

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Luis Fernando Fantti

**MAPEAMENTO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO
SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA BACIA HIDROGRÁFICA
TIETÊ-BATALHA**

Taubaté - SP

2023

Luis Fernando Fantti

**MAPEAMENTO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO
SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA BACIA HIDROGRÁFICA
TIETÊ BATALHA**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso Ciências Ambientais do Departamento de Agronomia da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Composição e Processos Estruturantes de Bacia Hidrográficas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa

Taubaté - SP

2023

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi
Universidade de Taubaté - UNITAU**

F217m Fantti, Luis Fernando
Mapeamento da capacidade de infiltração de água no solo
em uma topossequência na bacia hidrográfica Tietê-Batalha /
Luis Fernando Fantti. -- 2023.
63 f. : il.

Monografia (mestrado) - Universidade de Taubaté,
Departamento de Ciências Agrárias, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa.
Departamento de Ciências Agrárias.

1. Ciências ambientais. 2. Infiltração básica. 3.
Armazenamento de água no solo. 4. Bacia hidrográfica. 5.
Infiltrômetro de anel único. I. Universidade de Taubaté.
Departamento de Ciências Agrárias. Mestrado em Ciências
Ambientais. II. Título.

CDD 628.1

LUIS FERNANDO FANTTI

**MAPEAMENTO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM
UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-BATALHA**

Data: 04/03/2022

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa (UNITAU – Universidade de Taubaté)

Prof. Dr. Júlio Cesar Raposo de Almeida (UNITAU – Universidade de Taubaté)

Prof. Dr. Ângelo Ricardo Balduino (IFTO – Instituto Federal de Tocantins)

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais Luis Carlos e Marilza
pelo carinho e orientação,
à minha esposa Marina e aos meus
filhos Lucas e Luana pelo incentivo
e apoio durante essa jornada.**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa pelo suporte e toda atenção dispendida durante o projeto.

À empresa Bracell e aos gestores das áreas de Operações Florestais e de Pesquisa & Desenvolvimento por disponibilizar área de pesquisa e apoio ao conhecimento científico.

Ao pesquisador Jose Luiz Gava pelos ensinamentos durante os trabalhos de campo e definição da área.

Ao Prof. Dr. Marcos Roberto Furlan pelo apoio nas análises estatísticas e discussões sobre o assunto.

À UNITAU e todos os professores (as) do curso de pós-graduação pelo conhecimento compartilhado.

À minha família pelo apoio e incentivo, pois com esse suporte foi possível atingir mais um objetivo pessoal.

RESUMO

A escassez de água vem se acentuando nas últimas décadas no Brasil, podendo causar grande impacto para sociedade, desde disponibilidade e qualidade para consumo humano quanto para produção agrícola e industrial. Um dos principais fatores para aumento da escassez de água pode estar relacionado com as mudanças climáticas, pois a precipitação está irregular e mal distribuída. A infiltração de água no solo é um importante processo do ciclo hidrológico e pode ser influenciado por vários fatores, desde tipo de uso e ocupação do solo às propriedades físico-hídricas do solo e sua determinação deve ser realizada no campo e estimada por modelos matemáticos que podem ser empíricos ou teóricos. Modelar a infiltração é processo muito complexo e existem várias equações amplamente utilizadas tais como: Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton, Holtan, Green e Ampt e Philip. O presente estudo tem por objetivo avaliar a capacidade de infiltração de água em uma topossequência com três tipos de solo com diferentes tipos de uso e ocupação. O estudo foi em uma área localizada na bacia hidrográfica Tietê-Batalha, pertencente ao município de Piratininga/SP. Foram realizados testes de infiltração na topossequência com quatro repetições para cada tipo de solo para determinação da capacidade de infiltração pelo método de infiltrômetro de único anel, com leitura automática por um sistema sensor ultrassônico acoplado ao um microcontrolador Arduino, parametrizado para realizar leituras a cada segundo. Foi realizada análise de variância e não houve diferença estatística significativa a 5% em nível de significância, tanto para a velocidade de infiltração básica entre os solos argissolo vermelho (517mm h^{-1}), latossolo vermelho (516mm h^{-1}) e neossolo quartzarênico (416mm h^{-1}), quanto para infiltração acumulada. Esses solos apresentaram uma elevada capacidade de infiltração, sendo informação relevante para o correto manejo de conservação de solo e exploração racional da área em uma bacia hidrográfica, bem como, minimizando escoamento superficial, reduzindo a deposição de sedimentos em cursos de água e aumentando a recarga de aquíferos subterrâneos.

Palavras-chave: Ciências Ambientais; Infiltração Básica; Armazenamento de Água no Solo; Bacia Hidrográfica; Infiltrômetro de Anel Único

ABSTRACT

Water scarcity has been increasing in recent decades in Brazil, which can have a great impact on society, from availability and quality for human consumption and for agricultural and industrial production. One of the main factors for the increase in water scarcity may be related to climate change, as precipitation is irregular and poorly distributed. Water infiltration into the soil is an important process of the hydrological cycle and can be influenced by several factors, from the type of use and occupation of the soil to the physical and hydric properties of the soil and its determination must be carried out in the field and estimated by mathematical models that they can be empirical or theoretical. Modeling infiltration is a very complex process and there are several widely used equations such as: Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton, Holtan, Green and Ampt and Philip. The present study aims to evaluate the water infiltration capacity in a toposequence with three types of soil with different types of use and occupation. The study was carried out in an area located in the Tietê-Batalha watershed, belonging to the municipality of Piratininga/SP. Infiltration tests were carried out in the toposequence with four repetitions for each type of soil to determine the infiltration capacity by the single ring infiltrometer method, with automatic reading by an ultrasonic sensor system coupled to an Arduino microcontroller, parameterized to perform readings every second. Analysis of variance was performed and there was no statistically significant difference at the 5% level of significance, both for the basic infiltration rate between the red argisol (517mm h^{-1}), red oxisol (516mm h^{-1}) and quartzite neosol (416mm h^{-1}) soils and for accumulated infiltration. These soils showed a high infiltration capacity, being relevant information for the correct management of soil conservation and rational exploration of the area in a hydrographic basin, as well as minimizing surface runoff, reducing the deposition of sediments in water courses and increasing recharge. of underground aquifers.

Keywords: Environmental Sciences; Basic Infiltration; Soil Water Storage; Hydrological Mapping; Hydrographic Basin; Concentric Ring Infiltrimeter

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Movimento esquemático da água no interior do solo.....	10
Figura 2 - Tipos de solo na bacia hidrográfica Tietê-Batalha.....	15
Figura 3 - Perfil típico de solo argissolo vermelho-amarelo.....	16
Figura 4 - Perfil típico de solo latossolo vermelho.....	17
Figura 5 - Bacia hidrográfica Tietê-Batalha (Estado de São Paulo) e localização da área em estudo com ícone vermelho.....	21
Figura 6 - Temperaturas e precipitação pluvial média no município de Bauru, SP (1991-2021).....	22
Figura 7 - Precipitação pluvial (mm) mensal para o município de Bauru, SP em 2022.....	23
Figura 8 - Cobertura vegetal por unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo/SP.....	24
Figura 9 - Microcontrolador Arduino e sensor ultrassônico.....	26
Figura 10 - Programação utilizada no microcontroller Arduino.....	27
Figura 11 - Infiltrômetro de anel único utilizado no teste.....	27
Figura 12 - Estrutura utilizada durante o teste.....	28
Figura 13 - Fluxograma com sequência adotada para os testes de infiltração.....	29
Figura 14 - Escolha do ponto na entrelinha do plantio para teste de infiltração de água no solo.....	30
Figura 15 - Levantamento de altitude (m) da topossequência utilizada no projeto de pesquisa.....	31
Figura 16 - Visão geral da topossequência (ponto 1).....	33
Figura 17 - Visão geral da topossequência (ponto 2).....	34
Figura 18 - Visão geral da topossequência (ponto 3).....	35
Figura 19 - Sinais de presença de gado - topossequência (ponto 3).....	36

Figura 20 - Rio Batalha próximo a topossequência (ponto 3).....	37
Figura 21 - Levantamento de solos na topossequência utilizada na dissertação com detalhe para as 4 repetições por tipo de solo	38
Figura 22 - Exemplo de informações obtidas em cada teste através do microcontroller arduíno.....	39
Figura 23 - Balanço hídrico na Fazenda Santa Madalena I (Bauru SP)	40
Figura 24 - Curva média de infiltração de água em cada tipo de solo (mmmin ⁻¹).....	43
Figura 25 - Análise estatística para velocidade de infiltração básica.....	45
Figura 26 - Infiltração acumulada ajustada (mm) de água em cada tipo de solo durante 60 min.....	48
Figura 27 - Análise estatística para infiltração acumulada.....	50
Figura 28 - Análise boxplot para velocidade de infiltração básica dos testes de infiltração.....	51
Figura 29 - Velocidade de infiltração básica (mm h ⁻¹) de água em cada tipo de solo durante 60 min excluindo uma repetição por solo em função do menor coeficiente de determinação.....	52
Figura 30 - Infiltração acumulada ajustada (mm) de água em cada tipo de solo durante 60 min excluindo uma repetição por solo em função do menor coeficiente de determinação.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos e equações adotadas para modelagem de infiltração.....	13
Tabela 2 - Análise físico-química dos solos encontrados na área do projeto de pesquisa.....	18
Tabela 3 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrados nos testes de infiltração.....	32
Tabela 4 - Informações gerais de cada teste – velocidade de infiltração básica.....	41
Tabela 5 - Equações do modelo Kostiakov para velocidade de infiltração básica por teste de infiltração e respectivo coeficiente de determinação.....	42
Tabela 6 - Resultados de velocidade de infiltração básica observada para cada teste.....	44
Tabela 7 - Equações do modelo Kostiakov para infiltração acumulada (mm) por teste de infiltração e respectivo coeficiente de determinação.....	47
Tabela 8 - Resultados de Infiltração acumulada observada para cada teste.....	48
Tabela 9 - Equações do modelo Kostiakov para velocidade de infiltração (mm h^{-1}) considerando 3 repetições para cada tipo de solo.....	51
Tabela 10 - Equações do modelo Kostiakov para infiltração acumulada (mm) considerando 3 repetições para cada tipo de solo.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo geral.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Infiltração de água no solo.....	5
3.2 Descrição física do processo de infiltração.....	9
3.3 Modelos de infiltração.....	11
3.4 Classificação de solos.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Local.....	21
4.2 Testes de infiltração.....	25
4.3 Delineamento em campo.....	30
4.4 Análise estatística.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
6 CONCLUSÃO.....	55
7 RECOMENDAÇÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água vem se tornando um evento cada vez mais frequente para administração pública no Brasil. As mudanças climáticas, a relação desta com a diminuição da área florestal podem influenciar negativamente na regulação hidrológica, aumentando as incertezas sobre disponibilidade de água futura para uso da sociedade.

O município de Piratininga/SP possui 402,41 Km² sendo margeado pelos rios Batalha, Água da Faca e pelos córregos do Veado e Santa Maria. Tais cursos de água encontram-se assoreados devido a expansão imobiliária que ocorreu em Piratininga nos últimos 40 anos. Essa expansão está associada pela proximidade com município de Bauru e valor de terrenos na cidade (SILVA, 2021).

Felipe (2015) relata que na década de 70 o município de Piratininga/SP estava em constante desenvolvimento na pecuária e agricultura, devido aos novos investidores. A economia era baseada na cafeicultura que representava 11,6 % do uso e ocupação do solo. A pastagem correspondia a 68,07% do uso e ocupação, sendo o mais representativo. Área de matas com 8,56% de uso e ocupação e 1,3% para áreas com plantio de eucalipto. Em 2011 a pastagem ainda apresentava o maior uso e ocupação (57,96%), sendo a área de café substituída pelo plantio de eucalipto (8,65%) e área de mata (17,17%).

As bacias hidrográficas em condições naturais apresentam capacidade de produzir água. Quando essas áreas são afetadas pelo tipo e intensidade do uso, bem como por alterações dos atributos do solo, a produção de água pode ser afetada (BUENO et al., 2020).

Algumas consequências dos processos hidrológicos como o escoamento superficial, a erosão e o transporte de solutos são controlados pela variabilidade da infiltração de água no solo, que é influenciada pela heterogeneidade espacial do relevo e do solo e pelas alterações espacial e temporal do uso do solo e da variação climática (BARROS et al., 2014).

A cobertura florestal em uma microbacia contribui para maior infiltração das águas das chuvas assim que atingirem o solo, evitando escoamento superficial e diminuindo carreamento de sedimentos e contaminantes para curso de água, contribuindo também para redução de processos erosivos (HONDA e DURIGAN, 2017).

A falta de cobertura florestal influencia também o microclima local, altera o ciclo de chuvas e o processo de evapotranspiração, prejudica a recarga de aquíferos além de prejudicar a fauna e biodiversidade local (MARTIRANI e PERES, 2016) e com a cobertura vegetal ocorre aumento da infiltração de água no solo devido ao aumento na macroporosidade e redução do impacto da gota de chuva direto com a superfície do solo (SILVA e KATO, 1997; EUFROSINA, 2008).

Carvalho (2008) comenta que em solos que sofreram algum tipo de manejo apresentam tendência de maior capacidade de infiltração de água no solo. Porém, caso esse manejo seja inadequado ou se a cobertura vegetal for suprimida, podem deixar a superfície do solo exposta ao impacto das gotas de chuva ocasionando encrostamento da camada superficial do solo impedindo a infiltração de água no solo.

A infiltração é o processo de passagem da água da superfície para o interior do solo. Para boa modelagem desse processo, é necessário o entendimento de suas relações com as propriedades do solo (CECÍLIO et al., 2013).

Assim, a infiltração é um processo de superfície e a percolação é um processo no interior do solo, porém os dois processos estão diretamente conectados, já que a infiltração não ocorrerá caso não exista a percolação (CARVALHO, 2008).

A infiltração de água no solo é influenciada por fatores como: condições da superfície do solo, umidade inicial do perfil, existência de camadas menos permeáveis ao longo do perfil, topografia do terreno, propriedades físicas do solo, modo como a água atinge sua superfície e pelas características da água que infiltra (LIMA, 2010).

Ainda hoje não é bem definida a intensidade que cada variável exerce sobre a infiltração de água no solo. Os solos apresentam grande variabilidade espacial e variações temporais que influenciam suas propriedades (CECÍLIO, 2002).

Em solos tropicais que apresentam maior permeabilidade e menor capacidade de retenção de água no perfil, a topografia e cobertura florestal são determinantes para escoamento superficial. Em solos com elevada declividade, como encostas íngremes, locais onde não há boa infiltração nem drenagem, as partículas degradadas são carregadas pela erosão (CARVALHO, 2008).

Campos (2012) relata a importância da relação solo-paisagem cujo comportamento de atributos do solo é influenciado pela paisagem (altitude, declividade e curvatura do terreno), acarretando mudanças pedogenéticas. Nesse contexto, a análise em topossequência é muito importante para o entendimento dessas relações, além de permitir a visualização de processos dinâmicos, como transporte de água e sedimentos. Assim, pode-se analisar o solo em sentido conceitual como corpo natural, interrelacionando-o com as possíveis causas de variação.

A determinação da infiltração de água no solo é uma atividade complexa e a utilização do método correto é fundamental para o resultado confiável, pois qualquer variação pode representar um volume de água muito expressivo quando esse valor é extrapolado para área de uma bacia hidrográfica. O uso de recurso automático para medição da altura da lâmina de água reduz margem de erro, pois não dependerá exclusivamente da acuidade visual do pesquisador. Silva et al. (2020), em seu estudo, encontrou diferença entre medição manual e automática de 2% para velocidade de infiltração básica, representando 41 m³ /hectare.

Assim, diante dessa temática, é relevante avaliar a capacidade de infiltração em uma topossequência com três tipos de solo com diferentes usos e ocupação visando conhecer impacto destes fatores para o planejamento dos recursos hídrico de uma microbacia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de infiltração de água em uma topossequência com três tipos de solo com diferentes tipos de uso e ocupação.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a infiltração acumulada em cada tipo de solo e ocupação;
- Determinar a velocidade de infiltração básica;
- Ajustar equação de infiltração acumulada;
- Ajustar equação de velocidade de infiltração

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica foram abordados vários temas relevantes para o conhecimento sobre a infiltração de água no solo e seus fatores condicionantes. No primeiro tópico foi tratada a temática da infiltração de água no solo e seus fatores condicionantes, bem como alguns resultados de pesquisas sobre infiltração de água no solo. Posteriormente, foi abordado o perfil de distribuição de água no solo e a movimentação desta no interior do solo. No terceiro tópico foi discutido sobre os modelos de infiltração (empíricos e teóricos) e principais equações utilizadas para modelagem da infiltração de água no solo. Por fim, abordou-se sobre os tipos de solos presentes na bacia hidrográfica Tietê-Batalha e resultados de análise físico-químicas realizadas pela empresa Bracell no local da pesquisa.

3.1 Infiltração de água no solo

O processo de infiltração de água no solo é um importante componente do ciclo hidrológico, pois, junto com a precipitação pluvial, determina a quantidade de água que se torna disponível para as plantas, o escoamento superficial e o abastecimento dos reservatórios de águas subterrâneas (ZONTA, 2012).

A taxa de infiltração de água no solo é de extrema importância, pois contribui para a redução do escoamento superficial evitando a ocorrência da erosão do solo (BONINI et al., 2011).

Obtenção e análise de informações sobre o processo de infiltração de água no solo são essenciais para avaliar dinâmica, estimando o escoamento superficial e a recarga das águas subterrâneas e avaliar a ocorrência de processos naturais, como erosão e inundação (FALAICHE et al., 2021).

A infiltração de água no solo pode ser reduzida em função da formação de crosta decorrente do impacto das gotas da chuva e, conseqüentemente, aumentar o escoamento superficial, contribuindo para a erosão do solo. Assim, a cobertura vegetal aumenta a macroporosidade da camada superficial e protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva, sendo, dessa forma, capaz de manter altas taxas de infiltração (BRANDÃO et al., 2007). A característica da chuva, como sua intensidade, o diâmetro médio e a velocidade final das gotas também exercem influência na formação de crosta (BRANDÃO et al., 2003).

Embora o processo de infiltração dependa de fatores relacionados a precipitação, a cobertura da superfície do solo e as propriedades hidráulicas do perfil do solo. Vários estudos têm usado medida de infiltração comparando diferentes manejos do solo, espécies vegetais, tráfego de máquinas, pastejo de animais entre outros. Contudo, para entender e descrever quantitativamente a relação entre infiltração e seus fatores condicionantes, bem como o impacto das mudanças das condições do ambiente no processo de infiltração, há necessidade de modelar o processo (OLIVEIRA, 2015).

Existe vários equipamentos utilizados para medir infiltração de água no solo, sendo os infiltrômetros de anéis concêntricos e simuladores de chuva os mais usuais em estudos hidrológicos (CORREIA, 2016; BRANDÃO et al., 2003).

Esse método consiste em dois anéis que são inseridos no solo e uma lâmina de água são mantidos em ambos os anéis e as leituras são realizadas no anel interior (BRANDÃO, 2003).

O método de anéis concêntricos possui entre principais vantagens a simplicidade e praticidade na medição, são leves e pequenos, facilitando o transporte (AVILA et al., 2013; GUIMARÃES, et al., 2018; BRANDÃO et al., 2003).

Como desvantagem, esse tipo de equipamento superestima a taxa de infiltração devido, principalmente, a pressão de lâmina de água e ao não encrostamento do solo que ocorre pelo impacto das gotas de chuva sob solo (BRANDÃO, 2003).

Alguns estudos utilizam apenas anel central, logo o teste é denominado de infiltrômetro de anel único. Soares et al. (2020) relatam que se trata de excelente alternativa quanto a preparação, custo e tempo requerido.

Simões et al. (2005) abordam o impacto da carga hidráulica comparando infiltrômetro anel duplo e infiltrômetro de anel simples, sendo este com 10 cm de diâmetro, no qual com carga hidráulica de 5 cm o resultado de velocidade de infiltração básica ficou muito próxima, sendo $48,2 \text{ mm h}^{-1}$ e 45 mm h^{-1} , respectivamente.

Souza et al. (2008) apresentam o método semifísico, denominado Beerkan, que propõe a estimativa de parâmetros de curva de retenção de água no solo e curva de condutividade hidráulica, a partir da textura e estrutura do solo.

Fonseca (2022) adota o método Beerkan, onde um cilindro é inserido a 1 cm de profundidade no solo e um volume de água conhecido é colocado no mesmo, cronometrando o tempo até água ser infiltrada. É repetido esse processo até que a taxa de infiltração ficar constante.

Silva et al. (2020) utilizou em seu estudo de infiltração o equipamento de anéis concêntrico de 25 cm e 50 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Porém, para a leitura da altura de lâmina de água foi utilizado um microcontrolador Arduino Uno R3 e sensor ultrassônico. Assim, o sensor contribuiu para leituras mais precisas quando comparada com leitura manual do nível de lâmina de água em uma régua. O microcontrolador permite ajuste de programação para determinar tempo da leitura, que nesse estudo foi com intervalo de 15 segundos. As leituras automáticas apresentaram infiltração acumulada superior em 2% comparada as leituras manuais.

Para comparação de taxa de infiltração de água no solo entre diferentes manejos (preparo de solo convencional, com preparo com cultivo mínimo e com área sem cultivo), o uso do método de anéis concêntricos apresentou maior taxa para área de cultivo mínimo. No mesmo estudo foi realizada comparação entre modelos matemáticos, no qual Kostiakov apresentou maior similaridade com método de infiltrômetro (CUNHA et al., 2015).

Em estudo em que se utilizou métodos de anéis concêntricos para comparar a velocidade de infiltração em diferente área (floresta sucessional, plantio de eucalipto e pasto abandonado), o resultado foi muito superior para floresta sucessional, devido a maior macro porosidade do solo (ROCHA et al., 2016). Em estudo similar, Bono et al. (2012) também concluíram que solo com vegetação nativa apresentou maior velocidade de infiltração básica.

Sales e Targa (2017) através da compilação de dados sobre velocidades de infiltração básica (VIB) na bacia do Ribeirão Itaim, medidos através de anéis concêntricos, destacaram que o pasto apresentou a segunda menor VIB em 13 tipos de uso e ocupação.

Em um projeto, realizado na bacia hidrográfica do Itaim, foi demonstrado diferentes velocidades de infiltração básica (VIB) em diferentes tipos de uso e ocupação do solo na bacia do Itaim: 417 mm h⁻¹ para floresta, 52 mm h⁻¹ para eucalipto e 19 mm h⁻¹ para pastagem (JUNIOR et al., 2007).

Em estudo de velocidade de infiltração básica, sendo solo neossolo com textura arenosa a média, foi adotado infiltrômetro de anéis concêntricos, cuja velocidade de infiltração média foi de 122,5 mm h⁻¹ (GUIMARÃES, et al., 2018).

Cunha et al. (2015) abordaram um estudo de velocidade de infiltração em latossolo amarelo comparando sistemas de manejo de cultivo. Neste foi utilizado anel único com 50 cm de diâmetro e 40 cm de altura. O cilindro foi inserido 15 cm no solo e carga hidráulica oscilou de no máximo 5 e mínimo 2 cm. Para área sem cultivo, com *Brachiaria decumbens*, a velocidade final média foi de 163,2 mm h⁻¹.

Bono et al. (2012) apresentaram um estudo de velocidade de infiltração em latossolo vermelho distrófico comparando vários tipos de cultivo. Foi utilizado infiltrômetro de anel concêntrico de duplo anel, sendo o anel interior com diâmetro de 30 cm, sendo inserido no solo até 10 cm. Foi adotado carga hidráulica de 7,5 cm no anel interno. O tratamento apenas com *Brachiaria decumbens*, apresentou velocidade final média foi de 337,20 mm h⁻¹.

Pott et al. (2003) abordam a comparação de equipamentos para medição em campo da infiltração de água no solo. A área estava sendo cultivada no mínimo há 5 anos com cultura agrícola com plantio direto. Foi utilizado um anel cilíndrico simples de 16,5 cm de diâmetro, sendo inserido 5 cm no solo e com carga hidráulica de 3 cm. Os resultados médios pela velocidade de infiltração básica para latossolo textura argilosa, latossolo textura média e argissolo textura arenosa foi de 442,2 mm h⁻¹, 211,6 mm h⁻¹ e 185,2 mm h⁻¹, respectivamente.

Correia (2016), em seu estudo sobre variação da velocidade de infiltração básica em função da variabilidade espacial, adotando infiltrômetro de anéis concêntricos de duplo anel, chegou a um resultado de 247,9 mm h⁻¹ para solo classificado como argissolo.

O Método de Curva Número é um método empírico de mensurar escoamento superficial desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e baseia-se em quatro grupos hidrológicos de solo (SILVA et al., 2017).

Os quatro grupos hidrológicos de solo são classificados por letras (A, B, C e D), representando nessa mesma ordem acréscimo de escoamento superficial e consequentemente redução da taxa de infiltração de um grupo para outro (SARTORI et al., 2005).

O Método de Curva Número é amplamente utilizado para estudos hidrológicos devido sua simplicidade, pois utiliza um único parâmetro para análise da água no ambiente (BARROS, 2014). Informações disponíveis relativas as condições do solo, da vegetação e registros diários de precipitação, requerem pouca dificuldade na obtenção, reforçando simplicidade do modelo (PRUSKI et al., 2001).

3.2 Descrição física do processo de infiltração

Com início da infiltração de água no solo, as camadas superiores do solo se umedecem, da parte superior sentido à inferior, gerando um perfil de distribuição de água no solo que tende a saturação. Esse processo pode ser dividido em cinco estágios/zonas em um perfil de solo homogêneo (KLAR, 1988; MELLO, 2003; SERATTO et al., 2019):

- Zona Saturada: forma no estágio inicial da infiltração, mantendo-se saturada a sua espessura de alguns milímetros ou centímetros;
- Zona de Transição: região logo abaixo a anterior, caracterizando-se por um rápido decréscimo do teor de umidade no solo, com espessura aproximada de 5 cm;
- Zona de Transmissão: zona pela qual a água é transmitida cuja umidade é próxima à da saturação. Sua espessura é aumentada com a ininterrupta aplicação de água na superfície, ou seja, aumenta com o tempo;
- Zona de Umedecimento: camada geralmente estreita na qual o teor de umidade decresce rapidamente com a profundidade;

- Frente de Molhamento: camada limite das partes úmida e seca do perfil, onde ocorre o maior gradiente de potencial de água, principalmente em solos com umidade muito baixa.

A Figura 1 ilustra esquematicamente o movimento de água no solo e suas respectivas fases.

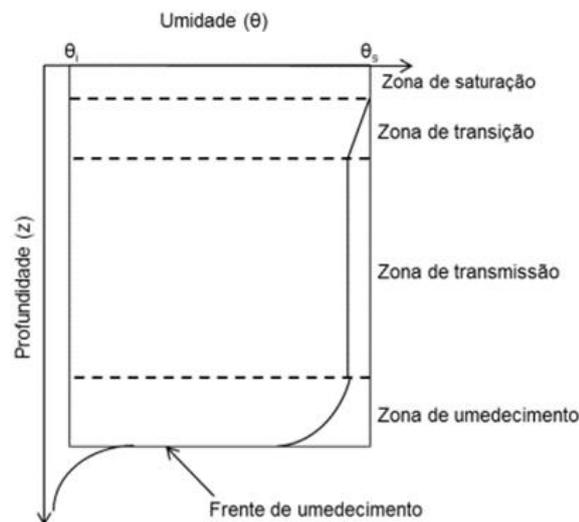


Figura 1: Movimento esquemático da água no interior do solo.
Fonte: Brandão et al. (2003).

A Capacidade de Infiltração (CI) é definida como a lâmina de água por unidade de tempo que se infiltra no solo enquanto há disponibilidade de água para isso. Em um solo inicialmente com baixa umidade, a CI é muito elevada e diminui com a aplicação de água até atingir um valor aproximadamente constante, ou seja, taxa de infiltração básica (MELLO, 2003).

O deslocamento da água e ar no solo ocorre em função das variações do potencial total do fluido no interior no solo. Durante o processo de saturação de um solo ocorre diminuição do volume de ar até o momento em que os vazios deixam de ser intercomunicantes ocasionando formação de bolhas devido ar não contínuo. Nestas condições o ar é denominado “ar ocluso”. Nesse contexto, o ar pode contribuir como uma fase fluida contínua quando a permeabilidade é muito elevada e como ar ocluso quando ocorre presença de ar em bolhas isoladas e a permeabilidade é muito baixa. Importante destacar que quando o ar é contínuo ele pode equilibrar-se rapidamente com a pressão atmosférica, mesmo em solos finos. Já quando a pressão da água é superior a pressão atmosférica, geralmente implica em ar ocluso (CARVALHO, 2008).

Carvalho (2008) faz referência a Fredlund e Rahardjo (1993) sobre movimento do ar no solo, onde primeiramente, em um solo não saturado, o ar substitui alguns poros grandes, ocasionando movimento da água pelos poros menores que apresentam maior tortuosidade em sua trajetória.

3.3 Modelos de infiltração

Modelos de infiltração são usados para descrever e determinar o processo de infiltração a partir de dados coletados, e foram desenvolvidos com diferentes objetivos, condições de campo e de contorno e são relativamente simples de usar e aplicar. No entanto, é um desafio selecionar um modelo apropriado para estimar com precisão a infiltração taxa para uma determinada condição de campo, dado o grande número de modelos com diferentes origens, premissas e parâmetros (FAILACHE, 2021).

Esse processo de modelagem é muito complexo e diversos autores realizaram trabalhos nessa linha de pesquisa, podendo ser classificados como empíricos ou teóricos (MELLO, 2003).

O modelo empírico tem a vantagem de permitir relacionar os parâmetros do modelo a características do solo, sem que estes obrigatoriamente tenham significado físico, e englobar na determinação de suas constantes alguns fatores que são difíceis de ser considerados nos modelos teóricos, por exemplo a heterogeneidade do solo. A principal desvantagem do emprego de equações empíricas é que os dados ajustados somente são válidos para as condições em que eles foram determinados, ou seja, não podem ser adotados para outros tipos de solo. Já os modelos teóricos são baseados em uma detalhada descrição física do processo, no qual características do solo são premissas de entrada. Tal modelo foi descrito pelas Equação de Richards ou mesmo pela Equação de Darcy (AVILA, 2014; BRANDÃO, 2003; MELLO, 2003).

A modelagem do processo de infiltração pode ser realizada de forma empírica e não empírica. Quando há dados de infiltração medidos em campo e os dados não precisam ser extrapolados para cenário distinto, o modelo é denominado empírico. Já quando os dados precisam ser extrapolados para outra situação e não há dados de infiltração em campo, os modelos não empíricos são empregados utilizando dados numéricos dos parâmetros de solo (OLIVEIRA, 2015).

A Tabela 1 contempla um resumo dos principais modelos adotados e suas características.

Tabela 1: Métodos e equações adotadas para modelagem de infiltração.

Modelo	Autor	Equações	Descrição parâmetro e características
Horton (HO) - Empírico	Horton (1940)	$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp^{-\gamma t}$	f corresponde a taxa de infiltração (mm/h); f_0 (mm/h) e f_c (mm/h) refere-se a taxa de infiltração inicial e final respectivamente; t (h) é o tempo; e γ (min^{-1}) é constante empírica que reflete como a taxa de decaimento da infiltração depende do tipo de solo e uso da terra e práticas de manejo.
Philip (PH) - Teórico	Philip (1957)	$f = 0.5 S_p t^{-0.5} + K$	S_p (mm/h ^{-1/2}) é sortividade, o qual é função da sucção potencial e K (mm/h) é parâmetro de dimensão da saturação hidráulica.
Green and Ampt/ Mein and Larson (GA) - Teórico	Green & Ampt (1911); Mein & Larson (1973)	$f = K_{fs} \left(1 + \frac{h_{ce} \Delta \theta}{F} \right)$	K_{fs} (mm/h) é condutividade hidráulica da zona de transmissão, podendo ser associada com condutividade da saturação hidráulica; h_{ce} (mm/h) é a capilaridade efetiva na frente de umedecimento; F (mm) é infiltração acumulada no tempo t ; $\Delta \theta$ é a diferença entre volume de água saturada contida (θ_s) e volume inicial de água contida (θ_i).
Kostiakov (KV) - Empírico	Kostiakov (1932)	$f = \alpha t^{-\beta}$	α (> 0) e β ($0 < \beta \leq 1$) são constantes empíricas relacionada a sucção do solo e características de condutividade hidráulica.
Modified Kostiakov (MK) - Empírico	Mezencev (1948)	$f = \alpha_1 t^{-\beta_1} + f_c$	α_1 e β_1 são constantes empíricas relacionadas a sucção e características de condutividade hidráulica.
Holtan (HO) - Empírico	Holtan (1961)	$f = f_c + a(S_0 - F)^n$	a e n são constantes que caracterizam como o tipo de solo e as condições das camadas superficiais dependem do tipo de uso e práticas de manejo; S_0 (mm) é o potencial inicial de água armazenada no solo o qual é representado pelo déficit hídrico (porosidade total menos umidade inicial multiplicado pela profundidade pré-definida de permeabilidade do solo); $(S_0 - F)$ representa a capacidade do solo em armazenar água.
Modified Holtan (MH) - Empírico	Huggins & Monke (1966)	$f = f_c + a_1 \left[\frac{(S_0 - F)}{TP} \right] n_1$	S_0 e n_1 são constantes que dependem do tipo de solo e de seu uso e práticas de manejo, respectivamente.

Fonte: Adaptado Falaiche (2021).

Segundo Brandão et al (2003) o modelo Kostiakov apresenta limitação que se refere a longo período de taxa de infiltração o resultado tende a zero. Porém, nos estudos sobre irrigação, o modelo é considerado adequado, já que o intervalo de tempo não se torna limitante.

Sobrinho et al (2003) resume o modelo de Horton, descrito por Prevedello (1996), que a diminuição da taxa de infiltração com o tempo está fortemente relacionada com fatores que operam na superfície do solo, tais como selamento superficial, devido ao impacto das gotas de chuva, fenômenos de expansão e contração do solo

De acordo com Cecílio (2002) e Lima (2010) a equação de Green-Ampt (GA) apresenta maior potencial de utilização, devido à sua simplicidade e por estar fundamentado no processo físico da infiltração. Este modelo, exprime 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.

Borges et al. (1999) descreve a equação de Philip, como uma equação potencial de fluxo matricial, sendo a sorvidade tão importante para processo de infiltração, ou seja, a dominância da capilaridade no início da infiltração.

3.4 Classificação de solos

A bacia hidrográfica Tietê-Batalha é composta principalmente pelos solos argissolos vermelho-amarelos e latossolos vermelhos (CBH-TB, 2015). Na Figura 2 pode-se visualizar a variação espacial nas sub-bacias.

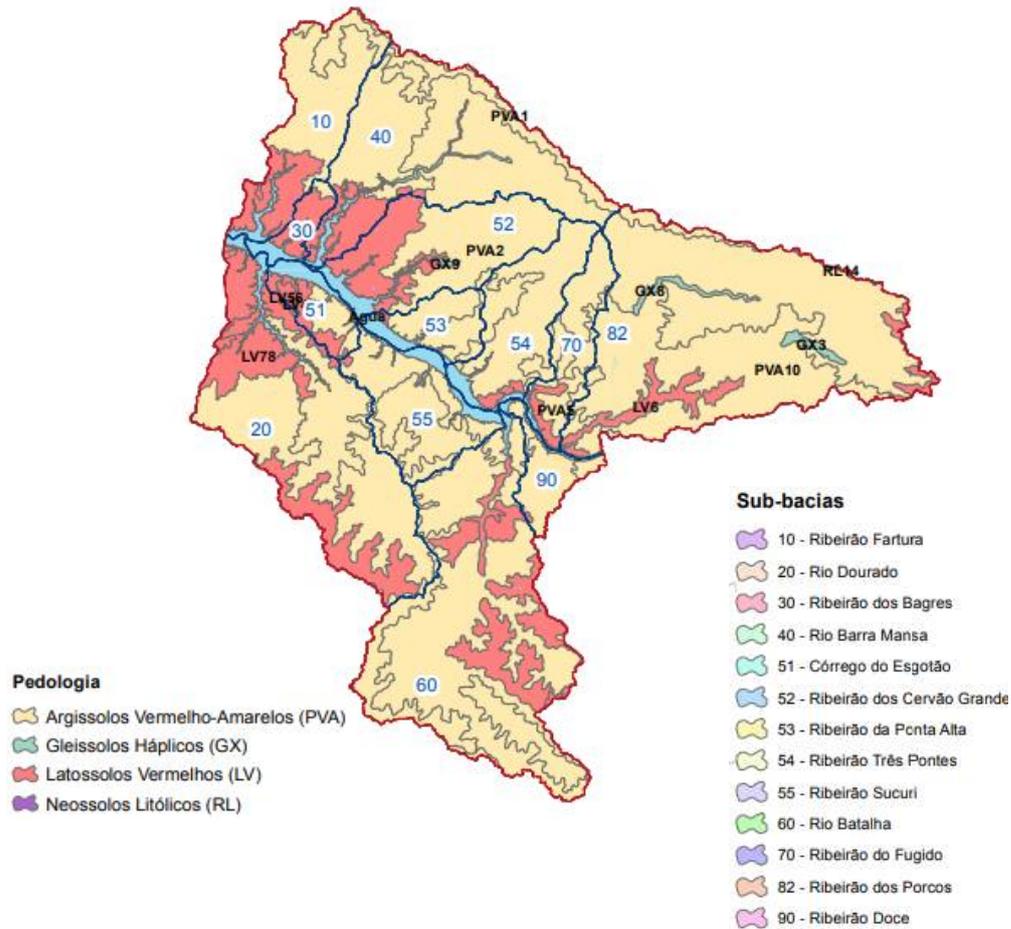


Figura 2: Tipos de solo na bacia hidrográfica Tietê-Batalha.
Fonte: Adaptado (CBH-TB, 2015).

Os argissolos vermelho-amarelos são solos constituídos por material mineral e não hidromórfico, que apresentam um abrupto aumento de argila entre horizontes A e B (B textural). Como característica morfológica apresentam o horizonte A com textura arenosa a argilosa. A profundidade é variável, sendo forte a imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2006).

Esses solos apresentam fertilidade muito variável devido a diversidade de material de origem. Ocorrem geralmente em área de declividade suave ondulado, mas podem ser encontrados em áreas menos declivosas. São a classe de solo mais extensa do Brasil. Os argissolos distróficos e os alíticos apresentam baixa fertilidade natural e acidez elevada e, nos casos dos alíticos, além dessas características, a presença agravante dos altos teores de alumínio. Os eutróficos são naturalmente mais ricos em elementos (bases) essenciais às plantas como cálcio, magnésio e potássio. Os argissolos abrupticos possuem uma diferença textural que dificulta a infiltração de água no solo tornando-o suscetível a processos erosivos (EMBRAPA, 2021).

A Figura 3 ilustra um perfil típico do solo argissolo vermelho-amarelo.



Figura 3: Perfil típico de solo argissolo vermelho-amarelo.
Fonte: Embrapa (2021).

Os latossolos vermelho são solos em avançado estado de intemperização. São normalmente profundos com sequência de horizontes A, B e C. O incremento de argila do horizonte A para B é pouco expressivo à inexistente. Variam de forte a bem drenados (EMBRAPA, 2006).

Esses solos apresentam normalmente baixa fertilidade, exceto quando o material de origem é rico em minerais essenciais às plantas. Apresentam acidez e teor de alumínio elevados. São solos que possuem boas características para uso agrícola, são bem permeáveis devido a boa estrutura e elevada porosidade. Devido sua estrutura física possuem baixa retenção de umidade, principalmente em estruturas mais grosseiras. São muito utilizados para agropecuária com limitações de ordem química em profundidade ao desenvolvimento do sistema radicular se forem álicos, distróficos ou ácricos. Em condições naturais, os teores de fósforo são baixos, sendo indicada a adubação fostatada. Outra limitação ao uso desta classe de solo é a baixa quantidade de água disponível às plantas (EMBRAPA, 2021).

A Figura 4 ilustra um perfil típico do solo latossolo vermelho.



Figura 4: Perfil típico de solo latossolo vermelho.
Fonte: Embrapa (2021).

A Bracell, maior produtora de celulose solúvel do mundo, realizou levantamento de solos de várias fazendas de sua unidade florestal do estado de São Paulo, visando conhecer as características físicas e química, para realizar manejo florestal adequado. A área desta dissertação estava incluída nesse diagnóstico e informações de análise física e química dos solos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Análise físico-química dos solos encontrados na área do projeto de pesquisa.

Hor.		Composição Granulométrica da Terra Fina (g.Kg-1)								Argila Natural	Grau de flocc. (%)	Rel. Silte/Argila	Dens. do Solo (g.cm ³)		
Simb	Prof. (cm)	Areia Muito	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito	Areia Total	Silte	Argila Total						
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico arênico	Ap	0 - 27	4	19	315	484	50	872	28	100	100	0	0.28	1.44	
	AB	27-39	2	13	273	510	51	849	26	125	125	0	0.21	1.50	
	BA	39-53	1	10	246	529	56	842	33	125	125	0	0.26	1.55	
	Bw1	53-95	0	12	248	496	65	821	17	162	0	100	0.10		
	Bw2	95-180+	1	11	242	477	64	795	18	188	0	100	0.10	1.49	
	Hor.	Água	Complexo Sortivo								Valor S	Valor T	Valor V	Sat. Por Al	
		pH (1:2,5)	KCl	MO	P	K+	Ca2+	Mg2+	Al3+	H + Al	%				
			pH(1:2,5)	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mmolc.kg ⁻¹									
		Ap	5.75	4.97	10.9	8.7	0.41	16	2.6	<0,1	16.5	19	35.5	54	0
		AB	5.27	4.18	7.8	25.1	0.38	4.3	1.2	4.5	19.1	5.9	25	24	43
	BA	5.24	4.22	<5,6	8.1	0.33	2.6	1.2	4.3	19.5	4.1	23.6	17	51	
	Bw1	5.36	4.4	<5,6	1.1	<0,3	3.2	1.6	2.8	16.2	5.1	21.3	24	36	
	Bw2	4.76	4.17	<5,6	<1,1	<0,3	1.7	<1	5.8	20.2	2.1	22.3	9	74	

Hor.		Composição Granulométrica da Terra Fina (g.Kg-1)								Argila Natural	Grau de flocc. (%)	Rel. Silte/Argila	Dens. do Solo (g.cm ³)	
Simb	Prof. (cm)	Areia Muito	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito	Areia Total	Silte	Argila Total					
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abruptico	Ap1	0 - 5	8	1	36	613	204	862	38	101	75	26	0.38	1.56
	Ap2	-20	2	1	32	586	213	834	41	126	75	40	0.33	
	AE	-35	1	0	36	613	193	843	32	125	75	40	0.26	1.69
	E	-75	3	1	32	619	229	884	16	100	50	50	0.16	1.54
	Bt1	-140	2	1	27	484	187	701	46	252	0	100	0.18	1.67
	Bt2	-180	1	1	27	512	202	743	30	227	0	100	0.13	
	Hor.	Água	Complexo Sortivo								Valor S	Valor T	Valor V	Sat. Por Al
		pH (1:2,5)	KCl	MO	P	K+	Ca2+	Mg2+	Al3+	H + Al	%			
			pH(1:2,5)	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mmolc.kg ⁻¹								
		Ap1	7.15	6.05	12.1	4.5	1.18	17.5	21	<0,1	12.9	39.7	52.6	75
	Ap2	6.77	4.83	8.6	1.9	1.15	11.7	9.1	<0,1	21	22	43	51	0
	AE	6.19	4.6	7.3	1.7	1.15	12	7.8	1.8	19.9	21	40.9	51	8
	E	6.53	4.93	<5,6	<1,1	0.84	5.7	4.1	<0,1	8.1	10.6	18.7	57	0
	Bt1	6.42	4.94	<5,6	<1,1	1.1	23	22.7	<0,1	19.1	46.8	65.9	71	0
	Bt2	6.5	5.05	<5,6	<1,1	2.84	6.7	24.4	<0,1	15.1	33.9	49	69	0

Hor.		Composição Granulométrica da Terra Fina (g.Kg-1)								Argila Natural	Grau de flocc. (%)	Rel. Silte/Argila	Dens. do Solo (g.cm ³)		
Simb	Prof. (cm)	Areia Muito	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito	Areia Total	Silte	Argila Total						
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO hidromórfico	Ap	0 - 25	10	8	204	566	117	905	20	75	25	67	0.27	1.27	
	AC	25-56	5	11	229	562	105	912	13	75	50	33	0.17	1.53	
	Cg	56-85	3	6	139	516	225	889	23	88	50	43	0.26		
	Cg2	85-130	3	6	135	524	198	866	21	114	0	100	0.18	1.56	
	Cg3	130-180+	3	5	129	509	207	853	21	126	0	100	0.17	1.61	
	Hor.	Água	Complexo Sortivo								Valor S	Valor T	Valor V	Sat. Por Al	
		pH (1:2,5)	KCl	MO	P	K+	Ca2+	Mg2+	Al3+	H + Al	%				
			pH(1:2,5)	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mmolc.kg ⁻¹									
		Ap	4.3	3.72	13.2	4.9	<0,3	2.1	1.1	9.5	38.2	3.5	41.7	8	73
		AC	4.56	4.11	<5,6	2.6	<0,3	1.2	<1	6	18.4	1.6	20	8	79
	Cg	4.55	4.13	<5,6	1.5	<0,3	1.1	<1	5.8	16.9	1.3	18.2	7	81	
	Cg2	4.6	4.08	<5,6	1.3	<0,3	1	<1	6	14.7	1.2	15.9	8	83	
	Cg3	4.68	4.15	<5,6	<1,1	<0,3	1.2	<1	5.8	15.1	1.4	16.5	8	81	

Fonte: Bracell (2022).

Adicionalmente, as propriedades físico-químicas apresentadas a Tabela 2, a empresa Bracell destacou alguns pontos relevantes dos solos encontrados na área desta dissertação:

- O solo latossolo vermelho distrófico arênico apresenta uma predominância de areia nas frações granulométricas e da estrutura granular dominante no horizonte Bw. Da superfície do solo até horizonte Bw1 o teor total de areia é superior a 82%. Outra característica importante é dada pela dominância de macroporos sobre microporos, devido ao tipo de textura e estrutura do solo dominante, o que confere a estes solos, em todos seus horizontes, uma boa capacidade de conduzir água e uma baixa capacidade de retenção de água. O horizonte A pode reter mais água que os horizontes subjacentes devido aos teores de matéria orgânica que atua na maior retenção de água e na estabilização, bem como na melhoria da estrutura do solo neste horizonte. Nos horizontes AB e BA ocorreu aumento da densidade do solo, onde pode-se relacionar com possível compactação do solo. No horizonte subsequente (Bw2) a densidade do solo apresentou uma redução.
- O solo argissolo vermelho-amarelo eutrófico abráptico apresenta um horizonte A que pode apresentar uma boa retenção de água, sendo comportamento típico de horizonte mais arenoso superficialmente e com maior teor de matéria orgânica. O horizonte AE apresenta uma elevada densidade ($1,69 \text{ g.cm}^{-3}$) fato relacionado com compactação do solo. Tal fato acarreta menor macro e microporosidade influenciando na retenção de água no solo. O Horizonte E apresenta um comportamento típico de um horizonte arenoso, ou seja, um domínio de macroporos facilitando uma maior condução de água. Da superfície do solo até horizonte E o teor total de areia é superior a 83%. Já o horizonte Bt apresenta um comportamento típico de um horizonte com estrutura em blocos subangulares fortes e textura franco argiloarenosa apresentando um bom volume de microporos e médio de macroporos, condicionando uma melhor retenção de água e uma condução mais lenta quando comparado aos horizontes superficiais.

- O solo neossolo quartzarênico hidromórfico apresenta um comportamento típico de solos arenosos. O horizonte A apresenta uma maior retenção de água incrementando a condução de água devido maior teor de matéria orgânica. Considerando todos os horizontes analisados, o teor total de areia é superior a 85%. O teor total de argila foi aumentando com a profundidade do solo, fato que pode explicar o aumento da densidade do solo no perfil.

A maior densidade do solo nas camadas superficiais do latossolo e argiloso, podem estar relacionadas com manejo da área, pois como são talhões comerciais, ocorreu o preparo de solo, onde rodado das máquinas podem ter acarretado esse aumento, bem como o uso e ocupação anterior da área, pois era uma pastagem para criação de gados. Já para o solo neossolo, por se tratar de uma área de reserva, não sofreu essa influência.

Em diversos trabalhos realizados em solos formados em condições de clima tropical, como é usual no cerrado brasileiro, demonstrou-se que mesmo em solos argilosos podem apresentar elevada taxa de infiltração, fato justificado pelo elevado grau de desenvolvimento da estrutura destes solos (BRANDÃO et al., 2003).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local

O presente estudo foi realizado em uma área localizada no município de Piratininga/SP na bacia hidrográfica Tietê-Batalha (Figura 5).

O clima da região de Bauru é tropical. O inverno seco e não rigoroso com verão chuvoso. O clima é classificado como Aw de acordo com Köppen e Geiger, com temperatura média de 22.3°C e pluviosidade média de 1.357mm (CLIMATE - DATA, 2022).

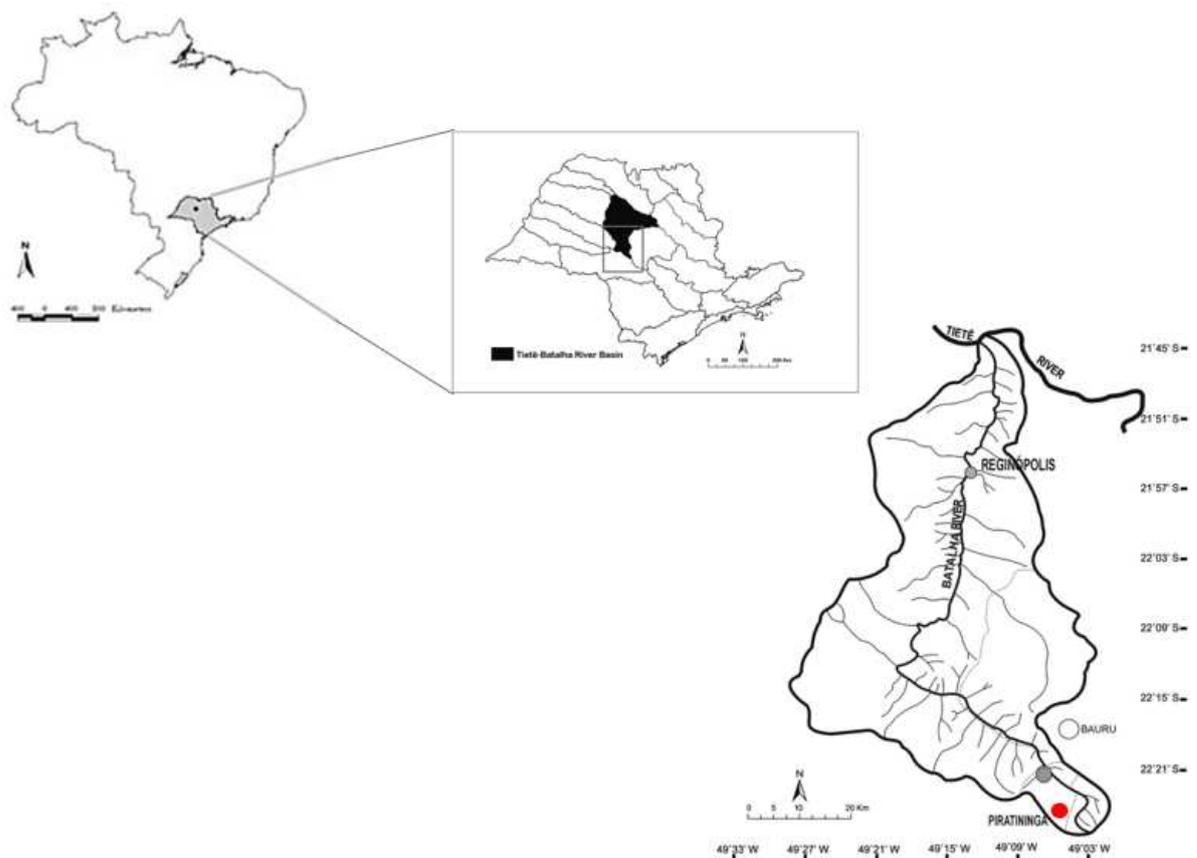


Figura 5: Bacia hidrográfica Tietê-Batalha (Estado de São Paulo) e localização com ícone vermelho da área em estudo.

Fonte: Adaptado Leite et al. (2018).

A área específica de estudo na bacia Tietê-Batalha consiste em uma fazenda com 3,4 km² de área total, em que se cultiva eucalipto para atender o mercado de Papel e Celulose. Da área total cerca de 15% são destinadas para preservação permanente. O plantio de eucalipto ocorreu em 2019, sendo o primeiro ciclo de produção de madeira, logo a área era anteriormente ocupada por pastagem para uso de gado.

Na Figura 6 é apresentada a distribuição média de precipitação e temperatura em cada mês em média histórica entre 1991 e 2021.

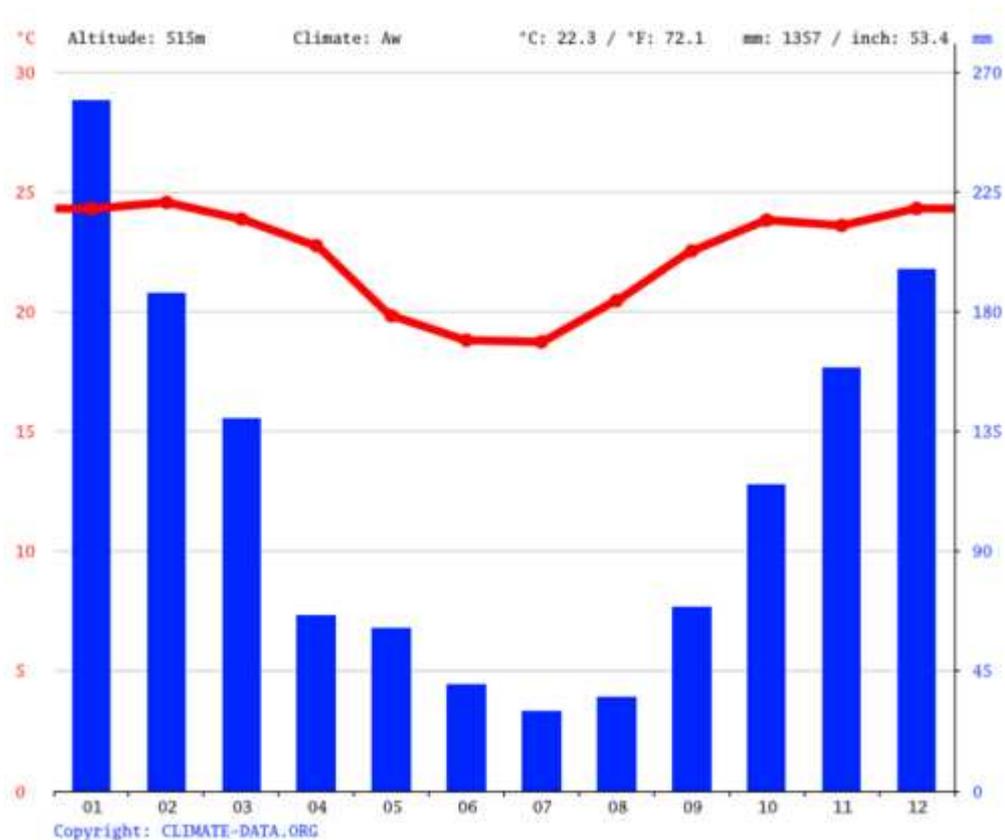


Figura 6: Temperaturas e precipitação média no município de Bauru, SP (1991-2021).
Fonte: Climate-Data.Org (2022).

Em 2022, na região de pesquisa, o volume total de precipitação foi de 1.196,54 mm, distribuídos mensalmente conforme a Figura 7.

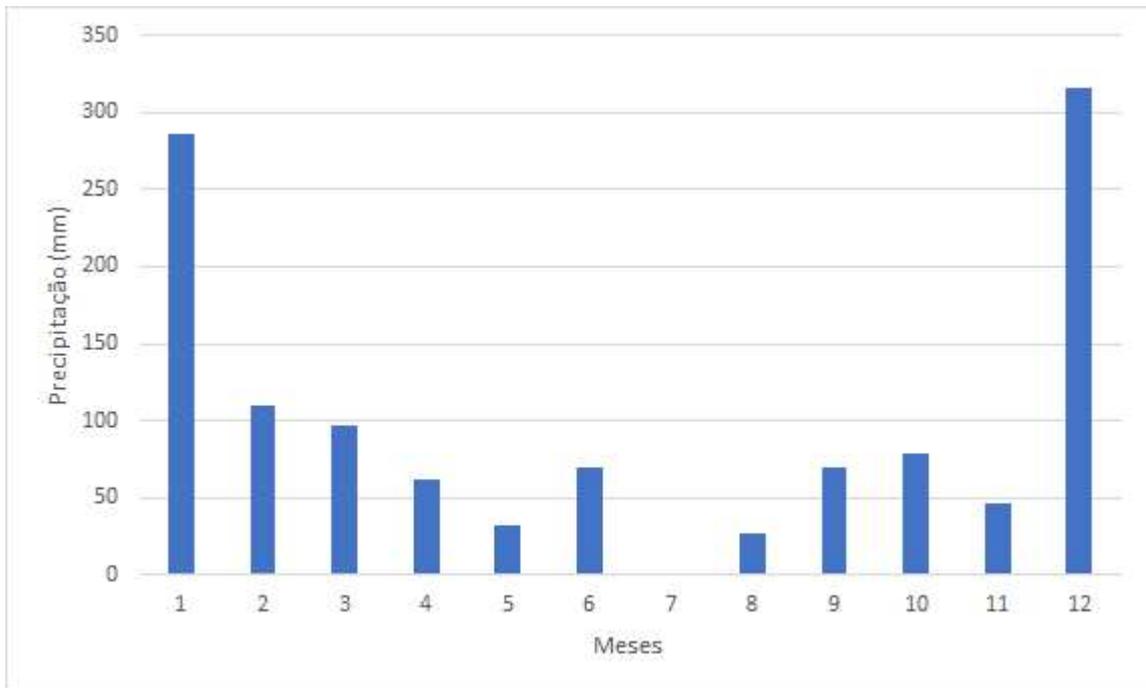


Figura 7: Precipitação (mm) mensal para o município de Bauru, SP em 2022.
Fonte: INMET (2022).

Essa Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha é uma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos -UGRHI 16 do Estado de São Paulo e possui 12.384 km² (CBH-TB, 2015). Trata-se de uma região com predominância de atividade agropecuária (uso e ocupação do solo em 64,58%) que tem o solo como importante base para essa região e seu desenvolvimento. A área de culturas perenes (café e citrus) e semi perenes como cana de açúcar representam 18,5% da área (CBH-TB, 2015).

Os dados do Inventário Florestal de 2020 do Estado de São Paulo mostra que a região oeste do Estado de São Paulo apresenta o menor percentual de cobertura vegetal nativa (Figura 8) e a UGRHI 16 localizada nessa região possui índice de 12,5%.



Figura 8: Cobertura vegetal por unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo.

Fonte: São Paulo (Estado) (2020).

Localizada no centro geográfico do Estado, a bacia hidrográfica Tietê-Batalha agrega uma rede de cidades médias e pequenas, predominando aquelas com menos de 10 mil habitantes. A população total dessa bacia em 2014 era de aproximadamente 523.000 habitantes, chegando a 948.000 habitantes se forem somados os municípios agregados, sendo caracterizada com aptidão agropecuária, pois são localizados solos com potencial agrícola (Latosolos) na calha no rio Tietê (CBH-TB, 2015).

Os solos localizados no Planalto Ocidental Paulista foram desenvolvidos a partir dos sedimentos do Grupo Bauru. Os solos com base na Formação Marília possuem como material de origem arenitos com cimento calcário sendo denominados argissolos (IBRAHIM, 2002). Ao longo do tempo, os embasamentos de rochas do grupo Bauru sob ação do intemperismo, resultaram na diversidade de solos encontrados no Planalto Ocidental Paulista, sendo os argissolos vermelho-amarelo, latossolos, latossolos férrico, neossolo litólico de maior ocorrência. Sendo as classes de argissolo e latossolo dominantes (SILVA, 2016).

A bacia hidrográfica Tietê-Batalha, considerada região predominante de agropecuária, sofreu intenso e descontrolado desmatamento, situando-se entre as regiões do Estado que apresentam menores índices de cobertura vegetal nativa. O desmatamento se deu de forma intensa a partir da década de 1930, com a instalação de fazendas cafeeiras. Com o declínio dessa atividade, ocorreu a mudança de uso do solo para as atividades agropecuárias, com a implantação de grandes áreas de pastagens e de cultivos de cana-de-açúcar, citrus, além da instalação de muitos núcleos urbanos (CBH-TB, 2015).

4.2 Teste de infiltração

O teste de infiltração na área de estudo foi realizado com baixa carga hidráulica (uma lâmina de água entre 2 cm e 3 cm de altura). Foi utilizado o infiltrômetro de anel único, com dimensões de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. O infiltrômetro foi instalado no local do teste a uma profundidade de 5 cm. Para a realização dos testes de infiltração, respeitou-se uma carência de no mínimo 10 dias após a última chuva.

Foram realizados 4 ensaios de infiltração para cada tipo de solo equidistante 4 metros entre um ponto e outro. Em seguida, a capacidade de infiltração foi ajustada pela equação de Kostiakov. A equação de Kostiakov utilizada foi a proposta por Pinheiro et al., (2009):

$$i = \alpha t^{-\beta}$$

Em que:

i = capacidade de infiltração (cm.min⁻¹)

α = constante representativa da capacidade de infiltração inicial

t = tempo percorrido desde o início da infiltração (min)

β = constante que depende do tipo de solo

As leituras da lâmina de água foram realizadas automaticamente por meio do uso de um sistema sensor ultrassônico (HC-SR04) acoplado microcontrolador Arduino (Figura 9). Nesse sistema de medição automática, o sensor ultrassônico fixado na parte superior do anel, emite um sinal, o qual reflete na superfície da água e retorna até o sensor em uma velocidade de 340 ms^{-1} . Dessa forma pode-se ajustar o programa de placa Arduino para fazer as leituras no intervalo de tempo desejado.

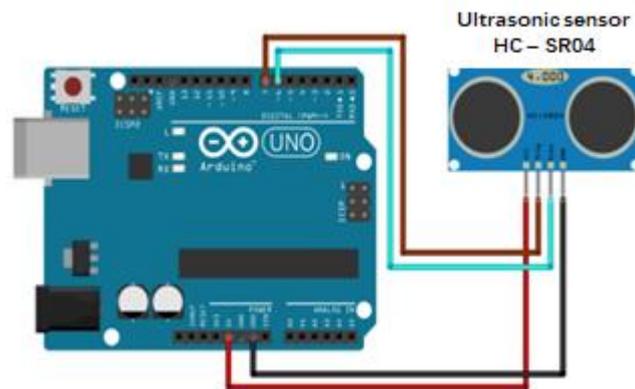


Figura 9: Microcontrolador Arduino e sensor ultrassônico.
Fonte: Silva et al. (2020).

Para obter uma grande gama de informação nesse estudo a placa Arduino foi programada para realizar leituras da altura da lâmina de água a cada 1 segundo. A programação utilizada encontra-se na Figura 10.

```

1 //Programa: Conectando Sensor Ultrassonico HC-SR04 ao Arduino
2 //Autor: MakerHero
3
4 //Carrega a biblioteca do sensor ultrassonico
5 #include <Ultrasonic.h>
6
7 //Define os pinos para o trigger e echo
8 #define pino_trigger 4
9 #define pino_echo 5
10
11 //Inicializa o sensor nos pinos definidos acima
12 Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);
13
14 void setup()
15 {
16   Serial.begin(9600);
17   Serial.println("Lendo dados do sensor...");
18 }
19
20 void loop()
21 {
22   //Le as informacoes do sensor, em cm e pol
23   float cmMsec, inMsec;
24   long microsec = ultrasonic.timing();
25   cmMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
26   inMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::IN);
27   //Exibe informacoes no serial monitor
28   Serial.print("Distancia em cm: ");
29   Serial.print(cmMsec);
30   Serial.print(" - Distancia em polegadas: ");
31   Serial.println(inMsec);
32   delay(1000);
33 }

```

Figura 10: Programação utilizada no microcontroller Arduino
Fonte: Thomsen (2011).

A Figura 11 apresenta o modelo de infiltrômetro de anel utilizado para medir a taxa de infiltração.



Figura 11: Infiltrômetro de anel único utilizado no teste.
Fonte: Autor.

Para a realização do teste foram utilizados um computador Dell core i7, trena metálica fixada verticalmente na parede interna do anel, um suporte de madeira de 20 cm para fixação do sistema Arduino, o sensor ultrassônico HC-SR04 e uma cadeira para acompanhamento das leituras (Figura 12).



Figura 12: Estrutura utilizada para teste.
Fonte: Autor.

Com intuito de garantir uma boa representatividade nos testes, foi seguido uma rotina de preparação, conforme demonstra o fluxograma da Figura 13.



Figura 13: Fluxograma com sequência adotada para os testes de infiltração.
Fonte: Elaborado pelo autor.

As etapas descritas na Figura 13 foram importantes, visando otimizar a logística para realização dos testes com todos os equipamentos e demais recursos preparados e aferidos. Com isso foi possível manter atenção máxima durante os testes com objetivo de coletar informações confiáveis durante atividade de campo.

Como mencionado na Figura 13 o ponto inicial para instalação do teste de infiltração foi escolhido na entrelinha de plantio para que o teste não ocorresse em uma área com manejo de subsolagem que é realizada aproximadamente a 40 cm de profundidade.

O local de instalação do teste é demonstrado na Figura 14.



Figura 14. Escolha do ponto na entrelinha do plantio para teste de infiltração de água no solo.
Fonte: Autor

4.3 Delineamento em campo

O delineamento de campo, adotado para realização dos testes de infiltração de água no solo, foi em uma topossequência com três tipos de solo e realização de quatro testes de infiltração (repetições) em cada tipo de solo equidistantes em 4 metros.

A topossequência era composta por um solo latossolo vermelho distrófico arênico sob plantio comercial de eucalipto com altitude média de 552 metros (ponto 1 para teste de infiltração). Com altitude média de 512 metros e um solo era caracterizado como argissolo vermelho eutrófico abrupto sob plantio comercial de eucalipto (ponto 2 para teste de infiltração) e por último uma área com 492 metros de altitude com solo neossolo quartzarênico hidromórfico plintossólico e sob pasto sujo (ponto 3 para teste de infiltração). A Figura 15 representa a topossequência utilizada no teste.

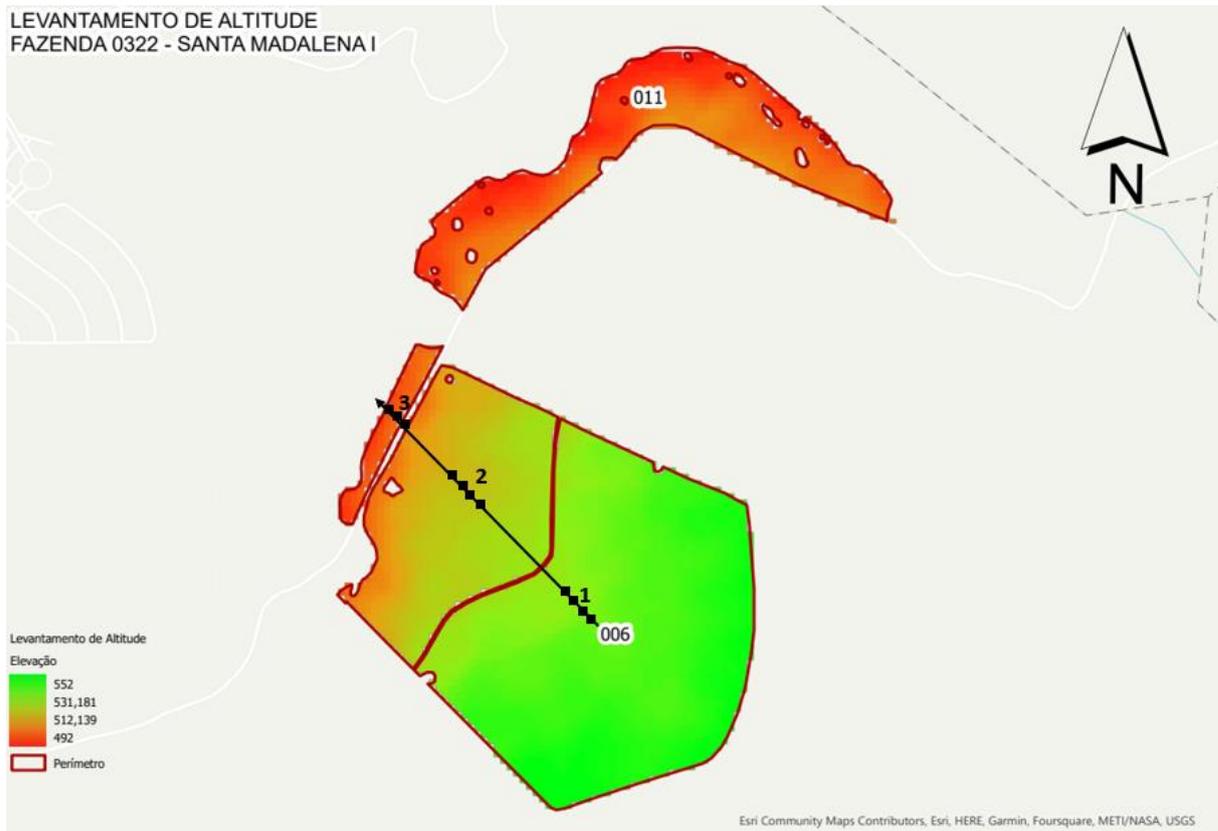


Figura 15. Levantamento de altitude (m) da topossequência utilizada no projeto de pesquisa.
Fonte: Adaptado de Bracell (2022).

Para cada tipo de solo foram realizadas quatro repetições, conforme demonstra a Figura 15 com os pontos destacados na topossequência. Na Tabela 3 têm-se as coordenadas geográficas de cada teste de infiltração.

Tabela 3: Coordenadas geográficas dos pontos amostrados nos testes de infiltração.

Testes	Coordenadas Geográficas	
Ponto 1	22°25'18,3"S	49°05'33.7"W
Ponto 2	22°25'18,1"S	49°05'33.8"W
Ponto 3	22°25'18,3"S	49°05'34.0"W
Ponto 4	22°25'18.0"S	49°05'34.0"W
Ponto 5	22°25'20.9"S	49°05'27.5"W
Ponto 6	22°25'21.1"S	49°05'27.4"W
Ponto 7	22°25'21.1"S	49°05'27.4"W
Ponto 8	22°25'20.8"S	49°05'27.3"W
Ponto 9	22°25'10.1"S	49°05'40.3"W
Ponto 10	22°25'10.1"S	49°05'40.4"W
Ponto 11	22°25'09.9"S	49°05'40.5"W
Ponto 12	22°25'10.0"S	49°05'40.5"W

Fonte: Elaborado pelo autor.

A topossequência de solos segue uma vertente regular, ou seja, sem rupturas nítidas de declive. Para o solo latossolo a declividade predominante estava entre 3 - 8%, para os solos argissolo e neossolo entre 8 - 12% de declividade.

A Figura 16 representa uma visão geral da área referente ao ponto 1 da topossequência. Trata-se de uma área de plantio comercial com eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) com idade de 4 anos. Tal área apresentava uma camada espessa de folhas secas oriundas do plantio de eucalipto e algumas plantas daninhas em pontos isolados. Foi notado alguns formigueiros ativos durante caminhar até ponto do teste de infiltração.



Figura 16. Visão geral da topossequência (ponto 1).
Fonte: Autor.

A Figura 17 representa uma visão geral da área referente ao ponto 2 da topossequência. Trata-se de uma área de plantio comercial com eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) com idade de 4 anos. Tal área apresentava uma camada espessa de folhas secas oriundas do plantio de eucalipto e algumas plantas daninhas em pontos isolados. Foi notado alguns formigueiros ativos durante caminamento até ponto do teste de infiltração.



Figura 17. Visão geral da topossequência (ponto 2).
Fonte: Autor.

A Figura 18 contempla uma visão geral da área referente ao ponto 3 da topossequência. Trata-se de uma área de preservação classificada como pasto sujo. A área apresentava camada espessa de planta daninha em estágio de dessecação, fato devido à escassez de chuvas. Sob essas plantas daninhas existia uma camada seca oriunda das plantas daninhas em senescência.



Figura 18. Visão geral da topossequência (ponto 3).
Fonte: Autor.

Na topossequência ponto 3 foi observado sinais de presença de gado (Figura 19). As fazendas circunvizinhas são, em sua maioria, ocupadas com gado. Mesmo com toda proteção e infraestrutura como cercas, eventualmente ocorre alguma fuga de animal adentrando outras propriedades a procura de alimento e água.



Figura 19. Sinais de presença de gado - topossequência (ponto 3).
Fonte: Autor.

Ao final da topossequência (ponto 3) ocorre a passagem do curso de água denominado Batalha (Figura 20). A imagem foi registrada no dia 04/09/2022, ou seja, em pleno período de estiagem.

Trata-se de curso de água importante para região pois é responsável por parte do abastecimento público de água para 40% da população do município de Bauru (DAE, 2022).

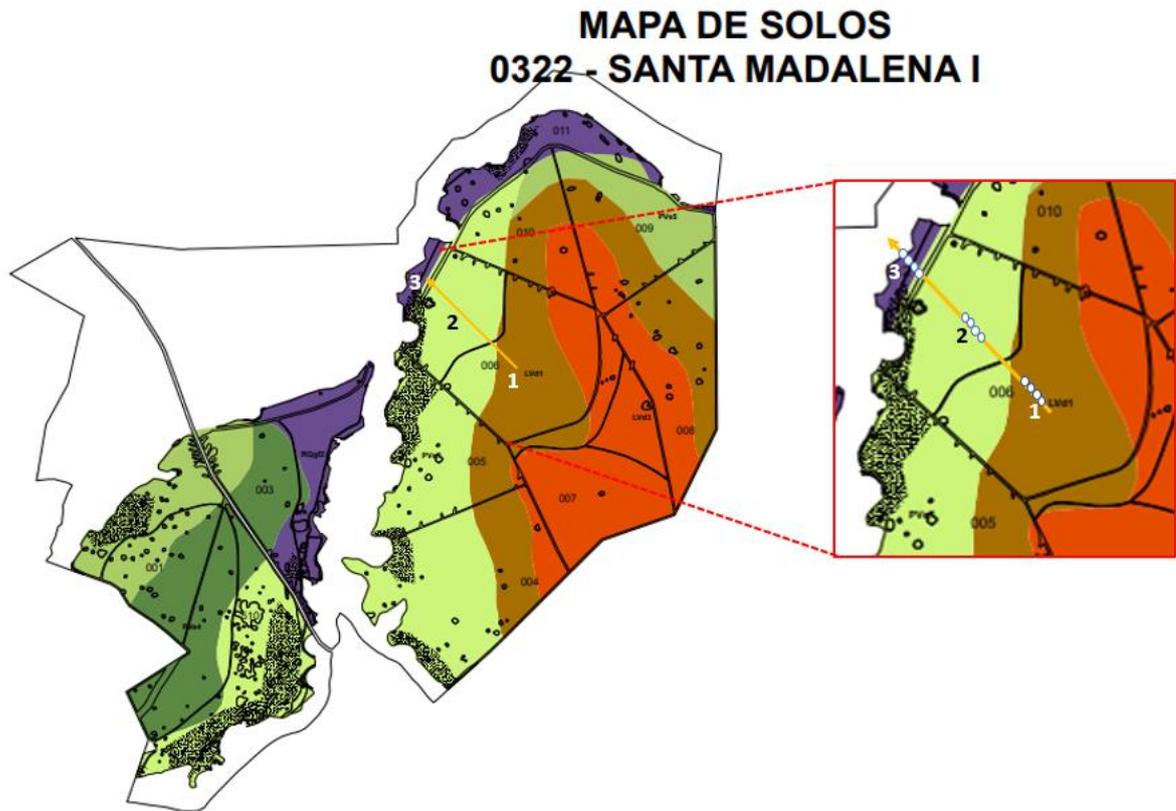
Segundo dados IBGE a população estimada de Bauru/SP é de 381.706 habitantes. Logo, o rio Batalha é responsável pelo abastecimento de água para 152.682 pessoas (IBGE, 2022).



Figura 20. Rio Batalha próximo a topossequência (ponto 3).
Fonte: Autor.

A área de estudo possui levantamento de solo realizado previamente pela empresa Bracell, que é proprietária da área, sendo que na Figura 21 apresenta o mapa de solo com destaque para topossequência adotada:

- Ponto 1: localização dos 4 testes realizados no solo latossolo vermelho distrófico;
- Ponto 2: localização dos 4 testes realizados no solo argissolo vermelho eutrófico;
- Ponto 3: localização dos 4 testes realizados no solo neossolo quartzarênico hidromórfico.



Legenda	Classe	Ordem	Sub-ordem	Grande Grupo	Sub-grupo	Argila (%)	Declividade predominante	Área (ha)	Área (%)
	PVe4	ARGISSOLO	VERMELHO Tb	Eutrófico	abruptico	1 a 14/20 a 26	3-8% (suave ondulado)	38,5	11,2
	PVe5	ARGISSOLO	VERMELHO Tb	Eutrófico	abruptico arênico	1 a 14/20 a 26	8-12% (ondulado 1)	42,6	12,4
	PVe7	ARGISSOLO	VERMELHO Tb	Eutrófico	abruptico	1 a 14/27 a 34	8-12% (ondulado 1)	101,3	29,5
	LVd1	LATOSSOLO	VERMELHO	Distrófico	arênico	15 a 19	3-8% (suave ondulado)	65,9	19,2
	LVd3	LATOSSOLO	VERMELHO	Distrófico	esessarênico	15 a 19	3-8% (suave ondulado)	64,4	18,8
	RQgf2	NEOSSOLO	QUARTZARÊNICO	Hidromórfico	plintossólico	5 a 8	8-12% (ondulado 1)	30,7	8,9
Total								343,3	100,0

Figura 21: Levantamento de solos na toposequência utilizada na dissertação com detalhe para as 4 repetições por tipo de solo.
Fonte: Adaptado Bracell (2022).

4.4 Análise estatística

Para análise estatística dos dados foi realizada regressão pelo método de Pearson e a análise de variância.

Como as leituras da lâmina de água foram realizadas pelo sensor ultrassônico HC-SR04 a cada segundo, foi obtido aproximadamente 3.900 leituras por teste. Considerando os 12 testes, obteve-se 46.800 dados coletados. Esses dados foram utilizados com objetivo de medir a variação da lâmina de água (entre recargas de água), pois era conhecido o horário de cada recarga. Durante os testes de infiltração percebeu-se maior instabilidade das leituras por segundo durante as recargas de água no anel único. Analisando os registros automáticos notou-se que após 10 segundos as leituras estabilizavam. Logo, a altura inicial para efeito de cálculo da lâmina de água foi considerada após os 10 segundos de recarga de água no cilindro.

Na Figura 22 pode-se observar as informações extraídas do microcontroller Arduino, que contempla o registro do horário a cada segundo e leitura da lâmina de água, onde foi utilizada a coluna em centímetros (cm). Assim, foi possível gerar as curvas de velocidade de infiltração para cada repetição.



Figura 22. Exemplo do tipo de informações obtidas em cada teste por meio do microcontroller Arduino.

Fonte: Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de infiltração foram realizados entre 09/07/2022 a 04/09/2022, sendo realizado no período de inverno cuja precipitação é menor historicamente. Durante o período dos testes ocorreram alguns dias com índice pluviométrico.

Para mesma área do estudo, em relação ao balanço hídrico, o ano de 2022 apresentou excesso de água principalmente nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Já entre os meses de agosto a início de outubro, período em que se realizaram os testes, ocorreram os maiores déficits, conforme mostra a Figura 23.

O balanço hídrico é importante para determinar a água disponível para as plantas, pois apenas a precipitação pluvial não é suficiente, pois considera apenas a entrada de água. Já através do balanço hídrico considera as perdas de água no solo, seja pela evapotranspiração ou pela drenagem e escoamento superficial (SILVA et al., 2014).

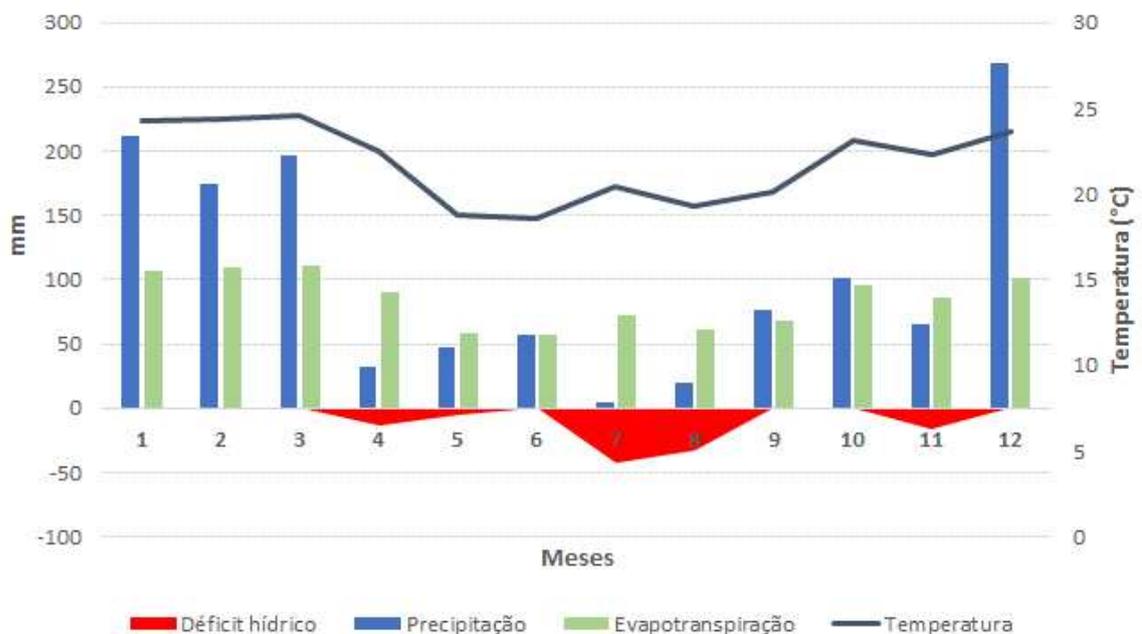


Figura 23. Balanço hídrico na Fazenda Santa Madalena I, Bauru SP.
Fonte: Adaptado Bracell (2022).

A precipitação pluvial atingiu seu maior valor diário em 30/01/2022 com 84,82 mm, ou seja, representando 7,09% da precipitação anual. No período do experimento que ocorreu entre 09/07/2022 e 04/09/2022 a maior precipitação pluvial ocorreu no dia 10/08/2022 com 15,2 mm. Nesses 58 dias de testes, em 08 dias ocorreram precipitação pluvial totalizando 28,4 mm.

A Tabela 4 apresenta um resumo referente as informações dos testes (data de realização, duração, quantidade de reposições de água e o volume de água utilizado em cada teste), bem como a equação para cada curva de infiltração ajustada pelo modelo de Kostiakov e seu respectivo coeficiente de determinação.

Tabela 4. Informações gerais de cada teste - velocidade de infiltração básica.

Tipo de solo	Ponto	Data (teste)	Tempo do teste (min)	Quantidade de reposições de água	Volume de água utilizado (L)	Declividade Predominante (%)	Carga Hidráulica Máxima (cm)
Argissolo vermelho eutrótico abrupto	1	09/07/2022	51.06	45	15.43	8-12%	3.57
	2	10/07/2022	67.33	63	19.48		
	3	10/07/2022	59.16	67	20.73		
	4	23/07/2022	64.96	73	22.50		
Sub Total			242.51	248	78.14		
Latosolo vermelho distrófico arênico	5	24/07/2022	73.42	70	21.63	3-8%	3.18
	6	30/07/2022	62.65	69	21.39		
	7	31/07/2022	66.42	67	20.73		
	8	07/08/2022	69.93	45	14.13		
Sub Total			272.42	251	77.88		
Neossolo quartzarênico hidromórfico	9	28/08/2022	63.5	11	3.78	8-12%	4.43
	10	03/09/2022	42.75	38	12.03		
	11	04/09/2022	66.62	61	18.93		
	12	04/09/2022	57.12	70	21.63		
Sub Total			229.99	180	56.37		
Total			744.92	679	212.39		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os testes de infiltração foi usado o infiltrômetro anel único para levantamento dos dados, conforme detalhado em material e métodos. Vários autores comentam da necessidade de anel externo para minimizar efeito da infiltração lateral. Merriam et al. (1983) ressalta que em situações que a taxa de infiltração seja baixa, a adoção do anel central para determinação da taxa de infiltração pode ser utilizada, desde que o anel tenha 25 cm de diâmetro e seja inserido no solo a uma profundidade de 15 cm.

A Tabela 5 apresenta e o teste de infiltração realizado, sendo que o ponto 9 foi o que apresentou maior coeficiente de determinação (R^2). Tal fato pode estar relacionado com o que foi observado por Merriam et al. (1983), pois esse teste foi o que utilizou menor volume de água e menor taxa de infiltração. Em campo, foi notada a presença de gado e esse fato pode ter influenciado esse teste, devido a uma possível compactação do solo.

Tabela 5. Equações do modelo Kostiakov para velocidade de infiltração básica por teste de infiltração e respectivo coeficiente de determinação.

Tipo de solo	Ponto	Equações Modelo Kostiakov VI (mmh^{-1})	R^2
Argissolo vermelho eutrófico abrupto	1	VI = 288.48 T ^{-0.118}	0.642
	2	VI = 301.86 T ^{-0.107}	0.667
	3	VI = 333.91 T ^{-0.097}	0.676
	4	VI = 594.19 T ^{-0.07}	0.208
Média		VI = 379.61 T^{-0.98}	0.548
Latosolo vermelho distrófico arênico	5	VI = 530.58 T ^{0.0344}	0.259
	6	VI = 723.28 T ^{0.0929}	0.618
	7	VI = 590.52 T ^{-0.037}	0.177
	8	VI = 285.58 T ^{-0.043}	0.219
Média		VI = 532.49 T^{-0.0518}	0.318
Neossolo quartzarênico hidromórfico	9	VI = 13.616 T ^{-0.564}	0.985
	10	VI = 153.31 T ^{-0.291}	0.879
	11	VI = 321.68 T ^{-0.134}	0.786
	12	V = 430.9 T ^{-0.08}	0.475
Média		V = 229.88 T^{-0.267}	0.781

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um ponto observado em campo que pode ter influenciado o baixo coeficiente de determinação dos testes de infiltração foi a variação da lâmina de água durante as recargas de água. O sensor ultrassônico (HC-SR04) conseguia registrar variações da altura da lâmina com precisão de 0,1 cm. Como em geral os testes precisaram de várias recargas, aliada com menor volume de água no cilindro central, pode ter influência direta no baixo coeficiente.

Como as recargas de água foram realizadas em tempos diferentes, ou seja, de acordo com característica de cada solo, foi calculada uma equação média para cada tipo de solo. Assim, foi possível realizar curva comparando as velocidades de infiltração para cada tipo de solo inserindo o mesmo tempo (min) nas equações.

Importante destacar que as equações finais utilizadas para gerar gráfico da Figura 24 foram obtidas através da média das 4 equações para cada repetição, ou seja, calculou-se uma média geral das equações para cada tipo de solo.

Essas equações finais para cada tipo de solo estão representadas na tabela 5.

Na Figura 24 observa-se o comportamento da curva ajustada de velocidade de infiltração para cada tipo de solo, onde ocorreu estabilização da curva de infiltração em 60 minutos.

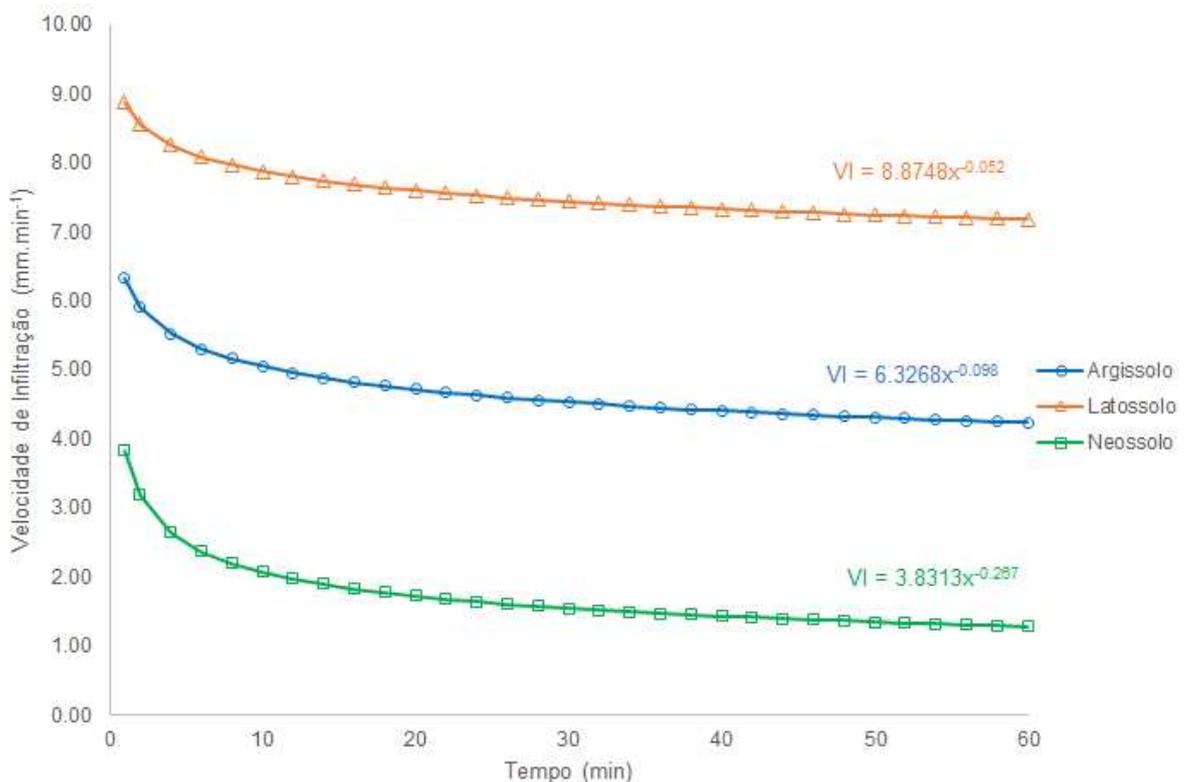


Figura 24. Curva média de infiltração de água em cada tipo de solo (mmmin⁻¹).
Fonte: Elaborado pelo autor.

A umidade inicial dos solos estava baixa, pois as medições foram realizadas no período de estiagem e respeitando sempre 10 dias de intervalo caso ocorresse alguma precipitação, nota-se na Figura 24 uma pequena variação entre a velocidade inicial e velocidade de infiltração básica, ou seja, até o solo atingir a saturação. Embora os solos apresentassem umidade inicial baixa, essa pequena variação entre a velocidade da água no início e no final dos testes, indicam, que isso possa estar relacionado com a baixa carga hidráulica adotada e uso do anel de infiltrômetro único que apresenta menor volume de água sob o solo.

Através da equação média de infiltração que foi ajustada após 4 repetições o solo neossolo foi o que apresentou uma maior variação entre a velocidade inicial ($3,83 \text{ mmmin}^{-1}$) e velocidade de infiltração básica ($1,28 \text{ mmmin}^{-1}$), fato relacionado com maior quantidade de areia nas camadas iniciais do solo e com maior quantidade de areia com granulometria muito grossa (10g. Kg^{-1}).

Para cada teste de infiltração realizado em campo foi obtido valor de infiltração básica (mm h^{-1}) conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Resultados de velocidade de infiltração básica observada para cada teste.

Tipo de solo	Ponto	Data (teste)	Velocidade de Infiltração básica (mmh^{-1})
Argissolo vermelho eutrófico abrupto	1	09/07/2022	460
	2	10/07/2022	456
	3	10/07/2022	476
	4	23/07/2022	676
Média			517
Latosolo vermelho distrófico arênico	5	24/07/2022	505
	6	30/07/2022	536
	7	31/07/2022	641
	8	07/08/2022	382
Média			516
Neossolo quartzarênico hidromórfico	9	28/08/2022	97
	10	03/09/2022	487
	11	04/09/2022	513
	12	04/09/2022	565
Média			416

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os 12 resultados, apresentados na Tabela 6, oriundos dos testes em campo foram utilizados para análise estatística.

A análise estatística realizada (Figura 25) indica que não há diferença estatística significativa a 5% em nível de significância entre as velocidades de infiltração básica. Como valor $p > 0,05$ aceita-se a hipótese nula na qual todas as médias para velocidade básica de infiltração são iguais.

A análise de variância apresentou valor $p = 0,573$. O solo neossolo apresentou a menor média no valor de infiltração básica e o maior desvio padrão devido a uma repetição do teste de infiltração correspondente ao ponto 9 representar 18,6% da média das outras 3 repetições. Esse ponto era o mais na extremidade (sentido estrada interna) e com sinais de pisoteio de gado, ou seja, relacionado a compactação do solo.

O maior coeficiente de variação foi de 51,7% no solo neossolo, enquanto para o latossolo e argissolo apresentaram 20,66% e 20,57%, respectivamente. Novamente o ponto 9 acarretou esse maior coeficiente para o neossolo.

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Tipo Solo	2	27205	13602	0,59	0,573
Erro	9	206445	22938		
Total	11	233650			

Médias

Tipo Solo	N	Média	DesvPad	IC de 95%
argissolo	4	517,0	106,4	(345,7; 688,3)
latossolo	4	516,0	106,6	(344,7; 687,3)
Neossolo	4	416	215	(244; 587)

DesvPad Combinado = 151,454

Figura 25. Análise estatística para velocidade de infiltração básica
Fonte: Elaborado pelo autor.

Bono et al. (2012), em 7 anos de estudo, obtiveram resultados de velocidade de infiltração média para solo latossolo vermelho distrófico de 337,2 mm h⁻¹.

Em seu projeto de pesquisa, Correia (2016), obteve resultados de velocidade de infiltração básica de 245,9 mm h⁻¹ em solos mais argilosos à 404,4 mm h⁻¹ em solos mais arenosos.

Pott e Maria (2003) obtiveram resultados de velocidade de infiltração básica de 185,2mm h⁻¹ em solo argissolo textura arenosa/ média à 442,2 mm h⁻¹ em solo latossolo textura argilosa.

Scopel et al. (2013) realizaram testes de infiltração em neossolo quartzarênico e obtiveram resultados de velocidade de infiltração básica entre 400 e 700 mm h⁻¹.

Os resultados de velocidade de infiltração básica encontrada neste trabalho estão muito próximos aos resultados de Pott e Maria (2003), Scopel et al. (2013), Correia (2016) e Bono et al. (2012).

Em muitos estudos científicos (POTT et al., 2003; COSTA et al., 2015) são encontrados resultados com diferença significativa entre a velocidade de infiltração básica entre latossolo e argissolo. Porém, importante ressaltar que na fazenda Santa Madalena I, que ocorreu o trabalho, os três tipos de solos apresentam características físicas muito similares, como elevado percentual de areia.

Embora a análise estatística indique não haver diferença, considerando que em 2022 a precipitação média anual em Bauru/SP foi de 1.196,54 mm, o solo argissolo que apresentou a maior média de velocidade de infiltração básica (517 mm h⁻¹) teria capacidade para absorver 43,2% da precipitação anual em apenas 1 hora. Já o solo neossolo com menor média de velocidade de infiltração (416 mm h⁻¹) teria capacidade de absorver 34,7% da precipitação anual. Trata-se de informação relevante para planejamento de uma microbacia, pois correlaciona-se precipitação e sua intensidade com velocidade de infiltração básica dos solos. Assim, pode-se atuar visando melhor conservação de solo, escoamento superficial e recarga de aquíferos subterrâneos.

A Tabela 7 detalha as informações sobre infiltração acumulada para cada repetição dos testes de infiltração.

Tabela 7. Equações do modelo Kostiakov para Infiltração acumulada (mm) por teste de infiltração e respectivo coeficiente de determinação.

Tipo de solo	Ponto	Equações Modelo Kostiakov I (mm)	R ²
Argissolo vermelho eutrótico abrupto	1	$I = 7329.5 T^{0.9074}$	0.992
	2	$I = 7244.7 T^{0.8926}$	0.994
	3	$I = 8013.8 T^{0.9035}$	0.996
	4	$I = 14261 T^{0.9299}$	0.988
Média		$I = 9212.5 T^{0.90835}$	0.993
Latosolo vermelho distrófico arênico	5	$I = 12734 T^{1.0344}$	0.996
	6	$I = 17359 T^{1.0929}$	0.999
	7	$I = 13527 T^{0.9557}$	0.994
	8	$I = 6853.9 T^{0.9567}$	0.988
Média		$I = 12618.5 T^{1.00993}$	0.994
Neossolo quartzarênio hidromórfico	9	$I = 326.78 T^{0.436}$	0.946
	10	$I = 3679.4 T^{0.7093}$	0.978
	11	$I = 7361.8 T^{0.8579}$	0.990
	12	$I = 9346 T^{0.8909}$	0.998
Média		$I = 5178.5 T^{0.72353}$	0.978

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao contrário do que ocorreu para a velocidade de infiltração básica, o coeficiente de determinação foi elevado para infiltração acumulada, ou seja, ocorreu uma boa estimativa para os parâmetros hídricos do modelo utilizado. Esse fato deve estar relacionado com o fluxo de água infiltrado por unidade de tempo, ou seja, apresentou comportamento mais homogêneo durante os testes de infiltração.

Para cada teste de infiltração realizado em campo foi obtido valor de infiltração acumulada (mm) conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Resultados de Infiltração acumulada observada para cada teste.

Tipo de solo	Ponto	Data (teste)	Infiltração acumulada (mm)
Argissolo vermelho eutrótico abrupto	1	09/07/2022	389
	2	10/07/2022	512
	3	10/07/2022	469
	4	23/07/2022	708
Média			520
Latossolo vermelho distrófico arênico	5	24/07/2022	618
	6	30/07/2022	559
	7	31/07/2022	699
	8	07/08/2022	445
Média			580
Neossolo quartzarênio hidromórfico	9	28/08/2022	103
	10	03/09/2022	347
	11	04/09/2022	570
	12	04/09/2022	541
Média			390

Fonte: Elaborado pelo autor.

Bono et al. (2012), em 7 anos de estudo, obteve resultados infiltração acumulada para solo latossolo vermelho distrófico de 520,84 mm.

Como as recargas de água foram realizadas em tempos diferentes, ou seja, de acordo com característica de cada solo, foi calculada uma equação média para cada tipo de solo. Assim, foi possível realizar curva comparando a infiltração acumulada para cada tipo de solo inserindo o mesmo tempo (min) nas equações.

Importante destacar que as equações finais utilizadas para gerar gráfico da Figura 26 foram obtidas através da média das 4 equações para cada repetição, ou seja, calculou-se uma média geral das equações para cada tipo de solo.

Essas equações finais para cada tipo de solo estão representadas na tabela 7.

Na Figura 26 pode-se observar a infiltração acumulada ajustada para cada tipo de solo considerando tempo de 60 min.

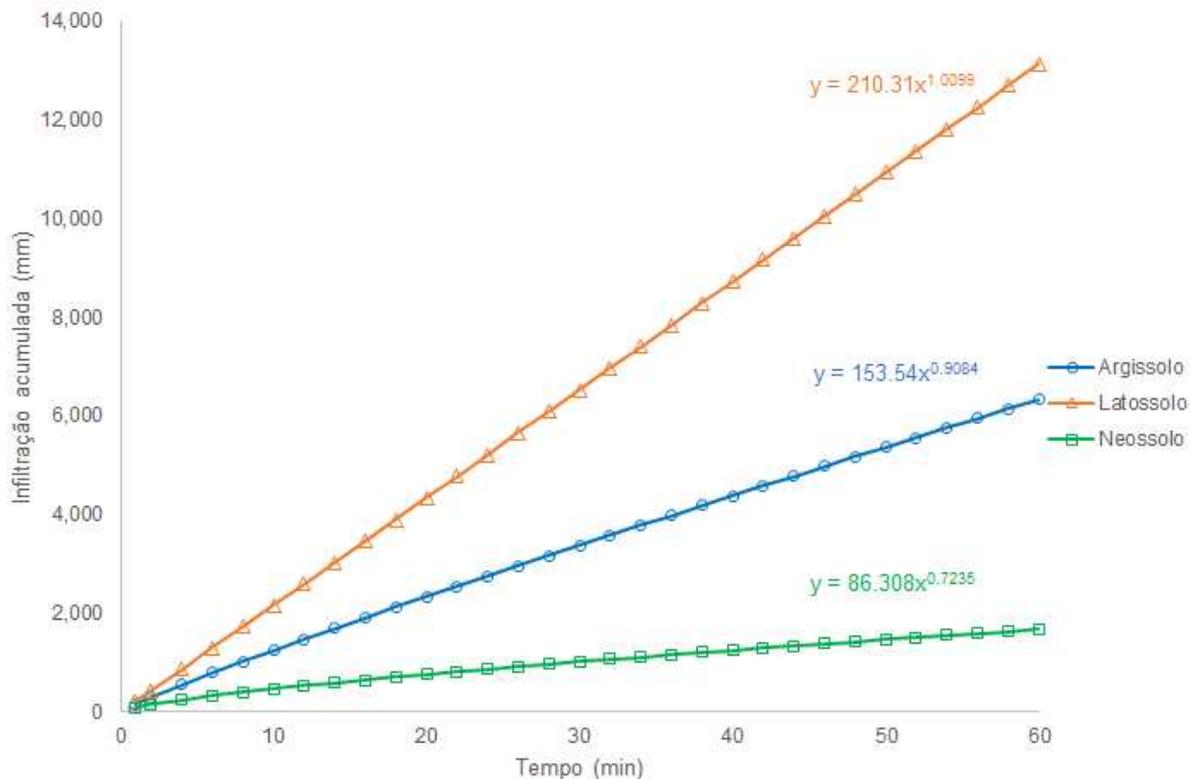


Figura 26. Infiltração acumulada ajustada (mm) de água em cada tipo de solo durante 60 min
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com análise estatística realizada (Figura 27) não há diferença estatística significativa a 5% em nível de significância entre as infiltrações acumuladas. Como valor $p > 0,05$ aceita-se a hipótese nula na qual todas as médias para infiltração acumulada são iguais. A análise de variância apresentou valor $p = 0,278$. O solo neossolo apresentou a menor média no valor de infiltração acumulada e o maior desvio padrão, devido a uma repetição do teste de infiltração correspondente ao ponto 9 representar 21,1% da média das outras 3 repetições. Como explicado anteriormente, esse ponto era o mais na extremidade (sentido estrada interna) e com sinais de pisoteio de gado, ou seja, relacionado a compactação do solo.

O maior coeficiente de variação foi de 55,24% no solo neossolo, enquanto para o argissolo e latossolo apresentaram 26,10% e 18,42%, respectivamente. Novamente o ponto 9 acarretou esse maior coeficiente para o neossolo.

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	2	75328	37664	1,48	0,278
Erro	9	228858	25429		
Total	11	304187			

Médias

Fator	N	Média	DesvPad	IC de 95%
argissolo	4	519,5	135,6	(339,1; 699,9)
latossolo	4	580,3	106,9	(399,9; 760,6)
neossolo	4	390	216	(210; 571)

DesvPad Combinado = 159,464

Figura 27. Análise estatística para infiltração acumulada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em função do baixo grau de liberdade e quantidade de repetições foi realizado uma análise complementar com objetivo de verificar se resultado exposto até então poderia sofrer alguma alteração.

Dessa maneira para verificar se algum resultado da velocidade de infiltração básica observado (tabela 6) nos testes poderia ser classificado com 'outlier' e estar impactando na análise foi realizado análise de boxplot (Figura 28). Com essa análise, não se encontrou nenhum valor "outlier" para os resultados de velocidade de infiltração básica.

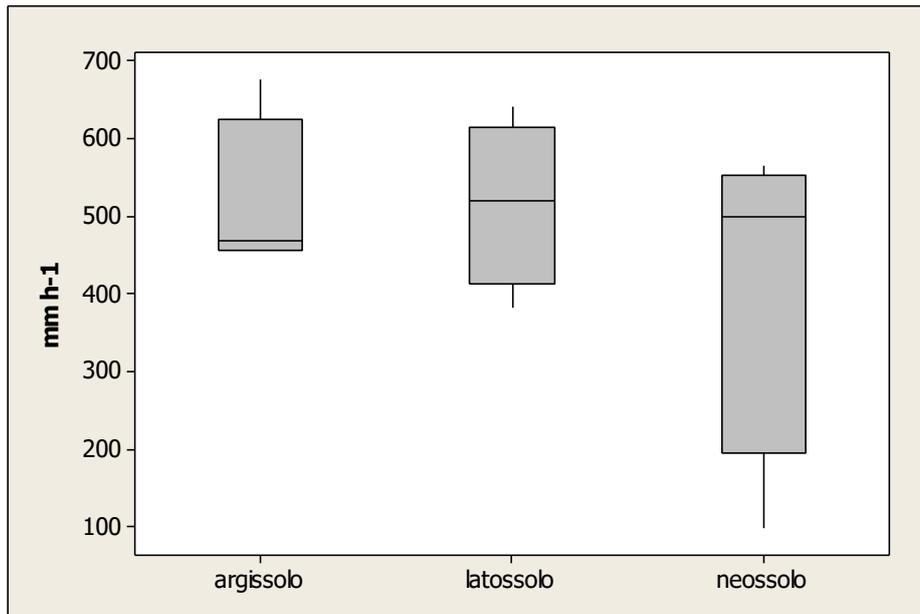


Figura 28. Análise boxplot para velocidade de infiltração básica dos testes de infiltração.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como próximo passo foi realizado análise de dispersão com apenas 3 repetições para cada tipo de solo, ou seja, excluindo o dado com coeficiente de determinação mais baixo para cada teste de infiltração em determinado tipo de solo. Na Tabela 5 pode-se observar as repetições com menor R^2 que foram excluídas.

Com essa análise obteve-se uma nova equação ajustada para cada tipo de solo conforme tabela 9. Importante destacar que essas novas equações foram obtidas através de todos os dados das repetições com maior R^2 , ou seja, uma equação única para cada tipo de solo.

Tabela 9. Equações do modelo Kostiakov para velocidade de infiltração (mm h^{-1}) considerando 3 repetições para cada tipo de solo

Tipo Solo	Equações
	Modelo Kostiakov $VI (\text{mmh}^{-1})$
Argissolo	$VI = 309.41 T^{-0.106}$
Latossolo	$VI = 502.32 T^{-0.0326}$
Neossolo	$VI = 188.65 T^{-0.228}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como as recargas de água foram realizadas em tempos diferentes, ou seja, de acordo com característica de cada solo, foi utilizada equação média para cada tipo de solo. Assim, foi possível realizar curva comparando as velocidades de infiltração para cada tipo de solo inserindo o mesmo tempo (min) nas equações. Na Figura 29 observa-se o comportamento da curva ajustada de velocidade de infiltração para cada tipo de solo, onde ocorreu estabilização da curva de infiltração em 60 minutos.

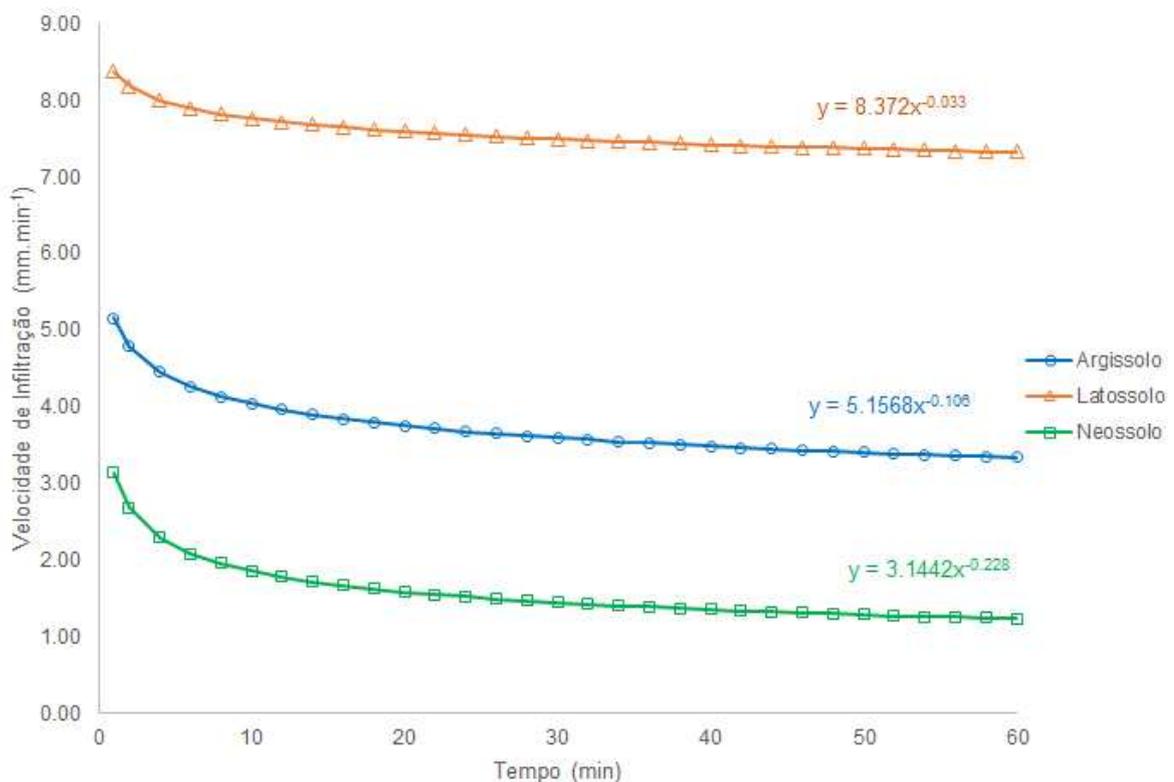


Figura 29. Velocidade de infiltração básica (mm h^{-1}) de água em cada tipo de solo durante 60 min excluindo uma repetição por solo em função do menor coeficiente de determinação
Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da Figura 29 apresenta mesmo comportamento que a Figura 24, demonstrando que não houve diferenças expressivas para os resultados, mesmo considerando os testes de infiltração com maior coeficiente de determinação.

Para infiltração acumulada foram utilizadas as mesmas repetições definidas para a velocidade de infiltração básica, ou seja, as 3 repetições com maior coeficiente de determinação.

Com essa análise obteve-se uma equação ajustada para cada tipo de solo conforme tabela 10. Importante destacar que essas novas equações foram obtidas através de todos os dados das repetições com maior R^2 , ou seja, uma equação única para cada tipo de solo.

Tabela 10. Equações do modelo Kostiakov para infiltração acumulada (mm) por teste de infiltração e respectivo coeficiente de determinação.

Tipo de solo	Equações Modelo Kostiakov I (mm)
Argissolo	$y = 7636.3x^{0.9036}$
Latosolo	$y = 12056x^{1.0326}$
Neossolo	$y = 4393.2x^{0.7666}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como as recargas de água foram realizadas em tempos diferentes, ou seja, de acordo com característica de cada solo, foi utilizada equação média oriunda de análise de dispersão com 3 repetições com maior coeficiente de determinação para cada tipo de solo. Assim, foi possível realizar curva comparando a infiltração acumulada para cada tipo de solo inserindo o mesmo tempo (min) nas equações.

Na Figura 30 observa-se o comportamento da curva ajustada referente a velocidade de infiltração para cada tipo de solo.

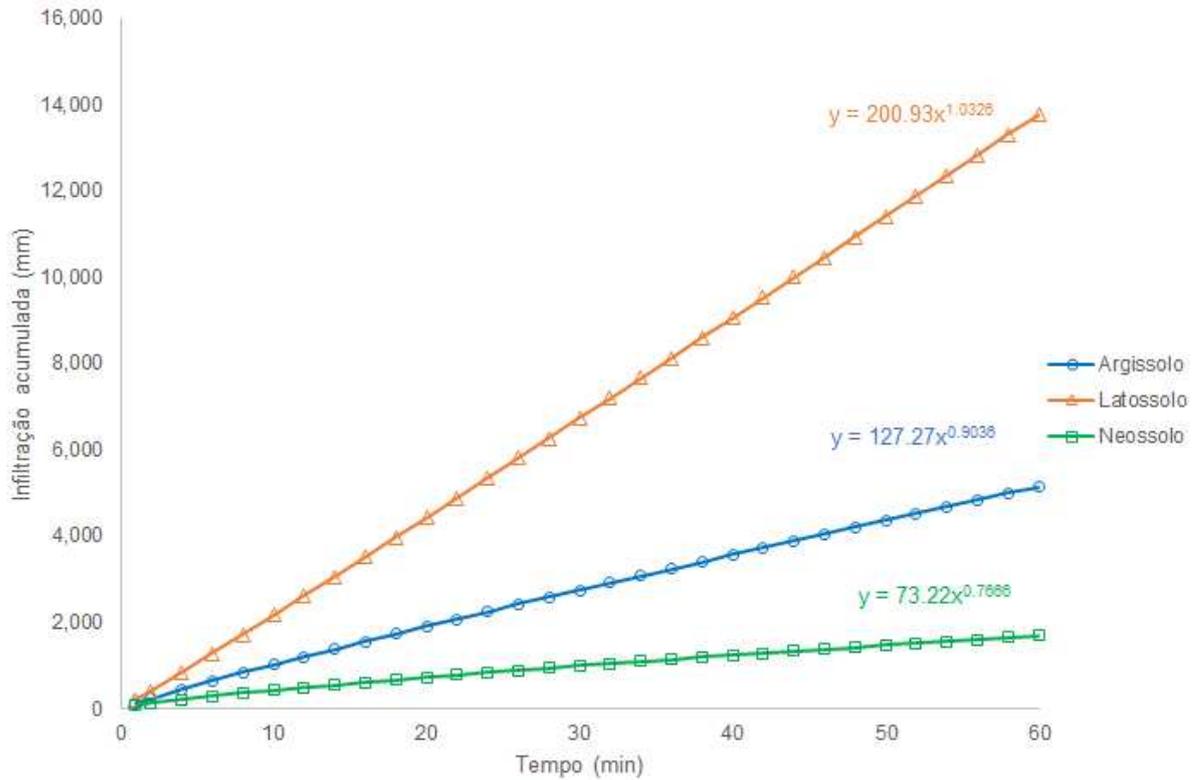


Figura 30. Infiltração acumulada ajustada (mm) de água em cada tipo de solo durante 60 min excluindo uma repetição por solo em função do menor coeficiente de determinação
Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da Figura 30 apresenta mesmo comportamento que a Figura 26, demonstrando que não houve diferenças expressivas para os resultados, mesmo considerando os testes de infiltração com maior coeficiente de determinação

6 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi avaliado a velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada para 3 tipos de solo, bem como as equações ajustadas pelo modelo Kostiaiov. Como conclusão, os valores de infiltração de água no solo realizados nos solos latossolo vermelho distrófico, argissolo vermelho eutrófico abrupto e neossolo quartzarênico hidromórfico plintossólico não apresentaram diferença estatística significativa a 5% em nível de significância tanto para velocidade de infiltração básica quanto para infiltração acumulada.

Em uma análise alternativa com uma equação única obtida através de análise de dispersão com todos os dados referente as 3 repetições com maior coeficiente de determinação apresentaram resultados muito próximos quando comparado com a equação obtida através da média das 4 equações do teste de infiltração para cada tipo de solo.

A utilização do microcontroller Arduino e sensor ultrassônico HC-SR04 foi fator de segurança da informação das leituras e auxiliou na execução do teste.

O baixo coeficiente de determinação para velocidade de infiltração básica pode ter sido influenciado devido as várias necessidade de recarga de água para cada teste de infiltração em função do período de estiagem e da baixa carga hidráulica.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que em estudos futuros cuja leitura da lâmina de água seja realizada através do método automático, utilize-se um infiltrômetro de único anel ou anel concêntrico com maior diâmetro, pois as recargas de água não ocasionarão oscilação nas leituras nos segundos subsequentes ao abastecimento.

REFERÊNCIAS

AVILA, Calinca Barão de. **Variação da infiltração devido a alterações de uso de solo: estudo de caso de implantação de floresta em Bioma de Pampa**. 2014. 71f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

AVILA, Calinca Barão de et al. *In: XX Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Estudo da capacidade de infiltração em um solo da unidade de mapeamento santa maria, submetido a três diferentes usos*. Bento Gonçalves: ABRH, 11-22/nov. 2013. 8p. Disponível em: http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013__PAP013637.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022.

BARROS, Cláudia Alessandra Peixoto de Barros et al. Estimativa de infiltração de água no solo na escala de Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.38, n. 4, p. 557-564, abr. 2014.

BONINI, Andreia Kusumota et al. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p.1543-1548, set. 2011.

BONO, José Antônio Maior et al. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região Sudeste dos Cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, n.36, p.1845-2853, 2012.

BORGES, et al. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo não-saturado utilizando-se permeâmetro de disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p. 2083-2089, nov. 1999.

BRANDÃO, Viviane dos Santos; PRUSKI, Fernando Fábio; SILVA, Demetrius David. **Infiltração de água no solo**. 2º Edição. Viçosa/MG: UFV, 2003, 98 p.

BRANDÃO, Viviane dos Santos et al. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.27, n.1, p.129-138. Jan./abr. 2007.

BUENO, Mateus Marques et al. Sustainable provision of raw water based on the management of ecosystem services in small watersheds. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.15, n.2, p 01-10, jna. 2020.

CAMPOS, Milton César Costa. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência – Revista do setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v.8, n.3, p 963-982, set./dez.2012. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/1290/1853>. Acesso em: 21 fev. 2023.

CECÍLIO, Roberto Avelino. **Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em latossolo vermelho-amarelo estratificado**. 2002. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CBH-TB, Plano da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha 2016-2027. **Comitê Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha**, p.253, Jun/2015. Disponível em: <https://www.comitetb.sp.gov.br/documentos/>. Acesso em: 09 out. 2022.

CARVALHO, Eufrosina Terezinha Leão. **Avaliação de elementos de infiltração de águas pluviais na zona norte da cidade de Goiânia**. 2008. 222f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal Goiás, Goiânia, 2008.

CECÍLIO, Roberto Avelino et al. Modelo para estimativa da infiltração de água no perfil de umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.37, n.2, p.411-421, 2013.

CLIMATE-DATA. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/bauru-4225/>. Acesso em: 04 fev. 2022..

CORREIA, Joselina de Souza. **Uso da terra e infiltração de água no solo no perímetro de irrigação pontal sul**. 2016. 77p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

COSTA, Carla Deisiane de Oliveira; ALVES, Marlene Cristina; SOUSA, Antônio de Pádua. Movimento de água e porosidade de solos de uma sub-bacia hidrográfica no Noroeste do Estado de São Paulo. **Irriga Botucatu**, v.10, n.2, p.304-318, Mar-Jun, 2015.

CUNHA, Jorge Luis Xavier Lins et al. Water infiltration rate in yellow latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.19, n.11, p.1021-1027, 2015.

DAE. **Departamento de água e esgoto**. Bauru, 2022. Disponível em: <https://www.daebauru.sp.gov.br/ambiente.php>. Acesso em: 21 fev. 2022.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2 ed. **Centro Nacional de Pesquisa de solos**. Brasília-DF, 2006. 306p.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Embrapa Solos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/argissolos-vermelho-amarelos>. 2021. Acesso 11 fev.2023.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Embrapa Solos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelhos>. 2021. Acesso 11 fev.2023.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Solos Tropicais**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/argissolos/argissolos-vermelho-amarelos>. Acesso 21 fev.2023.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Solos Tropicais**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos>. Acesso 21 fev.2023.

FAILACHE, Moisés Furtado; ZUQUETTE, Lázaro. Soil water infiltration under different land use conditions: in situ tests and modeling. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.26, e.26, p.1-17, 2021.

FELIPE, Andreia Cardador. **Avaliação das áreas de conflito de uso em APP na microbacia do Ribeirão do Veado, Piratininga (SP) por meio de geotecnologias**. 2015. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015.

FREDLUND, D. G. e RAHARDJO, H. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1993. 517p.

FONSECA, Agnes Camila Nascimento da. **Variabilidade espaço temporal dos atributos físicos e químico do solo com manejo conservacionista no semiárido pernambucano**. 2022. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2022.

GUIMARÃES, Jean Pereira et al. *In*: Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia, 2018, Maceió. **Velocidade de infiltração da água no solo sob cultivo da palma forrageira**. Maceió: 75° SOEA, 2018. 5p. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/244_vdi d%C3%A1nsscdpf.pdf. Acesso em: 06 set. 2021.

HONDA, Eliane Akiko; DURIGAN, Giselda. A Restauração de Ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea Online**. vol.44, n-3, p.315-327, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/bauru.html>. Acesso em: 21 fev. 2023.

IBRAHIM, Liliane. **Caracterização Física, Química, Mineralógica e Morfológica de uma sequência de solos em Lins/SP**. 2002. 86f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 04 fev. 2022.

JUNIOR, Caio Rodrigues; TARGA, Marcelo dos Santos; BATISTA, Getúlio Teixeira; DIAS, Nelson Wellausen. *In*: Seminário de recursos hídricos da bacia hidrográfica do paraíba do sul: o eucalipto e o ciclo hidrológico, 2007, Taubaté. **Anais Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim**, Taubaté, SP., Brasil, 07-09 nov.2007, IPABHi, p. 67-73. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Nelson-Dias-2/publication/27458449_Florestamento_compensatorio_com_vistas_a_retencao_de_agua_no_solo_da_bacia_hidrografica_do_Ribeirao_Itaim_Taubate_SP/links/0912f50ec2348aa614000000/Florestamento-compensatorio-com-vistas-a-retencao-de-agua-no-solo-da-bacia-hidrografica-do-Ribeirao-Itaim-Taubate-SP.pdf. Acesso 10 jan.2022.

KLAR, Antonio Evaldo. **A Água no sistema Solo – Planta- Atmosfera**. 2º Edição. Nobel, 1988, 408 p.

LEITE, Lucas Aparecido Rosa et al. Biodiversity of the metazoan parasites of *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837) (Characiformes: Prochilodontidae) in anthropized environments from the Batalha River, São Paulo State, Brazil. **Biota Neotropica**, v.18, n.3, p.1-10, 2018.

LIMA, George Luiz de. **Estimativa de infiltração de água no solo utilizando modelo de Green-Ampt**. 2010. 99p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2010.

MARTIRANI, Laura Alves; PERES, Isabela Kojin. Crise Hídrica em São Paulo: Cobertura Jornalística, Percepção Pública e o Direito a Informação. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v.19, n 1, p 1-20, jan./mar. 2016.

MELLO, Luiz Tomás Azevedo de. **Avaliação de metodologias para obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. 2003. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.

MERRIAN, J.L.; SHEARER, M.N.; BURT, C.M. **Evaluating irrigation systems and practices**. In: JENSEN, M.E. (ed.) Design and operations of farm irrigation systems. St Joseph: ASAe, 1983. p. 721-60. (Monography Series, 3).

OLIVEIRA, Alan Ébano de. **Modelagem de Infiltração de água no solo com modelo Green-Ampt**. 2015. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

PINHEIRO, Adilson; TEIXEIRA, Lizandra Poeta; KAUFMANN, Vander. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.4, n.2, p 188-199, jul. 2009.

POTT, Cristiano André; MARIA, Isabella Clerice de. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, n.27, p. 19-27, 2003.

PREVEDELLO, Celso Luis. **Física do solo com problemas resolvidos**. Ed SAEAFS. Curitiba, PR, 1996. 446p.

PRUSKI, Fernando Falco; GRIEBELER, Nori Paulo; SILVA, Demetrius David da. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, n.25, p 403-410, 2001.

ROCHA, Jonas Elias Castro da et al. Organic Matter and Pshysical-Hydric qunaity of an Oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture. **Cerne**. Paragominas, v.22, n.04, p.381-388, 2016.

SALES, Patrícia Aparecida; TARGA, Marcelo dos Santos. Infiltração de Água em diferentes Uso e Ocupação dos Solos na Bacia do Rio Uma em Taubaté, SP. 2017. **Revista Técnica de Ciências Ambientais**, v.1, n.1, p.1-13, 2017. Disponível em: <http://agro.unitau.br/repositorio/index.php/rca/article/view/5/8>. Acesso 07 set.2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo**, Mapeamento da cobertura vegetal nativa, 40p. 2020. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/inventarioflorestal2020.pdf>. Acesso 28 mar. 2021.

SARTORI, Aderson; NETO, Francisco Lombardi; GENOVEZ, Abel Maria. Classificação Hidrológica de solos brasileiros para a Estimativa da chuva excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.10, n.04, p.05-18, 2005.

SCOPEL, Iraci; NETO, SILVA, Marluce Souza; PERINI, Alécio Martins. Infiltração de água e potencial de uso de solos muito arenosos nos Cerrados (Savanas) do Brasil. **Boletim Goiânio de Geografia**, vol.33, n.02, p.45-61, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3371/337127389004.pdf>. Acesso 26 mar. 2023

SERRATO, Celso Daniel et al. Infiltrômetro de aspersão de Cornell aperfeiçoado: aspectos construtivos, operacionais e de manutenção. **Embrapa Soja**. Londrina, v.424, p.1-66. dez. 2019.

SILVA, Cícero Lopes da; KATO, Eiyti. Efeito de 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, Laércio Santos. **Mineralogia da fração argila dos solos do Planalto Ocidental Paulista**. 2016. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

SILVA, Lucas Alves da; SILVA, Antônio Marciano da; COELHO, Gilberto; PINTO, Leandro Campos. Soil map units of Minas Gerais State from the perspective of Hydrologic Groups. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.13, n.1, p 01-13, 2017.

SILVA, Marcos Cleve Alves da; TARGA, Marcelo dos Santos; CEZAR, Vicente Rodolfo Santos. Arduino system and ultrasonic sensor for automation of the determination of water infiltration rate soil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7 (supplement), p 01-13, set. 2020.

SILVA, Renan Almeida Brito da, et al. Balanço Hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbes Stapf*). **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.38, n. 4, p. 147-157, abr. 2014.

SILVA, Vinícius Luis Arcangelo. **Um Olhar sobre os deslocamentos urbanos em Piratininga/SP: Desafios para Mobilidade Urbana Sustentável**. 2021. 97p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Bauru, 2021.

SIMÕES, Welson Lima; FIGUERÊDO, Vladimir Batista; SILVA, Elio Lemos da. Uso do cilindro infiltrômetro único em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.25, n.2, p.359-366. mai./ago. 2005.

SOARES, Williames Albuquerque; SILVA, Simone Rosa da; LIMA, José Romualdo de Souza. Land-use change effect on the hydro-dynamic characteristics of soil in the Brazilian semi-arid region. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.15, n.2, p 01-14, fev. 2020.

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

SOUZA, Eduardo Soares de; ANTONINO, Antônio Celso Dantas; JARAMILLO, Rafael Ângulo; NETTO, André Maciel. Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p. 128-135, 2008.

THOMSEN, Adilson. Como conectar o Sensor Ultrassônico HC-SR04 ao Arduino. **Makerhero**. 2011. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>. Acesso 07 fev.2022.

ZONTA, João Henrique; MARTINEZ, Mauro Aparecido; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David Da; SANTOS, Marcelo Rocha dos. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, n.36, p.377-388, abr. 2012.