

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS POSSE
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

CARLOS PEREIRA EVANGELISTA

**VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE
ANEL EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLOS**

Posse-GO
Dezembro de 2024

CARLOS PEREIRA EVANGELISTA

VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL
EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLOS

Trabalho Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Posse, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zolin Lorenzoni

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano

E92v

Evangelista, Carlos Pereira.

Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anel em diferentes texturas de solos [manuscrito] / Carlos Pereira Evangelista. – Posse, GO: IF Goiano, 2024.
40 fls. : il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zolin Lorenzoni.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Posse, 2024.

1. Anéis concêntricos. 2. Infiltração acumulada. 3. Manejo de água.
4. Velocidade de infiltração básica. I. Lorenzoni, Marcelo Zolin. II. Título.
III. Instituto Federal Goiano.

CDU 631.4



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica (assinale com X)

Tese

Dissertação

Monografia – Especialização Artigo – Especialização

TCC - Graduação Artigo Científico

Capítulo de Livro Livro

Trabalho Apresentado em Evento

Produção técnica. Qual: _____

Nome Completo do Autor: Carlos Pereira Evangelista

Matrícula: 2018107200240096

Título do Trabalho: VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLOS

Restrições de Acesso ao Documento [Preenchimento obrigatório]

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe à data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 28/02/2025 O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO – EXCLUSIVA

A referida autora declara que:

1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Posse, 10 de janeiro de 2025

Carlos Pereira Evangelista

Assinado eletronicamente pelo o Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Marcelo Zolin Lorenzoni

Assinatura eletrônica do (a) orientador (a)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcelo Zolin Lorenzoni, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 10/01/2025 11:05:16.
- **Carlos Pereira Evangelista, 2018107200240096 - Discente**, em 13/01/2025 18:53:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 664020
Código de Autenticação: 37fe4ef85c



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse Rodovia GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, SN, Distrito Agroindustrial,

POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 3481-4677



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 1/2025 - CPPGI-POS/CMPPPOS/IFGOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARLOS PEREIRA EVANGELISTA

VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLOS

Trabalho de Curso defendido e aprovado em 18/12/2024 pela comissão examinadora constituída pelos membros:

(Assinado Eletronicamente)

Marcelo Zolin Lorenzoni

Presidente/Orientador (a)

(Assinado Eletronicamente)

Elson Barbosa da Silva Júnior

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Danilo Gomes de Oliveira

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcelo Zolin Lorenzoni**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/01/2025 18:52:51.
- **Danilo Gomes de Oliveira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/01/2025 15:30:26.
- **Elson Barbosa da Silva Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/02/2025 07:58:33.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/01/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 666854

Código de Autenticação: 55a43b3cb0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse

Rodovia GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, SN, Distrito Agroindustrial, POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 3481-4677

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais e avós. Avós paternos
(in memoriam) Minhas referências de
caráter e amor pela vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, aos meus pais e irmão por sempre acreditarem na minha capacidade e estarem sempre incentivando a realização de meus sonhos, a toda minha família tios, tias e primos que de certa forma me incentivaram e deram força para seguir o caminho de meus sonhos.

Agradeço em especial a Rosa Carolina pelo apoio e companhia.

Agradeço a todos os amigos que de alguma forma me ajudaram ao longo dessa caminhada, em especial a Débora Xavier, Wellington Egito, Kristian Fonseca e Walison Xavier.

Agradeço em especial aos professores Benival Alves Pereira (in memoriam), Cláudio Umberto, Denner Márcio, Ítalo Fernandes, Luciano Nogueira, Thasia Macedo, Adriano Darosci, Danilo Oliveira, Lucas Vidal e Fabiane Darosci, (Juliano Pirajá e Álvaro Regiane UEG).

Agradeço imensamente o professor orientador Dr. Marcelo Lorenzoni, por todos os ensinamentos passados, que me somaram tanto na vida profissional assim também como pessoal.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano-Campus Posse por me proporcionar formação profissional.

A todos minha gratidão e meu muito obrigado!

“Assim fala Javé: Eu vou derramar água sobre a terra sedenta e riachos sobre o solo ressecado; derramarei meu espírito sobre tua posteridade e minha bênção sobre teus descendentes. Crescerão como erva junto à fonte, como salgueiros à beira d’água” (44,2-4).

RESUMO

A infiltração de água no solo é o processo pelo qual a água percola no sistema solo através do perfil a partir da superfície, desempenhando um papel crucial no planejamento de sistemas de irrigação por aspersão e na gestão de água no solo. Este estudo teve como objetivo medir a Velocidade de Infiltração (VI), a Infiltração acumulada (Ia) e a Velocidade de Infiltração Básica VIB utilizando o método do Infiltrômetro de anel, equipamento composto de dois cilindros (com 50 e 25 cm de diâmetro e 30 cm de altura), enterrados no solo de maneira concêntrica, em três tipos de solos: Arenoso, Argiloso e Muito argiloso localizados nos municípios de Formoso-MG, Formosa-GO e Planaltina-DF, respectivamente. Após a análise, os coeficientes da equação de Kostiakov para estimar a infiltração acumulada foram calculados por meio do Método de Regressão Linear. A equação para estimar a velocidade de infiltração foi obtida derivando a equação da infiltração acumulada. A determinação da VIB com o método do infiltrômetro de anel mostrou-se viável, sendo simples e prática, e pode ser aplicada em outras regiões. A VIB medida nas diferentes texturas foi classificada em: média para solo arenoso (15 mm h^{-1}), os solos Arenosos tendem a ter uma VIB alta devido à presença de macroporos, enquanto solos Argilosos apresentam uma VIB baixa em razão dos microporos reter a água no sistema. O solo de textura argilosa apresentou VIB média (5 mm h^{-1}), e baixa para o solo muito argiloso (3 mm h^{-1}).

Palavras-chave: Anéis concêntricos; infiltração acumulada; manejo de água; velocidade de infiltração básica.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação do tipo de solo em função da VIB.....	16
Tabela 02: Cultivos de cada área que foram realizados os ensaios de verificação da VIB.....	18
Tabela 03: Coordenadas dos pontos avaliados e textura do solo.	19
Tabela 04: Dados da primeira avaliação, primeiro ponto do ensaio. Solo Argilo arenoso. Formoso – MG.	23
Tabela 05: Dados da primeira avaliação, segundo ponto do ensaio. Solo Argilo arenoso. Formoso – MG	23
Tabela 06: Dados da segunda avaliação primeiro ponto do ensaio. Solo Argiloso. Planaltina – DF.	25
Tabela 07: Dados da segunda avaliação segundo ponto do ensaio. Solo Argiloso. Planaltina – DF.	26
Tabela 08: Dados da terceira avaliação primeiro ponto do ensaio. Solo Muito argiloso. Formosa – GO.	27
Tabela 09: Dados da terceira avaliação segundo ponto do ensaio. Solo Muito argiloso. Formosa – GO.	28
Tabela 10: Coeficientes “K” e “a” equação Kostiakov obtidos através de Regressão Linear.	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Esquema do infiltrômetro de anéis.	19
Figura 02: Infiltração acumulada (Ia) e Vel. de infiltração (VI) versus tempo acumulado pelo método infiltrômetro de anel solo Arenoso. Pontos: 01 (A) e 02 (B).	30
Figura 03: Infiltração acumulada (Ia) e Vel. de infiltração (VI) versus tempo acumulado, pelo método infiltrômetro de anel, solo Argiloso. Pontos: 01 (A) e 02 (B).	30
Figura 04: Infiltração acumulada (Ia) e Vel. de infiltração (VI) versus tempo acumulado, pelo método infiltrômetro de anel, solo Muito argiloso. Pontos: 01 (A) e 02 (B).	31
Figura 05: Curvas de vel. de infiltração primeiro ensaio pontos: 01 (A) e 02 (B), obtidas pelo método de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis. Solo Argilo arenoso.....	32
Figura 06: Curvas de vel. de infiltração do segundo ensaio pontos: 01 (A) e 02 (B), obtidas pelo método de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis. Solo argiloso.....	32
Figura 07: Curva de vel. de infiltração do terceiro ensaio pontos: 01 (A) e 02 (B), obtida pelo método de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis. Solo Muito argiloso.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	Água no solo	10
2.2	Movimento de água no solo.....	11
2.3	Infiltração de água no solo	12
2.4	Determinação da infiltração da água no solo	14
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivo geral.....	17
3.2	Objetivo específico	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6	CONCLUSÃO	34
7	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial à vida, necessária em diversas atividades humana, seu ciclo natural contém fatores substanciais para manutenção das condições ideais de utilização dos solos. O movimento da água no solo como escoamento superficial infiltração e evapotranspiração depende de forma direta da classe física do solo ao qual estão inseridos na paisagem (OLIVEIRA, SOARES e HOLANDA, 2018).

A infiltração é um dos elementos que compõem o ciclo hidrológico, está relacionada ao movimento da água no interior do solo, que ocorre após a entrada através da superfície para a camada abaxial em consequência da precipitação ou por irrigação (NERY et al., 2017). O processo de infiltração da água é influenciado pelas propriedades texturais do solo, pois essas características determinam a quantidade e a disposição dos macro e microporos influenciando no movimento da água para o interior do perfil (FURQUIM et al., 2020).

De acordo Ribeiro et al. (2019), solos com granulometria maior possuem macroporos nas subcamadas do perfil, preenchidos por ar e água, o que facilita uma maior velocidade de infiltração da água. Em contraste, solos com granulometria menor, como os de textura argilosa, apresentam uma infiltração reduzida devido ao maior número de microporos, que dificultam a percolação da água (EMBRAPA, 2018).

No entanto, outros fatores relacionados ao relevo também interferem na dinâmica da percolação da água no solo, em áreas planas a água tende a ser absorvida em maior parte enquanto em situação de declividade a infiltração é menor devido ao escoamento superficial (GARCIA et al., 2020). A velocidade em que a água infiltra para o subsolo é denominada Velocidade de Infiltração Básica (VIB), sendo representada por um volume de água percolado no sistema solo por unidade de tempo (BRANDÃO et al., 2006). Segundo SILVA et al., (2017), a VIB tende a reduzir com o passar do tempo, atingindo valor quase constante quando o solo entra em situação de saturação.

Mensurar a velocidade de infiltração da água no solo é necessário para prever a ocorrência de erosão hídrica através da água perdida via escoamento superficial, que não infiltra no sistema e nem fica armazenada de forma temporária ou permanente. Além disso, obter subsídios para preservação e conservação do solo e no dimensionamento eficiente de sistemas de irrigação por aspersão, pois a escolha do emissor depende diretamente dela (NERY et al., 2017).

Existem diferentes métodos para mensuração da velocidade de infiltração de água, destacando entres estes o simulador de chuva, os infiltrômetros de tensão, infiltrômetro de pressão e o infiltrômetro de duplo anel (POTT E DE MARIA, 2003). Segundo Cunha et al. (2011), os infiltrômetros de anéis são ferramentas que apresentam baixo custo e simples manuseio a campo, sendo um dos métodos mais utilizados para mensuração da taxa de velocidade de infiltração de água no solo.

O infiltrômetro de anel consiste em duas peças metálicas, instaladas de forma concêntrica, em que os dois volumes dos cilindros devem ser preenchidos com água, e a verificação da infiltração ocorre no anel de menor diâmetro. O anel externo serve para manter a percolação vertical do anel interno (LIMA, 2015).

A descrição da dinâmica da água no perfil do solo pode ser executada a campo ou laboratório, porém requer investimentos financeiros e tempo, em razão disso utilizam-se modelos matemáticos embasados em parâmetro pré-determinados do solo dessa forma reduz o custo logístico da operação (SOUZA et al., 2008).

A representação matemática do processo de infiltração pode ser descrita por diversas equações, sendo o modelo potencial, ou modelo de Kostiakov, o mais amplamente utilizado. Este modelo leva em conta um fator que depende da umidade inicial do perfil do solo, o tempo decorrido desde o início da infiltração e uma constante específica para cada classe de solo. A velocidade de infiltração é determinada pela taxa de variação da equação de infiltração acumulada em relação ao tempo (BERNARDO et al., 2006).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Água no solo

O solo é um sistema natural complexo que se divide em três fases: sólida, líquida e gasosa. Ele proporciona as condições necessárias para a produção agrícola, oferecendo suporte físico, armazenando água e fornecendo nutrientes essenciais para o ciclo vital das plantas (HARA et al., 2019). Além disso, o solo facilita as trocas gasosas no ambiente explorado pelas raízes das culturas (RABOT et al., 2018). Segundo Bernardo et al. (2019), a fase sólida do solo mantém seu volume praticamente constante, enquanto as fases líquida e gasosa ocupam os espaços porosos na estrutura do solo. Com o aumento da quantidade de solução ou do teor de água, o volume dos gases diminui. O solo atua como um reservatório, e o volume de água armazenado variam conforme a umidade.

Conforme Costa (2010), a capacidade do solo de armazenar água é influenciada por sua textura, estrutura, distribuição e tamanho médio dos poros, fatores que têm relação direta com os processos de escoamento superficial e erosão. Solos com maior capacidade de armazenamento de água apresentam menor escoamento superficial.

Segundo Rijo e Mata Lima (2017), as rochas de diferentes origens compõem a crosta interior da Terra e funcionam como extensos reservatórios subterrâneos, possibilitando a acumulação e circulação das águas infiltradas. Essas rochas não são completamente sólidas, possuindo numerosos vazios ou interstícios de variados tamanhos e formas, que formam reservas de água subterrâneas. Esses espaços podem variar em dimensão e estar conectados, facilitando o movimento da água no solo. Palhares (2017) destaca que a água circula continuamente no sistema solo-planta-atmosfera, participando do ciclo hidrológico.

A agricultura é uma das atividades que mais utiliza água. No entanto, apenas parte da água usada na agricultura fica disponível para reutilização sem tratamento específico antes de ser devolvida à natureza (BERGAMASCHI e BERGONCI, 2017). Em sistemas de irrigação, onde grandes quantidades de água são empregadas, é essencial compreender o manejo adequado tanto do recurso hídrico quanto do solo. A eficiência na aplicação da água e no dimensionamento dos sistemas de irrigação depende de um conhecimento profundo do ciclo hidrológico (GAVA; SILVA; BAILO, 2016).

Gava, Silva e Baio (2016) destacam a importância do manejo eficiente da irrigação, que se baseia em métodos que utilizam dados atmosféricos ou medições da umidade do solo. Compreender a umidade do solo é crucial, pois indica a quantidade real de água disponível

para as plantas no perfil do solo. O desenvolvimento agrícola depende fortemente da disponibilidade de recursos hídricos. Em sistemas agrícolas irrigados, o volume de água utilizado pode superar 50%, representando uma significativa parte do consumo total de água no Brasil (BERGAMASCHI e BERGONCI, 2017).

Apesar de sua estrutura química simples, a água possui propriedades únicas que permitem a realização de diversos processos químicos, físicos e biológicos. Esses processos afetam diretamente quase todos os aspectos do desenvolvimento e comportamento do solo, incluindo o intemperismo dos minerais, a decomposição do substrato orgânico e o crescimento das plantas (MORETTI, 2021).

Portanto, é fundamental entender o movimento da água tanto na superfície quanto nas camadas subsuperficiais do solo. Esse conhecimento é essencial para manter o teor adequado de água no perfil do solo e fornecer informações valiosas para resolver questões relacionadas ao manejo da irrigação, ao estudo dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera, à época de plantio e à medição do consumo hídrico pelas plantas (ARAÚJO; AGUIAR; COSTA, 2001).

2.2 Movimento de água no solo

A quantidade de água armazenada no solo em um dado momento é determinada pelo balanço hídrico, que é a diferença entre a entrada de água (como precipitação ou irrigação) e a saída (como escoamento superficial, drenagem interna devido à gravidade e evapotranspiração) (REICHARDT e TIMM, 2004). O teor de água no solo resulta do movimento interno no perfil do solo, e essa informação é crucial para a agricultura. Ela ajuda na manutenção da produção agrícola e na determinação do déficit hídrico que as plantas podem tolerar sem comprometer seu crescimento e desenvolvimento (TEIXEIRA, MORAES e SIMONETE, 2005). De acordo com Figuerêdo et al. (2008), a quantidade ideal de água disponível para a planta é essencial para o sucesso de uma operação agrícola.

Brito et al. (2009) ressaltam que monitorar o movimento hídrico no solo permite determinar a quantidade de água disponível para as plantas, o que é fundamental para o manejo adequado da produção agrícola. Esse monitoramento pode ser feito através da medição direta da quantidade de água no solo ou pela avaliação do seu potencial matricial, que reflete a energia necessária para a extração da água do perfil. O movimento da água no subsolo, conhecido como percolação, ocorre devido à diferença de carga hidráulica, ou seja, a

água se desloca de áreas com maior energia para áreas com menor potencial hidráulico (RIJO e MATA-LIMA, 2017).

Miranda e Pires (2001) explicam que o potencial matricial refere-se ao movimento da água no solo entre os macroporos e microporos, causado pela capilaridade. Esse fenômeno físico é crucial para a percolação ou ascensão da água no perfil do solo, ao gerar pressão negativa na interface entre a água e as partículas sólidas do solo. Os autores destacam que o potencial matricial pode ser medido usando equipamentos de laboratório, como o tensiômetro, que avalia amostras de solo, sejam deformadas ou indeformadas. Um tensiômetro é constituído principalmente por uma cápsula porosa, um corpo de suporte para essa cápsula e um transdutor ou dispositivo similar, responsável por converter as variações de tensão do solo em leituras de pressão.

Além do potencial matricial, o movimento da água no solo é influenciado pelo potencial osmótico, que relaciona o conteúdo hídrico do solo à presença de solutos, como sais inorgânicos ou compostos orgânicos. A água livre no solo move-se através do potencial gravitacional em direção ao centro da terra (LIER, 2020). Segundo Reichardt (1996), o movimento da água em relação ao potencial de pressão é equivalente à pressão hidrostática, com água pura a pressão atmosférica servindo como referência. O potencial de pressão é positivo quando o sistema está sob pressão maior que a atmosférica e negativo quando está sob pressão abaixo da atmosférica ou em tensão.

O sucesso de qualquer sistema produtivo está intimamente relacionado ao tipo de manejo empregado nos sistemas de cultivo. Em empreendimentos de agricultura irrigada, as práticas de manejo comumente adotadas são baseadas em dois aspectos principais: o clima e o solo. Essas práticas são fundamentadas na observação do estado da água no solo, especificamente no potencial de energia da água, que assegura o acúmulo adequado de água no perfil do solo e, conseqüentemente, promove crescimento e desenvolvimento saudável das culturas (CONTRERAS et al., 2017).

2.3 Infiltração de água no solo

A infiltração da água, resultante de chuvas ou irrigação, é um parâmetro fundamental para avaliar o escoamento superficial e suas conseqüências ambientais, como a erosão hídrica provocada pela perda de água que não é infiltrada ou armazenada, seja de forma temporária ou permanente (FLASH, ALVES e MEURER, 2020). Segundo Nascimento et al. (2020), no ciclo natural das águas, a infiltração desempenha um papel essencial, pois é o principal

mecanismo para a reposição da água no solo e para a manutenção das reservas hídricas subterrâneas. Uma taxa adequada de infiltração reduz o escoamento superficial e minimiza as alterações nas características naturais do solo, o que é crucial para diversos usos.

A infiltração da água no solo é influenciada pela configuração do relevo, pela textura do solo e pelas práticas de preparo e manejo adotadas. O relevo desempenha um papel fundamental na movimentação da água: em terrenos inclinados, a água tende a escoar pela superfície, enquanto em áreas planas, o escoamento é reduzido e a água tem uma maior propensão a infiltrar nas camadas internas do solo (GARCIA et al., 2020). Além disso, práticas de preparo e manejo que preservam a estrutura física do solo, junto com a presença de vegetação de cobertura, oferecem benefícios significativos para a infiltração, a atividade do sistema radicular da vegetação cria canais subterrâneos, o que aumenta a condutividade hidráulica do solo (ZALUSKI e ANTONELLI, 2014).

De acordo com Furquim et al. (2020), a estrutura e a textura do solo são propriedades que afetam a movimentação da água nas camadas subsuperficiais, uma vez que influenciam a disposição e a quantidade de macroporos e microporos, reduzindo o transporte de água entre as camadas. Solos com alto teor de argila ou que estão compactados prejudicam a infiltração de água, afetando a dinâmica hídrica do solo (SOUZA e RODRIGUES, 2014). Por outro lado, solos com estrutura física arenosa têm uma alta taxa de macroporos, permitindo uma melhor circulação da água e facilitando a infiltração (REICHARDT e TIMM, 2012).

A compactação do solo é o processo de adensamento resultante da aplicação de energia mecânica sobre seu perfil, reduzindo os espaços porosos. Esse fenômeno ocorre devido ao rearranjo das partículas e à diminuição da porosidade, levando ao aumento da densidade das camadas do solo, as forças responsáveis pela compactação podem ser externas, como o tráfego de veículos, animais e pessoas, além do crescimento de raízes, ou internas, relacionadas a processos naturais como umedecimento e secagem, além da expansão e contração do solo (REICHERT et al., 2007).

A velocidade de infiltração de água no solo é influenciada pela textura e estrutura do solo, que dependem diretamente da proporção de argila, silte e areia em sua composição. Esses materiais são considerados os componentes fisicamente mais estáveis do solo (FIORIN, 2008).

Solos com maior quantidade de areia tendem a apresentar maior velocidade de infiltração devido à maior presença de macroporos, além de serem menos suscetíveis à compactação em comparação aos solos argilosos. No entanto, em condições de escoamento

superficial, os solos arenosos podem sofrer maiores danos devido a essas mesmas características, em comparação aos solos com maior teor de argila (FIORIN, 2008).

De acordo com Fiorin (2008), solos com textura argilosa ou muito argilosa possuem menor capacidade de infiltração devido à redução da porosidade, o que limita o movimento de água no perfil do solo. Esses solos também são mais suscetíveis à compactação, mas, em contrapartida, apresentam uma estrutura mais estável e são mais resistentes à degradação em comparação aos solos arenosos.

A velocidade da infiltração da água no solo diminui com o tempo de exposição à lâmina de água, começando alta e vai, gradualmente, alcançando um valor quase constante, conhecido como Velocidade de Infiltração Básica (VIB), pois sua variação é mínima após um período inicial (BERNARDO et al., 2019).

A infiltração de água é fundamental para o planejamento de projetos de irrigação, manejo da conservação do solo e drenagem, além de fornecer informações precisas sobre a aeração e a disponibilidade de água no solo (GONDIM et al., 2010). Por outro lado, Nascimento et al. (2020) afirmam que a capacidade de infiltração da água é determinada pela taxa máxima de absorção do solo, que depende do gradiente energético da água e da condutividade hidráulica, ambos influenciados pela precipitação ou pela irrigação. A retenção de água no solo pode ser melhorada por práticas de manejo que minimizam a perda para a atmosfera, enquanto a cobertura vegetal contribui para a redução da temperatura do solo e da evaporação (BESCANSA et al., 2006).

Para Pinheiro, Teixeira e Kaufmann (2009), entender e medir o limite do conteúdo de água do solo, bem como os processos de infiltração, evaporação na superfície e drenagem interna do perfil, é essencial. Esse conhecimento contribui para a seleção adequada de aspersores para irrigação, manejo da drenagem do solo e prevenção da lixiviação de substâncias nocivas, que podem impactar negativamente a biologia do solo e a qualidade da água disponível no perfil. Zhipeng et al. (2018) ressaltam que o estudo da infiltração é fundamental para medir o conteúdo hídrico necessário ao desenvolvimento das plantas.

2.4 Determinação da infiltração da água no solo

A determinação da infiltração da água no solo pode ser realizada tanto em laboratório quanto no campo, mas é um processo oneroso e que demanda bastante tempo. Para compreender como a água se percola no perfil do solo, o uso de modelos matemáticos pode

facilitar a análise do efeito do ambiente na velocidade da infiltração. A infiltração em solos argilosos, por exemplo, exige mais tempo do que em solos com características físicas arenosas (GOMES FILHO et al., 2018). Segundo Habili (2015), os modelos matemáticos para avaliar a água no solo podem ser classificados em duas categorias: determinísticos e empíricos.

Modelos empíricos, como os de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Holtan, são baseados em condições específicas de calibração e fornecem informações relativamente simples. Em contraste, modelos determinísticos são fundamentados em teorias físicas de fluxo e consideram a porosidade do solo, sendo aplicáveis a diferentes características físicas de solo e manejos, comumente descritos pelas equações de Darcy e Richards (LIMA, 2010).

Brandão, Cecílio e Pruski (2006) afirmam que a velocidade de percolação da água no solo pode ser medida por diversos métodos, como o simulador de chuva e o infiltrômetro de anéis, bem como por infiltrômetros de tensão, permeâmetro e dispositivos de pressão (POTT e DE MARIA, 2003). Vanani et al. (2017) ressaltam que a infiltração é um parâmetro difícil de medir devido às variações espaciais e temporais, o que pode impactar a definição de outras características do sistema de irrigação, como o comprimento dos sulcos e a fase de avanço. Assim, a escolha do método de medição adequado é fundamental para assegurar a eficiência no dimensionamento dos sistemas de irrigação (BAUTISTA et al., 2016).

Os sistemas agrícolas modificam o ambiente natural, especialmente o solo, para melhorar o cultivo, mas essas mudanças podem prejudicar suas propriedades físicas, biológicas e químicas, afetando a disponibilidade de nutrientes e a infiltração de água (FURQUIM et al., 2020). Monitorar a umidade do solo é essencial para um manejo eficiente da irrigação, permitindo aplicar a quantidade ideal de água. Há diversas ferramentas para medir infiltração e umidade, variando em praticidade e precisão (BRAGA et al., 2018).

Entre os métodos de verificação da infiltração, destacam-se o infiltrômetro de aspersão e os simuladores de chuva, que simulam a aplicação de água similar às precipitações naturais (PRUSKI et al., 1997). Outro método notável é o infiltrômetro de anéis, que é simples, econômico e eficiente para avaliar a velocidade de infiltração, com fácil manuseio em campo (BERNARDO et al., 2019). No entanto, este método não considera o impacto das gotas de chuva no solo, como o selamento superficial e outros efeitos relacionados. O infiltrômetro de anéis é amplamente utilizado no dimensionamento de sistemas de cultivo irrigado, tanto por sulco quanto por aspersão, para determinar a Velocidade de Infiltração Básica (VIB), um parâmetro fundamental para a escolha adequada dos emissores de água (CUNHA et al., 2011).

De acordo com Mantovani (2007), a escolha do método mais adequado para medir a infiltração deve ser baseada no sistema de irrigação a ser dimensionado. A partir da verificação da velocidade de infiltração e com os dados fornecidos na Tabela 01, é possível classificar o solo em relação à Velocidade de Infiltração Básica. Essa classificação varia desde solos com Velocidade de Infiltração Básica muito alta até aqueles com baixa velocidade de infiltração (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

Tabela 01: Classificação do tipo de solo em função da VIB.

Tipos de Solos	VIB (mm/h)
Solos de VIB muito alta	> 30
Solos de VIB alta	15 – 30
Solos de VIB média	05 – 15
Solos de VIB baixa	< 05

Fonte: BERNARDO et al., 2019.

De acordo com Silva et al. (2017), modelos matemáticos são ferramentas valiosas para compreender como as características do solo afetam a velocidade da percolação da água. Furquim et al. (2020) compararam a velocidade de infiltração medida com o infiltrômetro de anéis e os valores estimados pelos modelos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis. Eles observaram que, embora o modelo Kostiakov forneça estimativas próximas às medidas com o infiltrômetro, tende a subestimar a taxa de percolação inicial, enquanto o modelo Kostiakov-Lewis tende a superestimá-la.

Santos et al. (2014) encontraram resultados semelhantes, confirmando que o modelo Kostiakov subestima a velocidade de infiltração, enquanto o modelo Kostiakov-Lewis a superestima. A determinação precisa da VIB é essencial para o planejamento eficaz da conservação dos recursos hídricos, drenagem e projetos de irrigação, além de fornecer uma estimativa realista da retenção de água e aeração do solo (GONDIM et al., 2010).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) utilizando o método do infiltrômetro de anel.

3.2 Objetivo específico

Elaborar as curvas de velocidade de infiltração utilizando os modelos de Kostiakov e Kostiakov – Lewis, aplicando em distintas texturas de solos: Argilo arenosa, Argilosa e Muito argilosa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nos municípios de Formoso-MG, Formosa-GO e na Região Administrativa de Planaltina (RA-PLAN) no Distrito Federal. O município de Formoso está situado na Mesorregião Noroeste de Minas Gerais, onde o solo predominante é o Neossolo Quartzarênico, caracterizado por textura arenosa e cor amarelada uniforme no perfil.

O município de Formosa, por sua vez, localiza-se na região Sudeste de Goiás, com predominância de Latossolo Vermelho e Amarelo. A RA-PLAN, situada a 38,5 quilômetros do Plano Piloto no Distrito Federal, também apresenta os tipos de solo Latossolo Vermelho, Escuro e Amarelo.

De acordo com a classificação climática de Köppen, todas essas regiões possuem um clima do tipo Aw, ou seja, um clima tropical de savana com chuvas concentradas entre outubro e abril e um período seco bem definido, que ocorre principalmente de junho a setembro (EMBRAPA, 2021).

Os ensaios para determinar a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) foram conduzidos em três locais distintos, sendo que cada um destes apresentam uma característica de solo predominante. A seleção dos pontos foi feita aleatoriamente, com duas avaliações em cada localidade. Todos os ensaios foram realizados em áreas destinadas ao uso agropecuário (Tabela 01). Para evitar que a vegetação interferisse na dinâmica da água no solo, os pontos de medição foram previamente limpos.

Tabela 02: Cultivos de cada área que foram realizados os ensaios de verificação da VIB.

Pontos	Região	Cultivo
01	Formoso-MG	Laranja (<i>Citrus sinensis</i>)
02	Planaltina-DF	Soja (<i>Glycine max.</i>)
03	Formosa-GO	Capim (<i>Brachiaria decumbens</i>)

O primeiro estudo foi conduzido em áreas destinadas ao cultivo de laranja. O segundo ensaio ocorreu em locais destinados à produção de soja, onde os pontos de avaliação estavam livres das culturas no campo. A terceira avaliação foi realizada em áreas destinadas à criação bovina, com presença de planta forrageira.

As coordenadas geográficas de cada ponto de medição da VIB foram registradas utilizando um receptor GPS. A classificação dos solos foi feita de acordo com o Sistema

Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), considerando os teores de areia, silte e argila (Tabela 03). As características físicas do solo de cada área para determinação da textura foram obtidas a partir das análises de solo fornecidas pelos proprietários de cada propriedade, as quais foram consultadas para realização do estudo.

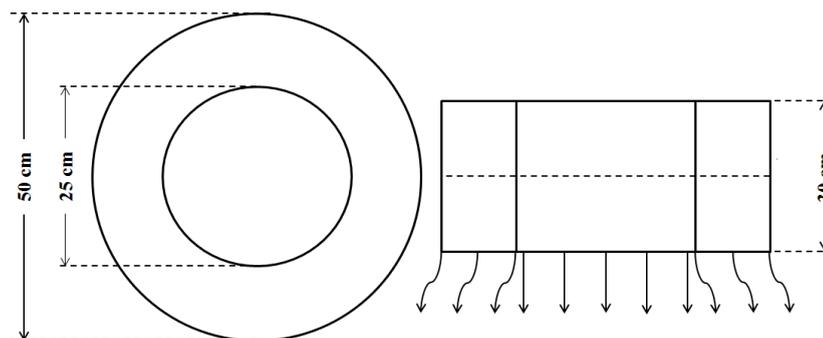
Tabela 03: Coordenadas dos pontos avaliados e textura do solo.

Pontos	Latitudes	Longitudes	Teores (%)			Textura*	Data de execução
			Argila	Silte	Areia		
1	14° 49' 28" S	46° 29' 39" W	41%	11%	48%	Argilo arenoso	jul/23
2	14° 49' 23" S	46° 30' 07" W					
1	15° 36' 26" S	47° 21' 08" W	48%	33%	19%	Argiloso	jul/23
2	15° 35' 52" S	47° 20' 50" W					
1	15° 20' 47" S	47° 00' 54" W	72%	17%	11%	Muito argiloso	jul/23
2	15° 20' 31" S	47° 01' 03" W					

* Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et. al., 2018).

A determinação da velocidade de infiltração de água nas diferentes texturas de solo foi realizada utilizando o método do infiltrômetro de anel (Figura 01). Este equipamento consiste em dois anéis: um anel externo com diâmetro de 50 cm e um anel interno com diâmetro de 25 cm, ambos com altura de 30 cm. Os anéis foram enterrados 15 cm no solo, de forma concêntrica, conforme a metodologia descrita por Bernardo et al. (2019).

Figura 01: Esquema do infiltrômetro de anéis.



Fonte: Autor, 2024.

Para a instalação do infiltrômetro, um pedaço de madeira foi posicionado sobre os anéis, e golpes com uma marreta foram aplicados no centro da madeira para introduzir os anéis no solo de maneira uniforme, evitando a formação de vincos que poderiam afetar a infiltração da água. O anel menor foi colocado dentro do anel maior, alinhando seus centros para garantir uma instalação concêntrica. Além dos anéis, foi utilizada uma régua graduada,

um cronômetro, um pedaço de plástico (lona) e recipientes com água.

Após a instalação, o anel interno foi revestido com o plástico para evitar infiltração de água no solo antes do início das medições. A água foi adicionada simultaneamente em ambos os anéis a fim de preenchê-los. O anel externo tem a função de evitar a infiltração lateral da água do anel interno, que deve infiltrar verticalmente. O nível de água no anel externo foi mantido semelhante ao do anel interno durante a avaliação.

Após a primeira verificação do nível da água no anel interno, o plástico foi removido e a contagem do tempo começou com o cronômetro para medir a velocidade de infiltração. A água foi repostada quando atingiu cerca de 5 cm de altura, retornando sempre ao nível inicial. As leituras continuaram até que a taxa de infiltração se estabilizou, sendo considerada constante quando os valores foram repetidos três vezes no mesmo período de tempo.

Os valores verificados a campo foram anotados em um quadro apresentando o horário em que iniciou a leitura, o intervalo de tempo (em minutos) entre as leituras, a lâmina infiltrada (cm) e a diferença entre as lâminas infiltradas (cm). Somente após a coleta dos dados a campo, é possível determinar a infiltração acumulada (mm), a partir da soma das diferenças entre as leituras; a Velocidade de Infiltração (mm h^{-1}) foi obtida pela variação entre duas leituras consecutivas, de acordo com o intervalo de tempo entre elas; e a Velocidade de Infiltração Básica VIB (mm h^{-1}), quando o valor da velocidade de infiltração se repetiu por pelo menos três vezes.

Posteriormente a determinação da VIB, foi classificada de acordo com a classificação descrita por Bernardo et al., (2019). A equação de infiltração acumulada foi ajustada utilizando-se da expressão potencial ou de Kostiakov:

$$I = k \cdot t^a \quad (\text{Equação 01})$$

Em que:

I - Infiltração acumulada (cm);

K - Constante dependente do solo (adimensional);

t - Tempo de infiltração min;

a - Constante dependente do solo (variando de 0 a 1).

A velocidade de infiltração (VI) é descrita a partir da taxa de variação da equação 01 em relação ao tempo adicionando o valor de Velocidade de Infiltração Básica

$$VI = a \cdot t^{a-1} \cdot K \cdot 60 + VIB \quad (\text{Equação 02})$$

Em que:

VI – Velocidade de infiltração (mm h⁻¹).

Para determinação dos coeficientes e expoentes das equações de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração foi realizado o Método de Regressão Linear. Consiste na aplicação de operação logarítmica nos dois lados da equação.

$$\text{Log I} = \text{log k} \cdot a \text{ log t} \quad (\text{Equação 03})$$

A equação anterior nada mais é do que a equação de uma linha reta do tipo:

$$Y = A + B \cdot X \quad (\text{Equação 04})$$

Em que: Y = log I; A = log k; B = a X = log t.

Na regressão linear, sabe-se que:

$$B = \frac{\Sigma xy - \frac{\Sigma x \cdot \Sigma y}{N}}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{N}} \quad (\text{Equação 05})$$

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X} \quad (\text{Equação 06})$$

Ao aplicar transformação logarítmica dos dados obtidos de tempo acumulado e infiltração acumulada, definem-se, as equações de determinação dos parâmetros B e A, os valores de “a” e “k”.

Para a construção dos gráficos de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração por tempo acumulado será utilizado os dados observados, e a curva tendência do gráfico de infiltração.

Após ser realizada a determinação das equações, as curvas de velocidade de infiltração por tempo acumulado foram obtidas pelo método de Kostiakov (não considera a Velocidade de Infiltração Básica) e posteriormente método de Kostiakov-Lewis (Considera-se a Velocidade de Infiltração Básica).

Os cálculos foram realizados através de planilha eletrônica Excel. Este trabalho realizou uma avaliação determinística da infiltração de água no solo, com leituras diretas sem o uso de tratamentos estatísticos. A análise dos dados foi feita por meio do Método de Regressão Linear para ajustar as equações que descrevem o comportamento da infiltração ao longo do tempo para cada tipo de solo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) utilizando o método do infiltrômetro de anel em diferentes texturas de solo estão organizados em tabelas. As Tabelas 04 e 05 apresentam valores referentes aos dois primeiros pontos onde os ensaios para verificação da VIB foram realizados em solo de textura Argilo arenosa no município de Formoso-GO.

Tabela 04: Dados da primeira avaliação, primeiro ponto do ensaio. Solo Argilo arenoso. Formoso – MG.

Tempo		Régua		Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)
Hora	Intervalo (min)	Leitura (mm)	Diferença (mm)		
09:00	0	15	0	0	0
09:05	5	12	3	3	36
09:10	5	8	4	7	33,2
09:15	5	4,7/15	3,3	10,3	28,2
09:20	10	13	2	12,3	24
09:30	10	10	3	15,3	21,3
09:50	20	8	2	17,3	20,2
10:10	20	5,0/15	3	20,3	19,2
10:30	20	10	5	25,3	18,6
11:00	30	5,0/15	5	30,3	18,2
11:30	30	6,0/15	14	44,3	17,9
12:00	30	7,0/15	8	52,3	16,3
12:40	40	4,9/15	10,1	62,4	15,1
13:20	40	4,9/15	10,1	72,5	15,1
14:00	40	4,9	10,1	82,6	15,1

Tabela 05: Dados da primeira avaliação, segundo ponto do ensaio. Solo Argilo arenoso. Formoso – MG

Tempo		Régua		Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)
Hora	Intervalo (min)	Leitura (mm)	Diferença (mm)		
10:00	0	15	0	0	0
10:05	5	9,1	5,9	5,9	70,8
10:10	5	4,5/15	4,6	10,5	55,2
10:15	5	10,8	4,2	14,7	50,4
10:20	5	6,7/15	4,1	18,8	49,2
10:30	10	10,2	4,8	23,6	28,8
10:40	10	4,9/15	5,3	28,9	31,8
11:00	10	9,5	5,5	34,4	33
11:20	20	3,2/15	6,3	40,7	18,9
11:40	20	9,3	5,7	46,4	17,1
12:10	20	1,2/15	8,1	54,5	24,3
12:40	30	7,4/15	7,6	62,1	15,2
13:10	30	7,4/15	7,6	69,7	15,2
13:40	30	7,4	7,6	77,3	15,2

A velocidade de infiltração inicial observada para os dois primeiros pontos avaliados em solo de textura Argilo arenosa (EMBRAPA, 2018), apresentou uma média de $53,4 \text{ mm h}^{-1}$. No entanto, esse valor inicial vai sendo reduzido com o passar do tempo até atingir a VIB de 15 mm h^{-1} nos dois ensaios realizados. Segundo Mantovani et al. (2009), esse fenômeno ocorre quando a água da superfície se infiltra no solo, começando pelos macroporos e, à medida que esses se saturam, passando a preencher os microporos, até que o solo fique completamente saturado, momento em que o movimento da água no perfil passa a apresentar uma velocidade quase constante. A média encontrada para a infiltração acumulada (Ia) foi de 80 mm h^{-1} .

De acordo com Bernardo et al. (2019), solos com Velocidade de Infiltração Básica entre 5 e 15 mm h^{-1} têm uma infiltração média, e os valores das duas primeiras avaliações se enquadram nessa faixa. Solos arenosos podem ter VIB alta (15 a 30 mm h^{-1}) ou muito alta (acima de 30 mm h^{-1}), conforme Bernardo et al. (2019). Brandão (2006) atribui a maior velocidade de infiltração em solos arenosos ao maior número de macroporos, que melhora a condutividade hidráulica e permite que a água infiltre mais rapidamente na subsuperfície do solo em comparação com solos argilosos.

Em trabalho desenvolvido por Fagundes et. al., (2012), o resultado encontrado em solo de textura Arenosa, é de VIB de 40 mm h^{-1} , que segundo a classificação de Bernardo et al., (2019) este valor configura uma velocidade de infiltração muito alta devido à facilidade que a água tem em percolar através dos macroporos presente nesta tipologia de solo. Enquanto Ramos et al. (2020), ao estudarem o impacto de diferentes usos do solo nos atributos físico-hídricos de um Neossolo Quartzarênico também encontraram VIB muito alta, 38 mm h^{-1} .

A média velocidade de infiltração registrada nos primeiros pontos de investigação tem relação com as características de uso do solo avaliado, os ensaios foram realizados em uma área de cultivo de frutífera, com presença de vegetação de cobertura e tráfego de máquinas nas entrelinhas do cultivo.

Para Silva et. al., (2014) a velocidade de infiltração é influenciada por cobertura vegetal, tipologia do solo, presença de matéria orgânica, condição dos agregados do solo e porosidade. Segundo Braida (2011) a matéria orgânica desempenha um papel crucial na formação e estabilização dos agregados do solo, afetando aspectos como a porosidade, a infiltração, a retenção de água e a resistência à compactação. Nunes et. al., (2012), afirma que em área de cobertura vegetal a velocidade de infiltração apresenta taxas elevadas, este fato

tem relação com sistema radicular das plantas que ao crescerem constroem canais subterrâneos permitindo que um maior volume de água desloque para o interior do solo.

Oliveira et al. (2017), acrescentam que a combinação de culturas antecessoras e a ausência de revolvimento do solo pode resultar em melhorias consideráveis nos atributos químicos e físicos do solo. Embora a matéria orgânica não seja uma característica física direta do solo, sua presença está fortemente relacionada à cobertura do solo e desempenha um papel crucial na estruturação do solo. Dessa forma, a matéria orgânica exerce uma influência significativa na taxa de infiltração da água.

Os resultados dos dois primeiros ensaios em solos arenosos não corroboram com as conclusões de Nunes et al. (2012). A média da VIB registrada nos primeiros pontos avaliados é atribuída à compactação das camadas superficiais devido ao tráfego de máquinas nas entrelinhas do pomar. Jabro et al. (2016), destacam que a compactação das camadas superficiais é comum em solos arenosos com tráfego constante de maquinários pesados, enquanto Fonseca e Duarte (2006), apontam que essa compactação aumenta a densidade do solo, reduz a quantidade de macroporos e, conseqüentemente, diminui a velocidade de infiltração e a capacidade de retenção de água no solo.

As Tabelas 06 e 07 apresentam os dados obtidos através de um segundo ensaio realizado na Região Administrativa de Planaltina-DF, em dois pontos com área textura de solo Argilosa.

Tabela 06: Dados da segunda avaliação primeiro ponto do ensaio. Solo Argiloso. Planaltina – DF.

Tempo Hora	Intervalo (min)	Régua		Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)
		Leitura (mm)	Diferença (mm)		
09:00	0	15	0	0	0
09:05	5	11,3	3,7	2	24
09:10	5	7,8	3,5	5,5	42
09:15	5	4,6/15	3,2	8,7	38,4
09:20	5	12	3	11,7	36
09:30	10	11,8	3,2	14,9	19,2
09:40	10	8,9	2,9	17,8	17,4
09:50	10	6,5	2,4	20,2	14,4
10:00	10	4,5/15	2	22,2	12
10:20	20	12,5	2,5	24,7	7,5
10:40	20	10,2	2,3	27	6,9
11:00	20	8,0/15	2,2	29,2	6,6
11:30	30	12,5/15	2,5	31,7	5
12:00	30	12,5/15	2,5	34,2	5
12:30	30	12,5	2,5	36,7	5

Tabela 07: Dados da segunda avaliação segundo ponto do ensaio. Solo Argiloso. Planaltina – DF.

Tempo Hora	Régua		Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)
	Intervalo (min)	Leitura (mm)		
07:00	0	15	0	0
07:05	5	13	2	24
07:10	5	11,7	1,3	15,6
07:15	5	11,0/15	0,7	8,4
07:25	10	13,1	1,9	11,4
07:35	10	11,5	1,6	9,6
07:45	10	10,7	0,8	4,8
07:55	10	9,4/15	1,3	7,8
08:25	30	13,8	1,2	2,4
08:55	30	13,3	0,5	1
09:25	30	12,9/15	0,4	0,8
09:55	30	12,5/15	2,5	5
10:25	30	12,5/15	2,5	5
10:55	30	12,5	2,5	5

Os resultados do segundo ensaio realizado em solo de textura Argilosa (EMBRAPA, 2018) revelou uma velocidade média inicial de 24 mm h^{-1} , enquanto para Infiltração acumulada foi de 28 mm h^{-1} . A Velocidade de infiltração Básica para os dois pontos avaliados foram de 5 mm h^{-1} , sendo classificado segundo Bernardo et al., (2019) solo argiloso de VIB média.

Segundo Bocuti et al., (2020) solos que contêm em sua composição teores de argila e silte superiores ao encontrados em solos arenosos absorvem maior quantidade de água garantindo que o recurso fique retido ao longo do perfil, reduzindo a velocidade de infiltração quando comparado a textura de solo que contêm índices maiores de areia em sua composição. Solos de textura argilosa possuem quantidade de microporos superior à encontrada em solos arenosos (GIACOMO et al., 2015), influenciando diretamente no médio valor da VIB estimado para o segundo ponto avaliado.

O manejo de solos argilosos é complexo devido à sua baixa capacidade de infiltração de água e à compactação pronunciada, características próprias da sua textura. Com a elevada concentração de partículas finas, esses solos têm uma capacidade limitada de absorver água, o que pode resultar em acúmulo superficial e maiores chances de erosão.

Fernandes et al. (2022), avaliando o efeito do tráfego de máquinas agrícolas na infiltração de água em solo de textura argilosa em Botucatu (SP) descrevem valores de VIB de $1,1$ e $1,8 \text{ mm h}^{-1}$, classificadas como baixa segundo Bernardo et al. (2019). Para Valadão et al.

(2015), a compactação é um problema comum, uma vez que as partículas argilosas tendem a se unir fortemente, formando uma estrutura densa que restringe a penetração das raízes e a circulação de ar. Esses desafios tornam o manejo agrícola mais complexo, exigindo a adoção de práticas específicas, como a adição de matéria orgânica e técnicas de manejo adequadas, para melhorar a estrutura do solo e facilitar a infiltração e ventilação.

De acordo com o resultado do segundo ensaio realizado em solos argilosos com uso agrícola e tráfego de máquinas, o médio valor da VIB mantém dentro dos parâmetros normais quando são adotadas práticas de manejo apropriadas, como o uso de plantas de cobertura. Essa técnica contribui para melhorar a estrutura do solo, reduzindo a compactação e promovendo uma maior capacidade de infiltração, mesmo em solos com características naturalmente desafiadoras. Assim, o manejo adequado pode mitigar os problemas típicos associados aos solos argilosos e garantir uma infiltração mais eficiente permitindo a disponibilidade de água para as culturas.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados do terceiro ensaio realizado em área de pastagem com solo muito argiloso (EMBRAPA, 2018), no município de Formosa-GO. Observou-se uma velocidade de infiltração estabilizada em 3 mm h⁻¹, que segundo classificação proposta por Bernardo et al. (2019) valores de VIB inferiores a 5 mm h⁻¹ são solos de VIB baixa.

Tabela 08: Dados da terceira avaliação primeiro ponto do ensaio. Solo Muito argiloso. Formosa – GO.

Tempo Hora	Régua			Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)
	Intervalo (min)	Leitura (mm)	Diferença (mm)		
08:00	0	15	0	0	0
08:05	5	11,8	3,2	3,2	38,4
08:10	5	8,9	2,9	6,1	34,8
08:15	5	6.5/15	2,4	8,5	28,8
08:25	10	12,2	2,8	11,3	16,8
08:35	10	9,6	2,6	13,9	15,6
08:45	10	7,1	2,5	16,4	15
09:05	20	4,7/15	2,4	18,8	7,2
09:25	20	12,5	2,5	21,3	7,5
09:45	20	10,2	2,3	23,6	6,9
10:05	20	8,1	2,1	25,7	6,3
10:35	40	6,1/15	2	27,7	3
11:05	40	13,1/15	2	29,7	3
11:35	40	13/15	2	31,7	3
12:15	40	13	2	33,7	3

Tabela 09: Dados da terceira avaliação segundo ponto do ensaio. Solo Muito argiloso. Formosa – GO.

Tempo Hora	Intervalo (min)	Régua		Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)
		Leitura (mm)	Diferença (mm)		
09:00	0	15	0	0	0
09:05	5	13,5	1,5	1,5	18
09:10	5	12,1	1,4	2,9	16,8
09:20	10	11,2/15	0,9	3,8	5,4
09:30	10	14,5	0,5	4,3	3
09:50	20	13,8	0,7	5	2,1
10:10	20	13	0,8	5,8	2,4
10:30	20	12,7/15	0,3	6,1	0,9
11:00	30	13,8/15	1,2	7,3	2,4
11:30	30	13,7/15	1,3	8,6	2,6
12:00	30	13,5/15	1,5	10,1	3
12:30	30	13,5/15	1,5	11,6	3
13:00	30	13,5	1,5	13,1	3

A velocidade média de infiltração inicial para o terceiro ensaio foi de 28 mm h^{-1} . Enquanto a média para a Infiltração acumulada foi de 23 mm h^{-1} , e a Velocidade de Infiltração Básica observada nos dois pontos avaliados nesta tipologia de solo foi de 3 mm h^{-1} .

Borges et al. (2019), afirmam que solos com alto teor de argila, quando submetidos à criação bovina intensiva, sofrem alterações significativas em sua estrutura devido ao impacto do pastejo e ao pisoteio dos animais. Esse processo de compactação resulta em uma modificação na textura do solo, que por sua vez afeta a dinâmica da água no perfil do solo. Benevenuto et al. (2020), relatam que a compactação reduz a porosidade e a capacidade de infiltração, dificultando a penetração da água e aumentando a propensão ao escoamento superficial. Além disso, a mudança na estrutura do solo pode levar a uma diminuição na eficiência da retenção de água, afetando adversamente a disponibilidade de umidade para as plantas e a saúde geral do ecossistema.

Em estudo conduzido por Daniel et al. (2022), que caracterizou um Latossolo Vermelho distroférico quanto às suas propriedades físico-hídricas em uma área agrícola em Tangará da Serra, Mato Grosso, foi registrada uma Velocidade de Infiltração Básica (VIB) de 26 mm h^{-1} , considerada alta segundo a classificação de Bernardo et al (2019) Em áreas agrícolas, o manejo do solo, que inclui práticas como cultivo e aração, contribui para reduzir a

compactação e manter a estrutura do solo mais solta. Essa menor compactação e a presença de mais macroporos resultam em uma VIB mais alta.

Por outro lado, em áreas destinadas à pecuária, o solo frequentemente sofre compactação devido ao tráfego constante de animais e maquinários. Essa compactação reduz a porosidade e a quantidade de macroporos, resultando em uma VIB muito baixa. Isso explica a VIB de 3 mm h^{-1} encontrada na área de pastagem avaliada.

O resultado obtido na verificação da velocidade de infiltração para solos com textura muito argilosa, revelou que a VIB se manteve baixa, dentro dos parâmetros observados por Bernardo et al. (2019). A pecuária pode levar ao pisoteio intenso promover a compactação superficial, causando interferência na dinâmica de infiltração da água no perfil. A compactação das camadas superficiais resulta em uma infiltração muito baixa. Portanto, a diferença na VIB para a mesma tipologia de solo esta relacionada aos tipos de uso do solo sendo atribuída principalmente às diferenças na compactação do solo e nas práticas de manejo, que afetam a porosidade e a estrutura do solo, influenciando diretamente a velocidade com que a água infiltra.

Segundo Bernardo et al. (2006), a infiltração acumulada de água no solo (Ia) pode ser representada por diferentes tipos de equações, como a Equação Potencial, ou de Kostiakov, sendo a mais amplamente utilizada. Essa equação leva em conta um parâmetro que depende da umidade inicial do solo, o tempo disponível para a infiltração e uma constante específica para o solo em questão. A velocidade de infiltração é calculada a partir da derivada da equação de infiltração acumulada em relação ao tempo.

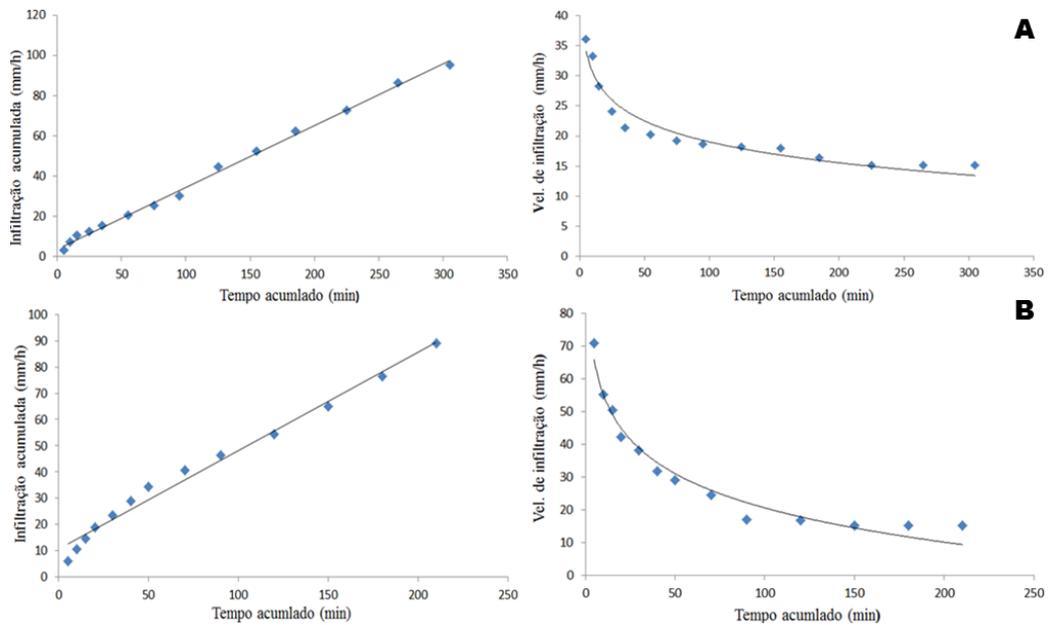
Os coeficientes "k" e "a" da equação de Kostiakov, para cada textura de solo que estão listados na Tabela 10, e foram determinados por meio do Método de Regressão Linear.

Tabela 10: Coeficientes “K” e “a” equação Kostiakov obtidos através de Regressão Linear.

Pontos	Textura	K	a	VIB
1	Argilo arenoso	16,94231	0,783152	15,1
2		21,68234	0,87623	15,2
1	Argiloso	10,65029	0,159730	5
2		5,213494	0,152348	5
1	Muito argiloso	8,991498	0,145989	3
2		3,023371	0,158102	3

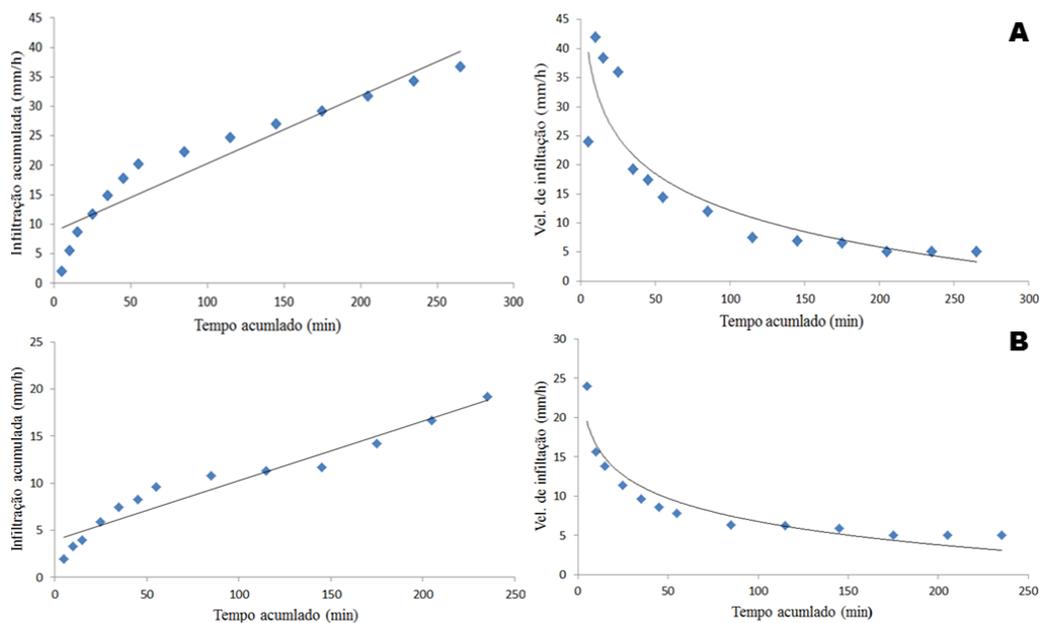
A Figura 02 apresenta os gráficos de infiltração acumulada e velocidade de infiltração versus o tempo acumulado para o solo situado no ponto 01 e 02 do primeiro ensaio solo de textura arenosa.

Figura 02: Infiltração acumulada (Ia) e Vel. de infiltração (VI) versus tempo acumulado pelo método infiltrômetro de anel solo Argilo arenoso. Pontos: 01 (A) e 02 (B).



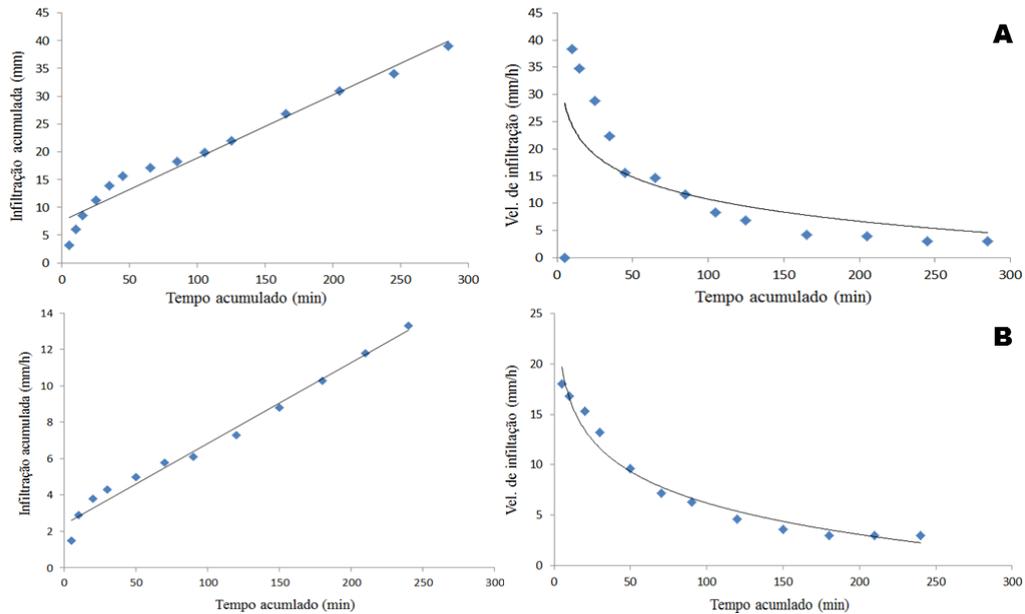
A Figura 03 apresentam os gráficos de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração versus o tempo acumulado para o segundo ensaio pontos 01 e 02, solo de textura Argilosa.

Figura 03: Infiltração acumulada (Ia) e Vel. de infiltração (VI) versus tempo acumulado, pelo método infiltrômetro de anel, solo Argiloso. Pontos: 01 (A) e 02 (B).



Enquanto a Figura 04 apresenta os gráficos de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração versus o tempo acumulado para o terceiro ensaio ponto 01 e 02, solo de textura Muito Argilosa.

Figura 04: Infiltração acumulada (Ia) e Vel. de infiltração (VI) versus tempo acumulado, pelo método infiltrômetro de anel, solo Muito argiloso. Pontos: 01 (A) e 02 (B).



Nas Figuras 02, 03 e 04, observa-se que a infiltração acumulada segue uma tendência linear, com a lâmina de água infiltrada aumentando progressivamente ao longo do tempo. As curvas de velocidade de infiltração mostram um padrão inicial elevado que diminui gradualmente até atingir a Velocidade de Infiltração Básica. Esse comportamento ocorre porque, com o tempo, os poros do solo vão se preenchendo com água, levando à saturação.

Segundo Silva et al. (2017), a velocidade de infiltração é alta quando o solo está seco devido à presença de muitos macroporos vazios. À medida que esses poros se preenchem com água, a taxa de percolação diminui até que o solo se sature e a velocidade se estabilize. Esse padrão reflete a adaptação à capacidade de retenção do solo, e é consistente com o esperado para a infiltração em solos, onde a saturação influencia a velocidade de infiltração.

Freitas et al. (2017), destacam que a caracterização e avaliação da qualidade física do solo envolvem várias propriedades, como textura, densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração. Além disso, Amaral et al. (2017), ressaltam que as propriedades hídricas do solo são fundamentais para avaliar a capacidade do solo de responder a eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou secas prolongadas.

Compreender essas propriedades é crucial para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, promovendo uma agricultura sustentável e a conservação ambiental. Portanto, entender as relações entre a água e as diferentes texturas de solo, pode fornecer informações valiosas para técnicos e pesquisadores, auxiliando na tomada de decisões mais fundamentadas sobre o manejo ideal para a lavoura. Nesse sentido, entender o processo de infiltração é essencial para diversas aplicações, incluindo o planejamento da irrigação e drenagem, com o objetivo de aumentar a produção agrícola.

As Figuras 05, 06 e 07 apresentam as curvas de velocidade de infiltração obtidas com base nas equações de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis, empregando os parâmetros determinados neste estudo.

Figura 05: Curvas de vel. de infiltração primeiro ensaio pontos: 01 (A) e 02 (B), obtidas pelo método de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis. Solo Argilo arenoso.

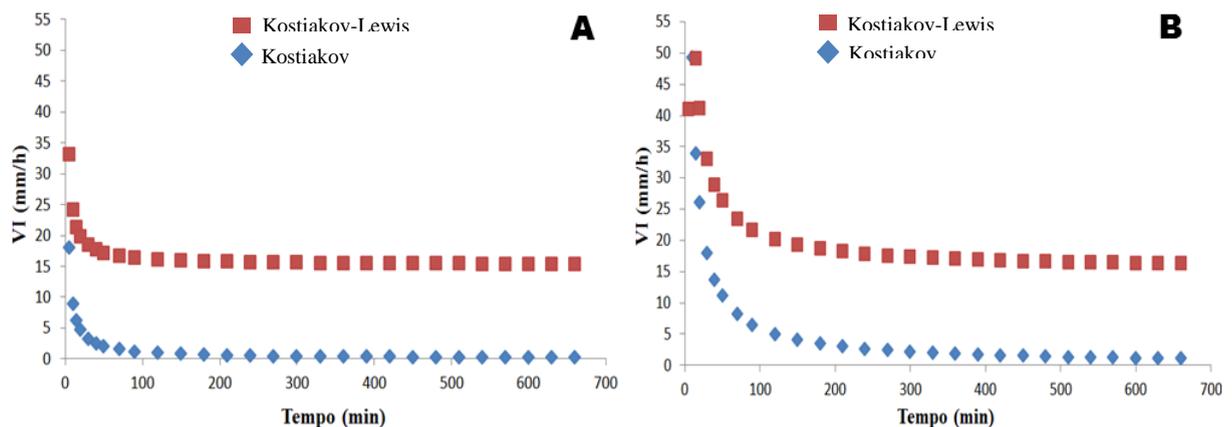


Figura 06: Curvas de vel. de infiltração do segundo ensaio pontos: 01 (A) e 02 (B), obtidas pelo método de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis. Solo argiloso.

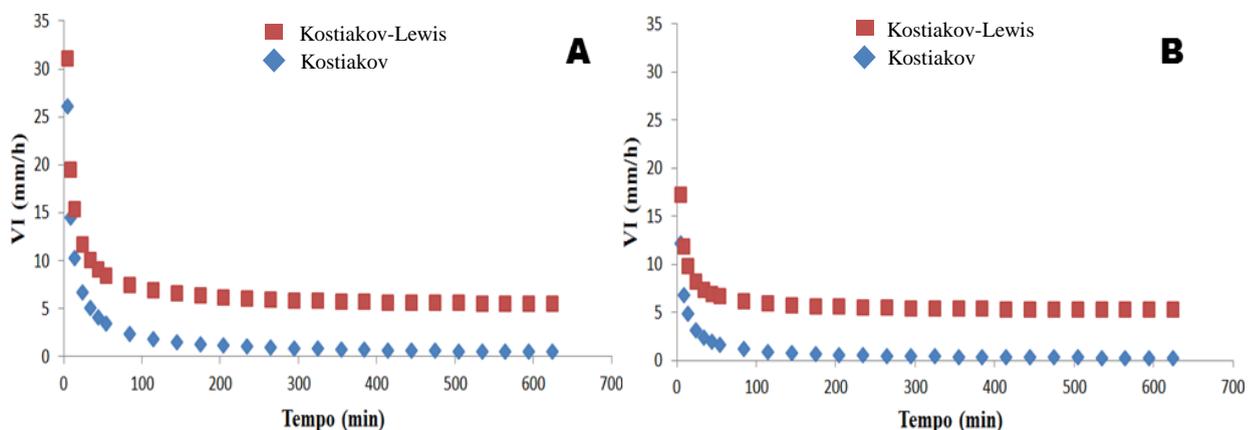
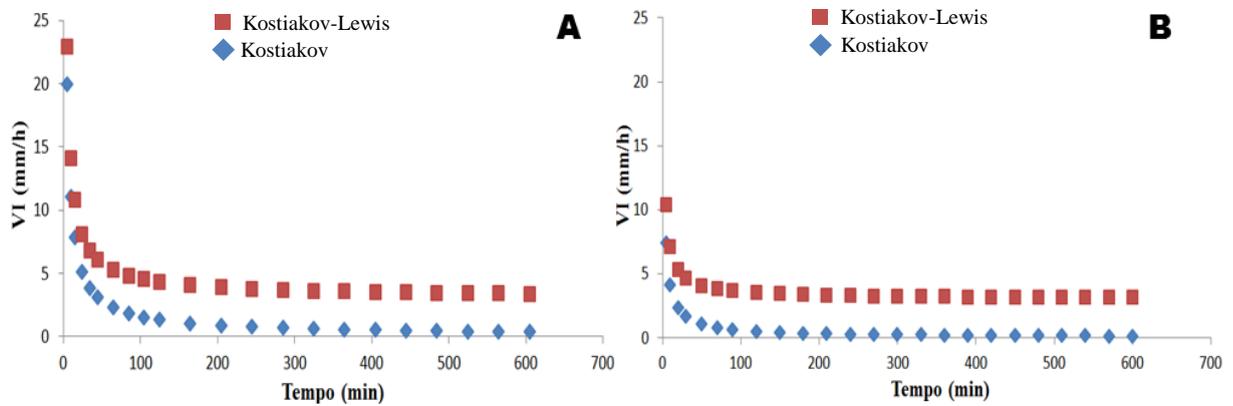


Figura 07: Curva de vel. de infiltração do terceiro ensaio pontos: 01 (A) e 02 (B), obtida pelo método de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis. Solo Muito argiloso.



Observa-se que a curva azul representa o modelo de Kostiakov, que não leva em conta a Velocidade de Infiltração Básica VIB e descreve o processo de infiltração de água no solo, ou seja, a variação da velocidade de infiltração ao longo do tempo. Por outro lado, a curva em vermelho ilustra o modelo de Kostiakov-Lewis, que inclui a VIB e reflete o processo natural, ou seja, o que realmente ocorre em campo.

A principal diferença entre os dois modelos está na inclusão ou exclusão da VIB. Para aplicações práticas, é recomendável adotar o modelo que representa o processo natural, ou seja, considerar a VIB. Em resumo, para manejo do solo e planejamento de irrigação, o modelo de Kostiakov-Lewis é preferível, pois descreve de maneira mais precisa o que realmente ocorre a campo.

6 CONCLUSÃO

O infiltrômetro de anel se mostrou uma ferramenta simples e eficaz para a determinação da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) em solos com diferentes texturas. Para o solo de textura Argilo arenosa, localizado no município de Formoso – MG, a VIB foi de 15 mm h⁻¹. Já para o solo de textura argilosa, situado na Região Administrativa de Planaltina (RA-PLAN) – DF, a VIB foi de 5 mm h⁻¹. Por fim, o solo de textura muito argilosa, localizado no município de Formosa – GO, apresentou uma VIB de 3 mm h⁻¹.

7 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. C. B.; AGUIAR, J. V.; COSTA, R. N. T. Calibração de um modelo de umidade para um solo aluvial sem cobertura vegetal. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, p. 444-449, 2001.
- AMARAL, K. F. S.; ROSA, H. A.; GIESE, V.; MONTIEL, C. B.; BRONDANI, S. T.; SECCO, D. 2017. Propriedades físico-hídricas de um latossolo argiloso após compactação induzida mecanicamente. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, 11: 308–316. Doi: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2017v11n3p308-31>.
- BRANDÃO VS, Cecílio RA, Pruski FF, Silva DD. **Infiltração de água no solo**. 3 ed. Atual e Ampl. Viçosa: UFV, 2006 a. 120p.
- BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. Tópicos em ciência do solo, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, Viçosa-MG, 2011. p. 221-278.
- BRAGA, M.B.; GUEDES, I.M.R.; SILVA, J.; LIMA, C.E.P. Determinação Simplificada da Umidade do Solo Visando o Manejo de Irrigação em Hortaliças. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 155**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa Hortaliças, ISSN 1677-2229 Julho, 20p. 2018.
- BESCANSÀ, P.; IMAZ, M.J.; VIRTO, I.; ENRIQUE, I. & HOOGLMOED, W.B. **Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain**. Soil Tillage Res.,87:19-27,2006.
- BERNARDO, SALASSIER. **Manual de irrigação/** Salassier Bernardo; Everardo Chartuni Mantovani; Demetrius David da Silva e Antônio Alves Soares. 9. Ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2019. 545 p.
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 351 p.
- BENEVENUTE, P.A.N.; MORAIS, E.G.; SOUZA, A.A.; VASQUES, I.C.F.; CARDOSO, D.P.; SALES, F.R.; SEVERIANO, E.C.; HOMEM, B.G.C.; CASAGRANDE, D.R.; SILVA, B.M. **Indicadores Ecológicos**, v.117, p.106647, 2020.
- BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A. & MORAES, S.O. **Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura**. R. Bras. Ci. Solo, 33:17-24, 2009.
- BORGES, W.L.B.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEN, C.A. Impacto da integração lavoura-pecuária-floresta na qualidade do solo. **Sistemas Agroflorestais**, p.1-9, 2019.
- BOCUTI, E. D.; AMORIM, R. S. S.; DI RAIMO, L. A.; MAGALHÃES, W. A. Effective hydraulic conductivity and its relationship with the other attributes of Cerrado soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.6, p.357-363, 2020.
- Caracterização climática da região de Formoso-MG e Cocos-BA, Brasil: base para planejamento e uso sustentável da terra / Elena Charlotte Landau ... [et al.]. – Sete Lagoas :

Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 69 p. : il. -- (Documentos / **Embrapa Milho e Sorgo**, ISSN 1518-4277; 262).

Caracterização de um Latossolo Vermelho distroférico no município de Tangará da Serra, Mato Grosso. **Caderno de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 14, 2022. DOI: 10.35699/2447-6218.2022.39613. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/39613>. Acesso em: 15 Out. 2024.

CONTRERAS, J. I.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; BAEZA, R. Irrigation management of greenhouse zucchini with different soil matric potential level. Agronomic and environmental effects. **Agricultural Water Management**, v. 183, p. 26-34, 2017.

COSTA, C. D. O. 2010. **Escoamento superficial e risco de erosão do solo na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Município de Ilha Solteira-SP**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, 88p.

CUNHA, J. L. X. L.; COELHO, M. E. H.; DE ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; DA SILVA JÚNIOR, A. B.; DE CARVALHO, I. D. E. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021-1027, 2015.

CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, C. A.; COELHO, M. E. H.; FONTES, L. O.; SILVA, M. G. O.; SILVA, I. N. **Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de cultivo mínimo**. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 7, n. 1, p. 30–35, 2011.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA 2018. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**: EMBRAPA. ISBN 978-85-7035-817-2.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 369-378, 2012.

FLASH, C. W., ALVES, E. A. C. & MEURER, M. (2020). Taxa de infiltração da água e resistência mecânica à penetração em solos submetidos a diferentes usos na região da serra de sudeste/RS. **Revista Caminhos de Geografia**, 21(73), 223-24

FERNANDES, BARBARA BARRETO; MARASCA, INDIAMARA; MARTINS, MURILO BATTISTUZZI; SANDI, JEFFERSON; SILVA, KELLY GABRIELA PEREIRA DA; LANÇAS, KLEBER PEREIRA. EFEITO DO TRÁFEGO AGRÍCOLA NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO. **IRRIGA**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 343–356, 2022. DOI: 10.15809/irriga.2022v27n2p343-356. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4568>. Acesso em: 14 set. 2024.

Freitas, L. de; Oliveira, I. A. de; Silva, L. S.; Frare, J. C. V.; Filla, V. A.; Gomes, R. P. 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, 26: 8–25. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc>.

FIGUEIRÊDO, S. F.; POZZEBON, E. J.; FRIZZONE, J. A.; AZEVEDO, J. A.; GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. **Gerenciamento da Irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos do cerrado**. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378 – 391, julho-setembro, 2008.

FIORIN, Tatiana Tasqueto. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. Estudo em Santa Maria. 97 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, Universidade Federal de Santa Maria . Santa Maria, 2008.

FONSECA.F.C; DUARTE .L. B. Hidrologia. **Capítulo 5**. INFILTRAÇÃO, Agosto,2006

FURQUIM L. C.; SOUZA E. J.; SILVA N. F.; NUÑEZ D. N. C.; CABRAL J. S. R.; SANTINI J. M. K.; LEÃO B. C. S.; STONE L. F. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. **Jornal unoeste**. Colloquium Agrariae. v. 16, n.5, Set-Out, 2020, p. 82-95. 2020.

GARCIA, Y. M., CAMPOS, S., TAGLIARINI, F. S. N., Campos, M. & Rodrigues, B. T. (2020). Declividade e potencial para mecanização agrícola da bacia hidrográfica do Ribeirão Pederneiras - Pederneiras/SP. Bioeng - **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, 14(1), 62-72.

GAVA, R.; SILVA, E. E.; BAIIO, F. H. R. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo / electronic moisture sensor calibration in different soil textures. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 2, p. 154-162, 2016.

GIACOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, v.25, n.3, p.617-631, 2015.

GONDIM, T. M. de S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M. de; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. da S. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo arenoso argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

HARA, A. T.; GONCALVES, C.A.; DOMINGUES, J.V.S.; HASHIGUTI, H. T.; REZENDE, R et al. Estabilidade temporal da variabilidade espacial da umidade do solo obtida no campo e no laboratório. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n. 6, p. 3069-3077, 2019.

HERBERT MORAES MOREIRA RAMOS; JOSÉ FRANCISCO BEZZERA DUARTE; ANTÔNIO ALISSON FERNANDES SIMPLÍCIO; COSTA OLIVEIRA, IZABELLA MARIA; DE LIMA FEITOSA, DANIEL. Atributos físico-hídricos de um neossolo quartzarênico sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**; Fortaleza Vol. 14, Ed. 2, (2020): 3968-3975. DOI:10.7127/rbai.v14n101147

JABRO, J. D.; IVERSEN, W. M.; STEVENS, W. B.; EVANS, R. G.; MIKHA, M. M.; ALLEN, B. L. Propriedades físicas e hidráulicas de um solo de textura franco-arenosa sob práticas de cultivo em zero, raso e profundo. **Pesquisa de solo e cultivo**, v. 159, p. 67-72, 2016.

Leão Carvalho, E.T., 2008. **Avaliação de Elementos de Infiltração de Águas Pluviais na Zona Norte da Cidade de Goiânia**. Dissertação (Mestrado), Goiânia, UFG.

LIMA, G. L. **Estimativa da Infiltração da Água no Solo Utilizando o Modelo de Green-Ampt**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

LIMA, M. **Evolução da Qualidade Físico-hídrica de um Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico em Sucessão de uso com Mata, Mandioca e Cacau**. 2015. 43 f.

LIER, Q. J. **Física do solo baseada em processos**. Piracicaba, SP: Edição do autor, 2020. 413p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**, 3ª ed., Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.

MANTOVANI, EVERARDO CHARTUNI, 1958 – **Irrigação: Princípios e métodos** / Everardo Chartuni Mantovani, Salassier Bernardo, Luiz Fabiano Palaretti. 2 ed., atual. e ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2007. 358p.

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação I**. Piracicaba: FUNEP, 2001. 410p. (Série Engenharia Agrícola, 1).

MORETTI, C. **Sustentabilidade: uma bussola para a agricultura**. O estado de São Paulo, 18 out. 2021. Opinião. Disponível em: <https://opinioao.estadao.com.br/noticias/espacoaberto,sustentabilidade-uma-bussola-para-a-agricultura,70003868694> Acesso em: 30 ago. 2023.

NASCIMENTO, L. G. et al. **Análise da velocidade de infiltração de água no solo por meio de anéis concêntricos na zona leste da cidade de Teresina** –PI. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15168-15178, 2020.

NERY, A. R., Rodrigues, L. N., Souza, A. G., Santos, F. F. C. & Nere, D. E. R. (2017). **Infiltração de água nos solos cultivados com palma forrageira e pastagem no IFCE campus Crato**. Acta Kariri Pesq. e Des., 2(1), 56-61.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. D.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. D. S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1685-1692, 2012. <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/velocidade.pdf>>. Acesso em 23/11/2023

OLIVEIRA, F. C. C., PEDROTTI, A., FELIX, A. G. S., SOUZA, J. L. S., HOLANDA, F. S. R., & JUNIOR, A. V. M. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** (Agrária), v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.

OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; HOLANDA, M. A C. R. Análise de Desempenho de Modelos de Infiltração Unidimensional de Água no Solo. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 35-42, 2018.

PALHARES, J. C. P. **Pegada hídrica e eficiência nutricional em suínos e aves**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 54., 2017, Foz do Iguaçu. Proceedings... Foz do Iguaçu: SBZ, 2017. p. 256-269.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente & Água**, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 19-27, 2003.

RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLUTER, S., VOGEL, H.J., 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review **Geoderma** v.314, p.122–137, 2018. Disponível em: <DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma>. Acesso em: 28/09/2023>

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 505p.

REICHARDT; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2º ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p.49-134.

RIBEIRO, C. M. F. C. L. P. C. E.; COSTA, A. de S. D. M. de J. R. de N. M. S. **Determinação da velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anel em solo da região amazônica**. [s.l.], p. 15, 2019. DOI: 10.18677/EnciBio.

RIJO, M.; MATA-LIMA, H. **Movimento da água no solo fluxo bidimensional** (Redes de Fluxo) EXEMPLO DA REDE DE FLUXO EM SOLO ANISOTRÓPICO. [s.l.: s.n.].2017.

SILVA, N. F., CUNHA, F. N., CUNHA, R. C., CABRAL FILHO, F. R., TEIXEIRA, M. B., CARVALHO, J.J. Características físico-hídricas de um latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, nº. 5, p.375 - 390, 2014. Disponível em:<http://inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/viewFile/245/pdf_189>. Acesso em: 23/11/2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v8n500245>.

SILVA, N.F.; CUNHA, F.N.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F.A.L.; VIDAL, V.M.; MORAIS, W.A. Reposição hídrica e adubação nitrogenada na cana-de-açúcar via gotejamento subsuperficial: cana-planta e cana-soca. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.6, p. 1862-1875, 2017.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; MORAIS, W. A.; CUNHA, E. S.; ROQUE, R. C.; ALVES, D. K. M.; Teixeira, M. B. **Métodos para estimativa da infiltração de água em um Latossolo sob plantio direto e convencional**. Gl. Sci Technol, v.10, n.01, p.169-176, 2017.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; NETTO, A. M. Caracterização hidrodinâmica de solo: Aplicação do método Beerkan. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.128-135, 2008.

SOUZA, F. A.; RODRIGUES, S. C. **Estimativa de recarga do lençol freático em solos sobre granito e gabros alcalinos na alta bacia do rio dos Bois em Iporá – GO**. Ambiência, v.10, n.2, 2014.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.161-168, 200.

VALADÃO, F. C. de A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 243-255, 2015.

VANANI, H. R.; SHAYANNEJAD, M.; TUDESHKI, A. R. S.; OSTAD-ALIASKARI, K.; ESLAMIAN, S.; MOHRIESFAHANI, E.; HAERI-HAMEDANI, M.; JABBARI, H. Development of new method for determination of infiltration coefficients in furrow irrigation with natural non-uniformity of slope. **Sustainable Water Resources Management**, v. 3, p. 163-169, 2017.

ZALUSKI, P.; ANTONELI, V. Variabilidade na Infiltração da Água no Solo em área de Cultivo de Tabaco na Região Centro-Sul do Paraná. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 41, p. 34-47, 2014

ZHIPENG, L.; DONGHAO, M.; WEI, H.; XUELIN, L. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. *Soil & Tillage Research*, v.178, p.139-149.2018.