

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SEBASTIÃO MARTINHO CHIQUETE

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO COM E  
SEM TERRAÇOS AGRÍCOLAS

PONTA GROSSA  
2021

SEBASTIÃO MARTINHO CHIQUETE

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO COM E  
SEM TERRAÇOS AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos  
Barbosa

PONTA GROSSA

2021

C541 Chiquete, Sebastião Martinho  
Atributos físico-hídricos do solo em área de plantio direto com e sem  
terraços agrícolas / Sebastião Martinho Chiquete. Ponta Grossa, 2021.  
63 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Ciência do  
Solo e Recursos Ambientais), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa.

1. Condutividade hidráulica saturada. 2. Método philip-dunne modificado. 3.  
Infiltração de água no solo. 4. Curva de retenção de água no solo. 5. Hidrologia  
de superfície. I. Barbosa, Eduardo Augusto Agnellos. II. Universidade Estadual de  
Ponta Grossa. Ciência do Solo e Recursos Ambientais. III.T.

CDD: 631



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: "ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇOS AGRÍCOLAS"

Nome: **Sebastião Martinho Chiquete**

Orientador: **Eduardo Augusto Agnellos Barbosa**

**Aprovado pela Comissão Examinadora:**

Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa

Prof. Dr. Neyde Fabíola Balarezo Giarola

Dr. Allan Charles Mendes de Sousa

Ponta Grossa - PR, 25 de novembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Neyde Fabíola Balarezo Giarola, Professor(a)**, em 25/11/2021, às 13:22, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Allan Charles Mendes de Sousa, Usuário Externo**, em 26/11/2021, às 14:53, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Augusto Agnellos Barbosa, Professor(a)**, em 26/11/2021, às 16:57, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0761366** e o código CRC **0B57A733**.

A DEUS, que excede todo o entendimento.

Aos meus pais, Manuel e Rebeca.

Aos meus irmãos, Ismael e Ruben.

Às minhas irmãs, Cristina e Natalia.

À minha sobrinha, Rebeca Diogo.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença marcante e insubstituível em cada instante da minha vida.

Aos meus pais pela vida, pelo incentivo e por acreditarem em mim. O meu muito obrigado.

Aos meus irmãos e irmãs pelo amor, carinho, e apoio em todos os momentos que precisei. À minha amada Hugueth Lubanzadio, pelo apoio amor e carinho, pelo estímulo, paciência e compreensão, por estar sempre comigo nessa caminhada.

Às famílias Chiquete e Martinho, pelas orações, pelo apoio e estímulo para superar os desafios da vida.

Ao meu orientador, professor doutor Eduardo Augusto Agnellos Barbosa, pela paciência, por acreditar em mim, pelos ensinamentos incansáveis que sublimam a mera função de orientação.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelos recursos físicos, educacionais e humanos.

Agradeço a Fundação Araucária/ SETI-PR/ SENAR-PR, pela FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA / SETI-PR / SENAR-PR; pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores Fabrício Barbosa e Neyde Giarola, pelos ensinamentos e orientação na execução do projeto.

Aos amigos e colegas do grupo de estudos e pesquisa em água e solo (GEPAS) pela amizade, pelo apoio na realização do trabalho de campo e laboratório, por terem melhorado a minha capacidade de trabalho em coletivo.

Ao meu primo Hilquías Chiquete, pela força, amizade e apoio, por estar sempre perto em todos os momentos.

Aos amigos(as) que encontrei ao longo desta caminhada e levarei para a vida toda, Caio Meyer, Pedro de Merito, Temidayo Aransiola, Genifá Teixeira, Temitope Aransiola, Peniel Kiaku, Jose Lohame, Wete Kuanzambi, Feliciano Marcolino.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho e para minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

Estudos ligados aos fatores que afetam diretamente os processos hidrológicos são importantes para a conservação do solo e da água e para a implementação de novos modelos de produção agrícola. O objetivo do trabalho foi avaliar os atributos físico-hídrica do solo em área de plantio direto em escala de megaparcelas, com e sem terraços agrícolas na região dos Campos Gerais do Paraná. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em encosta onde o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. A condutividade hidráulica saturada foi, determinada com permeâmetros de Philip-Dunne modificados, foram determinadas as curvas de retenção de água no solo nos potenciais matriciais -1, -3, -6, -10, -30, -50, -75, -1000 e 1500 kPa, por van Genuchten. Os dados obtidos foram inicialmente submetidos a estatística descritiva, análise de valores extremos pelo método do box-plot e Grubbs ( $p > 0,05$ ), teste de normalidade do resíduos por meio do método de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), e foram transformados aplicando o teste de Box-Cox ou  $\sqrt{x+1}$ , e realizados os intervalos de confiança pelo teste t Student. Por meio das CRAs constatou-se que as áreas com e sem terraços agrícolas apresentaram comportamentos distintos para as menores tensões, nas diferentes posições da vertente nas megaparcelas. Valores mais elevados de umidade volumétrica nas tensões entre 1,0 a 10 hPa. A condutividade hidráulica saturada reduziu 55,7% do primeiro para o segundo ano na megaparcela com terraço, e 17,8% do primeiro para o segundo ano para a megaparcela sem terraços agrícolas, em que a maior redução ocorreu na MPC. Por meio dos parâmetros da CRAs constatou-se que o parâmetro alfa ( $\alpha$ ) apresentou elevada alteração entre o primeiro e segundo ano de coleta indicando alta modificação no sistema poroso do solo.

**Palavras-chaves:** Condutividade hidráulica saturada; Método Philip-dunne modificado; Infiltração de água no solo; Curva de retenção de água no solo; Hidrologia de superfície.

## ABSTRACT

Studies related to factors that directly affect hydrological processes are important for soil and water conservation and for the implementation of new agricultural production models. The objective of this work was to evaluate the physical-hydric attributes of the soil in a no-tillage area on a megaplot scale, with and without agricultural terraces in the Campos Gerais region of Paraná. State of Ponta Grossa (UEPG), on a slope where the soil is classified as a typical Dystrophic Red-Yellow Latosol. Saturated hydraulic conductivity was determined with modified Philip-Dunne permeameters, soil water retention curves were determined at matrix potentials -1, -3, -6, -10, -30, -50, -75, -1000 and -1500 kPa, by van Genuchten. The data obtained were initially submitted to descriptive statistics, analysis of extreme values using the box-plot and Grubbs method ( $p>0.05$ ), residual normality test using the Shapiro-Wilk method ( $p>0.05$ ), and were transformed using the Box-Cox test or  $\sqrt{(x+1)}$ , and confidence intervals were performed using the Student t test. Through the CRAs, it was found that the areas with and without agricultural terraces presented different behaviors for the lower tensions, in the different positions of the slope in the mega-plots. Higher values of volumetric humidity in the tensions between 1.0 and 10 hPa Saturated hydraulic conductivity reduced 55.7% from the first to the second year in the megaplot with terrace, and 17.8% from the first to the second year for the megaplot without agricultural terraces, in which the greatest reduction occurred in the MPC. Through the CRAs parameters, it was found that the alpha parameter ( $\alpha$ ) showed a high change between the first and second year of collection, indicating a high change in the porous system of the soil.

**Keywords:** Saturated hydraulic conductivity; modified Philip-dunne method; Soil water infiltration; Soil water retention curve; Surface hydrology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração com satélite da vertente selecionada para estudo na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano de 2019.....	25
Figura 2 - Permeâmetro de Philip Dunne modificado confeccionado no Laboratório de Irrigação e Hidrologia Agrícola da UEPG.....	29
Figura 3 - Sensor de umidade do tipo TDR Moisture Meter HH2 ThetaProbe®. ....	29
Figura 4 - Modelo Philip Dunne Modificado. ....	30
Figura 5 - Coleta indeformada do solo com anéis volumétricos, 2019. ....	33
Figura 6 - Precipitação durante os meses de condução da pesquisa (outubro de 2019 a junho de 2020) e normal climatológica entre 1954 e 2001, para Ponta Grossa (PR).....	35
Figura 7 - Curvas característica de retenção de água no solo ajustadas pelo modelo de van Genuchten-Mualem, nos terços superior, inferior e médio para as megaparcelas com (MPC) e sem terraços (MPS), nos anos de 2019 e 2020. ....	36
Figura 8 - Condutividade hidráulica saturada para o terço superior com terraço (SuperC) média com terraço (MedC) inferior com terraço (InfC), superior sem terraço (SuperS) média sem terraço (MedS) inferior sem terraço (InfS) para o ano de 2019 e 2020.....	43
Figura 9 - Condutividade hidráulica saturada para mega com e sem terraços agrícolas para o ano de 2019 e 2020.....	45
Figura 10 - Mapas de condutividade hidráulica saturada para MP com terraço com as bordas pretas, e sem terraço com as bordas em vermelho, no ano 2019 (A) e 2020 (B). ....	46

Figura 11 - Velocidade de infiltração básica para cada terço superior com terraço (SuperC) média com terraço (MedC) inferior com terraço (InfC), superior sem terraço (SuperS) média sem terraço (MedS) inferior sem terraço (InfS) para o ano de 2019 e 2020. ....47

Figura 12 - Velocidade de infiltração básica para mega com e sem terraços agrícolas para o ano de 2019 e 2020. .... 49

Figura 13 - Mapas de velocidade de infiltração básica para mega com terraço com as bordas pretas, e sem terraço com as bordas em vermelho, no ano 2019 (A) e 2020 (B).....50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado em $\text{cm h}^{-1}$ . ....	17
Tabela 2 - Valores médio de de areia total (At), argila (Arg), silte (Slt), areia muito grossa (Amg), areia grossa (Ag), areia média (Am), areia fina (Af) e areia muito fina (Amf) USDA,1987. Para cada terço, na megaparcela experimental com e sem terraço agrícolas, coletados na camada de 0-0,10 m .....	27
Tabela 3 - Valores do parâmetro alfa ( $\alpha$ ) da curva de retenção de água no solo para mega com e sem terraço no ano de 2019 e no ano de 2020. ....	38
Tabela 4 - Valores do parâmetro de umidade volumétrica na saturação ( $\theta_s$ ) da curva de retenção de água no solo para megaparcela com e sem terraço no ano de 2019 e 2020.....	38
Tabela 5 - Valores do parâmetro umidade volumétrica residual da curva de retenção de água no solo para mega com e sem terraço no primeiro e segundo ano. ....	39
Tabela 6 - Valores do parâmetro n da curva de retenção de água no solo para mega com e sem terraço no primeiro e segundo ano. ....	40
Tabela 7 - Valores médio seguidos pelo intervalo de confiança pelo teste t ( $\alpha = 0,05$ ) dos atributos físico-hídricos do solo coletados na camada 0,0-0,10 m, nas megaparcelas experimentais (MP) com e sem terraços agrícolas no ano de 2019 e 2020, Ponta Grossa, PR. ....	41
Tabela 7 - Valores médio seguidos pelo intervalo de confiança pelo teste t ( $\alpha = 0,05$ ) dos atributos físico-hídricos do solo coletados na camada 0,0-0,10 m, nas megaparcelas experimentais (MP) com e sem terraços agrícolas no ano de 2019 e 2020, Ponta Grossa, PR. ....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESE E OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1	HIPÓTESE .....	13
2.2	OBJETIVO GERAL .....	13
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1	CONSERVAÇÃO DE SOLO .....	14
3.2	HIDROLOGIA DE SOLOS AGRÍCOLAS .....	16
3.3	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA .....	17
3.4	INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	20
3.5	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	22
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA GERAL .....</b>	<b>25</b>
4.1	LOCAL DE ESTUDO .....	25
4.2	AMOSTRAGEM DAS VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO .....	26
4.3	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	33
4.4	ANÁLISES DOS DADOS .....	34
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
5.1	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	36
5.2	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA .....	43
5.3	INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	47
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos agrícolas, decorrente do aumento populacional, previsto para as próximas décadas, e mudanças no padrão de consumo da população, associadas a uma procura por produtos oriundos de manejo sustentável, tornam pesquisas relacionadas a conservação do solo e da água fundamentais para implementação de novos modelos de produção agrícola. Essas pesquisas devem ser direcionadas a uma agricultura que possibilite a obtenção de safras que atendam a demanda de produtos com conservação dos recursos naturais.

O estado do Paraná é referência na conservação do solo e água, em especial pela ampla adoção do sistema plantio direto (SPD). O SPD promove benefícios ao sistema agrícola e meio ambiente, como a maior proteção do solo ao impacto das gotas de chuva, redução das perdas de solo e água, incrementos na matéria orgânica e na melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo. Por outro lado, observa-se que as áreas cultivadas no SPD apresentam compactação das camadas superficiais do solo, em decorrência da ausência de revolvimento e do intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas.

A compactação do solo provoca mudanças no seu sistema poroso e afeta negativamente as principais propriedades hidráulicas e aeração, como a condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), movimento do ar no solo e infiltração de água, devido a diminuição do espaço poroso e macroporos, que conseqüentemente, afeta a dinâmica da água no solo (OBOUR; UGARTE, 2021).

Esses fatores afetam diretamente os processos hidrológicos, sendo que a redução na taxa de infiltração de água no solo promove o aumento do escoamento superficial, acarretando em redução na recarga de água subterrânea, redução no tempo de permanência da água na bacia hidrográfica e sua disponibilidade, aumento da amplitude total entre os picos de vazões máximas e mínimas, sedimentação e assoreamento das coleções hídricas e aumento no custo de tratamento das águas para atender a população urbana e rural, fazendo com que haja aumento das perdas de solo por erosão hídrica e da água nas microbacias.

Em alguns estudos tem se observado um aumento do escoamento superficial em áreas com SPD, devido a redução da porosidade e rugosidade da superfície do solo, o que pode aumentar as perdas de água. Por essa razão é importante a utilização dos terraços agrícolas para redução da velocidade e aumento da infiltração (LONDERO et al., 2021)

Desta forma, estudos de caracterização físico-hídricas do solo que buscam descrever a dinâmica da água no solo, bem como as características hidrológicas de superfície e 11

subsuperfície do solo, em áreas com adoção de prática conservacionista do solo são essenciais para garantir uma agricultura que atenda as novas demandas mundiais.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 HIPÓTESE**

A implementação dos terraços agrícolas em solo de textura média localizado na região dos Campos Gerais do Paraná manejado no sistema plantio direto, promoverá uma melhoria nas características físico-hídricas do solo, com aumento da capacidade de infiltração e de armazenamento hídrico do solo, em resposta as menores perdas de solo.

### **2.2 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar os atributos físico-hídricas do solo em área de plantio direto sob escala de megaparcels, com e sem terraços agrícolas na região dos Campos Gerais do Paraná.

### **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar a condutividade hidráulica saturada, a curva de infiltração de água no solo gerada pelo modelo de Green-Ampt.

Obtenção das curvas de retenção de água no solo, da capacidade de campo, do ponto de murcha permanente, capacidade de água disponível no solo e água prontamente disponível para as culturas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONSERVAÇÃO DE SOLO

O solo é um dos recursos naturais mais importantes para a qualidade de vida do homem, e possui múltiplas funções no ciclo da água, nos ciclos dos nutrientes para as plantas, na sustentação da biodiversidade e é importante para a sustentabilidade dos sistemas naturais (WADT, 2003; HARTEMINK, 2016).

A conservação e melhoria das funções hidrológicas do solo são fundamentais para garantir a manutenção e incrementos na produtividade agrícola, bem como a conservação dos recursos naturais (REICHARDT; TIMM, 2016);

No entanto, a conservação do solo no Brasil fez um avanço na década de 90, devido a degradação do solo, por gestão e uso inadequado do solo, na tentativa de controlar e reverter os problemas causada pelo manejo inadequado, adotou-se o sistema de plantio direto (SPD), que tem como premissas, não cultivar o solo, manter resíduos vegetais no solo e controlar o escoamento (DEBIASI et al., 2013; LONDERO et al., 2021).

No SPD, a semeadura é realizada diretamente na palha após a colheita anterior sem arado, minimizando assim a perturbação do solo. De maneiras a reduzir a carga de trabalho agrícola e o uso de combustível e tem impactos ambientais benéficos, como a redução efetiva do risco de erosão devido à melhoria da estrutura do solo e à cobertura contínua das plantas. Melhorando assim o teor de carbono orgânico do solo, retenção de água, capacidade de água disponível para plantas e biodiversidade do solo (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018; HONKANEN et al., 2021; SKAALSVEEN; INGRAM; CLARKE, 2019).

No Brasil, entre os anos 2006 e 2017, houve um aumento de 84,9 % na área de SPD nas culturas anuais, passando de 17,9 para 33,0 milhões de hectares, A adoção do SPD para novas áreas permitiu a expansão da cultura de soja, tornando-se, assim, a cultura mais importante dos sistemas de produção de grãos no Brasil, no período econômico (FUENTESLLANILLO et al., 2021).

O estado do Paraná é um dos pioneiros na adoção e desenvolvimento do SPD, e alguns estudos mostraram que controla mais de 70% das perdas de solo devido a erosão em comparação ao cultivo convencional, mas isso levou os agricultores a acreditar que somente o SPD, sozinho fosse suficiente, abandonando assim o uso dos terraços agrícolas, por



considerarem um limitante para o uso de maquinário agrícola (MERTEN et al., 2015; TELLES et al., 2019).

Estudos relatam que em 2017 o SPD no Paraná teve um aumento de (81,9%) no Sul do Brasil (IBGE, 2017). E foi observado que o plantio direto sem rotação de culturas e sem terraços não foi suficiente para controlar o escoamento e a erosão do solo, mesmo durante eventos de baixa intensidade (DEUSCHLE et al., 2019; MARTÍNI et al., 2020) enfatizando assim a importância da utilização dos terraços agrícolas no SPD.

Dentre as medidas conservacionistas, têm-se o sistema plantio direto (SPD) e o terraceamento agrícola. O SPD é uma técnica de manejo com revolvimento somente na linha de semeadura, manutenção da palhada e rotação de culturas (CASSOL et al., 2007; DERPSCH et al., 2014); sendo eficiente na redução da susceptibilidade do solo à erosão, ou à erodibilidade, por minimizar o impacto energia cinética das gotas de chuva sobre o solo, evitando ou minimizando o fenômeno de desagregação e arraste de partículas do solo (CAMARA; KLEIN, 2005; PASSOS, ALVARENGA; SANTOS, 2018).

O terraceamento agrícola é uma prática mecânica conservacionista para o controle da erosão hídrica, sendo uma técnica difundida entre os agricultores brasileiros, na qual são construídas estruturas hidráulicas transversais ao sentido do declive do terreno (MIRANDA et al., 2004). Uma técnica de manejo da água comumente empregada em áreas agrícolas, que consiste no uso de faixas de terra mobilizadas em nível para interceptar o escoamento e reduzir sua velocidade, aumentando a infiltração de água no solo (ARNÁEZ et al., 2015; HUSSEIN; AMIEN; KARIEM, 2016).

Os terraços podem ser classificados em dois tipos básicos que são: em nível e desnível, sendo que o de nível tem a função de interceptar o escoamento, retê-lo e posteriormente infiltrar a água no perfil do solo localizado no seu canal; já o de desnível tem a função de interceptar o escoamento superficial e escoar de forma disciplinada o excesso de água para canais escoadouros. Quanto a sua construção, esses podem ser do tipo nichols ou mangum, e de base estreita, média ou larga (WADT, 2004).

Os terraços oferecem vantagens como, a redução do escoamento e sedimentos, e melhoria da produção de grãos e do teor de umidade do solo. e contribui para a conservação da biodiversidade vegetal em escala local. E oferecem desvantagens gradualmente como a interferência na circulação da água e o desenvolvimento de sérios problemas ambientais causados por terraços mal projetados ou mal administrados, ocorrendo assim perda de água e de solo (DENG et al., 2021).

Neste sentido, a conservação do solo busca estudar, entender e aplicar um conjunto de medidas, que levam em consideração a manutenção e a recuperação das condições físicas, químicas e biológicas dos solos, estabelecendo critérios técnicos e científicos para o uso e manejo racional dos solos, de forma a não comprometer sua capacidade produtiva e as funções hidrológicas do solo como a condutividade hidráulica saturada, a infiltração e curva de retenção de água no solo (PACHEPSKY; GENUCHTEN, 2011).

### 3.2 HIDROLOGIA DE SOLOS AGRÍCOLAS

Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza e abrange em especial fenômenos, propriedade e distribuição de água na atmosfera, na superfície da terra e no subsolo bem como a sua qualidade. A importância desta ciência é facilmente compreensível quando se considera o papel da água na vida humana e na produção vegetal (KAMBALIMATH; DEKA; 2020; REICHARDT; TIMM, 2016a).

Os principais processos hidrológicos regulados pelo solo são a capacidade de infiltração, os escoamentos superficiais e subsuperficial, a regulação do fluxo hídrico, o armazenamento e disponibilidade hídrica para as plantas (LIMA et al., 2021; MENDONÇA et al., 2009; PRIORI et al., 2021). Ressalta-se que esses processos afetam diretamente a recarga do lençol freático e a regularização das vazões dos corpos hídricos superficiais. (SOARES; SILVA; LIMA, 2020).

A hidrologia do solo é fundamental para o funcionamento do ambiente terrestre. Muitas questões ambientais estão diretamente ligadas à dinâmica da água do solo como produção agrícola e segurança alimentar, ciclismo de nutrientes e armazenamento de carbono, prevenção da degradação e erosão do solo, recursos hídricos limpos e proteção contra enchentes (VOGEL, 2019).

Deste modo para entender melhor a hidrologia do solo, deve-se entender alguns atributos inerentes que vão ditar essa distribuição da água na superfície, que são: condições iniciais de umidade, da textura, estrutura e profundidade do solo, da cobertura vegetal, da intensidade da chuva e da topografia superficial, infiltração, condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) e a curva característica de retenção de água no solo (CRAs) (BURT et al., 2006; MARSHALL et al., 2014).

Neste sentido, compreender o comportamento hidrológico dos solos é essencial para o manejo e proteção dos ecossistemas agrícolas e naturais, e para as condições ambientais (BASILE; COPPOLA, 2019). Desta forma, mudanças no comportamento hidrológico do solo

podem intensificar as perdas de água, solo e insumos agrícolas, com consequências danosas para agricultura, o meio ambiente e sociedade de modo geral.

### 3.3 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A condutividade hidráulica (K) do solo expressa a facilidade com que o solo transmite água entre as suas enésimas camadas. O valor mínimo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada (Ksat), que descreve a funcionalidade do sistema poroso de um dado solo, e seu estudo engloba propriedades relacionadas como a quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros (BOCUTI et al., 2020; GONÇALVES; LIBARDI, 2013)

Estudos destacam que o movimento de água no perfil do solo é um componente importante do ciclo hidrológico e nos estudos relacionados à agricultura e meio ambiente porque influencia diretamente no volume de escoamento superficial, potencializando a capacidade de transporte de partículas e impactando no processo de erosão (ALMEIDA et al., 2017).

A classificação da Ksat é baseada segundo Freire et al., 2003, em muito rápida, rápida, moderadamente rápida, moderada, moderadamente lenta, lenta e muito lenta, Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado em  $\text{cm h}^{-1}$ .

<b>Classificação</b>	<b>Intervalo</b>
Muito rápida	>25
Rápida	12,5 a 25
Moderadamente rápida	6,25 a 12,5
Moderada	2,0 a 6,25
Moderadamente lenta	0,5 a 2,0
Lenta	0,125 a 0,5
Muito lenta	<0,125

Fonte: Millar, 1998; Freire et al., 2003.

Para determinação da condutividade hidráulica saturada (Ksat) dos solos, aplica-se comumente a lei de Darcy (1856), que a descreve quantitativamente o movimento da água em meio poroso saturado. A equação de Darcy estabelece que a quantidade de água que passa por

unidade de tempo e de área pelo meio poroso saturado (densidade de fluxo) é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio (GONÇALVES; LIBARDI, 2013).

O estabelecimento da Ksat pode ser realizado em ensaios de campo ou de laboratório. Os ensaios de campo, em geral apresentam uma boa representatividade para o local de estudo e menor custo de operação (PENNER et al, 2019).

Os equipamentos utilizados no campo para determinação da Ksat são denominados de permeômetros, havendo atualmente uma gama de permeômetros, os quais podem ser do tipo carga constante que é indicado para solos arenosos e consiste na manutenção da carga “H” e medição do volume da água percolado e do tempo de percolação correspondente, ou do tipo variável que é comumente utilizado quando o coeficiente de permeabilidade é muito baixo, mais usado em solos argilosos, (RODRIGUEZ et al., 2015).

Neste trabalho foi utilizado o permeômetro de carga constante de Philip-Dunne Modificados (PDM) (NESTINGEN, 2007; AHMED et al., 2014), sendo que necessita de um menor número de amostra para descrever a Ksat (RAFAEL MUÑOZ-CARPENA; CARLOS M. REGALADO; JAVIER ÁLVAREZ-BENEDÍ, 2001) um método confiável, barato e rápido de realizar experimentos de campo são desejáveis, confeccionado em tubos e conexões em policloreto de vinila (PVC), se tornando uma alternativa simples e barata na obtenção desta característica, pois os aparelhos convencionais na sua grande maioria são importados e possuem valor consideravelmente maior, impedindo assim o acesso a grande parte das pessoas (OLIVEIRA et al., 2018).

O método Philip-Dunne é um modelo de infiltração de queda livre proposto por John Philip em 1993, baseado nos dados de água do solo da bacia amazônica e a suposição básica do modelo Green-Ampt (Philip 1993) (SUN et al., 2021).

Desde o seu surgimento, o método Philip-Dunne tem recebido atenção crescente de muitos pesquisadores. Que avaliaram a aplicabilidade prática e as condições de aplicação do método Philip-Dunne por meio de uma análise de sensibilidade do parâmetro Ksat (DE HARO et al., 1998; MUÑOZ-CARPENA et al., 2002; AHMED et al., 2014). Já Gómez et al. (2001) compararam os modelos de infiltração de anel de infiltração, permeômetro de tensão e simulador de precipitação com infiltração de Philip-Dunne e descobriram que os valores de ksat determinados por métodos diferentes eram próximos uns dos outros.

Em estudo comparando os métodos de campo e de laboratório, o permeômetro PD de baixo custo provou ser aceitável para aquisição rápida de um grande conjunto de dados de Ksat conforme exigido para análise geostatística (GWENZI et al., 2011). Isso foi observado

em estudos anteriores feitos por (BAGARELLO, 1997; JOHNSTON et al., 2009; MUÑOZCARPENA et al., 2002).

A  $K_{sat}$  de um solo é influenciada por numerosos fatores, entre estes destacam-se a textura do solo, umidade atual, densidade aparente do solo, grau de compactação, o gradiente hidráulico, o tamanho e a estabilidade dos agregados do solo (SANDIN et al., 2017; CHANDLER et al., 2018; KOOL et al., 2019).

Solos intensamente mobilizados, trafegados, e normalmente submetidos a mais de um cultivo anual, sofrem alterações em sua geometria porosa e na estabilidade dos agregados, em razão do distúrbio ocasionado pela mobilização e compactação do solo em respostas ao intensivo tráfego de máquinas e equipamentos durante o ciclo das culturas (SAUNDERS, et al., 1978; CORTEZ et al., 2014). Segundo Mesquita e Moraes (2004), qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo exercerá também influência sobre a condutividade hidráulica, sendo os macroporos responsáveis pela maior parte da movimentação saturada da água no solo (SHAH et al., 2017).

A  $K_{sat}$  é uma das variáveis físico-hídricas do solo que apresenta as relações funcionais com a densidade do solo, granulometria do solo, macroporos e continuidade de poros (HARA et al., 2019; ALAGNA et al., 2018; ZIEBA, 2017; NETO et al., 2017; SCHOLL et al., 2014).

A  $K_{sat}$  é um atributo hidrológico imprescindível para a modelagem da chuva-vazão, dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem, transporte de solutos no solo, recarga de aquíferos, escoamento superficial e transporte de sedimentos (ALVARENGA et al., 2011). Assim, conhecer como as práticas agrícolas (conservacionistas ou não) afetam as propriedades do solo é fundamental para entender os processos hidrológicos no ambiente rural, tanto em termo quantitativo como qualitativo (JUNQUEIRA et al, 2018).

$K_{sat}$  é um atributo cuja variação ocorre tanto no tempo quanto no espaço, dificultando sua determinação. Portanto, o uso de técnicas geoestatísticas é necessário e possibilita a determinação da variabilidade espacial (DA SILVA et al., 2019).

A variabilidade espacial depende de processos genéticos de formação do solo e de técnicas de manejo decorrente ao seu uso agrícola (GWENZI et al., 2011).

Portanto, estudos relatam que o conhecimento preciso de  $K_{sat}$  e sua variabilidade espacial podem reduzir erros no processo de amostragem, e os resultados da medição auxiliam para compreender a hidrologia de superfície e fornece parâmetros-chave para o balanço hídrico e modelos de transporte de soluto, bem como na escolha de um manejo eficiente para os solos

(HUANG; BARBOUR; CAREY, 2015; SWANSON et al., 2003)

Um conjunto relativamente grande de literatura descreveu a variabilidade espacial de Ksat para solos naturais (REGALADO et al., 2005; GUPTA et al., 2020; HU; SHAO; WANG; FAN; REICHARDT, 2008); Gwenzi et al. (2011) mediram Ksat para uma cobertura de areia em uma área de disposição residual de Bauxita Kwinana australiana usando o permeâmetro Philip-Dunne

Ferramentas geoestatísticas têm sido usadas com este propósito de ajudar os pesquisadores no estudo da grande variabilidade espacial que Ksat geralmente apresenta em solos (WARRICK; NIELSEN, 1980; SIMOES et al., 2006; AWAL; SAFEEQ; ABBAS; FARES; DEB; AHMAD; FARES, 2019). Além disso, a condutividade hidráulica é necessária para modelos hidrológicos preditivos (GORGIJ; KISI; MOAYERI; MOGHADDAM, 2018)

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo tornam-se, então, importante para definir as práticas agronômicas a serem adotadas no algodoeiro desde que a produtividade se relacione com os atributos químicos, como acidez disponibilidade de nutrientes, e físicos, como granulometria e escassez ou excesso de água (SANA et al., 2014).

### 3.4 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A infiltração de água no solo consiste no processo de passagem da água através da superfície do solo, e o seu conhecimento é fundamental para definir técnicas de conservação do solo e água (SANTOS et al., 2013). A infiltração de água no solo ocorre naturalmente, porém é fortemente dependente das características do solo (ANDRADE et al., 2020). Em geral, no processo de entrada de água no solo, a velocidade de infiltração tende a se tornar estável ao longo do tempo, momento em que o solo entra em estado de saturação, e é denominado velocidade de infiltração básica (VIB) (VILARINHO et al., 2013; SILVA et al., 2017, GOMES FILHO et al., 2018).

Em um evento chuvoso, se a taxa de precipitação for superior à taxa de infiltração em dado instante, um percentual da precipitação irá infiltrar e percolar no perfil do solo, entretanto, uma outra parcela escoará superficialmente (PENNER et al., 2019), com potencial erosivo, além de intensificar as perdas de água nas microbacias agrícolas.

O processo de infiltração é uma etapa importante do ciclo hidrológico, por ser responsável pela disponibilidade da água para plantas e animais, contribuição na recarga dos

aquíferos, manutenção dos fluxos nos canais de drenagem em períodos de estiagem e, na evolução da paisagem geomorfológica (CARVALHO; BRUMATTI; DIAS, 2012).

O processo de infiltração depende de diversos fatores como: intensidade e duração da chuva, umidade antecedente, textura do solo, condutividade hidráulica do solo, cobertura vegetal e uso da terra (manejo) (SALES; TARGA, 2017).

A infiltração de água no solo pode ser descrita por modelos eminentemente empíricos, como o de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton ou por modelos matemáticos baseados na teoria física do fluxo de água em meios porosos, como o de Green-Ampt, Green-Ampt modificado por Mein-Larson e modelo de Philip (REICHERT et al, 1992, MELLO; SILVA, 2013).

O modelo de Kostiakov não leva em consideração a umidade inicial do solo. Portanto, é recomendado que o teste de infiltração seja realizado com conteúdo intermediário de água no solo. Já o modelo de Horton, descreve que a redução na taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que operam na superfície do solo (LUNA ROBLES et al., 2020; WEBER; APESTEGUI, 2016).

Entre os vários modelos disponíveis para estimar a infiltração da água no solo, o modelo de Green-Ampt é um dos que apresentam maior potencial de utilização, devido à sua simplicidade e por estar fundamentado no processo físico da infiltração (MA et al., 2010; CAO et al., 2019). Este modelo, proposto por Green e Ampt (1911), demonstra a infiltração em função da condutividade hidráulica do solo saturado, do potencial matricial na frente de umedecimento e das umidades inicial e de saturação do solo, e não do tempo de ocorrência do processo, conforme apresentado na equação 1.

$$T_i = K_{sat} \left( 1 + \Psi \frac{(\theta_s - \theta_i)}{I} \right) \quad (1)$$

Em que:  $T_i$  - taxa de infiltração da água no solo, ( $\text{mm h}^{-1}$ ).  $K_0$  - condutividade hidráulica do solo saturado, ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\Psi_m$  - potencial matricial médio na frente de umedecimento, (mm);  $\theta_s$  - umidade do solo na saturação, ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_i$  - umidade inicial do solo, ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $I$  - infiltração acumulada, (mm).

A infiltração acumulada ( $I$ ) é dada por

$$I = L (\theta_s - \theta_i) \quad (2)$$

Em que:  $L$  é a profundidade da frente de umedecimento, expressa em mm.

Cecilio et al., (2003) relatam que para o desenvolvimento da equação, Green e Ampt (1911) basearam-se na equação de Darcy e assumiram que durante o processo de infiltração existe uma carga hidráulica constante na superfície do solo e, ainda, que a frente de umedecimento é bem nítida e precisamente definida.

Estudos, mostram que a água penetra no solo abruptamente, o que resulta na formação de duas regiões bem definidas, sendo a primeira completamente saturada e a segunda com conteúdo de umidade inicial (MELLO; SILVA, 2013).

A maior parte dos modelos que se propõem a descrever o processo de infiltração, incluindo-se o modelo de Green-Ampt, que foi usado nesse trabalho, parte da pressuposição de que o perfil de solo no qual se processa a infiltração é homogêneo o que, na grande maioria dos casos, não se constitui em uma verdade. Devido a variabilidade, tanto espacial quanto temporal, das características físicas do solo ser muito grande, apresentando heterogeneidade ao longo de sua profundidade (sentido vertical) e ao longo do terreno (sentido horizontal) (MA; FENG; ZHAN; LIU; SU; KANG; SONG, 2011), o estudo do processo de infiltração da água em solos, bem como condutividade hidráulica saturada, devem ser realizadas com uma ampla cobertura amostral da área para um prognóstico mais correto, tanto da quantidade de água infiltrada no solo, como da taxa com que se dá o processo (FELIZARDO et al., 2020).

### 3.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A curva de retenção de água no solo (CRAs) representa graficamente a relação entre a energia de retenção (potencial matricial  $\Psi_m$ ) com o respectivo conteúdo de água no solo (CARDUCCI et al., 2011). A CRA é considerada um indicador de qualidade física do solo, visto que através dela é possível estimar o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente, bem como a capacidade de água disponível para plantas, além da condutividade hidráulica do solo não saturado (ANDRADE; STONE; GODOY, 2013; CARDUCCI et al., 2013; SERAFIM et al., 2013; SILVA et al., 2020), sendo importante na descrição do comportamento físico-hídrico dos solos não saturados (BRUNING et al., 2019; LUCAS et al., 2011).

A curva de retenção de água no solo pode ser obtida por meio de medição direta utilizando técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão (RICHARDS, 1965) e da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002), e no campo por intermédio de um tensiômetro (BRUCE; LUXMOORE, 1986). Neste trabalho foi usado o método de laboratório,



através da mesa automatizada de extração de água a vácuo (EchoTech, DE), e determinador do ponto de orvalho modelo WP4-C (Decagon, USA).

O número de pontos de tensão, normalmente é feito de forma arbitrária. Com base nesses pontos, é traçada uma curva para representar as características de retenção da água do solo (SILVA et al., 2006).

Vários modelos foram desenvolvidos na literatura para descrever o comportamento da curva de retenção da água no solo (1) modelo Brooks e Corey, 1964; (2) modelo van Genuchten, 1980; (3) modelo Kosugi, 1996; (4) modelo Fredlund e Xing, 1994; (5) modelo Durner, 1994 e (6) modelo Seki, 2007.

O modelo Van Genuchten, (1980) é o modelo mais utilizado, pois é uma função matemática suave sem quaisquer discontinuidades. Este modelo tem sido usado para descrever uma ampla gama de solos perturbados e imperturbáveis. O modelo é uma função analítica explícita que descreve o teor de água  $\phi$  em função da pressão capilar (MEMARI; CLEMENT, 2021)

No estudo da CRAs, a boa estruturação do solo permite o movimento de água e ar pelo solo. Isto porque o conteúdo de ar e de água depende da presença de espaço poroso. O ar no espaço poroso é indispensável para fornecer oxigênio para as raízes das plantas. Água, também indispensável para as plantas, ocupa o restante do espaço poroso do solo (SILVA et al., 2018).

A retenção da água no solo é afetada pela estrutura do solo, sendo assim quanto mais compactado o solo menor será a porosidade total e menor será o volume de poros existentes entre os agregados (COGO; COGO, 2019) sendo, portanto, um parâmetro crucial no manejo do solo e da água para produção agrícola e para a hidrologia do solo (SHWETHA; VARIJA, 2015) e importante na descrição do comportamento físico-hídrico dos solos (BRUNING et al., 2019; LUCAS et al., 2011).

No entanto, é uma variável de difícil caracterização, principalmente por consumir muito tempo nos procedimentos laboratoriais para a obtenção dos parâmetros da curva de retenção de água, embora que quanto maior o número de pontos, mais oneroso será seu levantamento, sendo comum o uso de seis a oito pontos, incluindo o conteúdo de água do solo na saturação, deste modo os pontos adotados para esse trabalho vai de acordo com vários trabalhos encontrados na literatura (CINTRA; PORTELA; NOGUEIRA, 2004; MADY; SHEIN, 2020; RASTGOU et al., 2020; TAYLOR; WALSHIRE; BERRY, 2020)

A sua obtenção da CRA é de grande importância para a agricultura porque permite obter o balanço hídrico no solo, a disponibilidade de água às plantas, a dinâmica da água no

solo e infiltração, que ocorre na agricultura, áreas hidrológicas, ambientais e geotécnicas relacionadas à zona vadosa (ZHOU; CHEN, 2021; BRUNING et al., 2019)

Além disso, permite saber, parâmetros físico-hídricos importantes como, os valores de umidade correspondentes a capacidade de campo ( $\Theta_{cc}$ ), ponto de murcha permanente ( $\Theta_{PMP}$ ) e a capacidade de água disponível (CAD) de um solo a uma dada profundidade, sendo um atributo físico-hídrico importante para avaliar os efeitos na hidrologia do solo e para estabelecer estratégias de manejo, com vistas a nortear as práticas de uso sustentável dos sistemas agrícolas e pastagens (BARRETO et al., 2011; STEFANOSKI et al., 2013).

Deste modo o conhecimento do conteúdo de água no solo por intermédio da CRAs em bacias hidrográficas é fundamental para o entendimento de processos e no planejamento dos recursos hídricos (BROCCA et al., 2017).

Vários estudos demonstram que inúmeros erros e incertezas podem ocorrer, durante a determinação do conteúdo de água no solo para obtenção da CRA. Pode-se destacar a perda de contato solo-placa à medida que as amostras encolhem ao secar, fazendo com que a drenagem seja impedida. Em solos de textura grossa, o potencial matricial de equilíbrio nem sempre é atingido, provavelmente devido à drenagem impedida em função da condutividade hidráulica insaturada muito baixa (CRESSWELL; GREEN; MCKENZIE, 2008), e Bittelli e Flury, (2009) afirmam que erros na determinação da CRA também afetarão as simulações de fluxo de água e transporte de soluto, onde essas propriedades hidráulicas são necessárias. E que o erro substancial que pode ser causado por placas de pressão em potenciais menores que  $-10 \text{ m H}_2\text{O}$ , deste modo sugere-se evitar o uso do aparelho de placas de pressão para medições de potencial hídrico abaixo desse valor. Entretanto Gotardo et al. (2019) afirmam que essa incerteza está relacionada a erros nos pontos de inflexão da curva, bem como equações de ajuste, e uma forma de minimizar estas incertezas é por meio de trabalhos de comparação que visem determinar a performance dos métodos de determinação em campo e de métodos de laboratório em um mesmo local de estudo.

Conforme exposto, práticas agrícolas que proporcionam melhorias nas características físicas do solo, como a redução da densidade aparente, aumento da porosidade, incremento da matéria orgânica e na estabilidade de agregados, promovem benefícios nas características hidrológicas do solo, que podem ser observadas por meio de aumento da condutividade hidráulica saturada, capacidade de infiltração e capacidade de armazenamento e disponibilidade hídrica para as lavouras.

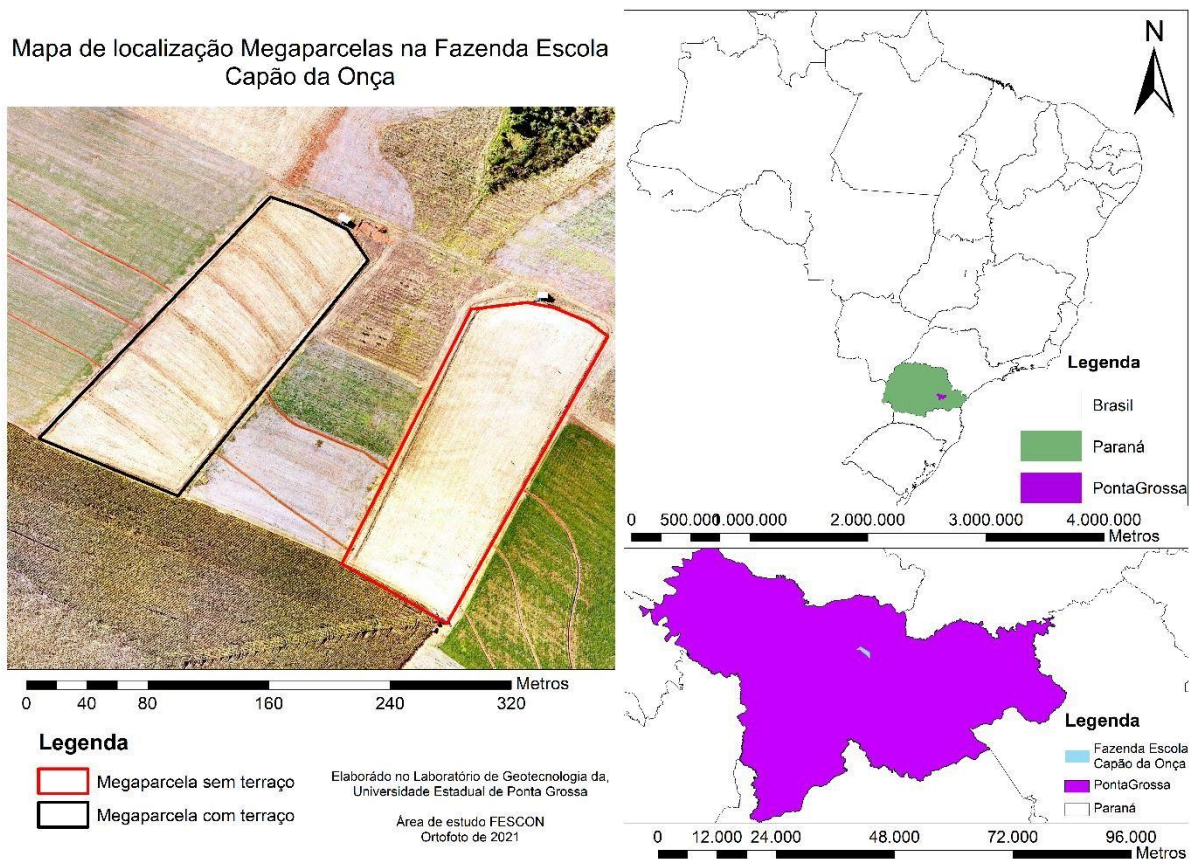
## 4 METODOLOGIA GERAL

### 4.1 LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), na região dos Campos Gerais com coordenadas entre 25°05’49” S e 50°03’43,11” W; altitude de 975m, situada no município de Ponta Grossa - Paraná Figura 1. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb mesotérmico subtropical úmido, com verões brandos, sem estações secas e geadas frequentes e rigorosas. Com temperatura média anual de 17,5 °C e precipitação pluvial média anual de 1.495mm (IAPAR, 2009).

A pesquisa foi realizada em escala de encosta, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (DOS SANTOS, 2018).

Figura 1 - Ilustração com satélite da vertente selecionada para estudo na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano de 2019.



Fonte: Laboratório de Geotecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Na encosta selecionada, foram instaladas duas megasparcelas, uma com terraço agrícolas com área de 1,6 hectares, e a sem terraço com área de 1,5 hectares. A área é cultivada no sistema plantio direto em longa duração (mais de duas décadas). Em novembro de 2019 foram implantados os terraços agrícolas de infiltração em nível em novembro de 2019. O uso principal do solo nas áreas selecionadas foi agricultura com produção de grãos. No verão, foi realizado o cultivo do milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*). No inverno foi feito o cultivo de trigo (*Triticum spp.*) e aveia (*Avena strigosa*).

Antes da instalação das megasparcelas e como prática operacional da fazenda, a área foi subsolada a 0,40 m de profundidade. Essa operação foi realizada para uniformizar a área e assim iniciar o estudo.

#### 4.2 AMOSTRAGEM DAS VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO

Para amostragem das variáveis nas megasparcelas, instalou-se uma malha com 36 quadrículas por megaparcelsa (MP), sendo que cada uma apresenta aproximadamente 18 x 22 m. Na megaparcelsa sem terraço (MPS), a orientação e espaçamento entre os pontos foi similar ao adotado na megaparcelsa com terraços agrícolas (MPC). Os pontos centrais de cada quadrícula foram georreferenciados e as coletas foram realizadas sempre próxima ao ponto referenciado, adotando-se os quadrantes ao redor deste ponto em cada época de amostragem.

A primeira coleta das amostras de solo foi realizada após a cultura de inverno e antes do plantio da cultura de verão, em outubro de 2019, as amostragens foram realizadas no primeiro quadrante em relação ao ponto georreferenciado. A segunda amostragem foi executada após 3 safras a colheita da cultura de inverno da safra 2020, e foi coletado o solo do segundo quadrante do ponto georreferenciado de cada quadrícula da malha.

##### Análise Granulométrica do Solo

A análises de granulométrica do solo foi realizada segundo metodologia adaptada de Camargo et al., 2009.

Em que se colocou 40 g de TFSA em um frasco de vidro e adicionou-se 250 mL de solução dispersante, uma mistura de hidróxido de sódio e hexametáfosfato (4 e 10 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente). O frasco foi colocado para ser agitado em posição horizontal por 16 a 120 rpm na mesa agitadora. Após o tempo de agitação, o conteúdo do frasco de vidro foi transferido para uma peneira com abertura de malha de 0,053mm, colocada sobre um funil

apoiado em uma proveta de 1000 mL, para separação da fração de areia (na peneira) das demais frações finas do solo. A areia foi transferida para capsula de porcelana e colocada na estufa com circulação de ar forçada por 24 horas a 105 °C.

A proveta foi completada com água deionizada até o volume de 1000 mL, e agitou-se a suspensão no interior da proveta durante 20 segundos com auxílio de um bastão. Posteriormente mantida em repouso por um período de 24 horas até a leitura com densímetro de Bouyoucos.

Para prova em branco, adicionou-se 250 ml da solução dispersante na proveta e completou-se com água deionizada até o aferimento de 1000 ml, sendo agitado e mantido por 24h em repouso. A leitura também foi realizada utilizando o densímetro de Bouyoucos.

Para separação dos tamanhos das diversas frações de areia, foi usada a classificação do sistema norte americano, desenvolvido pelo departamento de agricultura dos estados unidos (USDA), em que areia muito grossa (AMG) 1- 2 mm; areia grossa (AG) 0,5-1 mm; areia média (AM) 0,25-0,5 mm; areia fina (AF) 0,1-0,5 mm e areia muito fina (AMF) 0,05 - 0,1 mm.

Na tabela 1 estão representados os valores médios da granulometria do solo, bem como os valores médios da classificação das frações de areia, para cada terço da megaparcela com e sem terraço agrícolas,

Tabela 2 -Valores médio de de areia total (At), argila (Arg), silte (SlT), areia muito grossa (Amg), areia grossa (Ag), areia média (Am), areia fina (Af) e areia muito fina (Amf) USDA,1987. Para cada terço, na megaparcela experimental com e sem terraço agrícolas, coletados na camada de 0-0,10 m

		At	Arg	SlT	Amg	Ag	Am	Af	Amf
		g kg <sup>-1</sup>							
MPC	Sup	560,92	90,33	348,75	6,00	37,04	180,58	288,25	49,04
	Med	610,42	109,37	280,21	15,48	47,46	192,62	298,73	56,12
	Inf	665,67	78,08	256,25	14,79	64,27	235,17	300,42	51,02
MPS	Sup	583,13	75,21	341,67	8,25	48,29	195,50	281,14	49,94
	Med	641,17	101,54	257,29	15,71	61,27	202,98	309,58	51,62
	Inf	698,52	73,35	228,12	17,52	77,79	249,54	305,77	47,89

sup – superior; med -médio; inf – inferior.

Fonte: O autor.

## Densidade do Solo

A densidade do solo foi determinada a partir da razão entre a massa do solo seco em estufa 105°C (Ms) e o volume de solo presente no anel cilíndrico (Vt):

$$D_s = m_s / v_t \quad (3)$$

Sendo:  $D_s$  – densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $m_s$  – massa do solo seco em estufa a 105°C (g);  $v_t$  – volume total do solo ( $\text{cm}^3$ ).

#### Umidade Gravimétrica do Solo

A umidade gravimétrica do solo (U) foi determinada utilizando a massa de solo úmido

( $m_u$ ) pesadas após a coleta e a massa de solo seco ( $m_s$ ) em estufa 105 °C até a massa constante.

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad (4)$$

Sendo: U - umidade do solo;  $m_u$  - massa do solo úmido (g);  $m_s$  - massa do solo seco em estufa (g).

#### Umidade volumétrica

A umidade volumétrica do solo foi obtida através da multiplicação da densidade do solo ( $D_s$ ) pela umidade gravimétrica (U):

$$\theta = D_s * U \quad (5)$$

Sendo:  $\theta$  - umidade do solo a base de volume ( $\text{cm}^3$  de água  $\text{cm}^{-3}$  de solo);  $D_s$  - densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ); U - umidade gravimétrica.

#### 4.2.1 Determinação da Condutividade hidráulica saturada e infiltração

A determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) foram realizadas após o cultivo de inverno e verão, utilizando os permeômetros de Philip-Dunne modificados (PDM) (NESTINGEN, 2007; AHMED et al., 2014). O permeômetro foi construído e adaptado pelo Laboratório de Irrigação e Hidrologia Agrícola da UEPG, com tubo de PVC de 150 mm, tubo transparente de 10 mm para medição do nível e fita métrica (Figura 2). Para minimizar o

impacto da água no momento de preenchimento dos permeâmetros utilizou discos cilíndricos com ranhuras que permitem a livre passagem da água.

Figura 2 - Permeâmetro de Philip Dunne modificado confeccionado no Laboratório de Irrigação e Hidrologia Agrícola da UEPG.



Fonte: O autor.

Para obtenção das informações básicas necessárias ao cálculo da  $K_{sat}$  pelo método PMD, instalou-se os permeâmetros na superfície do solo a uma profundidade de 5,0 cm. As medições iniciais de umidade do solo foram realizadas ao lado do permeâmetro, com três medidas ao redor da borda. Essas medições foram realizadas com uma sonda de umidade do tipo TDR Moisture Meter HH2 ThetaProbe® (Figura 3), após o teste foram realizadas medidas de umidade no ponto de instalação do permeâmetro. A umidade do solo antes e após o teste são necessárias para calcular as propriedades hidráulicas do solo.

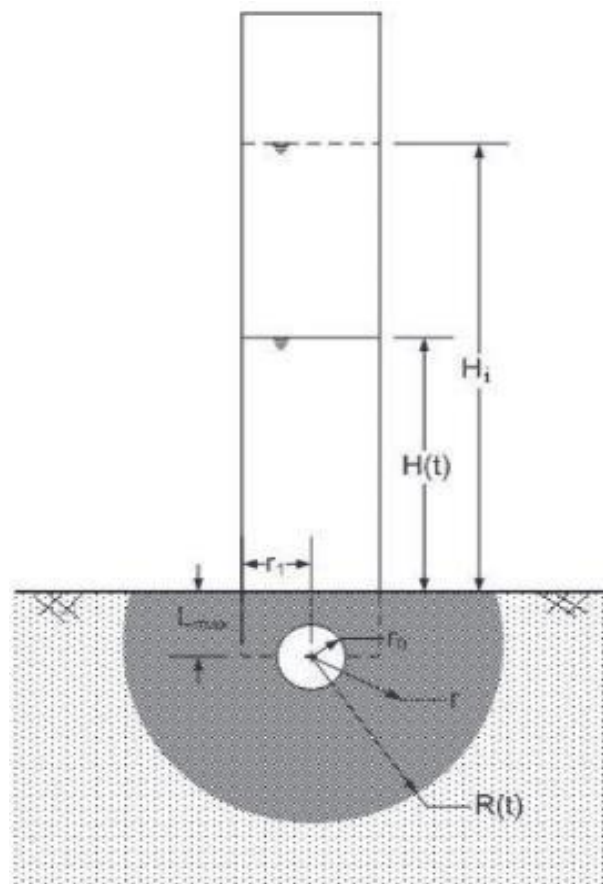
Figura 3 -Sensor de umidade do tipo TDR Moisture Meter HH2 ThetaProbe®.



Fonte: O autor.

O teste de  $K_{sat}$  foi realizado preenchendo o permeâmetro a uma altura inicial de 30 cm ( $H_0$ ), e depois registrando a carga no dispositivo ao longo do tempo. Foram realizadas onze medições da carga hidráulica versus o tempo, necessárias para caracterizar a curva de queda da carga hidráulica. Imediatamente após a conclusão do teste, o dispositivo foi removido fez-se a medição final de umidade do solo que estava dentro do dispositivo da mesma maneira que as medições iniciais de umidade. Como o modelo matemático proposto por Philip (1993), não se aplica ao modelo do permeâmetro modificado, há a necessidade de derivar a equação original para outra mais abrangente, considerando a perda de pressão no solo contido na parte que foi inserida no terreno e alteração da geometria de fluxo da frente de molhamento. A Figura 4, ilustra os parâmetros que são utilizados para equação de PDM, os quais são representados por:  $H_i$ , a altura inicial da água;  $H(t)$ , a altura da água no tempo  $t$ ;  $L_{max}$ , a profundidade de inserção no solo;  $r_0$ , o raio de fonte equivalente;  $r_1$ , o raio do cilindro;  $r$ , qualquer raio dentro da frente molhada;  $R(t)$ , o raio para a frente de umedecimento acentuada no tempo  $t$ .

Figura 4 -Modelo Philip Dunne Modificado.





Ao assumir a geometria de uma esfera coberta e não uma esfera completa, onde essa possui uma altura  $R(t) + L_{max}$  e o solo apresenta teor de umidade inicial de  $\theta_0$  e final de  $\theta_1$ , surge uma nova equação para infiltração acumulada descrita na Equação 6.

$$i(t) = \pi \cdot 3 (\theta_1 - \theta_0) [2[R(t)]^3 + 3[R(t)]^2 L_{maz} - L^3_{max} - 4r_0^3] \quad (6)$$

Em sequência, um balanço da massa entre a água contida no Infiltrômetro e a água que infiltrou na superfície do solo foi utilizado para calcular  $R(t)$  em função de  $H(t)$ , derivando na Equação 7.

$$[H_0 - H(t)]r_1^2 = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{3} \cdot [2[R(t)]^3 + 3[R(t)]^2 L_{maz} - L^3_{max} - 4r_0^3] \quad (7)$$

Considerando outras derivações que incluem os componentes de pressão capilar e pressão gravitacional, considerando  $K$ , condutividade hidráulica média no solo úmido sendo igual a condutividade hidráulica saturada,  $K_{sat}$  e aplicando a lei de Darcy a queda do potencial de pressão capilar  $\Delta P(t)$ , da esfera coberta para a frente de molhamento, surge a equação 8.

$$\frac{\Delta P(t)}{8} = \frac{\pi 2}{2} \cdot \frac{\{(\theta - \theta_0) \cdot [R(t)]^2 + [R(t)]L_{max} \cdot \frac{dR}{dt} - 2r_2\} \times \ln \left[ \frac{rR_0([tR])}{([tr_0] \pm + \frac{L_{max}}{L_{max}})} \right]}{K} \quad (8)$$

$$\Delta P(t) = C - H(t) - L_{max} + \frac{L_{max}}{K} \cdot \frac{dH}{dt} \quad (9)$$

$$C = \int_{h=h(\theta_0)}^{h=0} K(h) dh \quad (10)$$

A equação 7 é utilizada para resolver  $R(t)$ , enquanto as equações 8 e 9 e 10 resolvem  $\Delta P(t)$  a partir dos valores de  $K$  e  $C$  - pressão capilar. O resultado é logrado diminuindo a soma

do quadrado das diferenças entre os valores de  $\Delta P(t)$ , obtidos nas equações 9 e 10. Com os dados de variação da carga hidráulica no permeâmetro de PDM, umidade inicial e final e densidade aparente do solo, aplicou o procedimento matemático descrito nas equações 7 a 10, por intermédio de um software MPD disponível em planilha computacional no MS Excel com o suplemento solver e o aplicativo Visual Basic foi desenvolvido (AHMED et al., 2014), obtendo desta forma a  $K_{sat}$ .

Com os dados de condutividade hidráulica saturada, umidade inicial do solo ( $\theta_i$ ) e umidade de saturação ( $\theta_s$ ), obtidos na camada (L) de 0,0-0,05 m, foi obtido a curva de capacidade de infiltração e infiltração acumulada pelo método de Green-Ampt, para diferentes potenciais de água no solo conforme a Equação 7 e 8. Para resolver a equação 9 foi utilizado o pacote Solver do Software Excel.

E por intermedio das equações 11 e 12 foi calculda a velocidade de infiltração básica.

$$Ia = K_0 \left[ \frac{(\Psi_0 - \Psi_f)}{L} \right] \quad (11)$$

Sendo que:

$Ia$  – infiltração acumulada (mm),  $K_0$  – condutividade hidraulica saturada, ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\Psi_0$  – potencial inicial, (mm);  $\Psi_f$  – potencial final (mm);  $L$ - é a profundidade da frente de umedecimento.

$$Ti = K_0 \left[ 1 + \Psi_m \cdot \frac{(\theta_s - \theta_i)}{I} \right] \quad (12)$$

Sendo que:

$Ti$  - taxa de infiltração da água no solo, ( $\text{mm h}^{-1}$ ).  $K_0$  - condutividade hidráulica do solo saturado, ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\Psi_m$  - potencial matricial médio na frente de umedecimento, (mm);  $\theta_s$ - umidade do solo na saturação, ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_i$  - umidade inicial do solo, ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $I$  - infiltração acumulada, (mm).

### 4.3 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Foram realizadas coletas de solo de amostras indeformadas nos 36 pontos de cada megaparcela nas camadas de 0,0-0,10 m. As amostras indeformadas foram coletadas e anéis volumétricos de Uhland, com volume médio de 98,17 cm<sup>3</sup> (figura 5), ressalta-se que todos os anéis foram medidos, determinando a altura e diâmetro superior e inferior, com três repetições de cada medida.

Após a coleta no campo, as amostras foram acondicionadas em papel filme e encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo. No laboratório, as amostras foram preparadas para o teste, colocando-se, com o auxílio de um elástico um tecido na parte de baixo da amostra (toailete) com o intuito de impedir a perda de material durante as análises. Após este procedimento foi realizada saturação por capilaridade, colocando-as em bandejas com água até atingir 2/3 dos anéis e deixando para saturação por período próximo a 48 horas.

Figura 5 -Coleta indeformada do solo com anéis volumétricos, 2019.



Fonte: O autor

Após saturação, as amostras foram pesadas e submetidas a extração de água nos potenciais matriciais ( $\Psi_m$ ) -1, -3, -6, -10, -30, -50 e -75 kPa em mesa automatizada de extração de água à vácuo (EchoTech, DE), e foi determinada a umidade à -1000 e -1500 kPa em determinador do ponto de orvalho modelo WP4-C (Decagon, USA).

A curva de retenção de água no solo foi equacionada e ajustadas por meio de van Genuchten (1980), com parâmetro de restrição de Mualem, denominado modelo de van Genuchten-Mualem (Equação 5). Os parâmetros do modelo foram gerados com auxílio do programa SWRC-Fit (SEKI, 2007).

$$= \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \left[ \frac{\Psi_m}{\alpha} \right]^{1/n}$$

Sendo que,  $\theta$  corresponde à umidade volumétrica do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em determinado potencial,  $\Psi_m$  ao potencial matricial (KPa),  $\theta_r$  à umidade residual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),  $\theta_s$  à umidade na saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),  $\alpha$  ao inverso da entrada de ar ( $\text{m}^{-1}$ ) e  $n$  e  $m$  são coeficientes de ajuste da equação, sendo  $m = 1 - 1/n$ .

Após obtenção dos pontos da curva o solo presente nos anéis foi seco em estufa de circulação forçada a 105 °C até massa constante, com a informação da massa de solo seco e volume dos anéis foi obtido a densidade aparente do solo. Com base nos dados de umidade de saturação e de extração de água obtidos a -6 kPa foi calculado a porosidade total ( $\phi_t$ ), macro ( $\phi_{\text{macro}}$ ) e micro porosidade ( $\phi_{\text{micro}}$ ).

A umidade na capacidade de campo foi determinada a -10 kPa (CC) e umidade no ponto de murcha permanente determinada a -1500 kPa (PMP). A capacidade de água disponível (CAD) calculou-se pela diferença da umidade na CC e no PMP e água facilmente disponível (APD) obtida pela diferença de umidade entre a CC e a umidade a -100 kPa vezes a profundidade.

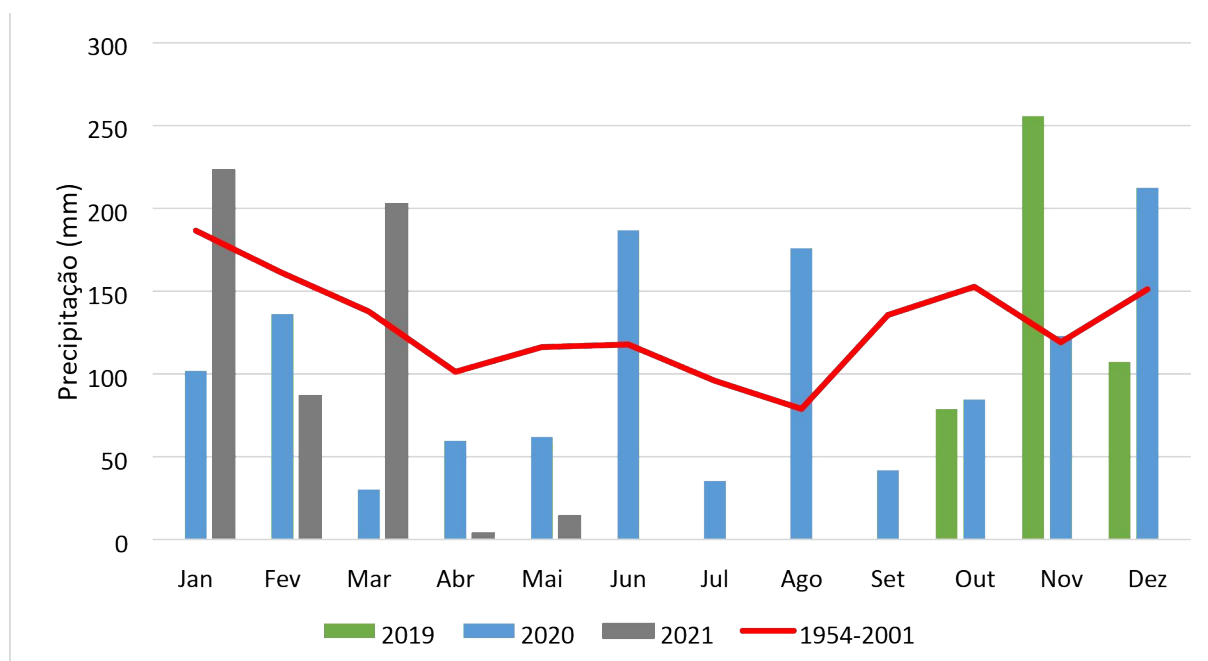
#### 4.4 ANÁLISES DOS DADOS

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos a estatística descritiva para averiguação da média, mediana, quartis, curtose, coeficiente de assimetria, análise de valores extremos pelo método do box-plot e Grubbs ( $p > 0,05$ ). Após esses ajustes, os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos por meio do método de Shapiro -Wilk ( $p > 0,05$ ), e os resíduos que não apresentaram distribuição normal, os dados originais foram transformados aplicando o teste de Box-Cox ou  $\sqrt{x + 1}$  a depender da grandeza dos dados originais. Posteriormente, foram realizados os intervalos de confiança pelo teste t Student, correlação múltipla, e análise de componente principal. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2020).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores observados de precipitação total mensal, coletados no pluviômetro da estação meteorológica localizada na FESCON no período de outubro de 2019 a maio de 2021, e os disponíveis da normal climatológica do município de Ponta Grossa-PR (INMET, 2021), estão ilustrados na Figura 6.

Figura 6 - Precipitação durante os meses de condução da pesquisa (outubro de 2019 a junho de 2020) e normal climatológica entre 1954 e 2001, para Ponta Grossa (PR).



Fonte: O Autor.

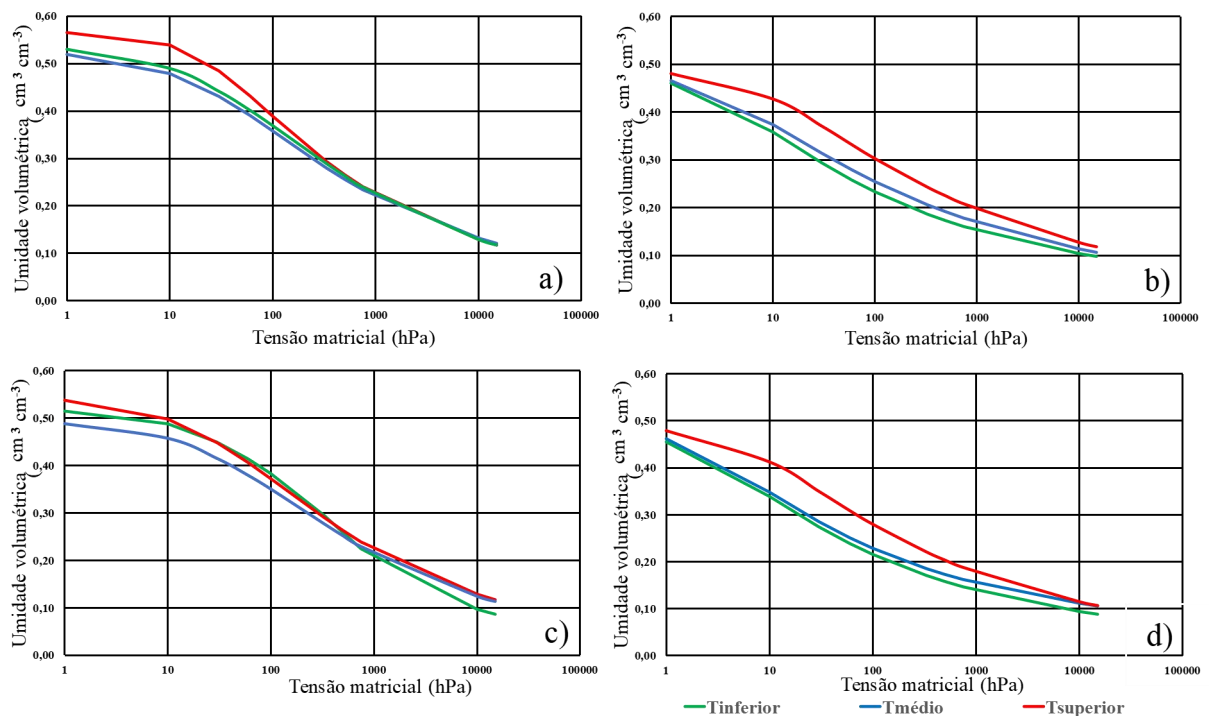
Por meio da Figura 6, constata-se que as precipitações apresentaram tendência de precipitações abaixo dos valores da normal climatológica, especialmente no ano de 2020. Neste ano, os meses de junho, agosto, novembro e dezembro, apresentaram precipitações acima ou próxima a média para a região, já os demais meses, em especial os primeiros meses do ano, tiveram chuvas bem abaixo da média. No período do verão/outono de 2019/2020 a região sul do Brasil estava sob influência moderada a forte do fenômeno La Niña (WMO, 2020), resultando em redução das precipitações na região (INPE, 2021).

O monitoramento das chuvas são fundamentais nos estudos de solo, com destaque aos que avaliam os efeitos em curto prazo de intervenções mecânicas de descompactação e adoção de práticas conservacionistas de solo e água. A energia cinética dissipada pelo impacto das gotas de chuva no solo e os processos de secamento e molhamento do solo, tem efeito direto na compactação e reestruturação do solo (BATEY, MCKENZIE, 2006; BATEY, 2009). A disponibilidade de água para as plantas em condições de sequeiro, é dependente do regime pluvial durante o ciclo de crescimento, influenciando o desenvolvimento do sistema radicular e da cobertura vegetal, com posterior formação de palhada para o sistema SPD, e impactando diretamente e indiretamente a reestruturação do solo e o processo de adensamento das camadas superficial do solo (CORREA et al., 2019; BEUTLER et al., 2021).

## 5.1 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

As curvas características de retenção de água no solo ajustadas pelo modelo de Van Genuchten-Mualem, com as amostras de solo do terço superior, médio e inferior da megaparcela com e sem terraço em ambos os anos estão ilustradas na Figura 7.

Figura 7 - Curvas característica de retenção de água no solo ajustadas pelo modelo de van Genuchten-Mualem, nos terços superior, inferior e médio para as megaparcelas com (MPC) e sem terraços (MPS), nos anos de 2019 e 2020.



Vermelho- terço superior; Azul - terço médio e Verde - terço inferior; **a)** MPC 2019; **b)** MPS 2019; **c)** MPC 2020; **d)** MPS 2020

Fonte: O Autor.

Por meio das CRAs constatou-se que as áreas com e sem terraços agrícolas apresentaram comportamentos distintos para as menores tensões, em todos os terços das MP. Valores mais elevados de umidade volumétrica nas tensões entre 1,0 e 10 hPa foram observados no terço superior da MPC, com valores de  $\theta$  nestes potenciais encontrando-se acima de  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , nos dois períodos de amostragem. Esse resultado sugere que a intervenção mecânica de descompactação para a implementação de terraços agrícolas promoveu aumento dos “bioporos” na camada de 0,0-0,10 m em solo de textura média. Comportamento semelhante foi observado por Carducci et al., 2013 em que o sistema conservacionista de manejo do solo promoveu melhor distribuição de poros nas primeiras profundidades, bem como maior retenção de água.

Nos potenciais relacionados a água capilar (100 a 1500 hPa), constata-se comportamento similar das CRAs, exceto na megaparcela sem terraço ano 2019 e terço superior desta MP no ano de 2020, devido a variabilidade do gradiente textural existente nas MP, apresentando assim curvas suaves, e observa-se que houve uma redução na porosidade drenável para a topo superior da mega com um ano para o outro saindo de  $19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para  $16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  diminuindo a recarga de água no solo.

Para melhor compreensão do comportamento das curvas de retenção e entendimento dos efeitos a curto prazo da intervenção de descompactação e terraceamento agrícola, analisouse separadamente os parâmetros da CRAs. Constatou-se que os efeitos foram mais pronunciados no parâmetro alfa ( $\alpha$ ), isso indica que a forma da curva não foi alterada, mais sim a sua posição em direção a região de maiores ou menores valores de sucção, o parâmetro  $\alpha$  para MPC e MPS os valores médios foram de 0,082 a 0,072  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , no primeiro ano, e no segundo ano a MPC teve média de 0,3447  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e para MPS média 0,4505  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , valores que corroboram com os encontrados por Gerscovich e Sayão (2002) que variaram de 0,05 a 1,00  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para solos arenoso, e Ramos et al., 2011, também encontraram resultados para o parâmetro  $\alpha$  valores que foram de 0,049 a 0,247  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para solos de textura grossa e média, e valores esses menores aos encontrados neste trabalho (Tabela 3).

Tabela 3 - valores do parâmetro alfa ( $\alpha$ ) da curva de retenção de água no solo para mega com e sem terraço no ano de 2019 e no ano de 2020.

Ano		Média	Mediana	Desvio padrão	assimetria	IC
$\alpha$						
2019	Com	0,0828	0,0423	0,1159	3,0884	0,0398
	Sem	0,0722	0,0371	0,0969	2,5752	0,0328
2020	Com	0,3447	0,2262	0,3698	2,5738	0,1270
	Sem	0,4505	0,2797	0,4727	2,3998	0,1624

IC – Intervalo de Confiança pelo teste de t de Student.

Fonte: O Autor.

Para o parâmetro  $\alpha$  para MPC e MPS os valores médios foram de 0,082 a 0,072  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e mediana de 0,0423 a 0,0371  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  no primeiro ano, e no segundo ano para MPC teve média de 0,3447  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , mediana de 0,2262  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e para MPS média 0,4505  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  e mediana de 0,2797  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

Os valores de  $\alpha$  (Tabela 3) do primeiro e segundo ano para MPC e MPS indicam uma menor retenção de água do solo no primeiro ano em relação ao segundo. Esta menor retenção de água no solo deveu-se às modificações na redução do tamanho dos poros, o que também foi observado por outros autores, como SILVA et al., (2005)

Na Tabela 4 estão ilustrados os valores do parâmetro de umidade volumétrica na saturação ( $\theta_s$ ) da curva de retenção de água no solo para megaparcela com e sem terraço referentes aos anos de 2019 e 2020.

Tabela 4 - valores do parâmetro de umidade volumétrica na saturação ( $\theta_s$ ) da curva de retenção de água no solo para megaparcela com e sem terraço no ano de 2019 e 2020.

Ano		Média	Mediana	Desvio padrão	assimetria	IC
$\theta_s$						
2019	Com	0,5409	0,5316	0,0603	1,1273	0,0207
	Sem	0,5151	0,5161	0,0536	-1,0234	0,0184
2020	Com	0,4861	0,4843	0,0401	1,0122	0,0138
	Sem	0,4915	0,4903	0,0382	0,0054	0,0131

Fonte: O Autor.

Através do ajuste de van Genuchten o parâmetro  $\theta_s$  para MPC e MPS os valores médios foram de 0,54 a 0,51  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e a mediana de 0,53 a 0,51  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  no primeiro ano, e



no segundo ano para mega com terraço teve média de  $0,48 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  mediana de  $0,48 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e para mega sem terraço média e mediana de  $0,49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Quanto ao ( $\theta_s$ ), parâmetro que corresponde à umidade no ponto de saturação, verificase que para MPC e MPS os valores médios foram de 0,54 a  $0,51 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , no primeiro ano, e no segundo ano para MPC ocorre uma redução nos valores médio para  $0,48 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e para MPS média  $0,49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  mais ainda assim esses valores estão de acordos com os valores encontrados na literatura para os parâmetros da equação de van genuchten, em estudos feitos por Gerscovich e Sayão (2002), Hodnette e Tomasella (2002) e Schaap et al., (2001). E essa diminuição deve ser devido a redução dos macroporos do solo tabela 3.

Tabela 5 estão ilustrados os valores do parâmetro de umidade volumétrica residual ( $\theta_r$ ) da curva de retenção de água no solo para megaparcela com e sem terraço no primeiro e segundo ano.

Tabela 5 - valores do parâmetro umidade volumétrica residual da curva de retenção de água no solo para mega com e sem terraço no primeiro e segundo ano.

Ano		Média	Mediana	Desvio padrão	assimetria	IC
$\theta_r$						
2019	Com	0,0047	1,42E-05	0,0268	5,9111	0,0092
	Sem	0,0020	9,29E-06	0,0121	5,9160	0,0041
2020	Com	0,0138	7,69E-06	0,0335	2,5678	0,0115
	Sem	0,0262	1,16E-05	0,0383	1,2085	0,0131

Fonte: O Autor.

Através do ajuste de van Genuchten o parâmetro  $\theta_r$  para MPC e MPS os valores médios foram de 0,0047 a 0,0020  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e a mediana de 1,42E-05 a 9,29E-06  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no primeiro ano, e no segundo ano para MPC teve média de 0,0138  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  mediana de 7,69E06  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e para MPS média de 0,0262 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  mediana de 1,16E-05  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

O parâmetro  $\theta_r$  os valores encontrados nesse trabalho foram muito abaixo dos observados na literatura para solos tropicais que vai de 0,2 a  $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (GERSCOVICH, SAYÃO, 2002), mais de acordo com a classificação feita por Schaap et al., (2001) são considerados como valores mínimos, sendo que para MPC e MPS os valores médios foram de 0,0047 a 0,0020  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , no primeiro ano, e no segundo ano para MPC teve média de 0,0138  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e para MPS média de 0,0262 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Esse resultado indica que toda a água do solo

foi removida, considerando a amplitude de leitura de potencial matricial avaliada pelo aparelho WP4-C (CARDUCCI et al., 2011).

Na Tabela 6 estão ilustrados os valores do parâmetro  $n$  da curva de retenção de água no solo para megaparcela com e sem terraço no primeiro e segundo em que os valores médios, mediana diminuíram do primeiro para o segundo ano para mega com e sem terraços agrícolas.

Tabela 6 - valores do parâmetro  $n$  da curva de retenção de água no solo para mega com e sem terraço no primeiro e segundo ano.

Ano		Média	Mediana	Desvio padrão	assimetria	IC
N						
2019	Com	1,2572	1,2396	0,0977	3,0103	0,0336
	Sem	1,3291	1,2431	0,2531	3,0267	0,0869
2020	Com	1,2131	1,1956	0,0603	2,2246	0,0207
	Sem	1,2412	1,2179	0,0669	1,4699	0,0230

Fonte: O Autor.

Para o parâmetro  $n$  para MPC e MPS os valores médios foram de 1,2572 a 1,3291  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e a mediana de 1,2396 a 1,2431  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , no primeiro ano, e no segundo ano para MPC teve média de 1,2131  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , mediana de 1,1956  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e para MPS 1,2412  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  e mediana de 1,2179  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

O parâmetro “ $n$ ” controla a inclinação da curva, e é relacionado com a distribuição granulométrica tal que quanto mais uniforme for o solo maior o valor do  $n$ , neste trabalho observa-se que o  $n$  para MPC e MPS os valores médios foram de 1,2572 a 1,3291  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e no primeiro ano, e no segundo ano para MPC teve média de 1,2131  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e para MPS média 1,2412  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  estando assim dentro dos valores observados por Gerscovich e Sayão (2002) em seus estudos, entretanto os valores observados neste trabalho também corroboram com os de Ramos et al., (2011) que em seu trabalho obteve valores de  $n$  que variaram de 2,05 a 1,20  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  para solos de textura grossa e média. Mas é possível observar neste trabalho que do primeiro para o segundo os valores diminuem, devido a desuniformidade do solo ocasionada pelo processo de compactação (FERREIRA et al., 2021).

Na Tabela 7 estão apresentados os valores dos atributos físico-hídrico do solo coletado na camada 0,0-0,10 m, nas megaparcela experimentais (MP) com e sem terraços agrícolas no ano de 2019 e 2020, Ponta Grossa, PR.

Tabela 7 - Valores médio seguidos pelo intervalo de confiança pelo teste t ( $\alpha = 0,05$ ) dos atributos físico-hídricos do solo coletados na camada 0,0-0,10 m, nas megaparcelas experimentais (MP) com e sem terraços agrícolas no ano de 2019 e 2020, Ponta Grossa, PR.

(continua)

osidade	TERÇO	Ds kg dm <sup>-3</sup>	Umidade				CAD (mm)	APD (mm)	Por
			$\phi$ Macro	$\phi$ Micro	$\Theta_{cc}$	$\Theta_{PMP}$			
			(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )						
MP			Ano 2019						
	Sup	1,19±0,05	0,12±0,02	0,46±0,03	0,38±0,03	0,14±0,02	24,32±3,03	10,37±0,85	
	Med	1,19±0,08	0,15±0,04	0,41±0,04	0,35±0,03	0,13±0,01	21,44±3,38	8,70±1,32	
MPC	Inf	1,24±0,08	0,17±0,06	0,41±0,03	0,36±0,04	0,11±0,02	25,26±3,43	9,12±1,11	
	<b>Média</b>	1,21±0,04	0,14±0,02	0,43±0,02	0,36±0,02	0,12±0,01	23,87±1,82	9,49±0,65	
	C.V	9,34%	36,94%	13%	14,84%	21,68%	22,55%	20%	
	Sup	1,19±0,06	0,14±0,03	0,43±0,02	0,36±0,03	0,13±0,02	22,53±3,14	10,56±0,89	
	Med	1,33±0,08	0,13±0,03	0,40±0,05	0,34±0,05	0,12±0,01	22,53±5,60	15,89±1,19	
MPS	Inf	1,32±0,09	0,11±0,03	0,43±0,03	0,37±0,04	0,09±0,02	27,74±5,07	9,94±1,15	
	<b>Média</b>	1,28±0,05	0,13±0,01	0,42±0,02	0,36±0,02	0,12±0,01	23,67±2,53	9,90±0,56	
	C.V	11,27%	34,49%	13,54%	17,68%	27%	31,68%	16,91%	

Tabela 7 - Valores médio seguidos pelo intervalo de confiança pelo teste t ( $\alpha = 0,05$ ) dos atributos físico-hídricos do solo coletados na camada 0,0-0,10 m, nas megaparcelas experimentais (MP) com e sem terraços agrícolas no ano de 2019 e 2020, Ponta Grossa, PR.

(conclusão)

MP	TERÇO	Umidade						
		Ds kg dm <sup>-3</sup>	Porosidade				CAD (mm)	APD (mm)
			$\phi$ Macro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$\phi$ Micro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$\Theta_{cc}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$\Theta_{PMP}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
Ano 2020								
	Sup	1,32±0,04	0,15±0,02	0,33±0,01	0,30±0,01	0,12±0,01	23,64±1,68	6,67±0,95
	Med	1,30±0,09	0,19±0,02	0,28±0,01	0,25±0,01	0,11±0,01	19,78±1,24	5,65±0,93
MPC	Inf	1,30±0,06	0,20±0,02	0,26±0,02	0,23±0,01	0,10±0,01	20,69±1,87	7,52±1,20
	<b>Média</b>	1,30±0,03	0,18±0,01	0,29±0,01	0,26±0,01	0,11±0,01	21,37±1,01	6,61±0,59
	C.V	7,75%	24,18%	13,71%	14,11%	19,48%	13,99%	26,72%
	Sup	1,30±0,05	0,17±0,02	0,31±0,02	0,28±0,01	0,11±0,01	23,02±2,35	6,78±1,95
	Med	1,31±0,06	0,21±0,03	0,25±0,03	0,23±0,02	0,11±0,01	18,63±2,70	13,14±2,70
MPS	Inf	1,33±0,09	0,22±0,02	0,24±0,02	0,22±0,02	0,09±0,01	18,86±1,78	6,65±0,89
	<b>Média</b>	1,31±0,04	0,20±0,01	0,27±0,01	0,24±0,01	0,10±0,01	20,17±1,40	7,03±1,02
	C.V	8,01%	21,65%	16,33%	16,11%	17,73%	20,25%	42,24%

Ds – densidade do solo;  $\phi_{macro}$  – macro;  $\phi_{micro}$  - microporosidade;  $\Theta_{cc}$  - capacidade de campo;  $\Theta_{PMP}$  - ponto de murcha permanente; CAD - capacidade de água disponível; AFD – água facilmente disponível; C.V – coeficiente de variação. Fonte: O Autor.

Obteve-se valores médios dos atributos físico-hídricos dos terços das duas MP com e sem terraço (Tabela 7), é possível observar que houve um aumento da densidade do primeiro para o segundo isso para MPC e MPS, principalmente no terço superior, houve uma redução dos macro e microporos do primeiro ano para o segundo, para o terço médio e inferior nas duas MP, Streck et al., 2004, também observaram em seu trabalho que tráfego de máquina sobre o solo aumentou a densidade e reduziu a porosidade total e a macroporosidade.

E possível observar que houve uma redução da capacidade de campo do primeiro para segundo ano, sendo para MPC os valores foram de 0,35 para 0,25 mm no terço médio e 0,36 para 0,23 mm no terço inferior, e a MPS os valores foram de 0,34 para 0,23 mm no terço médio e 0,37 para 0,22 no terço inferior. e um aumento nos valores de ponto de murcha permanente do primeiro para o segundo para MPC e MPS nos terços.

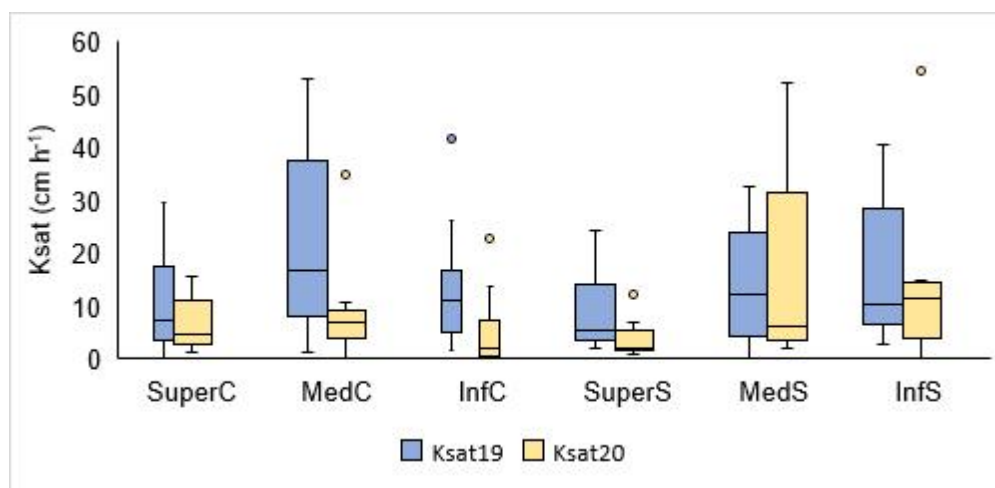
Para capacidade de água disponível houve uma redução do primeiro para o segundo ano isso para MP com e sem terraço, com exceção do terço superior da MPS que teve um

aumento do primeiro para o segundo ano saindo de 22,53 para 23,02 mm. E para água prontamente disponível observou-se um comportamento contrário ao da CAD, em que no terço superior da MPS houve redução da APD do primeiro para o segundo ano saindo de 10,56 para 6,78 mm, portanto essas diferenças devem-se às práticas mecânicas e à implementação dos terraços agrícolas bem como à variação do gradiente textural das MP, e no segundo ano há uma redução desses valores principalmente para MPC devido ao tráfego de máquinas agrícolas na área. Sugere-se que essas variáveis foram afetadas pelo processo de compactação, resultando em um aumento na densidade do solo, uma diminuição da porosidade do solo ou uma mudança na proporção de poros com água e ar e principalmente perda dos poros grandes (CORREIA et al., 2019; FERREIRA et al., 2021).

## 5.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA

Conforme ilustrado na figura 6 que os dados com uma confiança de 95% pelo teste t student, é plausível afirmar que na megaparcela com terraços promoveu reduções na condutividade hidráulica saturada, nos três terços analisados, do primeiro para o segundo ano, devido à circulação dos maquinários agrícolas na área. Observa-se que na MP com e sem terraço, o terço superior no primeiro para o segundo ano apresentou uma redução drástica dos valores de  $K_{sat}$ , em relação aos demais terços, isso ocorreu devido ao processo de subsolagem que foi realizado na parte superior da área no primeiro ano e devido à variação do gradiente textural na área de estudo.

Figura 8 - Condutividade hidráulica saturada para o terço superior com terraço (SuperC) média com terraço (MedC) inferior com terraço (InfC), superior sem terraço (SuperS) média sem terraço (MedS) inferior sem terraço (InfS) para o ano de 2019 e 2020.



Fonte: O Autor.

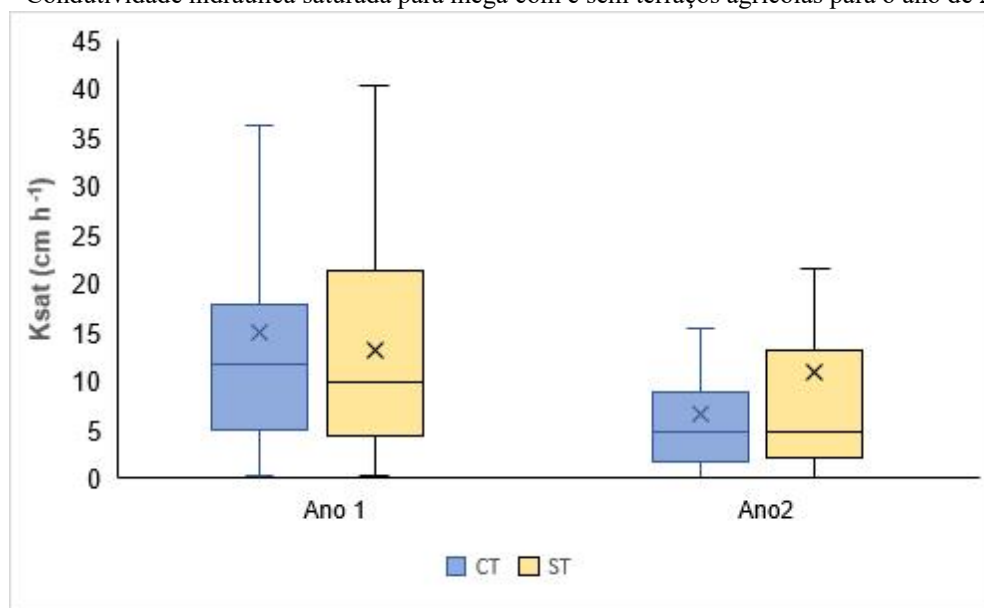
Os valores do terço superior para mega com terraço teve uma redução média de 37,4% isso do primeiro para o segundo ano, e a mediana de 7,19 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 4,84 cm h<sup>-1</sup> para o segundo ano. Para o terço médio teve uma redução de 60,1% do primeiro para o segundo ano, e mediana de 16,65 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 6,96 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano. Para terço inferior obtivemos uma redução de 62,9% do valor médio do primeiro ano para o segundo, e mediana de 11,29 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 2,13 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano.

Já para mega sem terraço o terço superior teve redução de 57,7% do valor médio do primeiro para o segundo ano, e mediana de 5,58 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 2,17 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano, e no terço médio teve um aumento de 13,9% do primeiro para o segundo ano, e mediana de 12,26 cm h<sup>-1</sup> no primeiro ano e mediana. 6,04 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano. Para o terço inferior obtivemos redução de 23,9% do valor médio do primeiro para o segundo ano e mediana de 10,21 cm h<sup>-1</sup> no primeiro ano e mediana de 11,66 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano.

Verifica-se que os maiores valores de Ksat foram obtidos no terço médio isso para a MP com e sem terraço, no primeiro ano, e no segundo ano os maiores valores foram observados no terço médio para megaparcela com terraço e terço inferior para megaparcela sem terraço, no primeiro ano os valores de Ksat segundo a classificação de Freire et al., (2003) estão entre moderada a muito rápida. E no segundo ano a Ksat foi de moderada.

Na Figura 9 a condutividade hidráulica saturada foi maior para o primeiro ano independentemente da mega com e sem terraço agrícola, devido ao processo de compactação do solo ocasionado pelas máquinas no segundo ano, no processo de semeadura e colheita das culturas

Figura 9 - Condutividade hidráulica saturada para mega com e sem terraços agrícolas para o ano de 2019 e 2020.



Fonte: O Autor.

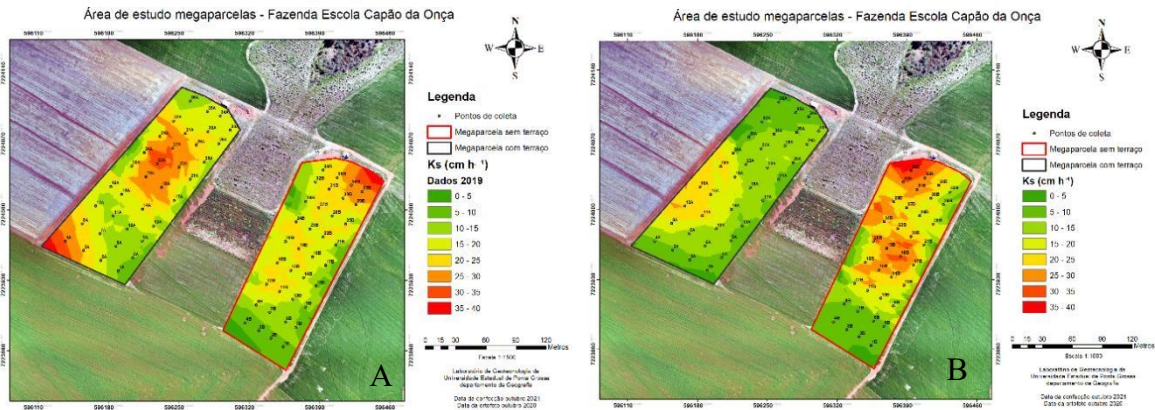
Observa-se que do primeiro ano para o segundo houve redução nos valores de Ksat em que o valor médio de Ksat na mega com terraço foi de 55,7% do primeiro para o segundo ano, e mediana de 11,72 cm h<sup>-1</sup> no primeiro e no segundo ano valor médio de e mediana de 9,82 cm h<sup>-1</sup>, para mega sem terraço obteve-se uma redução de 17,8% do primeiro para o segundo, e mediana de 9,82 cm h<sup>-1</sup> e mediana de 4,72 cm h<sup>-1</sup>.

A Ksat teve uma redução do primeiro para o segundo ano na megaparcela com terraço saindo de 11,72 para 9,82 cm h<sup>-1</sup>, e para megaparcela sem terraço os valores mantiveram-se de um ano para o outro, esses valores altos no primeiro ano provavelmente é devido à alta porosidade e macroporosidade característica de solos arenosos (REICHARDT; TIMM, 2016b).

Essa redução na MPC pode ser explicada devido a compactação do solo ocasionada pelo tráfego do maquinário agrícola, no momento da semeadura e colheita, bem como o aumento da densidade do solo e diminuição dos macroporos (tabela 7). Tormena et al. (1998) avaliaram as modificações ocorridas nas propriedades físicas do solo sob semeadura direta, e observaram que os efeitos do tráfego são observados até 0,35 m em que a compactação causada pelas máquinas reduziu a porosidade e aumentou a densidade do solo até 0,20 m de profundidade. Silva e Kato (1997) relatam que os valores de Ksat, estão fortemente correlacionados com a macroporosidade, uma vez que pequenas reduções na macroporosidade promovem reduções nos valores de Ksat, comportamento esse que foi observado neste trabalho Na Figura 10 estão os mapas de variabilidade espacial de condutividade hidráulica

saturada para as duas MP nos dois anos de avaliação.

Figura 10 - Mapas de condutividade hidráulica saturada para MP com terraço com as bordas pretas, e sem terraço com as bordas em vermelho, no ano 2019 (A) e 2020 (B).



Fonte: Laboratório de Geotecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

No primeiro ano é possível observar uma maior variabilidade espacial na MPC, porém na MPS também a uma grande variabilidade de  $K_{sat}$  mais não intensa como na mega com terraço.

Na (Figura 10a), observa-se para que MPC existe uma grande variabilidade de  $K_{sat}$  no terço superior da MP com valores variando 0 a 40  $\text{cm h}^{-1}$  isso ocorreu para o terço médio, já no terço inferior os valores variam de 10 a 25  $\text{cm h}^{-1}$ . Para MPS no terço superior os valores foram do 5 a 15  $\text{cm h}^{-1}$ , no topo médio valores 0 a 25  $\text{cm h}^{-1}$  e no terço inferior do 0 a 40  $\text{cm h}^{-1}$

Já na (figura 10b) na MPC no terço superior os valores variaram 5 a 15  $\text{cm h}^{-1}$  no terço médio de 5 a 25  $\text{cm h}^{-1}$  e no inferior de 0 a 15  $\text{cm h}^{-1}$ . Para MPS no terço superior os valores variaram de 5 a 15  $\text{cm h}^{-1}$  no terço médio 5 a 35  $\text{cm h}^{-1}$  e no inferior de 0 a 40  $\text{cm h}^{-1}$ .

Verifica-se que os maiores valores de  $K_{sat}$  foram obtidos no terço médio isso para a MP com e sem terraço, no primeiro ano, e no segundo ano os maiores valores foram observados no terço médio para megaparcels com terraço e terço inferior para megaparcels sem terraço, apresentando uma alta variabilidade dos valores de  $K_{sat}$  (figura 10) devido ao solo estar em um processo de estruturação, embora que no segundo ano essa variabilidade é reduzida

Deste modo pode-se observar que a  $K_{sat}$  é uma variável que apresenta uma grande variabilidade espacial dentro de uma determinada área, mas com o passar do tempo de uso dessa área essa variabilidade vai diminuindo (Figura 10).

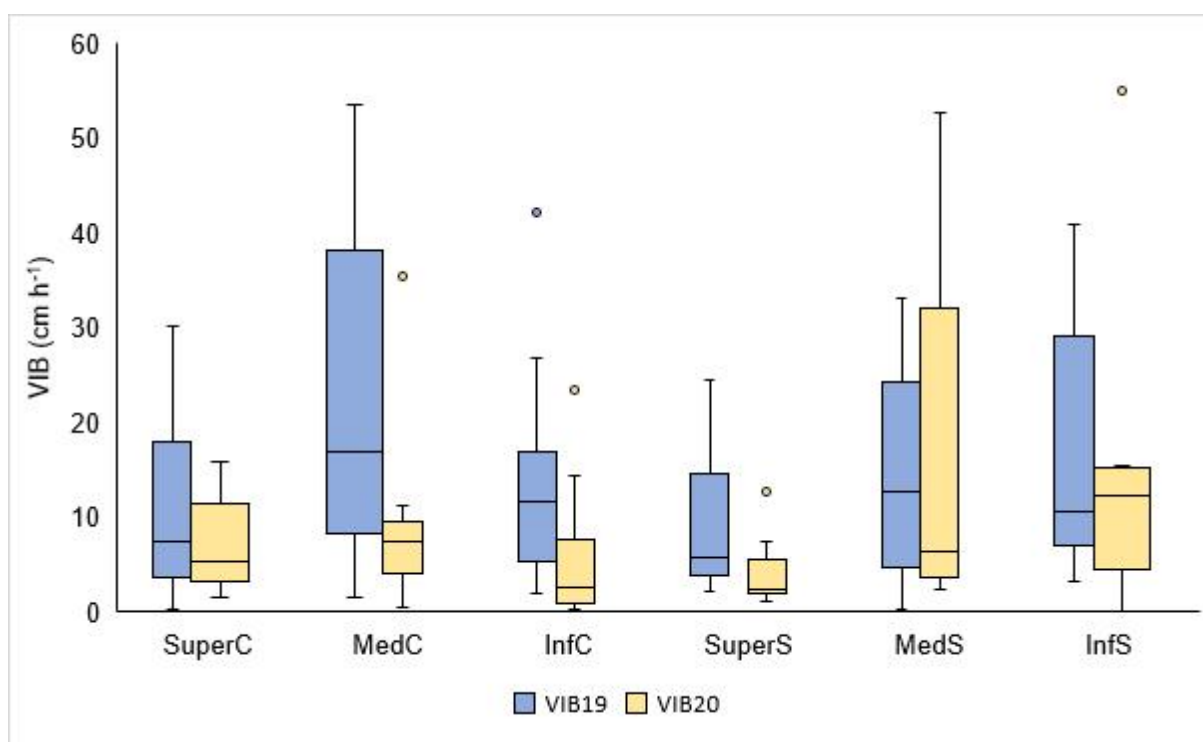


### 5.3 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Conforme a figura 11 observa-se que com uma confiança de 95% pelo teste t student, é plausível afirmar que a megaparcela com terraços promoveu reduções na velocidade de infiltração básica, nos três terços analisados, do primeiro para o segundo ano, devido a circulação dos maquinários agrícolas na área.

Para MP com e sem terraços agrícolas o terço superior no primeiro para segundo ano apresentaram uma redução dos valores de VIB, em relação aos demais terços, isso ocorreu devido o processo de subsolagem que foi realizado na área no primeiro ano, e devido essa variação do gradiente textural de um terço para outro, e observa-se que o mesmo comportamento dos resultados foi observado na variável Kast e VIB, por estarem interligadas.

Figura 11 -Velocidade de infiltração básica para cada terço superior com terraço (SuperC) média com terraço (MedC) inferior com terraço (InfC), superior sem terraço (SuperS) média sem terraço (MedS) inferior sem terraço (InfS) para o ano de 2019 e 2020.



Fonte: O Autor.

Sendo que os valores da VIB no terço superior para MPC teve uma redução média de 35, 9% isso do primeiro para o segundo ano, e a mediana de 7,49 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e

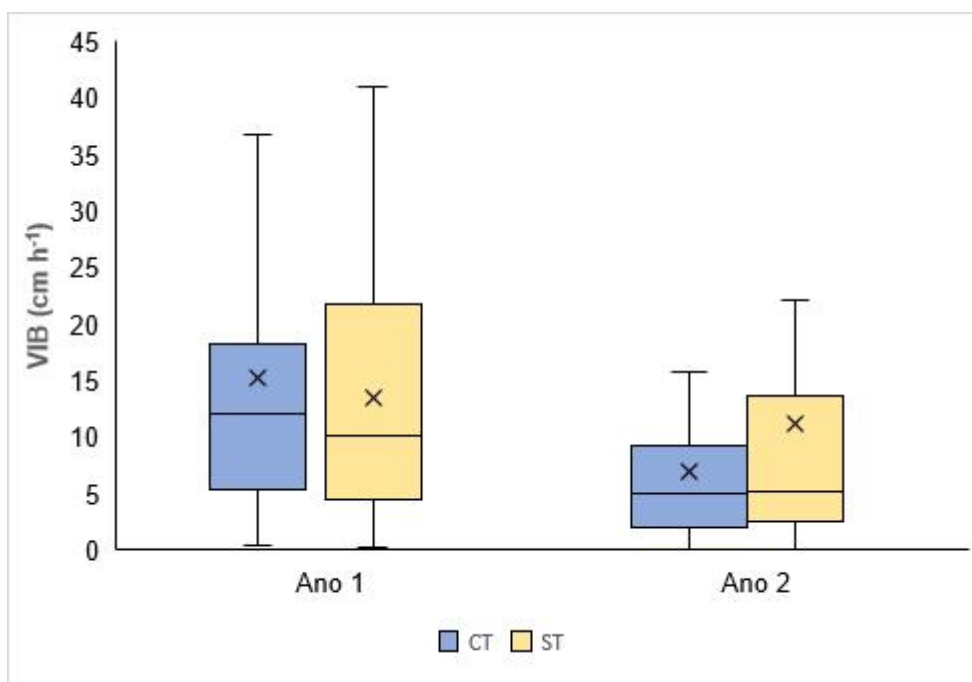
5,22 cm h<sup>-1</sup> para o segundo ano. Para o terço médio os teve uma redução de 59,1% do primeiro para o segundo ano, e mediana de 16,94 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 7,32 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano. Para terço inferior obtive-se uma redução de 60,9% do valor médio do primeiro ano para o segundo, e mediana de 11, 59 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 2,52 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano.

Já para MPS agrícolas o terço superior teve redução de 55,9% do valor médio do primeiro para o segundo ano, e mediana de 5,77 cm h<sup>-1</sup> para o primeiro ano e 2,44 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano, e no terço médio teve um aumento de 14,5% do primeiro para o segundo ano, e mediana de 12,59 cm h<sup>-1</sup> no primeiro ano e mediana. 6,45 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano. Para o terço inferior verificou-se uma redução de 22,5% do valor médio do primeiro para o segundo ano, com valor da mediana de 10,50 cm h<sup>-1</sup> no primeiro ano e mediana de 12,22 cm h<sup>-1</sup> no segundo ano.

Os valores de VIB obtidos nesse trabalho foram consideradas velocidades muito altas pela classificação de Bernardo et al. (2008). Entretanto comportamento semelhante foi observado pelos autores Gonçalves e Moraes (2012), Sobrinho et al. (2003) e Santos et al. (2016) em que valores altos de VIB foram encontrados na área onde o manejo era plantio direto, isso porque no SPD o solo normalmente é menos compactado, favorecendo a existência de macroporos, facilitando a infiltração, pois como já foi relatado por Sobrinho et al. (2003).

Na Figura 10 a velocidade de infiltração básica, foi maior para o primeiro ano independentemente da MP com e sem terraço agrícola, devido o processo de subsolagem feito no início do experimento, e no segundo ano houve redução da VIB, sugere-se que essa redução deve-se ao processo de compactação do solo ocasionado pelas máquinas no segundo ano, no processo de semeadura e colheita das culturas, fazendo com que houvesse essa diminuição da infiltração da água no solo, aumento da densidade e diminuição da porosidade do solo.

Figura 12 -Velocidade de infiltração básica para mega com e sem terraços agrícolas para o ano de 2019 e 2020.



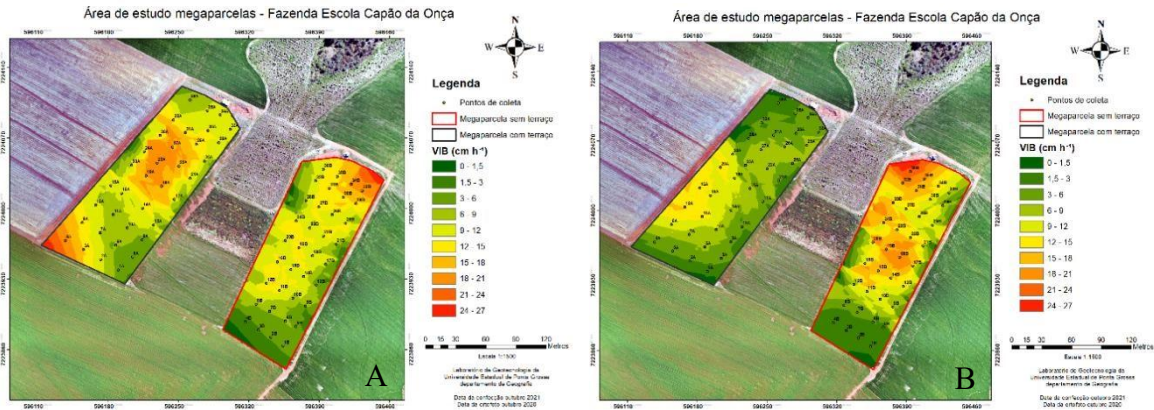
Fonte: O Autor.

Observa-se comportamento foi semelhante ao  $K_{sat}$  na MPC em que do primeiro ano para o segundo houve redução nos valores de VIB em que o valor médio na MPC foi de 11,3% do primeiro para o segundo ano e mediana de 12,00  $\text{cm h}^{-1}$  no primeiro ano e mediana de 5,03  $\text{cm h}^{-1}$  no segundo ano. Para MPS obteve-se um aumento do valor médio de 60% do primeiro para o segundo ano, e mediana de 10,13  $\text{cm h}^{-1}$  isso no primeiro ano e mediana de 5,17  $\text{cm h}^{-1}$  no segundo ano.

A VIB teve uma redução do primeiro para o segundo ano na megaparcela com terraço saindo de 12,09 para 10,72  $\text{cm h}^{-1}$ , valores esse que corroboram com os de Zwirtes et al. (2011) que avaliaram a capacidade de infiltração de água no solo em diferentes sistemas de cultivo e obtiveram Vib de 118 a 105  $\text{mm h}^{-1}$  para o SPD, usando o modelo matemático proposto por Kostiakov, e para megaparcela sem terraço os valores mantiveram-se de um ano para o outro, essa redução na megaparcela com terraço pode ser explicada devido a compactação do solo ocasionada pelo tráfego do maquinário agrícola, no momento da semeadura e colheita, aumentado a densidade do solo e diminuindo os macroporos (Tabela 3), isso ocorre porque os latossolos são altamente suscetível à compactação (Carducci et al., 2011) e, portanto, têm sua infiltração e condutividade hidráulica reduzidas.

Na Figura 13 estão os mapas de variabilidade espacial da velocidade de infiltração básica para as duas megas nos dois anos de avaliação.

Figura 13 -Mapas de velocidade de infiltração básica para mega com terraço com as bordas pretas, e sem terraço com as bordas em vermelho, no ano 2019 (A) e 2020 (B).



Fonte: Laboratório de Geotecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

No primeiro ano é possível observar um gradiente de variabilidade maior, em espacial na mega parcela sem terraço, porém na mega com terraço também a uma grande variabilidade da VIB mais não intensa como na mega sem terraço, comportamento ao observado nos mapas de Ksat.

Na figura 13a observa-se que na mega com terraço no terço superior os valores variaram de 3 a 27  $\text{cm h}^{-1}$  isso ocorreu também no terço médio, e no terço inferior os valores foram de 3 a 24  $\text{cm h}^{-1}$ . Já para mega sem terraço no terço superior os valores variaram de 0 a 18  $\text{cm h}^{-1}$  no terço médio de 3 a 24  $\text{cm h}^{-1}$  e na inferior 1,5 a 27  $\text{cm h}^{-1}$ .

Para Figura 13b na mega com terraço no terço superior os valores de 3 a 24  $\text{cm h}^{-1}$  no terço médio de 3 a 21  $\text{cm h}^{-1}$  e no inferior de 0 a 12  $\text{cm h}^{-1}$ . Para mega sem terraço no terço superior os valores foram de 0 a 12  $\text{cm h}^{-1}$  no terço médio de 3 a 27  $\text{cm h}^{-1}$  e no inferior de 0 a 27  $\text{cm h}^{-1}$ .

Para VIB os maiores valores foram obtidos no terço médio isso para a MP com e sem terraço agrícolas, no primeiro ano. E para o segundo ano os maiores valores foram observados no terço médio para MPC e terço inferior para MPS, apresentando uma alta variabilidade dos valores de VIB (figura 13) devido ao solo estar em um processo de estruturação,

No entanto a variabilidade espacial da VIB na MPC ela reduz do primeiro para o segundo não. Já para MPS essa variabilidade alta permanece de um ano para o outro como podemos observar na figura 13.

## 6 CONCLUSÕES

Por meio do estudo em escala de megaparcela experimental com prática mecânica de conservação do solo, em escala de encosta, e análise de 2 anos dos atributos físicos-hídricos do solo após a subsolagem, conclui-se que a condutividade hidráulica saturada reduziu do primeiro para o segundo ano em ambas megaparcela, e essa redução foi mais pronunciada na mega parcela com terraços.

Para velocidade de infiltração a megaparcela com terraços promoveu redução da VIB, em relação a megaparcela sem terraços agrícolas houve um aumento do primeiro para o segundo ano.

Por meio dos parâmetros da CRAs constatou-se que o parâmetro alfa ( $\alpha$ ) apresentou elevada alteração entre o primeiro e segundo ano de coleta indicando alta modificação no sistema poroso do solo.

Por meio deste estudo observou-se que a adoção do terraceamento agrícola não promove grandes modificações nos atributos físico-hídrico do solo em relação a área sem implementação de terraços em latossolo vermelho-amarelo distrófico típico. Além disso constatou-se efeito efêmero da subsolagem neste solo.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, F., NESTINGEN, R., NIEBER, J. L., GULLIVER, J. S., HOZALSKI, R. M. A modified Philip–Dunne infiltrometer for measuring the field-saturated hydraulic conductivity of surface soil. **Vadose Zone Journal**, v.13, n.10, p.1-14, 2014
- ALAGNA, V. et al. The impact of the age of vines on soil hydraulic conductivity in vineyards in eastern Spain. **Water**, v.10, n.14, p.02-11, 2018.
- ALMEIDA, E. L. D. et al. Filter paper method for the determination of the soil water retention curve. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.5, p.1344-1352, 2015.
- ALVARENGA, C. C.; MELLO, C. R. DE; MELLO, J. M. DE; VIOLA, M. R. Continuidade espacial da condutividade hidráulica saturada do solo na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n.5, p. 1745–1758, 2011.
- ANDRADE, R. DA S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. DE. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 932–937, 2013.
- ARNÁEZ, J. et al. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. **CATENA**, v. 128, p. 122–134, 1 maio 2015.
- AWAL, R. et al. Soil Physical Properties Spatial Variability under Long-Term No-Tillage Corn. **Agronomy** v. 9, n. 11, p. 750, 13 nov. 2019.
- BAGARELLO, V. Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph Permeameter. **Geoderma**, v. 80, n. 1–2, p. 169–180, 1 out. 1997.
- BARRETO, H. B. F. et al. Análises de indicadores de retenção e armazenamento de água no solo do perímetro irrigado Gorutuba, em Janaúba, MG. **Revista Verde**, v.6, n.5, p.189-192, 2011.
- BASILE, A; COPPOLA, A. Special Issue “Soil Hydrology in Agriculture”. **Water**, v. 11, n. 7, p. 1430, 12 jul. 2019.
- BATEY, T. Soil compaction and soil management - A review. **Soil Use and Management**, v. 25, n. 4, p. 335–345, 2009.
- BATEY, T.; MCKENZIE, D. C. Soil compaction: Identification directly in the field. **Soil Use and Management**, v. 22, n. 2, p. 123–131, 2006.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.
- BEUTLER, A. N. et al. Soil compaction and cover with black oat on soybean grain yield in lowland under no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 51, n. 11, 21 jun. 2021.

BITTELLI, M; FLURY, M. Errors in water retention curves determined with pressure plates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 5, p. 1453-1460, 2009.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. Geoderma No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, n. February, p. 164–200, 2018.

BOCUTI, E. D. et al. Effective hydraulic conductivity and its relationship with the other attributes of Cerrado soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1807–1929, p. 357–363, 2020.

BROCCA, L. et al. Soil moisture for hydrological applications: Open questions and new opportunities. **Water**, v. 9, n. 2, p. 140, 2017.

BRUCE, R.R.; LUXMOORE, R. J. Retenção de água: métodos de campo. **Métodos de Análise do Solo: Parte 1 Métodos Físicos e Mineralógicos**, v. 5, p. 663-686, 1986.

BRUNING, J. et al. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de pedotransferência. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 1, p. 97, 2019.

BURT, T. P; SLATTERY, M. C. Land Use and Land Cover Effects on Runoff Processes: Agricultural Effects. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**. n.5, v.8, p 327-345 abril. 2006.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.789-796, 2005.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas, Instituto Agrônômico**, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

CAO, D. F. et al. Feasibility investigation of improving the modified Green–Ampt model for treatment of horizontal infiltration in soil. **Water**, v. 11, n. 4, p. 645, 2019.

CARDUCCI, C. E. et al. Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 2, p. 291–302, 2013.

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2011.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 2, 1 dez. 2012.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J.

M. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.333-370, 2007.

CECILIO, R. A., SILVA, D. D., PRUSKI, F. F., MARTINEZ, M. A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de GreenAmpt. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.415-422, 2003.

CHANDLER, K. R.; STEVENS, C. J.; BINLEY, A.; KEITH, A. M. Influence of tree species and forest land use on soil hydraulic conductivity and implications for surface runoff generation. **Geoderma**, v.310, p.120-127, 2018.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 45–50, 2004.

COGO, F.D.; COGO, F.A.D. Curva de Retenção de Água e Condutividade Hidráulica de três Solos Sob Frutíferas Perenes. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p.63164, 2019.

CORREA, J. et al. Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 21, p. 6019–6034, 18 nov. 2019.

CORTEZ, J. W. et al. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.3, p.1000-1010, 2014.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. **Características físico-hídricas e disponibilidade de água no solo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. p. 65. (Circular Técnica, 21). 2002.

CRESSWELL, H. P.; GREEN, T. W.; MCKENZIE, N. J. The Adequacy of Pressure Plate Apparatus for Determining Soil Water Retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, p. 41–49, 2008.

DA SILVA, G. S. et al. Spatial variability of the saturated hydraulic conductivity of soil in cocoa farming in Recôncavo Baiano. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 786–794, 2019.

DARCY, H. **Les fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application**..Victor Dalmont, 1856.

DE ALMEIDA, K. S. S. A. et al. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Amarelo Distrocoeso, no município de Cruz das Almas. **Irriga**, v.22, p.259-274, 2017.

DE HARO, J. M. et al. Medida de la conductividad hidráulica saturada del suelo con el infiltrómetro de Philip-Dunne: aplicabilidad y limitaciones. In: **Progresos en la investigación en zona no saturada**. Universidad de Huelva, p. 9-20. 1998.



DEBIASI, H. et al. Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. **Embrapa Soja-Docmentos (342)**, 2013.

DECAGON DEVICES, INC. **Operator's manual version 5 WP4 Dewpoint PotentiaMeter**. Pulmann: Decagon Devices, 66 p. 2007.

DENG, C. et al. Advantages and disadvantages of terracing: A comprehensive review. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, n. 3, p. 344–359, 2021.

DERPSCH, Rolf et al. Why do we need to standardize no-tillage research?. **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 16-22, 2014.

DEUSCHLE, D. et al. Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 157–163, 15 abr. 2019.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

FELIZARDO, Lucas Menezes et al. Testes de infiltração de água no solo como forma de quantificar os parâmetros para equação de Horton. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e145996767-e145996767, 2020.

FERREIRA, C J. B. et al. A compactação do solo influencia a qualidade física do solo e o rendimento da soja em plantio direto a longo prazo. **Arquivos de Agronomia e Ciência do Solo**, v. 67, n. 3, p. 383-396, 2021.

FREIRE, M. B. G. et al. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. [online]**. vol.7, n.1, p. 45-52. 2003.

FUENTES-LLANILLO, R. et al. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, n. November 2020, p. 104877, 2021.

GERSCOVICH, D. M. S.; SAYÃO, A. S. F. J. Evaluation of the soil-water characteristic curve equations for soils from Brazil. In: **Third International Conference on Unsaturated SoilsUNSAT2002**. v. 1, p. 295-300, 2002.

GOMES FILHO, R. R. et al. Análise do comportamento de modelos para ajuste da velocidade de infiltração em diferentes usos de solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2755-2760, 2018.

GÓMEZ, J.A.; GIRÁLDEZ, Juan Vicente; FERERES, E. Análise de infiltração e escoamento em um pomar de oliva sob o plantio direto. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 2, p. 291-299, 2001.

GONÇALVES, A. D. M. DE A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1174–1184, 2013.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, v.17, n.3, p. 337, 2012.

GORGIJ, A. D. et al. Hydraulic conductivity estimation via the AI-based numerical model optimization using the harmony search algorithm. **Hydrology Research**, v. 49, n. 5, p. 16691683, 12 fev. 2018.

GOTARDO, R. et al. Comparação entre curvas de retenção de água obtidas em laboratório e a campo. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 125-142, 2019.

GUPTA, S. et al. global soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. **Earth System Science Data Discussions**, v. 2020, p. 1-26, 2020.

GWENZI, W. et al. Field-scale spatial variability of saturated hydraulic conductivity on a recently constructed artificial ecosystem. **Geoderma**, v. 166, n. 1, p. 43–56, 2011.

HARA, A. T. et al. Produtividade do feijoeiro e a relação com a condutividade hidráulica saturada. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 5, p. 462-471, 2019.

HARTEMINK, A. E. The Definition of Soil Since the Early 1800s. **Advances in Agronomy**, v. 137, p. 73–126, 2016.

HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. Marked differences between van Genuchten soil waterretention parameters for temperate and tropical soils: a new water-retention pedo-transfer functions developed for tropical soils. **Geoderma**, v. 108, n. 3-4, p. 155-180, 2002.

HONKANEN, H. et al. Soil & Tillage Research Response of boreal clay soil properties and erosion to ten years of no-till management. **Soil & Tillage Research**, v. 212, p. 105043, 2021.

HU, W. et al. Spatial variability of soil hydraulic properties on a steep slope in the loess plateau of China. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 3, p. 268-276, 2008

HUANG, M.; BARBOUR, S. L.; CAREY, S. K. The impact of reclamation cover depth on the performance of reclaimed shale overburden at an oil sands mine in Northern Alberta, Canada. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 12, p. 2840–2854, 15 jun. 2015.

HUSSEIN, M. H.; AMIEN, I. M.; KARIEM, T. H. Designing terraces for the rainfed farming region in Iraq using the RUSLE and hydraulic principles. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 1, p. 39–44, 2016.

IAPAR, INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná: classificação climática –segundo Köppen**, 2009. CD-ROM.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro2017**. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/resultados-censo-agro-2017.html>>. Acesso em 22 de 08 de 2021.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA . **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

JOHNSTON, S. G. et al. Saturated hydraulic conductivity of sulfuric horizons in coastal floodplain acid sulfate soils: Variability and implications. **Geoderma**, v. 151, n. 3–4, p. 387–394, 15 jul. 2009.

JUNQUEIRA, R., DE MELLO, C. R., DE OLIVEIRA, A. S., ALVES, G. J., AIRES, U. R. V. Análise da Condutividade Hidráulica Saturada em uma Floresta de Cedro, Madrid, Espanha. **Revista Agrogeoambiental**, v.10, n.3, p.75-89 2018.

KAMBALIMATH, S; DEKA, P. C. Uma revisão básica das aplicações lógicas difusas em hidrologia e recursos hídricos. **Ciência da Água Aplicada**, v. 10, n. 8, p. 1-14, 2020.

KOOL, D. et al. Soil water retention and hydraulic conductivity dynamics following tillage. **Soil and Tillage Research**, v.193, p.95-100, 2019.

LIMA, A. M. M. DE et al. Zonas Hidro-Agrícolas Da Bacia Hidrográfica Do Rio Capim, Amazônia Oriental, Brasil. **Geosaberes**, v. 12, p. 1, 2021.

LONDERO, A. L. et al. Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 3, p. e14094, 1 mar. 2021.

LUCAS, J. F. R.; TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; CÁSSARO, F. A. M. Curva de retenção de água no solo pelo método do papel-filtro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n.6, p. 1957-1973, 2011.

LUCAS, Juliana Fenner Ruas et al. Curva de retenção de água no solo pelo método do papelfiltro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 35, p. 1957-1973, 2011.

LUNA ROBLES, E. O. et al. Ajuste de modelos empíricos de infiltración en un Umbrisol bajo diferentes tratamientos silvícolas. **Revista mexicana de ciencias forestales**, v. 11, n. 57, p. 132–152, 30 jan. 2020.

MA, Y. et al. Modeling water infiltration in a large layered soil column with a modified Green–Ampt model and HYDRUS-1D. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 71, p. 40-47, abr. 2010.

MA, Y. et al. Water Infiltration in Layered Soils with Air Entrapment: modified green-ampt model and experimental validation. **Journal Of Hydrologic Engineering**, v. 16, n. 8, p. 628638, ago. 2011.

MADY, A. Y.; SHEIN, E. V. Assessment of pore space changes during drying and wetting cycles in hysteresis of soil water retention curve in Russia using X-ray computed tomography. **Geoderma Regional**, v. 21, p. e00259, 2020.

MARSHALL, M. R. et al. The impact of rural land management changes on soil hydraulic properties and runoff processes: results from experimental plots in upland UK. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 4, p. 2617-2629, 2014.

MARTÍNI, A. F. et al. Impacts of soil use and management on water quality in agricultural watersheds in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 975-992, 2021.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: **Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 455p. 2013.

MEMARI, S. S.; CLEMENT, T. P. PySWR- A Python code for fitting soil water retention functions. **Computers & Geosciences**, v. 156, p. 104897, nov. 2021.

MENDONÇA, L. A. R. et al. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 89–98, 2009.

MENDONÇA, L. A. R. et al. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, p.89-98, 2009.

MERTEN, G. H. et al. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 85–93, 2015.

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

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. Editerra Editorial, ed. 2, p. 306, 1988.

MIRANDA, J. H. DE et al. Dimensionamento de terraços de infiltração pelo método do balanço volumétrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2–3, p. 169– 174, 2004.

MOISTURE Meter -HH2, DELTA-T. Disponível em:< [HH2 Moisture Meter - Readout Unit \(delta-t.co.uk\)](http://delta-t.co.uk)Acesso em 18 de Fevereiro de 2020.

MUÑOZ-CARPENA, R. et al. Field evaluation of the new Philip-Dunne permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, v. 167, n. 1, p. 9–24, 2002.

MUÑOZ-CARPENA, R. et al. Field evaluation of the new philip-dunne permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, v. 167, n. 1, p. 9-24, jan. 2002.

NESTINGEN, R. S. **The comparison of infiltration devices and modification of the PhilipDunne permeameter for the assessment of rain gardens**. 2007. Tese de Doutorado. University of Minnesota. 2007.

- NETO, G.K.; OLIVIERA, A.H.; PEREIRA, S.Y. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma sub-bacia às margens do rio Mogi Guaçu (SP). **Geociências**, São Paulo, v.36, n.2, p.381- 394, 2017.
- OBOUR, P. B.; UGARTE, C. M. A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield. **Soil and Tillage Research**, v. 211, p. 105019, 1 jul. 2021.
- OLIVEIRA, A. F. DE et al. Permeâmetro De Carga Constante Construído Em Tubos De Pvc. **Organizações e Sociedade**, v. 7, n. 8, p. 14, 2018.
- PACHEPSKY, Y.; GENUCHTEN, M. T. VAN. PEDOTRANSFER FUNCTIONS. **Encyclopedia of agrophysics**. Springer, Berlin, v. 1, p. 556–560, 2011.
- PASSOS, A. M. A.; ALVARENGA, R. C.; DOS SANTOS, F. C. Sistema de plantio direto. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro técnico**, p.61-104, 2018.
- PENNER, G. C. et al. Avaliação da condutividade hidráulica na zona não saturada do solo na bacia hidrográfica do igarapé sapucajuba (Belém-Pa). **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.7, p.8954-8964, 2019.
- PRIORI, S. et al. Soil Physical-Hydrological Degradation in the Root-Zone of Tree Crops: Problems and Solutions. **Agronomy**, v. 11, n. 1, 2021.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. (Acesso em 25/09/2021).
- RAFAEL M. C.; CARLOS M. REGALADO; JAVIER ÁLVAREZ-BENEDÍ. The Philip-Dunne permeameter: a low-tech/low-cost field saturated hydraulic conductivity device. n: **2001 ASAE Annual Meeting**.v. 0300, p. 1–17, 2001.
- RAMOS, Tiago et al. Propriedades hidráulicas do solo para as diferentes classes texturais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 252-264, 2011.
- RASTGOU, M. et al. Estimating the soil water retention curve: Comparison of multiple nonlinear regression approach and random forest data mining technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 174, p. 105502, 1 jul. 2020.
- REGALADO, C.M.; RITTER, A.; ALVAREZ-BENEDI, J.; MUNOZ-CARPENA, R. Simplified method to estimate the Green–Ampt wetting front suction and soil sorptivity with the Philip–Dunne falling-head permeameter. **Vadose Zone J**, 4, 291–299. 2005.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera**. Barueri, SP: Manole, 478p. 2016a.

REICHARDT, Klaus; TIMM, Luís Carlos; DOURADO-NETO, Durval. As recentes hipóteses de similaridade para descrever a infiltração da água em solos homogêneos. **Cientia Agricola**, v. 73, p. 379-383, 2016b.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.3, p.289-298, 1992.

RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**, v. 9, p. 128-152, 1965.

RODRIGUEZ, T. T. et al. Permeabilidade de Solo Laterítico por Diferentes Métodos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 2, p. 17, 2015.

SALES, P. A.; TARGA, M. S. Infiltração de água em diferentes usos e ocupação dos solos na bacia do rio una em taubaté, sp. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

SANA, R. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 994–1002, 2014.

SANDIN, M.; KOESTEL, J.; JARVIS, N.; LARSBO, M. Post-tillage evolution of structural pore space and saturated and near-saturated hydraulic conductivity in a clay loam soil. **Soil and Tillage Research**, v.165, p.161-168, 2017.

SANTOS, I. L. N. et al. Velocidade de infiltração da água no solo cultivado por milho doce com cobertura de crotalária. **Revista brasileira de agricultura irrigada-rbai**, v. 10, n. 5, p. 925-934, 2016.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.

SAUNDERS, L. C. U.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Condutividade hidráulica da Terra Roxa Estruturada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2 p164167, 1978.

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J.; VAN GENUCHTEN, M. T. Rosetta: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of hydrology**, v. 251, n. 3-4, p. 163-176, 2001.

SCHOLL, P. et al. Root induced changes of effective 1D hydraulic properties in a soil column. **Plant and Soil**, v.381, n.1-2, p.193-213, 2014.

SEKI, K. SWRC fit: a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.** v.4, p.407–437, 2007.

SERAFIM, M. E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 362–370, 2013.

SHAH, A. N. et al. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research** 2017 **24:11**, v. 24, n. 11, p. 10056–10067, 21 jan. 2017.

SHWETHA, P., Varija, K. 2015. “Soil water retention curve from saturated hydraulic conductivity for sandy loam and loamy sand textured soils.” **Aquatic Procedia**, v.4, n.1, p. 1142–1149, 2015.

SILVA, A. J. N. et al. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 833-842, 2005.

SILVA, C. L. da; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213–220, 1997.

SILVA, E. M. DA et al. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 323–330, 2006.

SILVA, E.M. da.; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1487-1494, 2002.

SILVA, M. L. N. et al. Soil water retention curve as affected by sample height. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

SILVA, N. F. et al. Métodos para estimativa da infiltração de água em um latossolo sob plantio direto e convencional. **Global Science Technology**, v.10, n.1, p. 169 – 176, 2017.

SILVA, P. L. F. DA et al. Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. **Agrarian**, v. 13, n. 50, p. 478– 492, 2020.

SIMÕES, W. L. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1061-1068, 2006.

SKAALSVEEN, K.; INGRAM, J.; CLARKE, L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 98-109, 2019.

SOARES, W. A.; SILVA, S. R. DA; LIMA, J. R. DE S. Land-use change effect on the hydrodynamic characteristics of soil in the Brazilian semi-arid region. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 2, 6 abr. 2020.

SOBRINHO, T. A. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p. 191-196, 2003.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-1309, 2013.

SUN, J. et al. A simplified method for determination of Philip-Dunne infiltration parameters. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science**, v. 71, n. 2, p. 124–131, 2021.

SWANSON, D. A. et al. Soil atmosphere modelling of an engineered soil cover for acid generating mine waste in a humid, alpine climate, **Canadian Geotechnical Journal**, v. 40, n. 2, p. 276–292, 2003.

TAYLOR, O. D. S.; WALSHIRE, L. A.; BERRY, W. W. Reducing uncertainties and improving sand soil-water retention curve (SWRC) predictions for hazard screening analyses. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 57, n. 10, p. 1518–1533, 2020.

TELLES, T. S. et al. Soil conservation practices in a watershed in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, p. 1–10, 2019.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.301 - 309, 1998.

USDA, Soil Mechanics Level I, Module 3 Textural Soil Classification, Study Guide, **National Employee Development Staff, Soil Conservation Service**. 1987.

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

VILARINHO, M. K. C. et al. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 17-26, 11 mar. 2013.

VOGEL, H. J. Scale Issues in Soil Hydrology. **Vadose Zone Journal**, v. 18, n. 1, p. 1-10, jan. 2019.

WADT, P. G. S. Construção de Terraços para Controle da Erosão Pluvial no Estado do Acre. **EMBRAPA Acre**, p. 44, 2004.

WADT, P.G.S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. Rio Branco: **Embrapa Acre**, (Documentos 90), p.29. 2003.



WARRICK, A. W. Spatial variability of soil physical properties in the field. **Application of soil physics.**, p. 319-344, 1980.

WEBER, J. F.; APESTEGUI, L. Relaciones entre parámetros de los modelos de infiltración de Kostiakov y Lewis-Kostiakov, Córdoba, Argentina. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. VII, n. 2, p. 115–132, 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Boletim de Informações Climáticas: Fenômeno El Niño e La Niña - CPTEC/INPE**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Boletim de Informações Climáticas: Fenômeno La Niña** Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/la-niñahas-developed>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

ZHOU, C.; CHEN, R. Modelling the water retention behaviour of anisotropic soils. **Journal of Hydrology**, v. 599, p. 126361, 1 ago. 2021.

ZIEBA, Z. Influence of soil particle shape on saturated hydraulic conductivity. **Journal Hidrology, Hydromech**, v.65, n.1, p.80-87, 2017.

ZWIRTES, Anderson Luiz et al. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 4, n. 3, 2011.