ 0,001.

	DS	UV	PT	Silte	Argila	Areia
DS	1,000					
UV	0,713	1,000				
PT	-0,009	0,121	1,000			
Silte	-0,530	-0,280	0,341	1,000		
Argila	0,524	0,505	0,748	0,264	1,000	
Areia	0,261	0,057	-0,555	-0,939**	-0,580	1,000

No Acurizal, a textura também apresentou homogeneidade na distribuição dos tamanhos das partículas. Em média, o solo do Acurizal é composto por 9,10±2,32 % de silte, 21,52± 0,98 % de argila e 69,38±2,75%de areia (**Tabela 2**), o que corresponde a uma textura franco argilo arenosa (**Figura 6**).

Trabalhos como os de Coringa et al. (2012), Sousa e Souza (2013) e Souza (2021), os quais analisaram o solo no norte do Pantanal Mato-grossense também constataram solos com textura variando entre franco-argilosa a franco-argilo-arenosa. Segundo os autores, a textura desses solos está fortemente relacionada com o material de origem e ao seu processo pedogenético. De acordo com Coringa et al. (2012), os solos do Pantanal se desenvolveram a partir de sedimentos arenosos, silticoarenosos, argiloarenosos e arenoconglomeráticos semiconsolidados a consolidados.

Quanto a granulometria no Cerradão, houve homogeneidade no transecto, com predomínio de frações mais grossas. De modo geral, o solo do Cerradão é composto por 72,42±2,47% de areia, 20,02±3,19% de argila e 7,57±2,21 de silte, o que caracteriza sua textura como franca-argilo-arenosa. As exceções foram os dois últimos pontos do transecto (P9 e P10), os quais possuem textura franco-arenosa (**Figura 6**).

Não foi observada correlação significativa entre diferentes atributos do solo no Cerradão, com exceção das correlações observadas entre os teores das frações granulométricas, que ocorreu por se tratar de percentual referente a uma única variável (textura), logo, o aumento da porção de uma fração granulométrica, reflete na diminuição de outra (**Tabela 4**).

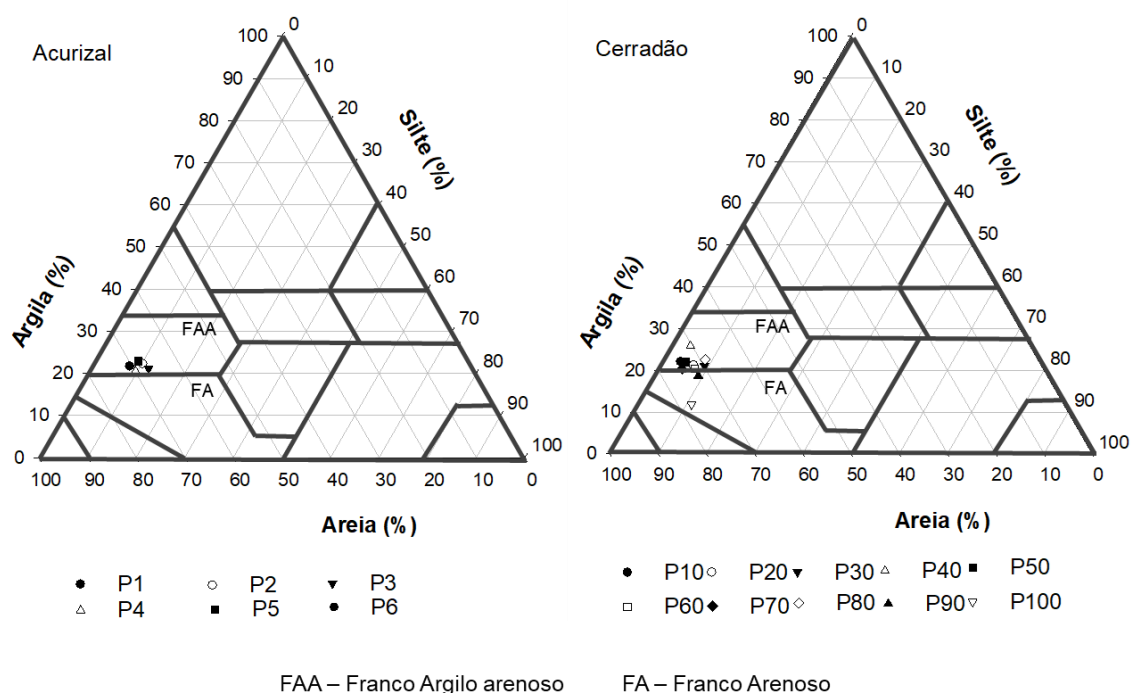


Figura 6. Triângulo textural do solo com as frações Argila (%), silte (%) e Areia (%) das áreas de estudo.

Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo Porosidade Total (PT, %), Densidade do Solo (DS, g.cm-3) e Umidade volumétrica (UV, g.cm-3) no Cerradão. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$.

	DS	UV	PT	Silte	Argila	Areia
DS	1,000					
UV	-0,062	1,000				
PT	-0,497	0,526	1,000			
Silte	-0,473	0,002	-0,014	1,000		
Argila	0,489	0,171	-0,018	-0,635*	1,00	
Areia	-0,208	-0,223	0,036	-0,075	-0,723**	1,000

4.3. CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DO SOLO

4.3.1. Análise da taxa de infiltração no Acurizal

Nos primeiros cinco minutos de ensaio, a taxa de infiltração medida ($136,8 \text{ mm.h}^{-1}$) foi maior do que a estimada ($107,12 \text{ mm.h}^{-1}$). No próximo intervalo de leitura, aos 10 minutos de ensaio, a diferença entre a taxa de infiltração medida, $52,8 \text{ mm.h}^{-1}$, e a estimada, $79,98 \text{ mm.h}^{-1}$, diminuiu e se manteve assim até ao final do ensaio. Ao fim dos 60 minutos de ensaio a taxa de infiltração medida foi 18 mm.h^{-1} e a estimada de $26,31 \text{ mm.h}^{-1}$.

O comportamento da taxa de infiltração seguiu o mesmo padrão tanto para os valores medidos quanto para os estimados (**Figura 7**). De início, a taxa de infiltração é alta e, posteriormente, tende a diminuir. Isso ocorre porque no início do processo o solo está mais seco e, portanto, seu potencial matricial é mais negativo, o que faz com que a infiltração ocorra de forma mais intensa, já que o solo está com alta capacidade de absorção (BRANDÃO, 2003). A medida que o solo satura, a taxa de infiltração tende a diminuir até atingir a estabilidade, visto que boa parte dos poros já estão preenchidos por água (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

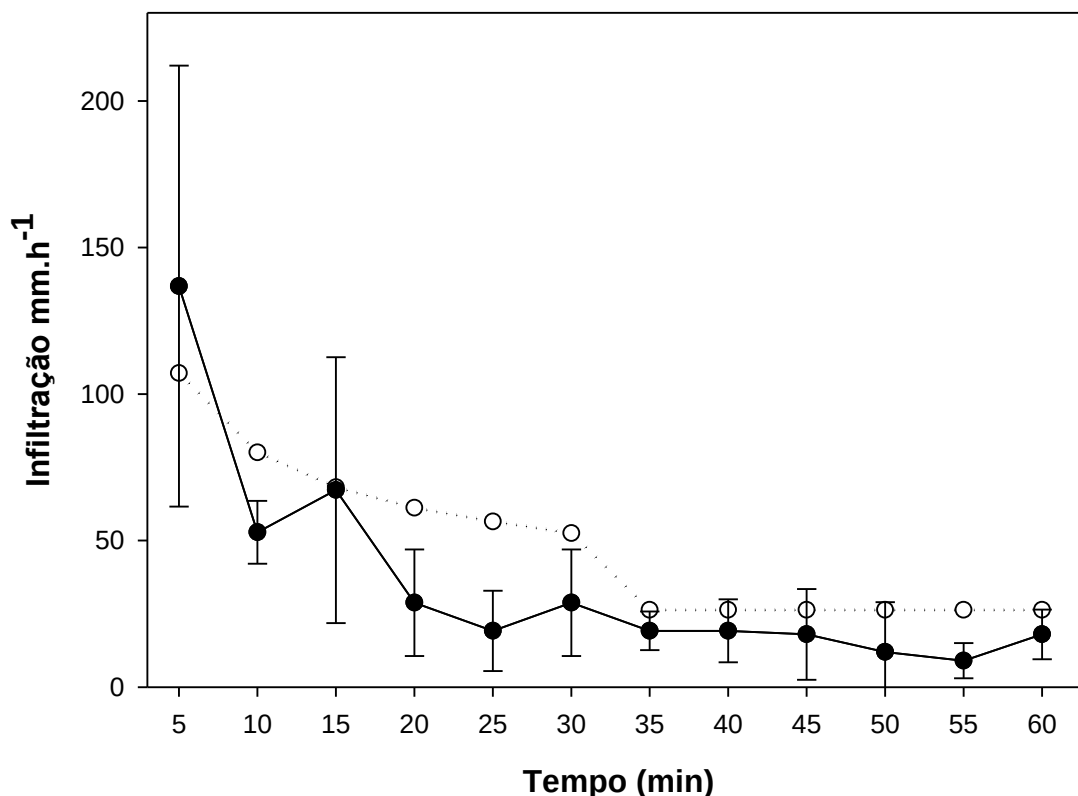


Figura 7. Média da taxa de infiltração (mm.h^{-1}) de água no solo medida com o infiltrômetro de duplo anel e taxa de infiltração estimada com o software Hydrus 1D no Acurizal.

Ao atingir a constância, tanto a taxa de infiltração medida, quanto a estimada estão dentro do intervalo de 15 a 30 mm.h^{-1} , sendo consideradas altas, de acordo com a classificação da taxa de infiltração estável descrita por REICHARDT (1990). Do ponto de vista físico, a elevada taxa de infiltração no planossolo ocorre por estes solos apresentarem horizonte superficial arenoso (SILVA, 2018).

A maior diferença entre dados medidos e estimados no primeiro intervalo de leitura, não interfere de forma significativa na aplicação dos dados estimados em estudos hidrológicos sobre fenômenos ligados ao movimento de água, pois geralmente, nesses casos, se utilizam dados da Velocidade de Infiltração Básica, que ocorre quando a taxa de infiltração se torna constante (SALES, et al., 1999; OTTONI FILHO, 2003; MONTENEGRO e MONTENEGRO et al., 2006; FAGUNDES, et al.; 2012)

O coeficiente de determinação (R^2) foi 0,8432, o que indica o bom desempenho do software Hydrus-1D na estimativa da taxa de infiltração para o planossolo háplico eutrófico de textura franco argilo arenosa (**Figura 8**).

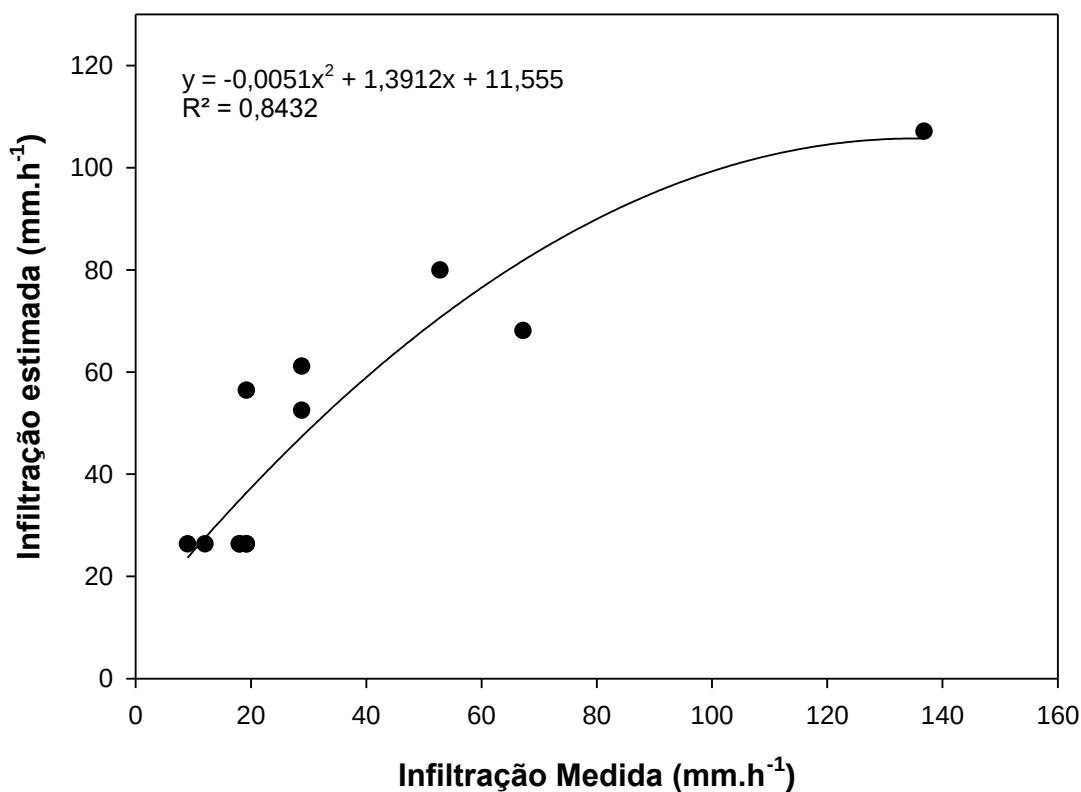


Figura 8. Regressão Polinomial e Coeficiente de Determinação (R^2) das taxas de infiltração medida (mm.h⁻¹) e estimada (mm.h⁻¹).

4.3.2. Análise da condutividade hidráulica saturada (K_s) medidas e estimadas no Acurizal e no Cerradão

A análise da condutividade hidráulica saturada (K_s) revelou heterogeneidade nos valores medidos nas duas áreas de estudo (**Figura 9**). A média da condutividade hidráulica medida no Acurizal foi de $69,9 \pm 49,15$ mm.h⁻¹. A amplitude entre os dados medidos (115,92 mmh⁻¹) foi muito superior a média, podendo ser observada a alta variabilidade dos dados pelo elevado coeficiente de variação de aproximadamente 70% (**Tabela 5**).

No Cerradão, a média da K_s medida foi $69,50 \pm 46,19 \text{ mm.h}^{-1}$. A amplitude, $165,35 \text{ mm.h}^{-1}$, também superou a média o que refletiu no elevado coeficiente de variação de $66,45\%$ (**Tabela 5**).

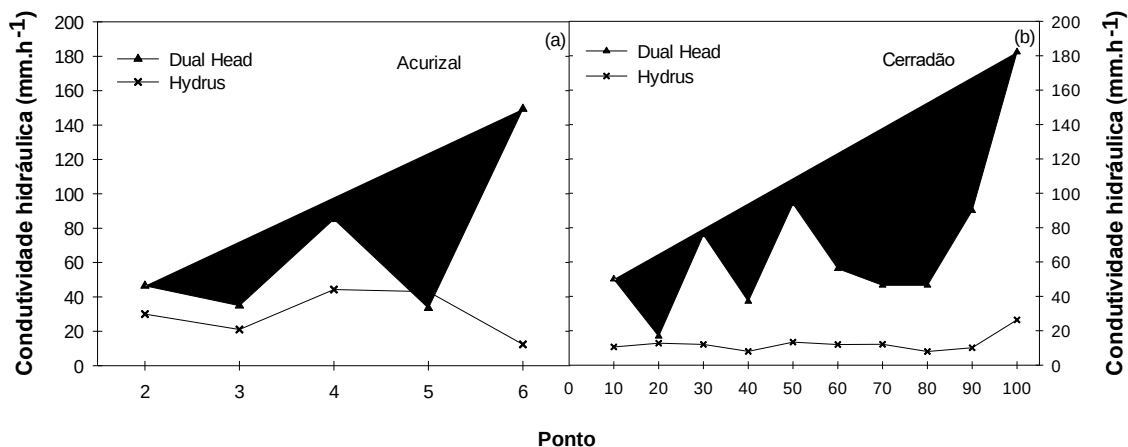


Figura 9. Condutividade hidráulica saturada (K_s , mm.h^{-1}) medida com o infiltrômetro Dual Head e estimada pelo software Hydrus-1D no Acurizal e no Cerradão.

Tabela 5. Média, amplitude (AM), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das condutividades hidráulicas medidas e estimadas no Acurizal e no Cerradão.

		$K_s (\text{mm.h}^{-1})$			
		Média (mm.h^{-1})	AM (mm.h^{-1})	$\pm\text{DP}(\text{mm.h}^{-1})$	CV (%)
Acurizal	medida	69,90	115,92	49,15	70,30
	estimada	30,14	31,87	13,82	45,85
Cerradão	medida	69,51	165,35	46,19	66,45
	estimada	12,52	18,39	5,19	41,46

Os dados estimados de K_s no Acurizal apresentaram uma dispersão menor do que os dados medidos (**Figura 9 a**). A média da K_s estimada foi $30,14 \pm 13,82 \text{ mm.h}^{-1}$. A amplitude, $31,87 \text{ mm.h}^{-1}$, se aproximou mais da média estimada, quando comparada com a média da K_s medida, contudo, ainda foi superior à média. Consequentemente, o coeficiente de variação também foi menor com valor aproximado de $45,8\%$ (**Tabela 5**).

A menor variabilidade dos dados estimados de condutividade hidráulica saturada em relação aos medidos, também foi observada no Cerradão (**Figura 9 b**). Em geral, a média da condutividade estimada foi $12,52 \pm 5,19 \text{ mm.h}^{-1}$, a amplitude entre os dados medidos foi $18,38 \text{ mm.h}^{-1}$ e o coeficiente de variação $41,46\%$.

De acordo com os critérios de Warrick e Nielsen (1980), a variabilidade dos dados medidos foi considerada alta ($CV > 62\%$), enquanto que a variabilidade dos dados estimados foi considerada como média ($12\% < CV < 62\%$).

Essa acentuada variabilidade da K_s pode ser observada tanto em estimativas como em medições, como exemplo, tem-se os trabalhos de, Oliveira (2005), Bernardes (2005), Marques et al. (2008), dentre inúmeros outros. Carvalho (2002) atribui essa variação à variabilidade natural das características do solo. De acordo com Lima e Silans (2009), além da macroporosidade, da distribuição de partículas e da DS a alta variabilidade da K_s pode estar relacionada à existência de infiltrações preferenciais em macroporos ou ao longo das raízes. Azevedo (2004), relatou CV da K_s da ordem de 226,10 %.

Vale ressaltar, entretanto, que a menor variabilidade nos dados estimados neste trabalho, pode ser atribuída a homogeneidade dos valores dos atributos físicos do solo que serviram de parâmetro de entrada para a estimativa da K_s .

Outro padrão importante, foi que no Cerradão a subestimativa do modelo foi mais acentuada quando comparado com o Acurizal. Como o modelo utiliza, como parâmetros de entrada, apenas dados relacionados à textura e densidade do solo na estimativa da K_s , e há semelhança textural do solo entre as áreas de estudo, entretanto, maior densidade do solo no Cerradão, o modelo pode estar associando o aumento neste último atributo do solo como uma resistência ao fluxo de água, uma vez que solos mais densos tendem a apresentar microporosidade superior à macroporosidade (TORMENA et al., 2002), sendo que o fluxo de água se dá preferencialmente nos macroporos (SORACCO et al., 2012), enquanto que os microporos tendem a reter a água (RIBEIRO et al., 2007).

No Acurizal não foram observadas correlações significativas entre as condutividades hidráulicas (medida e estimada) e os atributos físicos do solo (**Tabela 6**). Já no Cerradão, a relação entre a condutividade hidráulica saturada medida e a estimada e os atributos físicos do solo foi mais evidente. A condutividade hidráulica medida apresentou coeficiente de correlação positivo $r=0,72$ com a fração silte e negativo $r=-0,93$ com a fração argila (**Tabela 7**). Enquanto houve também correlação negativa, $r=-0,94$, entre a condutividade hidráulica estimada e a fração argila e correlação positiva, $r=0,75$, com a fração areia.

Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a condutividade hidráulica saturada medida e a estimada e os atributos físicos do solo no Acurizal (Densidade do solo (DS), umidade volumétrica (UV), Porosidade total (PT) e as frações granulométricas

silte, argila e areia. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$

	DS	UV	PT	Silte	Argila	Areia
<i>Ks_medida</i>	0,184	-0,474	-0,489	0,182	-0,235	-0,096
<i>Ks_estimada</i>	-0,185	0,217	0,237	0,451	0,513	-0,526

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a condutividade hidráulica saturadas medida e a estimada e os atributos físicos do solo no Cerradão (Densidade do solo (DS), umidade volumétrica (UV), Porosidade total (PT) e as frações granulométricas silte, argila e areia. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$

	DS	UV	PT	Silte	Argila	Areia
<i>Ks_medida</i>	-0,420	-0,127	0,018	0,716**	-0,931***	0,561
<i>Ks_estimada</i>	-0,660*	-0,030	0,304	0,514	-0,939***	0,753*

A correlação positiva com o silte pode ocorrer pelo fato dessa fração ter pequena ou nenhuma viscosidade ou plasticidade, conseqüentemente, uma massa úmida com presença de silte poderá apresentar fissuras pela falta de plasticidade. Sendo assim, o material siltoso será carregado pelo fluxo de água, aumentando as fissuras e conduzindo mais água (COOPER; SILVA, 2015).

Já a correlação inversa da condutividade hidráulica com a argila pode ocorrer pela diminuição de macroporos, resultante da presença dessa fração granulométrica, já que as menores frações granulométricas tendem a ocupar os maiores espaços vazios, formados entre as partículas de maior diâmetro (areia) o que reflete em maior porção de microporos, os quais retêm a água no solo e, como consequência, há diminuição do fluxo. Isso explica também a correlação positiva entre a condutividade hidráulica estimada e a areia, uma vez que o fluxo de água se dá preferencialmente através dos macroporos.

Na **Tabela 8** estão contidos os indicadores estatísticos do desempenho do modelo Hydrus 1D na estimativa da condutividade hidráulica saturada no Acurizal e no Cerradão. É possível observar que no Acurizal não houve correlação significativa entre os dados estimados e os medidos, em que o coeficiente de correlação foi $r=0,49$. Já no Cerradão, houve correlação de 0,84 entre dados medidos e estimados.

Tabela 8. Indicadores estatísticos para análise de desempenho do modelo Hydrus 1D na estimativa da condutividade hidráulica saturada no Acurizal e no Cerradão. Coeficiente de correlação de Pearson (r), Índice de concordância de Willmott (d), Erro Médio Absoluto (MAE; mm.h^{-1}), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; mm.h^{-1}) e Erro Médio

Percentual Absoluto (MAPE; %) obtidos entre a K_s medida e a K_s estimada no Acurizal e no Cerradão.

Área de estudo	p-valor	r	d	MAE	RMSE	MAPE
<i>Acurizal</i>	0,3965	0,49	0,41	43,59	64,84	0,49
<i>Cerradão</i>	0,0022	0,84	0,44	56,99	69,49	0,76

A menor correlação entre a K_s medida e a estimada no Acurizal quando comparada com Cerradão pode ter ocorrido devido ao fato do número de amostras coletadas no Acurizal ser insuficiente para que fossem notadas possíveis correlações. Isso porque o número de dados medidos de K_s no Acurizal correspondeu a metade do número de dados de K_s do Cerradão.

O índice de Willmott foi abaixo de 0,5 nas duas áreas de estudo, sendo $d=0,41$ e $d=0,44$ no Acurizal e Cerradão, respectivamente. O MAE, a RMSE e o MAPE apresentaram resultados elevados para os dois locais, mostrando que os valores estimados foram discrepantes dos valores medidos, o que indica limitação do modelo em relação as previsões da K_s nos solos estudados.

De acordo com Dias e Soares (2019), a limitação do Hydrus 1D na estimativa de alguns parâmetros hidráulicos do solo, provavelmente suceda em função do processamento das variáveis ocorrer por análises de redes neurais que possuam poucas fontes de dados referentes a solos brasileiros e que, portanto, resulte em erros.

5. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo enuncio as seguintes conclusões:

- As variáveis micrometeorológicas bem como o vigor da vegetação, possuem sazonalidade bem definida e são influenciadas pelas condições geográficas e fitofisionômicas;
- Os solos do Pantanal e do Cerradão são textura franco-argilo-arenosa, sendo que no Acurizal há maior porosidade e menor densidade do solo. Além disso, o solo no Acurizal possui boa capacidade de infiltração, sendo a densidade e a textura parâmetros suficientes, utilizados pelo Hydrus-1D, para prever com precisão a taxa de infiltração no Acurizal;
- A variabilidade da K_s é maior nos dados medidos do que nos estimados, sendo que ambas as áreas de estudo apresentaram boa permeabilidade.
- O Hydrus 1D se mostrou limitado para estimar a K_s do planossolo háplico eutrófico típico, na área do Pantanal, e do latossolo-vermelho-amarelo distrófico, no Cerrado Mato-Grossense.

Portanto, além do conteúdo abordado, esse trabalho contribui para o direcionamento de próximos estudos que busquem compreender, através da modelagem, o funcionamento dos processos físico-hídricos do solo em áreas naturais.

6. REFERENCIAS

ALHO, C. J. R.; MAMEDE, S. B.; BENITES M.; ANDRADE, B. S.; SEPÚLVEDA, J. J. O. **Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro devido ao uso e ocupação do solo.** Ambiente e Sociedade, v. 22, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/050.

ALVES, M. C; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S.; **Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.4, p. 617-625, 2007.

ANDRADE, A. P.; DESBESELL, A. S.; MACHADO, J. A. **Infiltração de água no solo sob diferentes operações de preparo, em condições de chuva simulada.** Agropecuária Técnica, v.8, n.1/2, 1987.

AQUINO, A. M.; SANCHES, L.; SALOMÃO, F. X. T.; ALVES, M. C.; SHIRAIWA, S.; NOGUEIRA, J. S. **Propriedades hidráulicas do solo estimadas pelo Rosetta em área de *Vochysia divergens Pohl* no Pantanal.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal – RN. Anais...rio Grande do Norte: Centro de Convenções de Natal, 2019.

ARRUDA, P. H. Z. **Dinâmica das trocas de massa e energia em região de cerrado na baixada cuiabana.** 2014. 69f. Tese (Doutorado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá-MT, 2014.

ARRUDA, P. H. Z.; VOURLITIS, G. L.; SANTANNA, F. B.; PINTO JR., O. B.; LOBO, F. ALMEIDA; NOGUEIRA, J. S. **Large net CO₂ loss from a grass-dominated tropical savanna in south-central Brazil in response to seasonal and interannual drought,** Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 121, p. 2110–2124, 2016.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso**. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da região Norte Fluminense**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 2005.

BICALHO, I. M. **Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo**. Enciclopédia Biosfera, v.7, n.12, 2011.

BIASSUSSI, M. **Simulação do movimento da água no solo utilizando modelo numérico**. Tese (Doutorado em ciência do solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. DE M.; SOUZA, M. C., VOURLITIS, G. L.; & NOGUEIRA, J. DE S. **Ground and remote sensing-based measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil**. International Journal of Biometeorology v. 58, n.6, p. 1181–1193, 2013.

BIUDES, M.S.; VOURLITIS, G.L.; MACHADO, N.G.; ARRUDA, P.H.Z.; NEVES, G.A.R.; LOBO, F.A.; NEALE C.M.U.; NOGUEIRA, J.S. **Patterns of energy Exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil**. Agricultural and Forest Meteorology, v. 202, n. 1, p. 112-124, 2015.

BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; VELASQUE, M. C. S.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. M.; PAVÃO, V. M.; ARRUDA, P. H. Z.; NOGUEIRA, J. S. **Gross primary productivity of Brazilian Savanna (Cerrado) estimated by different remote sensing-based models**. Agricultural and Forest Meteorology, v. 307, 2021.

BOCUTI, E.; Amorim, r. S. S.; DI RAIMO, L. A. DI L.; MAGALHÃES, W. A.; AZEVEDO, E. C. **Condutividade hidráulica efetiva e sua relação com os demais atributos dos solos do Cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, n. 6, p. 357-363, 2020.

BOUMA, J. **Using soil survey data for quantitative land evaluation**. In: Stewart, B. A. *Advances in soil science*. New York: Springer-Verlag, 1989. Cap.4, p.177-213.

BRANDÃO, V. S. **Infiltração de água em solo sujeito a encrostamento**. 2003. 68f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; MENEZES, S. J. M. C. **Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. v. 30, n. 1 p. 13-22, 2006.

BRESCANSIN, M. G.; REZENDE, R.; OLIVEIRA J. M.; MALLER, A.; SOUZA, R. S.; HARA, A. T. **Estudo da redistribuição de umidade no perfil do solo com base na uniformidade de aplicação de água**. In: Encontro Internacional de Produção Científica, n 8, 2013, Maringá – Pr, Anais.

BRUNI, J. C. **A água e a vida**. *Tempo Social; Rev. Sociol. USP*, S. Paulo, v. 5, n.1-2, p. 53-65, 1993.

BUSKE, T. C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CARNEIRO, E.S. **Avaliação da produção de serapilheira e da dinâmica de macronutrientes em duas áreas de regimes hídricos distintos no pantanal de Poconé – MT**. 2015. 69f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Cuiabá, Cuiaba, 2015.

CARVALHO, L. A. **Condutividade Hidráulica do solo no campo: As simplificações do Método do Perfil Instantâneo**. 2002. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CASTRO, M.C.; CUNHA, F.F.; LIMA, S.F.; PAIVA NETO, V.B.; LEITE, A.P. **Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa**

no Cerrado Sul-Mato-Grossense. Brazilian Geographical Journal, Pontal, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012

CAVIGLIONE, J. H. **Pedotransfer functions of soil water properties to estimate the S-index.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 7, p. 465-470, 2018.

CENTENO, L.N; GUEVARA, M.D.F.; CECCONELLO, S.T.; SOUSA, R.O.D.; TIMM, L.C. **Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos.** Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, v.4, n.1, p.31-37, 2017.

COLLISCHONN, W; DORNELLES. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** 2ª. Ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 342 p

COOPER, M.; SILVA, A. P. Arquitetura e propriedades físicas do solo. **E-disciplinas (USP),** 2015. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/917327/mod_resource/content/2/Apostila%20-%20Arquitetura%20e%20Propriedades%20F%C3%ADscas%20do%20Solo.pdf>. Acesso em 08 de dezembro de 2022.

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

COUTINHO, L.M. **O conceito de Cerrado.** Revista brasileira de Botânica, v. 1, p.17-23, 1978.

COUTINHO, L.M. **O conceito de bioma.** Acta Bot. Bras. v. 20, n.1, p.1-11, 2006

COUTO, E. G.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, C. N. ; VECHIATTO, A. B. **Guia da excursão técnica da XIV RBMCS.** In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo. Cuiabá: UFMT, 2002, 68 p.

CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FRANCO, P. P.; SILVA, W. M. **Atributos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado Mato-grossense.** Agrarian, v.2, n.6, p.47-59, 2009.

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

CUNHA, C. N.; REBELLATO, L.; COSTA, C. P. **Biodiversidade no Pantanal de Poconé – Vegetação e flora: experiência pantaneira no sistema de grade - Capítulo 3**. Cuiabá: Centro de Pesquisa do Pantanal, 2010. 196p.

DANELICHEN, V. H. M.; BIUDES, M. S.; VELASQUE, M. C. S.; MACHADO, N. G.; GOMES, R. S. R.; VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S. **Estimating of gross primary production in an Amazon-Cerrado transitional forest using MODIS and Landsat imagery**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. v. 87, n. 03, p. 1545-1564, 2015.

DIAS, A. S.; SOARES, W. A. **Desempenho do modelo Hydrus - 1D utilizando diferentes formas de caracterização hidrodinâmica**. Holos Environment, v. 19, n. 3, p. 376-390, 2019.

DIAS, M. F. **Dinâmica do efluxo de CO₂ no solo em duas áreas de composições fitofisionômicas distintas**. 2015. 59f. Dissertação (Mestrado em ciências Ambientais) – Universidade de Cuiabá, UNIC, Cuiabá', 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 369-378.

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

FERMINO, L. S.; SILVA, H. V. **Avaliação da velocidade de infiltração de água no solo**. In: – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar, n.9, 2015, Maringá – Pr. Anais eletrônico.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia**. Acta Amazônica, n. 28, v. 2, p. 101-126, 1998.

FONSECA, M. **Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana**. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

GARRIDO, R. (2000). **Considerações sobre a formação de preços para a cobrança pelo uso da água no Brasil**. In: A cobrança pelo uso da água. THAME, A. C. de M.(org.), São Paulo, IQUAL, p.57-91.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.
GUARIZ, H. R.; PICOLI, M. H. S.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. **Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 4, n. 2, 2009.

GOMES, J. DE L.; BARBIERI, J. C. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública**. Cadernos EBAPE.BR, v. 2, n. 3, p. 01–21, 2004.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. **Análise da determinação da condutividade hidráulica no solo pelo método do perfil instantâneo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.1174-1184, 2013.

GONÇALVES, H. C.; MERCANTE, M. A.; SANTOS, E. T. **Hydrological cycle**. Brazilian Journal of Biology, v.71(1), p. 241-253, 2011.

GONÇALVES, R. A. B.; GLOAGUEN, T. V.; FOLEGATTI, M. V.; LIBARDI, P.L.; LUCAS, Y.; MONTES, C.R. **Distribuição de tamanho de poros nos solos irrigados com água sódica e de águas residuais**. Revista Brasileira de Ciência Solo, Viçosa, v.34, n.3, p.701-707, 2010.

HILLEL, D. **Fundamental of Soil Physics**. New York, Academic Press, 413p, 1980.

HOFMANN, G. S.; HASENACK, J. L. P. C.; OLIVEIRA, L. F. B. **O clima na Reserva Particular de Patrimônio Natural Sesc Pantanal**. Rio de Janeiro: SESC, Departamento Nacional, 84 p., 2010.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. Tese (Doutorado). Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Solos 1:5000.000: base dados espaciais 2006**, 2006.

IVO, I. O.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F.; PEDREIRA JUNIOR, A. L. **Parâmetros Biofísicos de Diferentes Tipos de Cobertura do Solo em uma área de Cerrado no Sul de Mato Grosso**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 1, p. 111-122, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-7786351021>>. Acesso em 02/06/2021.

JONG van LIER, Q. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 298 p. 2010.

JUNK, W. J., BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in river - floodplain systems**. In: D. P. Dodge, D. P. (Ed.). Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Science, 106, p. 110-127, 1989.

JURY, W.; GARDNER, W.R. & GARDNER, W.H. **Soil physics**. New York, 5.ed., John Wiley & Sons, 328p. 1991.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; van LEEUWEN, W. WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. J. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

KIEHL, J. E. **Manual de Edafologia**. Agronômica Ceres, São Paulo, 262 p, 1979.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. **Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro**. Ciência Rural, v.40, n.7, 2010.

KLINK, C.A., MACHADO, R.B. **Conservation of the Brazilian Cerrado**. Conservation Biology, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

LACERDA, R. D.; GUERRA, H. O. C.; BARROS JUNIOR, G.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A. D. **Determinação da condutividade hidráulica de um solo argiloso pelo método do perfil instantâneo.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.5, n.1, 2005.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** São Paulo: EDUSP, 335 p., 2005.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. **Variabilidade espacial da infiltração de água no solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n.12, p. 2311-2320, 1999.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Estimativa da contribuição hídrica superficial do Cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, n.17, 2007, São Paulo. Anais.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Recursos Hídricos do Bioma Cerrado Importância e situação.** In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: Ecologia e Flora, Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 406p., 2008.

LIMA, J. E. F. W. **Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado.** Cienc. Cult., São Paulo, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000300011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13/07/2021.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** São Paulo: Plantarum, 352 p., 1992.

LOYOLA, J. M. T. PREVEDELLO, C. L. **Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo v. 27, n. 5, p. 783-787, 2003.

LORENZON, T. H.; MACHADO FILHO, L. C. **Levantamento da diversidade edáfica em serapilheira de mata ciliar da Bacia do Rio Paraguai no Pantanal sul-matogrossense - Brasil.** Ecologic@, v. 4, p.59-63, 2012.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; ANGELINI, L. P.; MÜTZENBERG, D. S.; NASSARDEN, D. C. STENNER.; BILIO, R. S.; SILVA, T. J. A.; NEVES, G. A. R.; ARRUDA, P. H. Z.; NOGUEIRA, J. S. **Sazonalidade do Balanço de Energia e**

Evapotranspiração em Área Arbustiva Alagável no Pantanal Mato-Grossense. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, 2016.

MARÇAL, S; CALLIL, C. **Composição e distribuição de conchas de moluscos límnicos no Parque SESC Baía das Pedras, Pantanal de Poconé, Mato Grosso.** Revista Brasileira de Zoociências. v. 18, n. 1, p. 21-40, 2017.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. **Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima.** Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARIMON-JÚNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. **Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil.** Acta Botânica Brasílica, v.19, n.4, p.913-926. 2005.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. **Distribuição Espaço-Temporal e Sazonalidade das Chuvas no Estado do Mato Grosso.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, n.4, p.157-167, 2011.

MARQUES, A.; PINTO JÚNIOR, O. B.; VOURLITIS, G. L. **Avaliação de Produção de Serapilheira em Planície Inundável no Pantanal Mato-Grossense.** Ensaios Cienc., Cienc. Biol. Agrar. Saúde, v.21, n.3, p. 148-151, 2017.

MARQUES, J. D.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JÚNIO, O. F.; MARTINS, G. C. **Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas.** Acta Amazônica, v.38, n.2, p.193 – 206, 2008.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Ciência Rural. Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação.** Brasília: MMA, 540 p., (Série Biodiversidade 17). 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília (DF) 2015. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/TCCerrado_2013.pdf> Acesso em 07/07/2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, PCBAP**. Brasília, DF, 369p..1997.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, v. 10, n.1, p. 30–37, 2006.

NASCIMENTO, I. V. Estimativa dos parâmetros da equação de van Genuchten em laboratório e por modelagem inversa com Hydrus-1D. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2017.

NASCIMENTO, L. G.; SANTOS, M. E. S.; MELO, S. T.; BUZAR, R. J. C.; RESENDE, M. R.; SOUSA, M. M. A. L. A.SOUSA, R. M. L. **Análise da velocidade de infiltração de água no solo por meio de anéis concêntricos na zona leste da cidade de Teresina – PI**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15168-15178, 2020.

NEGRELLE, R. R. B. **Attalea phalerata Mart. Ex spreng.: aspectos botânicos, ecológicos, etnobotânicos e agrônômicos**. Ciência Florestal, v. 25, n. 4, p. 1061–1066, 2015.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. **Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p. 1723-1734, 2008.

NOVAIS, J. W. Z.; SANCHES, L.; SILVA, L. B. S.; MACHADO, N. G.; AQUINO, A. M.; PINTO JÚNIOR, O. B. **Albedo do Solo abaixo do Dossel em Área de Vochysia divergens Pohl no Norte do Pantanal**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 31, n. 2, p. 157-166, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-778631220150001>>. Acesso em 13/07/2021.

NOVAIS, J. W. Z.; SANTANNA, F. B.; ARRUDA, P. H. Z.; PEREIRA, O. A.; DUTRA, R. **Relação entre profundidade óptica de aerossóis e radiação fotossinteticamente ativa e global no Cerrado Mato-Grossense.** Revista Estudo & Debate, Lajeado, v. 24, n. 1, 2017.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. S. **Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de Anéis concêntricos em latossolo vermelho de cerrado.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p.168, 2012.

OLIVEIRA, F. A. 2005. 75f. **Impacto do pastejo na condutividade hidráulica de latossolo sob pastagem e cerrado nativo.** Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

OLIVEIRA, M. E D.; GASTMANS, D.; SACCHI, M. D.; ROCHA, R. E.; LIMA, C.; SANTOS, V. **Determinação de um valor composto para a condutividade hidráulica saturada em uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, utilizando funções de pedotransferência.** RBRH [online]. v. 26, 2021.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 27, n. 2, p. 211–222. 2003.

PALÁCIOS, R. S.; SALLO, F. S.; PRADO, M. J.; MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, J. S. **Análise da profundidade ótica de aerossóis e coeficiente de angstrom no cerrado mato-grossense.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 14, n.10, p. 173-185, 2014

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. **Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1777-1785, 2011.

PAROLIN, P.; LUCAS, C.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F. **Drought responses of flood-tolerant trees in Amazonian floodplains.** Annals of Botany v. 105, p. 129-139, 2010.

PAVÃO, L L. SANCHES, L.; PINTO JUNIOR, O. B.; SPOLADOR, J. **The influence of litter on soil hydro-physical characteristics in na area of Acuri palm in the**

Brazilian Pantanal. Ecohydrology e Hydrobiology, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.04.004>

PINHEIRO, L. Z. **Caracterização de atributos físico-hídricos do solo sob diferentes tipos de vegetação.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Estadual Paulista – Julio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2018.

PINTO JUNIOR, O. B., VOURLITIS, G. L.; CARNEIRO, E. M. S.; DIAS, M. F.; HENTZ, C., NOGUEIRA, J. S. **Interactions between Vegetation, Hydrology, and Litter Inputs on Decomposition and Soil CO₂ Efflux of Tropical Forests in the Brazilian Pantanal.** Forests, v. 9, n. 5, 2018.

PIRES, R. S.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. **Comparação de métodos de medida da densidade do solo.** Acta Scientiarum. Agronomy, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

PIZZATO, J. A.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R. C.; MODULO, A. J.; CREMON, C.; MOREIRA, S. P. P. **Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT).** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 42, n. 2, p.137-142, 2012.

POTT, A.; ADÁMOLI, J. **Unidades de vegetação do Pantanal de Paiaguás.** In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Socio-Econômicos do Pantanal, Manejo e Conservação, Corumbá. Vol. 2. EMBRAPA, Corumbá. Pp.183-202, 1999

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em argissolo sob eucalipto e campo nativo.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2012.

QUEIRÓZ, B. F. **Estudo de soluções numéricas da equação de Richards através do método de elementos finitos e diferenças finitas para simulação de fluxo unidimensional em solo não-saturado.** Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2017.

RAMOS, H. C.; DALLACORT, R.; NEVES, S. M. A. S.; DALCHIAVON, F. C.; SANTI, A.; VIEIRA, F. F. **Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando krigagem ordinária.** Revista Brasileira de climatologia. V. 20, n. 13, p. 211-233, 2017.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. **Solos do Bioma Cerrado: Aspectos pedológicos**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: Ecologia e Flora, Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 406p., 2008.

REBELLATO, L.; CUNHA, C. N.; FIGUEIRA, J. E. C. **Respostas da comunidade herbácea ao pulso de inundação no Pantanal de Poconé, Mato Grosso**. Oecologia Australis, v.16, n. 4, p. 797-818, 2012.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba, SP: Manole, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; VILLAGRA, M. M. **Estimativa de fluxos de água em solos não saturados**. Bragantia, v.53, n.1, p. 83-87, 1993.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. **Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho**. Revista Brasileira de Ciência do solo, v.32, p.1805-1816, 2008.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia, base para distinção de ambientes**. 5 ed. Lavras: UFLA, 2007.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. in: SANO, S. M.; DE ALMEIDA, S. P., RIBEIRO, J. F. Cerrado: Ecologia e Flora. EMBRAPA Informação Tecnológica, Brasília, DF, v.1, 2008. 406 p.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. **Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, S.C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C.P.B.; JACOVINE, L.A.G.; KLEINN, C.; GASPAR, R.O. **Above-and Belowground Biomass in Brailian Cerrado**. Forest Ecology And Management, v. 262, p. 491-499, 2011.

ROQUETTE, J. G. **Distribuição da biomassa no Cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono**. Ciência Florestal, v. 28, n. 3, p. 1350–1363, 2018.

ROSA, D. B.; SOUSA, R. R.; NASCIMENTO, L. A.; TOLEDO, L. G.; TOPANOTTI, D. Q.; NASCIMENTO, J. A. **A distribuição espacial das chuvas na porção Centro oeste do estado de Mato Grosso-Brasil**. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas, v.1, n. 5, p. 127-152. 2007.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. **Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

SANCHES, L.; DIAS, V. R. M.; SALLO, F. S.; PALÁCIOS, R. S.; VALENTINI, C. M. A.; NOGUEIRA, J. S. **Composição florística e estrutura da comunidade vegetal nas fitofisionomias Cambarazal e Acurizal no Norte do Pantanal**. In: (Org.) PASA, M. C. Múltiplos Olhares sobre a Biodiversidade IV. Cuiabá: Carlini & Carniato Editorial, 368p., 2015.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. **Caracterização Climática do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: Ecologia e flora, 2008.

SANTOS, A. C. A.; NOGUEIRA, J. S. **Análise do material particulado no Pantanal Mato-Grossense**. Revista brasileira de meteorologia, São Paulo, v.30, n. 3, p.254-264, 2015.

SENA, C. C. R.; SILVA, G. C.; EVANGELISTA, Z. R.; NUNES, M. E.; PEGO., A. W. E. **Physical-water attributes of Cerrado soils**. Revista Agrotecnologia, v.12, n.1, p.80-91, 2021.

SIGNOR, C. A.; FERNANDES, I. M.; PENHA, J. **Biodiversidade no Pantanal de Poconé: O Pantanal e o sistema de pesquisa - Capítulo 1**. Cuiabá: Centro de Pesquisa do Pantanal, 2010. 196p.

SILVA, Á. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. **Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração**. Revista Brasileira de Ciência do Solo [online], v. 32, n. 1, 2008.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F. **Estimation of water percolation by different methods using TDR**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 38, n.1, 2014.

SILVA, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. **Variação de atributos físico-hídricos em latossolo vermelho-amarelo do Cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 5, p. 2135-2143, 2008.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas subregiões.** Pesquisa Agropecuária v.33, Brasília, p. 1703-1711, 1998.

SILVA JUNIOR, J. J. **Determinação da condutividade e hidráulica do solo utilizando o problema inverso do software hydrus-1D.** 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SILVA, L. S. **Pedogênese e classificação de planossolos em diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Unversidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo.** Ciência Rural, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SIMUNEK, J., van GENUCHTEN, M. T.; SEJNA, M. **The Hydrus 1-D Software Package Manual**, v. 3.0. California, University Of California Riverside, 2005.

SIMUNEK, J., van GENUCHTEN, M. T.; SEJNA, M. **Hydrus: model use, calibration, and validation.** American Society of Agricultural and Biological Engineers. V. 55, p. 1261-1274, 2012.

SORACCO, C. G.; LOZANO, L. A.; BALBUENA, R.; RESSIA, J. M.; FILGUEIRA, R. R. **Contribuição da macroporosidade para o fluxo total de água em um solo sob diferentes sistemas de preparo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 4, p. 1149-1156, 2012.

SOUSA, J. B.; SOUZA, C. A. **Propriedades físico-químicas e gênese de solos em ambientes de cordilheira e campo de inundação periódica, Pantanal de Poconé, Mato Grosso.** Geografia, Rio Claro, v. 38, n. 2, p. 225-242, 2013.

SOUZA, C. A.; LANI, J. L.; SOUSA, J. B. **Origem e evolução do pantanal mato-grossense**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, n. 6, 2006, Goiânia, Anais.

SOUZA, C. A.; SILVA, R. V.; RAYMUNDI, V. M. O.; GOMES, J. B.; PIERANGELI, M. A. P. **Estudos sobre os solos do pantanal: contribuições ao entendimento dos aspectos morfopedológicos da planície pantaneira**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.2, p.580-590, 2021.

TETENS, O. **Über einige meteorologische Begriffe**. Zeitschrift Geophysic, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C., COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. **Densidade, porosidade e Resistência a penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo**. Scientia Agricola, 59:795-801, 2002.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.2, n.1, p.135-152, 1997.

VAN GENUCHTEN, M. T. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. Soil science society of America journal, Soil Science Society of America, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.

VAZ, C. M. P., IOSSI, M. F.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. **Validação de modelos para estimativa indireta da capacidade de retenção da água nos solos**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2004. (EMBRAPA Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 61).

VIVACQUA, G. P. D., **Estudo da Influência da Interação Solo-atmosfera nos Perfis de Umidade, Sucção e Temperatura de um Subsolo Não Saturado**. 2012. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. D.; LAWRENCE, S.; DE LUCENA, I. C.; PINTO, O. B.; DALMAGRO, H. J.; EUGENIA, C.; ORTIZ, R.; NOGUEIRA, J. D. **Variations in Stand Structure and Diversity along a Soil Fertility Gradient in a Brazilian Savanna**

(Cerrado) in Southern Mato Grosso. Soil Science Society of America Journal, v. 77, n.4, p. 1370-1379, 2013.

VOURLITIS, G. L.; ROCHA, H. R. **Flux dynamics in the Cerrado and Cerrado-Forest Transition of Brazil.** In Ecosystem Function in Global Savannas: Measurement and Modeling at Landscape to Global Scales; Hill, M.J., Hanan, N.P., Eds.; CRC Inc.: Boca Raton, FL, USA, 2011; pp. 97–116.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field.** In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p.

WARRICK, A. W. **Soil Water Dynamics.** 1. Ed. New York: Oxford University Press, 2003.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D.R. **Statistics for the evaluation and comparison of models.** Journal of Geophysical Research 1985, v.90, n.5, 8995–9005.

ZHANG, L. T.; BERNDTSSON, R. **Analysis of soil water dynamics in time and space by use of pattern recognition.** Water Resources Research. v. 27, n. 7, p. 1623-1636, 1991.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROHR, M. R. **Avaliação dos impactos causados por diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos do solo.** In: Congresso Internacional de Tecnologias para Meio Ambiente, 3, 2012, Bento Gonçalves – RS. Anais...Bento Gonçalves: Universidade de Caxias do Sul, 2012.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROSA, G. M.; MORAES, M. T. **Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho.** Semina: Ciências Agrárias, v. 1, n. 34, p. 3489-3499, 2013.