



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LUNALDA APARECIDA VAZ POLA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB EUCALIPTO E
PASTAGEM**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2024

LUNALDA APARECIDA VAZ POLA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB EUCALIPTO E
PASTAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio.
Coorientadores: Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel e Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

P762a Pola, Lunalda Aparecida Vaz, 1997-
Atributos físicos e infiltração de água no solo sob eucalipto e
pastagem / Lunalda Aparecida Vaz Pola. - 2024.
71 f. : il.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Coorientadores: Otacílio José Passos Rangel, Sidney Sara
Zanetti.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Física do solo. 2. Solos - Qualidade. 3. Hidrologia florestal.
4. Solos - conservação. I. Cecílio, Roberto Avelino. II. Rangel,
Otacílio José Passos. III. Zanetti, Sidney Sara. IV. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias. V. Título.

CDU: 630

ATRIBUTOS FÍSICOS E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB EUCALIPTO E PASTAGEM

Lunalda Aparecida Vaz Pola

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 25 de março de 2024.

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO FRANCA DA CUNHA**
Data: 25/03/2024 12:46:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fernando França da Cunha (Examinador externo)
Universidade Federal de Viçosa

Documento assinado digitalmente
 **RENATO RIBEIRO PASSOS**
Data: 25/03/2024 13:16:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo

Documento assinado digitalmente
 **FABIO RIBEIRO PIRES**
Data: 25/03/2024 16:23:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo

Documento assinado digitalmente
 **ROBERTO AVELINO CECILIO**
Data: 25/03/2024 13:01:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha força e proteção.

Aos meus pais, Arnaldo (*in memoriam*) e Lucimar, pelo amor, carinho, apoio e valores.

Aos meus irmãos, Rafael, Emanuel, Franciele, Fernanda e Flávia, cunhadas e cunhados, sobrinhas e sobrinhos por todo apoio e risadas.

Ao meu namorado, Lucas Romão Gava, por ser companheiro e muito paciente durante essa jornada.

Aos meus amigos, Lucas Lobato, Lara Tertuliano, Laís Pires, Millena Duarte e Nédia Correa, por tudo.

Aos meus amigos da Ufes e UFV, Carem, Luana, Nívea, Denyse, Thais, Klisman, Iulo, Franciele, Juliete, Mariza, Gabriel, Fernanda, por todos bons momentos compartilhados.

A minha maravilhosa equipe de campo, Carem Cristina, Denyse Sales, Eloisa Bueno, Gabriel Soares, Iulo Moro, Laís Pires, Lucas Lobato, Matheus Carvalho, Mariza de Oliveira, Millena Duarte, Nédia Correa e Robert Gomes, sem vocês essa dissertação não existiria.

Ao André Quintão e Klisman Oliveira, por todo apoio na minha breve passagem por Viçosa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio pela calma, diálogos e ensinamentos e pelo apoio nas coletas de campo. Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Otacílio Passos Rangel e Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti, pelas contribuições importantes ao longo desse projeto.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Fabio Ribeiro Pires, Prof. Dr. Fernando França da Cunha e Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos, pelas valiosas contribuições.

Ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, à Universidade Federal do Espírito Santo e ao Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Alegre, pela disponibilização de laboratórios, equipamentos e área de estudo. E à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, pela concessão de bolsa de mestrado.

“E agora, eis o que diz o Senhor: Nada temas, pois eu te resgato, eu te chamo pelo nome, és meu (...), porque és precioso a meus olhos, porque eu te aprecio e te amo”
Is 43:1,4.

RESUMO

POLA, Lunalda Aparecida Vaz. **Atributos físicos e infiltração de água no solo sob eucalipto e pastagem**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Roberto Avelino Cecílio. Coorientadores: Otacilio José Passos Rangel e Sidney Sara Zanetti.

A compreensão da infiltração da água no solo é de grande importância para a adoção do melhor manejo do solo e da água. Desse modo, esse trabalho teve o objetivo de avaliar os atributos físicos e comportamento da infiltração da água em um solo sob eucalipto, comparando-o com o uso anterior de pastagem. A infiltração foi determinada a partir de ensaios com infiltrômetro de anéis em três posições diferentes do terreno, sendo três ensaios de infiltração em cada posição. Para caracterizar o solo foram determinadas a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, granulometria, carbono orgânico total e resistência à penetração. Foram ajustadas as equações de infiltração instantânea a partir dos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip. A partir dos valores de β encontrados para Horton, foi calculado o β médio e aplicado às equações com os dados de campo. O mesmo procedimento foi realizado utilizando o β médio juntamente com a taxa de infiltração – (Tie) média. Em caráter exploratório, foi realizado agrupamento dos pontos pela Distância Euclidiana, Análise de Componentes Principais e correlação de Pearson. Para avaliar a diferença entre as posições do terreno os dados foram submetidos a ANOVA e ao teste de Tukey a 5% de significância. A diferença entre os usos foi verificada a partir do teste F da ANOVA a 5% de significância. O desempenho dos modelos foi verificado a partir do coeficiente de determinação – R^2 , do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe – NSE, pela raiz quadrada do erro médio – RMSE e pelo erro médio absoluto – MAE. Não houve diferença estatística entre as posições inferior, média e superior das áreas, indicando que as áreas são homogêneas. Os valores de Tie foram moderados para ambas as áreas, sendo semelhantes estatisticamente (63,13 e 95,16 mm h⁻¹, para o eucalipto e pastagem, respectivamente). A diferença das áreas está mais relacionada às suas propriedades físicas, especialmente à macro e microporosidade e aos teores de argila e areia. Os ajustes obtidos tiveram bom desempenho na maioria dos pontos de estudo para os modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton, sendo o de Horton o mais fiel à infiltração. O modelo de Philip não se ajustou bem aos dados obtidos a campo e

apresentou o pior desempenho, com MAE médio de 25,48 mm h⁻¹ para a área de eucalipto e 47,98 mm h⁻¹ para a área de pastagem. Os ajustes da equação de Horton, a partir do β médio, apresentaram MAE de 15,64 mm h⁻¹ para a área de eucalipto e 33,95 mm h⁻¹ para a área de pastagem. A utilização do β médio juntamente com a Tie média resultou no aumento do MAE para 25,54 mm h⁻¹ no eucalipto e para 68,05 mm h⁻¹ na área de pastagem. Desse modo, sua aplicação é recomendada apenas para a área sob eucalipto.

Palavras-chave: Infiltrômetro de anéis, Latossolo, Modelos de infiltração, Mudança de uso de solo.

ABSTRACT

POLA, Lunalda Aparecida Vaz. **Physical attributes and water infiltration in soil under eucalyptus and pasture**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Roberto Avelino Cecílio. Coorientadores: Otacilio José Passos Rangel e Sidney Sara Zanetti

Understanding water infiltration into the soil is of great importance for adopting the best soil and water management practices. Therefore, this study aimed to evaluate the physical attributes and infiltration behavior in a soil under eucalyptus compared to its previous use as pastureland. Infiltration was determined through ring infiltrometer tests at three different positions in the terrain, with three infiltration tests conducted at each position. To characterize the soil, soil density, total porosity, macroporosity, microporosity, particle size distribution, total organic carbon, and penetration resistance were determined. Instantaneous infiltration equations were adjusted using the Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton, and Philip models. The β values found for Horton were used to calculate the average β and applied to the equations along with field data; the same approach was used with the average β along with the average T_i . Exploratory analysis included clustering of points by Euclidean Distance, Principal Component Analysis, and Pearson correlation. To evaluate the difference between terrain positions, the data underwent ANOVA and Tukey's test at a 5% significance level. The difference between land uses was assessed using the ANOVA F-test at a 5% significance level. Model performance was assessed using the coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE), square root of the mean squared error (RMSE) and mean absolute error (MAE). There was no statistical difference between the lower, middle, and upper positions of the areas, indicating homogeneity. Stable infiltration rates were moderate for both areas, with no statistical difference (63.13 and 95.16 mm h⁻¹, for eucalyptus and pasture, respectively). Area differences were more related to their physical properties, especially macroporosity, microporosity, clay, and sand content. The adjustments made showed good performance in most study points for the Kostiakov, Kostiakov-Lewis, and Horton models, with Horton being the most faithful to infiltration. The Philip model did not fit the field data well and performed the worst, with a mean MAE of 25.48 mm h⁻¹ for the eucalyptus area and 47.98 mm h⁻¹ for the pasture area. Adjustments of the Horton equation using the average β resulted in an MAE of 15.64 mm h⁻¹ for the eucalyptus

area and 33.95 mm h⁻¹ for the pasture area. Using the average β along with the average Tie increased the MAE to 25.54 mm h⁻¹ for eucalyptus and 68.05 mm h⁻¹ for the pasture area, therefore, its application is recommended only for the area under eucalyptus.

Keywords: Infiltration models, Land use change, Oxisol, Ring infiltrometer.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios dos atributos químicos do solo sob cultivo de eucalipto e pastagem, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm	28
Tabela 2 – Médias dos atributos do solo dos grupos formados a partir do dendrograma de dissimilaridade.....	37
Tabela 3 – Valores médios para os atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes profundidades para o terço inferior, médio e superior em área de eucalipto.	42
Tabela 4 – Valores médios para os atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes profundidades para o terço inferior, médio e superior em área de pastagem.	43
Tabela 5 – Valores médios da taxa de infiltração estável (mm h^{-1}) para três posições na encosta de áreas com eucalipto e pastagem.	43
Tabela 6 – Médias dos atributos físicos e do carbono orgânico total para as áreas de eucalipto e pastagem	45
Tabela 7 – Média da taxa de infiltração estável (Tie) para área de eucalipto e pastagem, Rive, Alegre – ES.....	46
Tabela 8 – Equações de infiltração instantâneas com parâmetros estimados para as áreas de eucalipto e pastagem estudadas	50
Tabela 9 – Coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados através dos modelos empregados.....	51
Tabela 10 – Coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados através do modelo de Horton utilizando valor de β médio para as áreas de eucalipto e pastagem.....	55
Tabela 11 – Coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados através do modelo de Horton utilizando valores de β e Tie médios para as áreas de eucalipto e pastagem.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização das parcelas de eucalipto e pastagem, Rive, Alegre – ES.	25
Figura 2 – Temperatura média mensal e precipitação mensal ocorridas no período de maio a julho de 2023, Alegre – ES.	26
Figura 3 – Esquema de coletas de solo e ensaios de infiltração da água no solo. ...	29
Figura 4 – Infiltrômetro de anéis utilizado em ensaios de infiltração em área de eucalipto (a) e pastagem (b).....	30
Figura 5 – Coletas de solo por meio de trincheiras (a); armazenamento de amostra deformada em sacola plástica (b); retirada e armazenamento de amostra indeformada em anel volumétrico (c e d).	31
Figura 6 – Dendrogramas de dissimilaridade entre as unidades amostrais nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, pelo método da distância euclidiana, utilizando dados dos atributos físicos do solo, em área de pastagem e eucalipto, Rive, Alegre - ES.	36
Figura 7 – Correlação de Pearson para os atributos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm do solo sob cultivo de eucalipto, Rive, Alegre – ES.....	39
Figura 8 – Correlação de Pearson para os atributos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm do solo sob pastagem, Rive, Alegre – ES.	40
Figura 9 – Análise de Componentes Principais para as profundidades do solo de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, utilizando dados dos atributos físicos do solo das áreas de eucalipto e pastagem.....	41
Figura 10 – Valores de infiltração medidos e curvas de infiltração estimadas pelos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip em Latossolo Vermelho-amarelo, sob cultivo de eucalipto, para três posições de amostragem e três repetições em cada uma.....	48
Figura 11 - Valores de infiltração medidos e curvas de infiltração estimadas pelos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip em Latossolo Vermelho-amarelo, sob pastagem, para três posições de amostragem e três repetições em cada uma.	49
Figura 12 – Ajuste do modelo de Horton a partir de valor médio de β para a área de eucalipto.....	53
Figura 13 – Ajuste do modelo de Horton a partir dos valores médios de β e Tie , para a área de eucalipto.....	53
Figura 14– Ajuste do modelo de Horton a partir de valor médio de β para a área de pastagem.....	54

Figura 15 - Ajuste do modelo de Horton a partir de valores médios de β e T_{ie} para a área de pastagem.	54
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	Infiltração de água no solo	18
3.2	Relações entre a infiltração de água, as propriedades físicas do solo, seu manejo e uso	19
3.3	Métodos de determinação da infiltração.....	22
3.4	Modelos de infiltração	22
3.4.1	Modelo de Kostiaikov e Kostiaikov – Lewis	23
3.4.2	Modelo de Horton.....	24
3.4.3	Modelo de Philip.....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1	Local de estudo	25
4.2	Histórico das áreas.....	26
4.3	Ensaio de infiltração	29
4.4	Caracterização física do solo	30
4.5	Análise estatística das características físicas do solo	32
4.6	Ajuste de modelos de infiltração	32
4.6.1	Ajuste dos modelos a partir de valor de β médio para Horton.....	34
5	RESULTADOS	34
5.1	Caracterização geral	34
5.2	Influência da posição no terreno sobre os atributos físicos e infiltração de água no solo	42

5.3	Diferenças entre solo sob eucalipto e pastagem.....	44
5.4	Modelagem da infiltração	47
5.4.1	Ajuste dos modelos a partir de valor de β médio para Horton.....	52
6	DISCUSSÃO.....	56
7	CONCLUSÕES.....	59
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICE A - Médias gerais dos atributos para três profundidades de Latossolo Vermelho-amarelo em estudo, em área de pastagem e eucalipto.	66
	APÊNDICE B - Valores dos coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados para a taxa de infiltração em Latossolo Vermelho-amarelo, sob cultivo de eucalipto e pastagem.	69
	APÊNDICE C - Equações de infiltração instantânea com parâmetros estimados para as áreas de eucalipto e pastagem estudadas, utilizando β médio.	71

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos que envolvem a movimentação da água no ciclo hidrológico são denominados processos hidrológicos. Dentre esses processos, a infiltração refere-se à entrada da água no solo. A infiltração é essencial para a manutenção dos ecossistemas terrestres, da qualidade do solo, do abastecimento de lençóis freáticos e da disponibilidade de água para as plantas, sendo, consequentemente, fundamental para a sustentabilidade ambiental e socioeconômica (Sá *et al.*, 2023).

À medida que crescem os desafios relacionados às mudanças climáticas, compreender a importância da infiltração de água no solo torna-se ainda mais vital. O relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca que metade da população mundial vive em situação de escassez severa de água em pelo menos um mês por ano. O IPCC ainda aponta como medidas mitigadoras, a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, avanços na restauração de áreas degradadas e manejo sustentável dos ecossistemas (Bohem; Schumer, 2023), todas estas relacionadas ao incremento da infiltração da água no solo.

No contexto de bacias hidrográficas, a infiltração de água no solo afeta diretamente seu regime hidrológico, influenciando a disponibilidade de água para consumo humano, agricultura, indústria e ecossistemas naturais. Um manejo adequado da bacia hidrográfica deve levar em consideração a infiltração de água no solo para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. Nesse contexto, a conversão de pastagens degradadas em pastagens manejadas, sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), silvicultura ou restauração é uma das formas de aperfeiçoar o uso do solo e da água, em busca de uma produção mais sustentável (Bono *et al.*, 2012; Ilstedt *et al.*, 2007; Penna; Fernandes; Pereira, 2023; Rawls *et al.*, 1996; Sá *et al.*, 2023).

No escopo das ciências florestais, sabe-se que a conversão de pastagens degradadas para florestas pode resultar em melhoria da infiltração de água no solo (Mendonça *et al.*, 2009; Sá *et al.*, 2023; Santana *et al.*, 2023). Bacias hidrográficas florestadas possuem, ainda, o potencial de proteger os meios ambientes aquáticos, regular fluxos e melhorar a qualidade da água (Alvarenga *et al.*, 2016). Contudo, o

crescimento das árvores pode causar, em casos específicos, a redução da vazão média e mínima em escala local, devido à maior evapotranspiração (Dib *et al.*, 2023).

A silvicultura para produção de madeira e derivados tem avançado no Brasil, principalmente em áreas antes ocupadas por pastagens degradadas (Ibá, 2015). Os plantios florestais exóticos, principalmente do gênero *Eucalyptus*, são tema de debate quanto ao consumo excessivo de água. Apesar de já haver estudos que apontam ganhos nas qualidades físico-hídricas de solos sob esse cultivo (Salemi *et al.*, 2013; Santana *et al.*, 2023), ainda há escassez de informações em relação ao comportamento desses atributos em diferentes tipos de solo e nos diversos biomas ocorrentes no país.

Nesse sentido, conhecer o comportamento da infiltração é crucial para entender a dinâmica de água no solo de modo a aperfeiçoar planos de conservação de solo e água, projetos de irrigação, drenagem, implantação agrícola e florestal (Libardi, 2018). A determinação da infiltração pode ser feita através de ensaios em campo ou estimada através de modelos matemáticos. Os modelos mais conhecidos e utilizados são os modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis (ou Kostiakov modificado) e Horton, de base empírica, e Philip de base física. Como modelo utilizado pode variar conforme local/região, são necessários que diferentes modelos sejam testados para um mesmo conjunto de dados, obtidos a partir de avaliações do comportamento da infiltração *in loco*, para determinar aquele com menor desvio para a região de interesse (Oliveira; Soares; Holanda, 2018).

Ante o exposto, a hipótese da pesquisa é de que a alteração de uso da pastagem para plantio florestal é capaz de melhorar as condições físico-hídricas do solo, em um curto período. Este estudo buscou avaliar os atributos físicos e comportamento da infiltração em um solo sob eucalipto, comparando-o com o uso anterior de pastagem, além de avaliar o desempenho de diferentes modelos para determinação da infiltração de água nas duas áreas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os atributos físicos e comportamento da infiltração em um solo sob eucalipto, comparando-o com o uso anterior de pastagem.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o solo sob diferentes usos;
- Quantificar a diferença da infiltração entre o uso florestal e a pastagem extensiva;
- Verificar se há diferença na infiltração entre as posições na encosta;
- Ajustar equações de infiltração a partir dos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Infiltração de água no solo

A infiltração consiste no processo de entrada da água no solo no sentido vertical. Em uma visão física, o processo da infiltração se dá à medida que a água penetra no solo e vai ocupando os poros de suas camadas mais próximas à superfície. Havendo disponibilidade de água, o perfil do solo tende à saturação, sendo a camada superficial a primeira a saturar (Brandão *et al.*, 2006). Esse processo depende da capacidade do solo em permitir a passagem da água, ou seja, da sua condutividade hidráulica, e da diferença de potencial da água no solo (Mello; Silva, 2013).

A lâmina de água que atravessa o solo por unidade de tempo é denominada de taxa de infiltração, expressa normalmente em mm h^{-1} . A taxa de infiltração é inicialmente alta, principalmente em condição de solo seco, e tende a decrescer com o tempo até atingir um valor constante, denominado de taxa de infiltração estável (Tie).

A compreensão da infiltração da água no solo é de grande importância para a adoção do melhor manejo do solo e da água, uma vez que é fator determinante em vários processos (como a recarga de aquíferos, a geração do escoamento superficial, a erosão hídrica e a disponibilidade de água na zona das raízes das plantas), os quais impactam a vida humana e que podem trazer prejuízos para o meio ambiente (Dib *et al.*, 2023).

3.2 Relações entre a infiltração de água, as propriedades físicas do solo, seu manejo e uso

Diversos fatores podem influenciar o comportamento da infiltração, como aqueles relacionados ao solo (textura, morfologia, conteúdo de água no solo), à superfície (cobertura do solo, configuração natural ou artificial), ao preparo e ao manejo do solo, e a fatores naturais (Rawls *et al.*, 1996). Estes fatores estão ligados à infiltração, pois influenciam diretamente a condutividade hidráulica e a ocorrência de encrostamento superficial do solo (Brandão *et al.*, 2006).

O solo tem em sua estrutura uma combinação de diferentes tipos de poros, que podem ser classificados como macroporos (diâmetro maior que 0,05 mm), mesoporos (diâmetro entre 0,01 e 0,05 mm) e microporos (diâmetro menor que 0,01 mm). A forma com que esses poros estão distribuídos no solo regula diversos processos, entre eles, a infiltração e a retenção de água (Pagliai; Vignozzi; Pellegrini, 2004; Rabot *et al.*, 2018). Os macroporos estão mais relacionados com a condução da água durante a infiltração, já os mesoporos e microporos estão mais ligados a função de armazenamento. O encrostamento decorre, principalmente, pelo selamento físico causado pela energia cinética do impacto das gotas de chuva no solo, que dentre outras mudanças, reduzem a porosidade da camada superficial pelo entupimento dos poros e compactação (Armenise *et al.*, 2018).

As práticas agrícolas adotadas podem alterar a distribuição do tamanho dos poros do solo. Em sistemas de plantio convencional, a prática de aração e gradagem quebra a camada superficial do solo, o que favorece o desenvolvimento das raízes e a entrada inicial de água no solo, no entanto, esse efeito é temporário, sendo necessário novas operações (Cunha *et al.*, 2015; Failache; Zuquette, 2021; Wolschick *et al.*, 2021). Por outro lado, a utilização de máquinas agrícolas e o preparo intensivo

do solo afetam a sua estrutura, causando redução da macroporosidade, principalmente na camada superficial, o que a longo prazo pode gerar compactação e processos de erosão (Basset *et al.*, 2023), sendo mais indicado adotar práticas mais conservacionistas, como o plantio direto e o cultivo mínimo.

O plantio direto melhora as propriedades físicas do solo a longo prazo e garante maior estabilidade hídrica para os cultivos (Andrade *et al.*, 2012; da Silva *et al.*, 2022). Contudo, em situações em que não há a descompactação mecânica e com a movimentação do maquinário, estudos apontam que esse tipo de manejo pode apresentar taxa de infiltração menor que no sistema convencional, uma vez que a compactação da camada superficial pode impedir a entrada de água no solo (Cunha *et al.*, 2015; Merheb, 2022). A rotação de culturas empregada nesse método, pode contribuir para a melhoria na estabilidade dos agregados em comparação com a sistema convencional. Isso ocorre porque o emprego de diferentes culturas promove maior aporte de matéria orgânica pelos restos culturais, além disso, os diferentes sistemas radiculares contribuem para a descompactação do solo e formação de canais condutores de água, o que reduz a densidade e aumenta a porosidade total, levando à melhoria na infiltração (Andrade *et al.*, 2012). Esses efeitos podem ser potencializados quando são introduzidas culturas de cobertura, uso de esterco e plantios consorciados (Basche; DeLonge, 2019; Merheb, 2022).

O sistema de preparo mínimo tem apresentado maior taxa de infiltração em comparação com os sistemas anteriores (Cunha *et al.*, 2015). O uso de subsolador com escarificador na linha de plantio melhora a distribuição dos poros e aumenta a quantidade de poros alongados (Pagliai; Vignozzi; Pellegrini, 2004).

Em áreas vegetadas, o aporte maior de matéria orgânica no solo pode reduzir a camada afetada pelo selamento, por ela ser um agente cimentante capaz de conferir maior estabilidade aos agregados (Armenise *et al.*, 2018), além de conservar a umidade do solo e sua capacidade de absorção e retenção de água (Mendonça *et al.*, 2009). A atividade biológica nessas áreas conservadas também é maior, aumentando o fluxo preferencial da água (buracos de animais, caminho de raízes mortas), principalmente nos primeiros 20 cm de solo (Penna; Fernandes; Pereira, 2023).

Em relação a ambientes florestais, ao avaliarem a infiltração de água em diversos tipos de manejo, Mendonça *et al.* (2009) constataram maior infiltração nas áreas preservadas com floresta úmida semiperenifolia em comparação com áreas

antropizadas (cultivos de arroz, mandioca, eucalipto, pastagem e áreas desmatadas) e em regeneração, o que se correlacionou com o aporte de matéria orgânica dessas áreas. Os autores também apontam a importância do tipo de cobertura do solo que vai influenciar diretamente na compactação e suscetibilidade a erosão. Áreas de regeneração em estágio pioneiro apresentam maior variação da condutividade hidráulica, e áreas em estágio secundário são mais homogêneas para essa propriedade, especialmente na camada superficial (Penna; Fernandes; Pereira, 2023).

Nesse contexto, as mudanças de uso da terra têm potencial de alterar a estrutura do solo e impactar sua capacidade de infiltração de água (Failache; Zuquette, 2021). Em áreas com vegetação nativa, em geral, observa-se maior armazenamento de água no perfil do solo, devido à maior agregação do solo, menor densidade aparente e maiores teores de matéria orgânica (Rocha *et al.*, 2016; Santana *et al.*, 2023; Sun *et al.*, 2018). A presença de raízes na matriz do solo modifica a distribuição e a conexão dos poros, aumentando o caminho de fluxo preferencial da água, o que aumenta a condutividade hidráulica (Bengough, 2012).

A conversão de um ambiente nativo para uso agrícola tende a aumentar a densidade e a compactação do solo. Com a diminuição de macroporosidade e aumento da microporosidade a condutividade hidráulica também é reduzida (Santos *et al.*, 2021). Bezerra *et al.* (2019) estudaram os atributos físico-hídricos de Latossolo amarelo em condição de mata nativa, área de mata convertida há 5 anos em pastagem e área de pastagem há 30 anos. Os resultados revelaram que houve perda de material da camada superficial nas áreas convertidas em pastagem, culminando em menor teor de matéria orgânica, maior densidade do solo e menores valores de condutividade hidráulica. Estudos apontam ganhos de infiltração quando as áreas são convertidas de pastagens para floresta e redução da permeabilidade quando há mudança de pastagem para uso agrícola. Contudo, os cultivos agroflorestais obtiveram melhoras em relação às demais formas de cultivo (Ilstedt *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2018).

Rocha *et al.* (2016) ao compararem a infiltração em Latossolo argiloso sob pastagem abandonada, eucalipto e floresta observaram que a taxa de infiltração na área sem intervenção antrópica foi superior às demais, que não tiveram diferenças entre si. Os outros dois usos apresentaram valores maiores de densidade do solo, o

que os autores atribuíram à maior exposição ao impacto das chuvas, pisoteio animal e movimentação de maquinário para implantação do povoamento florestal.

3.3 Métodos de determinação da infiltração

A determinação da taxa de infiltração se dá por meio de equipamentos denominados infiltrômetros. Os mais usados são o infiltrômetro de anéis e o simulador de chuvas, devido à maior facilidade de manuseio e operação (Gondim *et al.*, 2010), baixo custo e não necessitar de muita água, no caso do primeiro, e pelo segundo permitir grande controle das condições do momento do teste e da quantidade de chuva aplicada (Rawls *et al.*, 1996).

O infiltrômetro de anéis geralmente utilizado consiste em um conjunto de dois anéis, o menor com diâmetro aproximado de 300 mm, o maior com aproximadamente 600 mm e ambos com altura de 300 mm. Sua instalação é feita de forma concêntrica, sendo cravados em aproximadamente metade de sua altura no solo. Para o ensaio, usa-se uma régua para ler o nível da lâmina d'água e coloca-se água em ambos os cilindros. No cilindro interno, deve-se manter uma lâmina de 30 a 50 mm, sendo repostada em tempos regulares, já a lâmina do cilindro externo deve ser mantida sem que haja interrupção da infiltração, para evitar que ocorra infiltração lateral a partir do anel interno. O ensaio é conduzido até se observar que o valor da lâmina infiltrada se repete por pelo menos três vezes.

Os simuladores de chuva são equipamentos utilizados para simular eventos de precipitação, sendo a água aplicada por aspersão em uma área delimitada por placas. Desse modo, a taxa de infiltração pode ser determinada pela diferença entre a intensidade da precipitação simulada e a taxa de escoamento superficial.

3.4 Modelos de infiltração

Diversas equações foram propostas para estimar o processo de infiltração em diferentes locais e regiões (Obiechefu; Egbuikwem; Emerson, 2020). Estes modelos podem ser empíricos ou de base física (Libardi, 2018), sendo que os mais empregados no Brasil são descritos na sequência.

3.4.1 Modelo de Kostiakov e Kostiakov – Lewis

A equação desenvolvida por Kostiakov (1932) é totalmente empírica e expressa pela Equação 1.

$$I = K t^{\alpha} \quad (1)$$

em que I é a infiltração acumulada (mm), K e α são constantes que dependem do solo e t é o tempo (min). Esses parâmetros podem ser determinados estatisticamente, de acordo com dados obtidos a campo. Derivando a equação 1 em função do tempo, obtém-se a taxa de infiltração da água no solo (Equação 2).

$$i = \frac{dI}{dt} = K \alpha t^{\alpha-1} \quad (2)$$

em que i é a taxa de infiltração (mm h^{-1}).

A equação de Kostiakov tem aplicabilidade limitada, pois i tende a zero quando t tende ao infinito, sendo que o correto seria i tender a um valor constante. Contudo, é bastante utilizada na irrigação, pela sua simplicidade e por se ajustar bem na maioria dos solos, no intervalo de tempo de interesse para a irrigação (Libardi, 2018).

Para corrigir esta limitação, foi proposta uma modificação por Kostiakov e Lewis (Lewis; Milne, 1938), em que quando t tende ao infinito, i tende para a Tie . Dessa forma, a infiltração acumulada e a taxa de infiltração são calculadas pela Equação 3 e Equação 4, respectivamente.

$$I = K t^{\alpha} + Tie t \quad (3)$$

$$i = \frac{dI}{dt} = K \alpha t^{\alpha-1} + Tie \quad (4)$$

em que Tie é a taxa de infiltração estável (mm h^{-1})

3.4.2 Modelo de Horton

O modelo proposto por Horton (1940) é um modelo empírico, no qual a infiltração acumulada e a taxa de infiltração instantânea são expressas respectivamente pelas Equações 5 e 6.

$$I = T_{ie} t + \frac{(i_i - T_{ie})}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \quad (5)$$

$$i = T_{ie} + (i_i - T_{ie})e^{-\beta t} \quad (6)$$

em que i_i é a taxa de infiltração inicial (mm h^{-1}) e β é uma constante de decaimento (h^{-1}). Estes podem ser determinados a partir do ajuste estatístico dos dados experimentais.

3.4.3 Modelo de Philip

O modelo proposto por Philip (1957) é proveniente da resolução numérica da equação de Richards, resultando nas equações de infiltração acumulada (Equação 7) e de taxa de infiltração (Equação 8).

$$I = f_1 t^{1/2} + T_{ie} t \quad (7)$$

$$i = \frac{1}{2} f_1 t^{-1/2} + T_{ie} \quad (8)$$

em que f_1 é a sortividade do solo ($\text{mm h}^{-1/2}$), podendo ser obtido por análise de regressão ou métodos matemáticos.

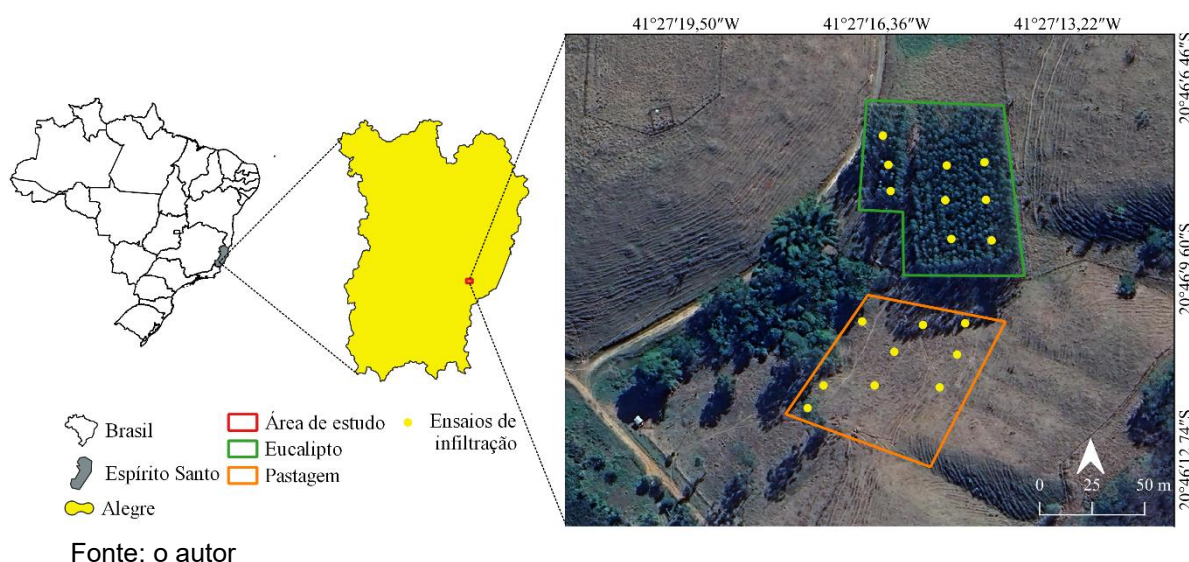
Este método adota como pressuposição que o solo é profundo, com uma umidade inicial na qual o início de um evento de precipitação é capaz de saturar imediatamente a camada superficial. Com isso, ele tem algumas limitações para uso em solos muito heterogêneos, com pouca profundidade e com lençol freático raso, além de poder apresentar valores incoerentes quando o tempo de infiltração é longo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

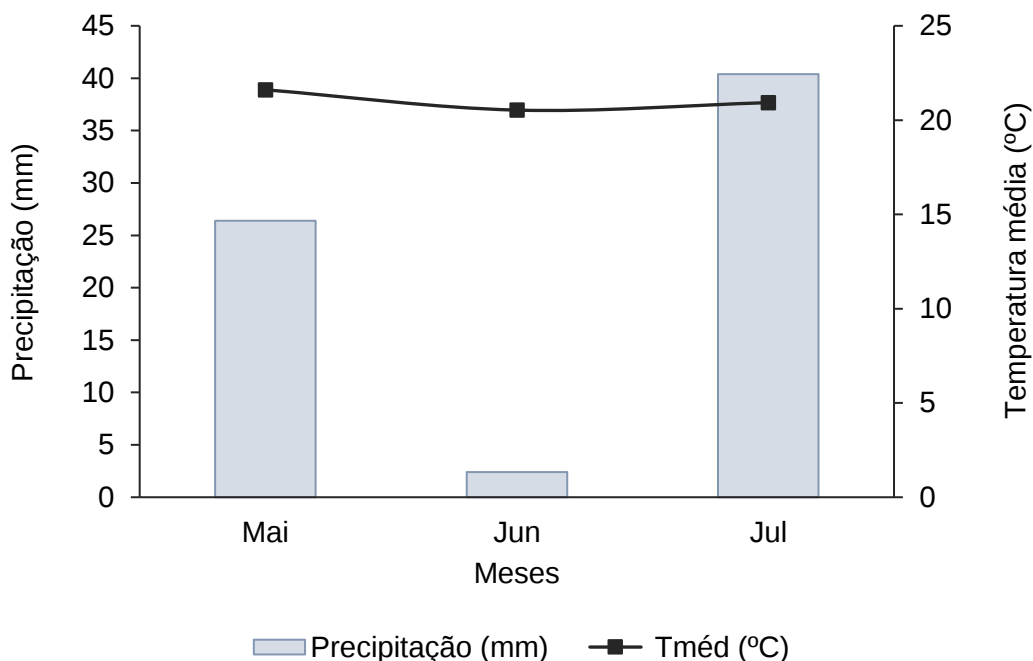
O estudo foi desenvolvido em parcelas ocupadas por eucalipto e pastagem, na área do Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, campus Alegre, localizado no distrito de Rive, município de Alegre, Espírito Santo, Brasil (Figura 1). O clima local é do tipo Aw, tropical de inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

Figura 1 – Mapa de localização das parcelas de eucalipto e pastagem, Rive, Alegre – ES.



Os ensaios foram realizados entre os meses de maio e julho de 2023. Nesse período foi registrado uma pluviosidade de 69,2 mm e temperatura média de 20,3°C, na estação automática A617 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), situada a aproximadamente 4 km das parcelas experimentais. A média da temperatura e a distribuição das chuvas no período estudado podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Temperatura média mensal e precipitação mensal ocorridas no período de maio a julho de 2023, Alegre – ES.



Fonte: INMET (2023).

4.2 Histórico das áreas

A área de estudo é composta por duas parcelas, uma ocupada por plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* e a outra com pastagem extensiva utilizada para criação de gado leiteiro (Figura 1). As áreas são adjacentes, possuindo topografia semelhante. O solo de ambas as parcelas foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (Santos, 2020).

Ambas as parcelas possuem longo histórico de uso para pastagem extensiva de gado. Segundo Zacarias (2021), em 2011, a área correspondente ao atual plantio de eucalipto passou de pastagem com uso extensivo para pastagem manejada em sistemas de piquetes para criação de gado. A partir de 2013, a pastagem desta área passou a ser utilizada para criação de caprinos, quando se iniciou o manejo com uso de calagem, adubação e irrigação. O atual cultivo de eucalipto foi estabelecido em março de 2018. Na fase de implantação do eucalipto, foi realizada a limpeza da área e as mudas foram plantadas em sulcos. O solo não necessitou de calagem, sendo feita uma adubação fosfatada em dose única de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 no ato do plantio, e as adubações nitrogenada e a potássica foram realizadas em três parcelas, sendo

uma no plantio, e duas em cobertura, totalizando 40 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O (Santos, 2020).

A parcela correspondente à pastagem extensiva foi conduzida sem realização de nenhum tipo de manejo em relação à correção de acidez, adubação ou irrigação. Esta situação é correspondente à situação da parcela de eucalipto antes de 2011, sendo, portanto, considerada como o uso anterior do solo em relação à parcela de eucalipto.

A caracterização química das áreas de estudo foi realizada através da coleta de solo em três pontos próximos a cada ensaio de infiltração, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e posterior análise química, de acordo com o manual de análises de solo da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) (Teixeira *et al.*, 2017). As médias dos atributos analisados para cada área estão apresentados na Tabela 1. A área de eucalipto apresenta maiores teores de fósforo, principalmente nas primeiras camadas, assim como de potássio na camada superior. Os demais elementos têm valores bem similares para ambas as áreas. A saturação de bases é maior nas primeiras camadas da pastagem e a capacidade de troca catiônica efetiva é maior em sua camada de 10-20 cm.

Tabela 1 – Valores médios dos atributos químicos do solo sob cultivo de eucalipto e pastagem, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm

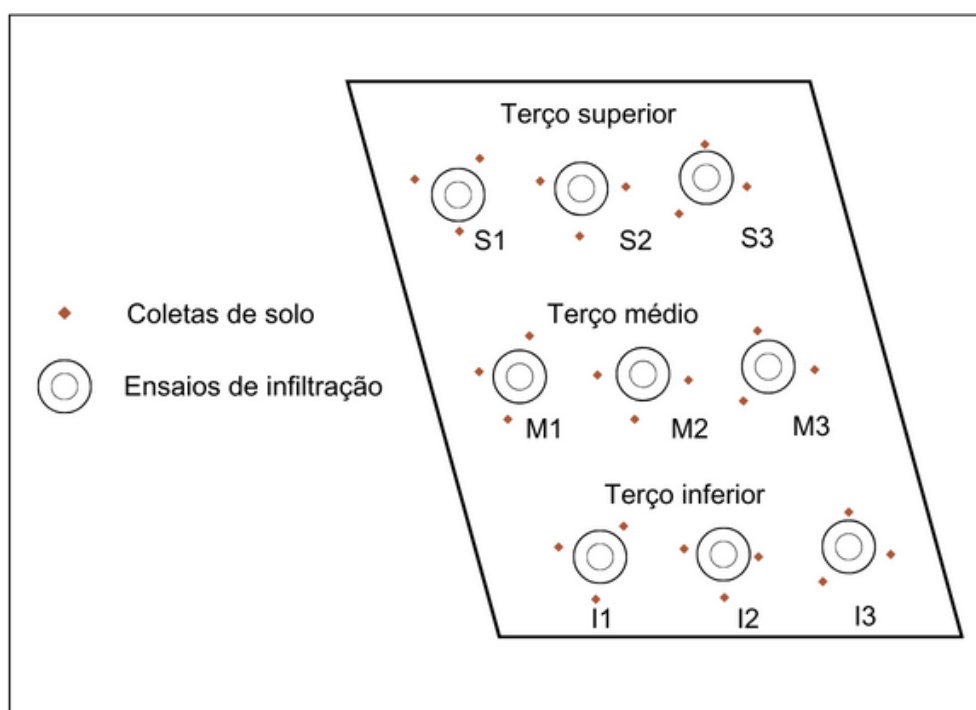
Cultura	Profundidade		pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	t	T	S.B.	V	m	ISNa
	cm		H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol ^c dm ⁻³									%
Eucalipto	0-10	Média	5,67	12,94	73,27	1,56	1,35	0,55	0,02	2,57	2,11	4,66	2,09	44,42	1,36	0,13
		SD	0,16	8,53	21,36	1,88	0,32	0,14	0,03	0,38	0,48	0,82	0,51	4,59	1,61	0,16
	10-20	Média	5,41	8,43	63,56	0,33	1,64	0,75	0,01	1,74	2,56	4,29	2,55	60,84	0,29	0,03
		SD	0,16	5,83	13,33	1,00	0,25	0,19	0,02	0,71	0,43	0,86	0,44	12,38	0,86	0,08
	20-40	Média	5,47	1,30	34,33	2,11	1,84	0,86	0,00	1,85	2,80	4,65	2,80	60,71	0,00	0,20
		SD	0,21	0,81	12,33	1,62	0,23	0,24	0,00	0,56	0,45	0,88	0,45	6,21	0,00	0,16
Pastagem	0-10	Média	5,86	9,76	62,44	1,67	1,58	0,59	0,03	1,93	2,36	4,26	2,34	53,73	1,55	0,16
		SD	0,34	11,56	21,95	1,58	0,53	0,23	0,03	0,21	0,72	0,76	0,74	8,80	1,53	0,15
	10-20	Média	5,80	1,19	68,33	7,11	2,89	1,31	0,00	1,80	4,41	6,21	4,41	70,08	0,00	0,51
		SD	0,24	1,58	60,10	1,83	0,92	0,42	0,00	0,50	1,26	1,45	1,26	8,81	0,00	0,10
	20-40	Média	5,80	1,16	15,67	2,89	1,67	0,69	0,00	1,75	2,42	4,17	2,42	58,33	0,00	0,31
		SD	0,30	0,95	10,81	1,17	0,34	0,34	0,00	0,48	0,61	0,88	0,61	8,69	0,00	0,14

pH – potencial hidrogeniônico em água; P – fósforo (extrator Mehlich-1); K – potássio (extrator Mehlich-1); Na – sódio; Ca – cálcio (extrator KCl); Mg – magnésio (extrator KCl); Al – alumínio (extrator KCl); H+Al – acidez potencial; t – capacidade de troca catiônica efetiva; T – capacidade de troca catiônica a pH 7; SB – soma de bases trocáveis; V – índice de saturação em bases; m – índice de saturação em alumínio, ISNa - índice de saturação em sódio.

4.3 Ensaios de infiltração

Os ensaios de infiltração foram realizados em três posições na encosta da área experimental de cada uso, distantes entre si em aproximadamente 30 m, sendo três medições para cada posição, totalizando nove pontos dentro de cada área (Figura 3). Os pontos foram escolhidos observando a ausência de formigueiros, cupinzeiros e estradas ou outras condições que influenciariam os resultados.

Figura 3 – Esquema de coletas de solo e ensaios de infiltração da água no solo.



S1, S2 e S3: pontos 1, 2 e 3, respectivamente, do terço superior; M1, M2 e M3: pontos 1, 2 e 3, respectivamente, do terço médio; I1, I2 e I3: pontos 1, 2 e 3, respectivamente, do terço inferior. Para diferenciar as áreas foi adotado E para a área de eucalipto e P para a área de pastagem, antes das siglas supracitadas (p.ex.: PI1- ponto 1 do terço inferior da pastagem). Fonte: a autora.

Para a realização dos ensaios de infiltração foi utilizado o método do infiltrômetro de anéis, descrito em Brandão *et al.* (2006) (Figura 4), pela disponibilidade do equipamento e facilidade de transporte de uma área para outra. Os infiltrômetros utilizados possuem 30 cm de altura, 20 e 40 cm de diâmetro. Os dados dos ensaios foram coletados inicialmente a partir de um valor fixo superior e inferior de lâmina de água, observado na régua de medição do nível, de modo que, quando a lâmina chegava no mínimo estipulado anotava-se o horário e o anel interno era preenchido

com água até o limite superior estabelecido. Quando observado que o tempo para infiltração aumentava, passava-se a fixar o tempo e fazia-se a leitura na régua, seguindo com o preenchimento com água. Esse procedimento foi repetido até a estabilização na infiltração.

Figura 4 – Infiltrômetro de anéis utilizado em ensaios de infiltração em área de eucalipto (a) e pastagem (b).



Fonte: a autora

4.4 Caracterização física do solo

Com intuito de caracterizar o solo, foram abertas pequenas trincheiras em três pontos próximos a cada local de ensaio de infiltração, para a coleta de amostras indeformadas e deformadas do solo na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Figura 5a).

As amostras deformadas foram retiradas com auxílio de pás de jardim e faca inox, acondicionadas em sacola plástica vedada e identificada (Figura 5b), com exceção da amostra destinada a determinação de umidade, que foi mantida em lata de alumínio vedada até o momento da análise. Já as amostras indeformadas foram retiradas utilizando anéis volumétricos de aço inox com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, e embaladas posteriormente em plástico filme para evitar perdas e alteração estrutural durante o transporte (Figura 5c e d).

Figura 5 – Coletas de solo por meio de trincheiras (a); armazenamento de amostra deformada em sacola plástica (b); retirada e armazenamento de amostra indeformada em anel volumétrico (c e d).



Fonte: a autora.

A partir das amostras deformadas foram realizadas as seguintes análises: granulometria, de acordo com metodologia de Teixeira *et al.* (2017) e carbono orgânico total (COT) de acordo com metodologia de Yeomans e Bremner (1988) adaptada por Mendonça e Matos (2005), sendo adotada uma concentração de 0,2 M de sulfato de amônio ferroso $[\text{Fe} (\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ e 0,50 g de amostra de solo. As amostras indeformadas foram utilizadas para a determinação de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) (Teixeira *et al.*, 2017).

A granulometria foi determinada por dispersão mecânica em agitador do tipo Wagner a 50 rpm por 16 h, seguida pela separação das frações areia, por peneiramento e das frações silte e argila por sedimentação e determinação por meio do método da pipeta. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa do solo seco mantido em estufa a 105 °C por 24 horas e o volume do anel volumétrico. A porosidade total foi obtida pela mensuração da massa de água necessária para saturar a amostra de solo em anel volumétrico e a massa do solo seco em estufa. Considera-se que a densidade da água seja igual a 1000 kg m⁻³, portanto a diferença obtida entre as massas de água é igual ao seu volume. A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão, com uso de amostras indeformadas saturadas e de volume conhecido. Foi aplicada a tensão de 0,60 m (tensão de 6 kPa)

de coluna de água e após o equilíbrio as amostras foram pesadas. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e microporosidade.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada a partir de ensaios realizados com penetrômetro de impacto modelo Stolf, em três pontos próximos aos locais dos ensaios de infiltração, considerando a umidade atual do solo no momento dos ensaios, de acordo com a Equação 9 (Stolf, 1991).

$$RP = 5,6 + \frac{68,9 * NI}{Pf} * 0,0980665 \quad (9)$$

em que RP é a resistência do solo à penetração, MPa; NI é o número médio de impactos; e Pf é a profundidade da camada penetrada, cm.

4.5 Análise estatística dos atributos físicos do solo

Os dados de Ds, RP, Pt, Ma, Mi e Tie obtidos foram padronizados e foram construídos dendrogramas de dissimilaridade a partir da distância euclidiana. Realizou-se Análise de Componentes Principais (PCA) a partir desses mesmos dados, com o objetivo de identificar as variáveis que mais influenciam as áreas. Foi estabelecida a correlação de Pearson entre essas variáveis físicas do solo de cada área. Essas análises foram realizadas em caráter exploratório dos dados.

A normalidade dos dados foi avaliada a partir do teste de Shapiro-Wilk. Para avaliar a diferença entre as posições no terreno, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as médias consideradas diferentes pelo teste F a 5% de significância, foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância. Para avaliar se houve diferença entre as duas áreas, foi realizado o teste F da ANOVA a 5% de significância. Todas as análises foram realizadas através do software RStudio, versão 4.3.2 (R Core Team, 2023).

4.6 Ajuste de modelos de infiltração

A partir dos dados observados, os valores de infiltração instantânea foram estimados por meio dos modelos de infiltração de Kostikov (Equação 2), Kostikov-Lewis (Equação 4), Horton (Equação 6) e Philip (Equação 8). Os parâmetros de ajuste

(K, α , β , f_1) das equações de regressão foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados não lineares, utilizando os dados de infiltração instantânea e tempo, que foram medidos em campo.

Os valores de infiltração estimados foram confrontados com os valores medidos e o desempenho do modelo foi averiguado através do coeficiente de determinação – R^2 (Equação 10), pelo coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe – NSE (Nash; Sutcliffe, 1970) (Equação 11), pela raiz do quadrado médio do erro – RMSE (Equação 12), pelo erro médio ou Bias – MBE (Equação 13) e pelo erro médio absoluto – MAE (Equação 14).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}} \right]^2 \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{n}} \quad (11)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (12)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)}{n} \quad (13)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (|E_i - O_i|)}{n} \quad (14)$$

em que: O_i – é o i-ésimo valor observado; $\bar{O}$ – média dos valores observados O ; E_i – é o i-ésimo valor estimado; $\bar{E}$ – é a média dos valores estimados E ; n é o número total de observações.

4.6.1 Ajuste dos modelos a partir de valor de β médio para Horton

A fim de obter uma equação única para cada área, utilizou-se uma média de todos os betas estimados pelos ensaios de infiltração da respectiva área para ajustar o modelo de Horton (Equação 6). A seguir, foi realizado o mesmo procedimento utilizando o valor de Tie médio de cada área. Os valores encontrados foram confrontados com os medidos e seu desempenho foi avaliado a partir dos mesmos índices utilizados no item anterior.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização geral

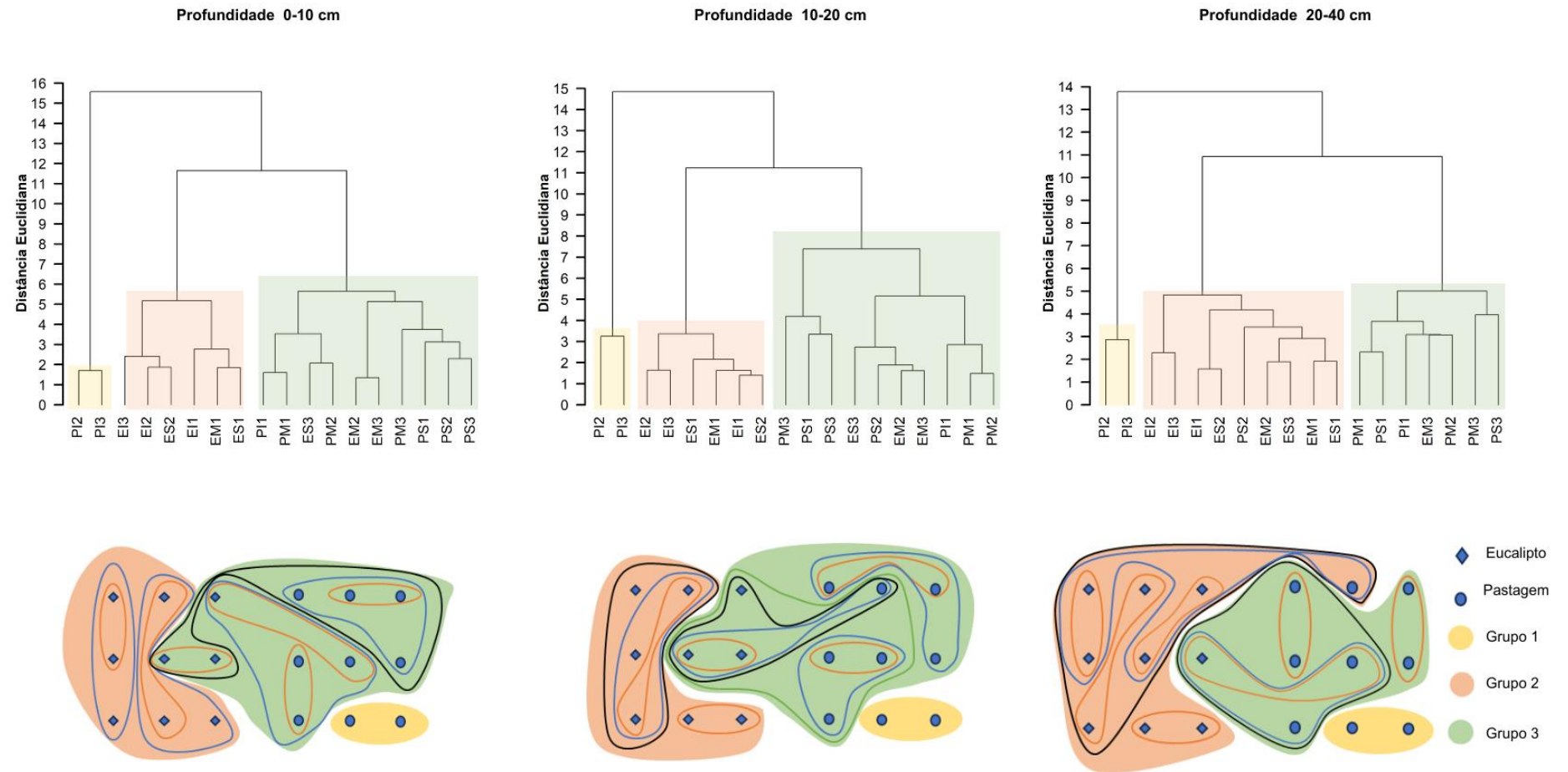
A partir dos dados dos atributos físicos do solo e da Tie, foram estabelecidos dendrogramas de dissimilaridade (Figura 6). Os valores médios dos atributos físicos e físico-hídricos do solo, por ponto de amostragem, para cada profundidade são apresentados no Apêndice A.

Pode-se observar, na Figura 6, a formação de três grupos principais diferentes entre si, cujas médias dos atributos físicos são apresentadas na Tabela 2. Os pontos 2 e 3 do terço inferior da pastagem se mantêm os mais diferentes em todas as profundidades, formando o grupo 1, onde foram encontrados valores muito baixos de Tie (média de 12 mm h^{-1}), o menor valor de COT (média de $14,83 \text{ g kg}^{-1}$) e a maior microporosidade (média de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e sua textura é argilosa. O grupo 1, apesar de ter valores de densidade bem próximos dos demais pontos da pastagem, possui menor macroporosidade e COT, quando comparados com os grupos 2 e 3.

O grupo 2 é formado principalmente pelos pontos mais à esquerda do plantio de eucalipto, com alguma variação em decorrência da profundidade. Esse grupo é caracterizado por apresentar menor microporosidade ($0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), maior densidade, principalmente na camada superficial do solo ($1,66 \text{ kg dm}^{-3}$), e valores mais baixos de Tie em relação ao grupo 3 (média de $56,64 \text{ mm h}^{-1}$), com sua textura média.

Os pontos dos terços médio e superior da pastagem, juntamente com alguns pontos do terço médio e superior do eucalipto formam o grupo 3. Este possui os maiores valores de Tie (média de 110,14 mm h⁻¹), sua densidade é bem similar nas três profundidades, com média de (1,54 kg dm⁻³) e textura média.

Figura 6 – Dendrogramas de dissimilaridade entre as unidades amostrais nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, pelo método da distância euclidiana, utilizando dados dos atributos físicos do solo, em área de pastagem e eucalipto, Rive, Alegre - ES.



Fonte: a autora.

Tabela 2 – Médias dos atributos do solo dos grupos formados a partir do dendrograma de dissimilaridade

Tabela 2 – Médias dos atributos de solo dos grupos formados a partir do dendrograma de dissimilaridade												
Profundidade	RP (MPa)	Ds (kg dm ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	Tie (mm h ⁻¹)	COT (g kg ⁻¹)	Textura
Grupo 1												
0-10	10,23	1,55	0,47	0,39	0,09	382,47	155,35	280,24	181,93	12,00	12,92	Argilosa
10-20	10,57	1,49	0,49	0,38	0,11	394,94	179,14	260,74	165,17	12,00	17,83	
20-40	10,12	1,56	0,47	0,37	0,09	462,61	138,12	238,89	160,38	12,00	13,74	
Média	10,31	1,53	0,48	0,38	0,10	413,34	157,54	259,96	169,16	12,00	14,83	
Grupo 2												
0-10	9,03	1,66	0,40	0,28	0,13	256,66	60,62	572,81	109,92	55,40	19,32	Média
10-20	6,90	1,52	0,43	0,24	0,19	257,50	59,42	570,69	112,39	55,40	20,80	
20-40	10,66	1,53	0,43	0,24	0,19	301,43	59,61	498,14	140,83	58,49	19,61	
Média	9,04	1,56	0,42	0,25	0,17	274,82	59,85	542,31	123,02	56,64	19,88	
Grupo 3												
0-10	12,00	1,53	0,44	0,29	0,15	301,05	54,33	483,61	161,01	107,32	14,99	Média
10-20	13,24	1,55	0,45	0,28	0,17	342,30	49,40	446,92	161,39	107,32	17,26	
20-40	14,47	1,52	0,45	0,29	0,16	381,01	51,04	423,76	144,19	117,21	20,05	
Média	13,15	1,54	0,45	0,29	0,16	338,63	51,63	453,41	156,34	110,14	17,25	

RP – Resistência à penetração; Ds – Densidade do solo; Pt – porosidade total; Mi – Microporosidade; Ma – macroporosidade; Tie – Taxa de infiltração estável; COT – carbono orgânico total.

As correlações de Pearson para eucalipto e pastagem são apresentadas nas Figuras 7 e 8, respectivamente, e a análise de componentes principais (PCA) para cada profundidade estudada é apresentada na Figura 9.

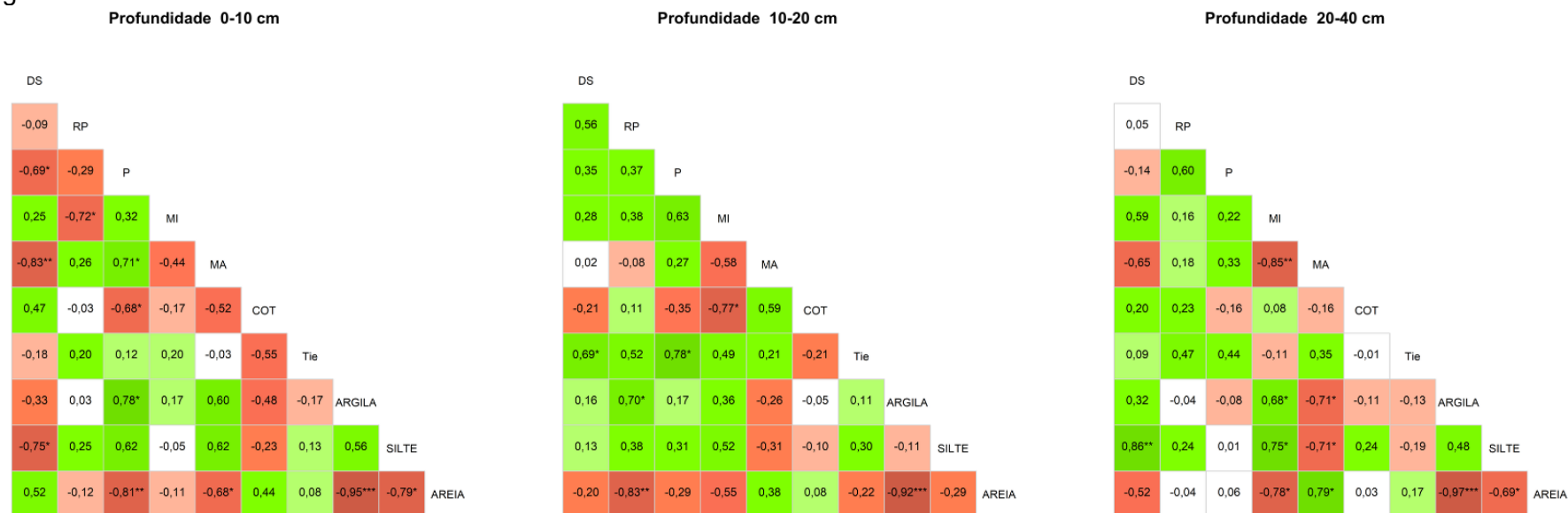
Na área de eucalipto (Figura 7), a Tie não se correlacionou de forma significativa com nenhuma das demais variáveis na camada superficial. A porosidade total, na camada de 0-10 cm, nessa área, está mais correlacionada positivamente com a macroporosidade e com o teor de argila presente no solo e se correlaciona de forma inversa com a densidade e com a areia.

A Tie se correlacionou de forma significativa e positiva com a macroporosidade e de forma significativa negativa com a microporosidade na camada de 0-10 cm, na área de pastagem (Figura 8). A porosidade total está mais correlacionada com a microporosidade, e esta, está por sua vez, está correlacionada à textura do solo e de forma inversa com a Tie, na profundidade de 0-10 cm.

A análise de componentes principais (Figura 9) mostra que aproximadamente 47% das variações encontradas na área é explicada pela componente principal um (CP1) e cerca de 24% pode ser explicada pela componente principal dois (CP2). Na camada de 0-10 cm, pode-se observar que a CP1 está mais associada com a microporosidade e com os teores de argila e areia, e em menor proporção ao COT. Já a densidade do solo, a macroporosidade e a Tie na camada superficial, e essas juntamente com a resistência à penetração nas demais profundidades, estão mais associadas à CP2.

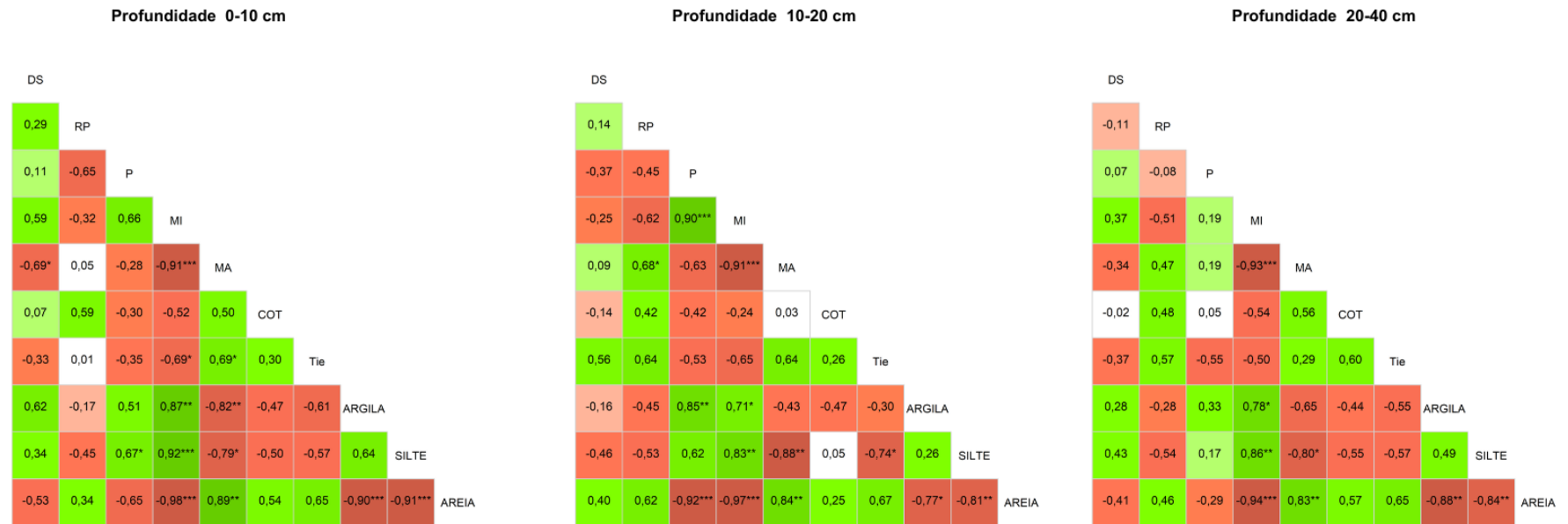
Pode-se perceber maior homogeneidade dos pontos do eucalipto e maior dispersão dos pontos da pastagem, sendo que o agrupamento dos pontos da pastagem está, em parte, relacionado com a microporosidade, o teor de argila, com a Tie e com a RP, enquanto no eucalipto está mais relacionado ao teor de areia e macroporosidade.

Figura 7 – Correlação de Pearson para os atributos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm do solo sob cultivo de eucalipto, Rive, Alegre – ES.



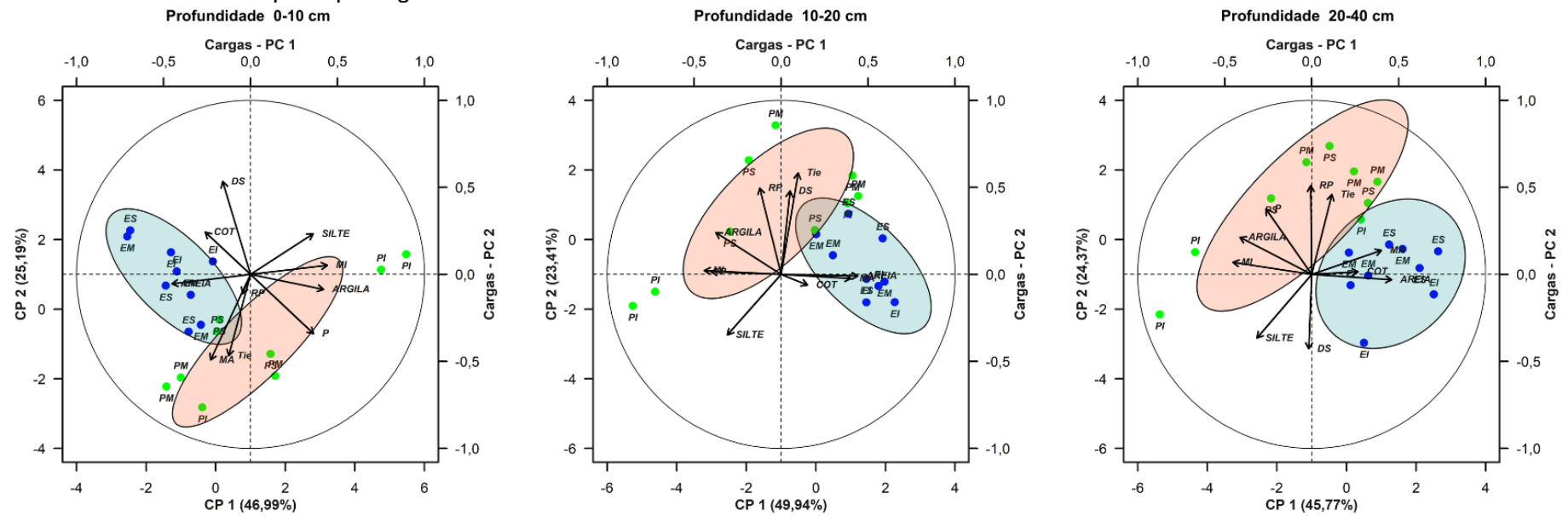
Ds – Densidade do solo (kg dm^{-3}); RP – Resistência à penetração (MPa); Pt – porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Mi – Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ma – macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); COT – carbono orgânico total (g kg^{-1}); Tie – Taxa de infiltração estável (mm h^{-1}). Fonte: a autora.

Figura 8 – Correlação de Pearson para os atributos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm do solo sob pastagem, Rive, Alegre – ES.



Ds – Densidade do solo (kg dm^{-3}); RP – Resistência a penetração (MPa); Pt – porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Mi – Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ma – macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); COT – carbono orgânico total (g kg^{-1}); Tie – Taxa de infiltração estável (mm h^{-1}). Fonte: a autora.

Figura 9 – Análise de Componentes Principais para as profundidades do solo de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, utilizando dados dos atributos físicos do solo das áreas de eucalipto e pastagem.



Fonte: a autora.

5.2 Influência da posição no terreno sobre os atributos físicos e infiltração de água no solo

Para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm não foi encontrada diferença significativa entre o terço inferior, médio e superior do terreno para nenhuma das variáveis analisadas, para nenhuma das áreas, através do teste F da ANOVA (Tabela 3 e 4). A resistência do solo à penetração foi a única variável que apresentou diferença significativa na profundidade de 20-40 cm, tendo o terço médio com maior resistência à penetração, tanto na área de eucalipto quanto na de pastagem, seguido do terço superior e do inferior, respectivamente, com base no teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 3 – Valores médios para os atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes profundidades para o terço inferior, médio e superior em área de eucalipto.

Posição	Ds (kg dm ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	COT (g kg ⁻¹)	RP (MPa)	Umidade (%)
0-10 cm							
Terço inferior	1,63 a	0,41 a	0,28 a	0,13 a	19,11 a	7,04 a	19,56 a
Terço médio	1,63 a	0,41 a	0,27 a	0,14 a	16,68 a	14,16 a	13,78 a
Terço superior	1,64 a	0,40 a	0,28 a	0,17 a	15,95 a	10,23 a	17,35 a
CV %	3,72	3,80	2,98	11,94	25,70	27,01	20,94
10-20 cm							
Terço inferior	1,51 a	0,43 a	0,25 a	0,18 a	18,75 a	5,4 a	17,68 a
Terço médio	1,52 a	0,43 a	0,25 a	0,18 a	19,11 a	10,59 a	14,21 a
Terço superior	1,55 a	0,44 a	0,25 a	0,19 a	19,74 a	9,32 a	14,19 a
CV %	1,87	2,20	5,55	4,04	25,32	27,82	10,39
20-40 cm							
Terço inferior	1,57 a	0,42 a	0,26 a	0,16 a	21,09 a	7,22 b	17,59 a
Terço médio	1,55 a	0,43 a	0,26 a	0,17 a	20,40 a	13,76 a	15,36 a
Terço superior	1,54 a	0,43 a	0,23 a	0,20 a	20,49 a	10,95 ab	12,81 a
CV %	2,65	2,67	8,40	10,18	24,55	23,24	15,45

Ds – Densidade do solo; Pt – porosidade total; Mi – Microporosidade; Ma – macroporosidade; COT – carbono orgânico total; RP – Resistência à penetração. Médias seguidas de mesma letra não diferenciam entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 4 – Valores médios para os atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes profundidades para o terço inferior, médio e superior em área de pastagem.

Posição	Ds (kg dm ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	COT (g kg ⁻¹)	RP (MPa)	Umidade (%)
0-10 cm							
Terço inferior	1,51 a	0,47 a	0,35 a	0,12 a	14,14 a	10,17 a	9,69 a
Terço médio	1,50 a	0,46 a	0,30 a	0,16 a	15,33 a	11,00 a	7,92 a
Terço superior	1,54 a	0,45 a	0,31 a	0,14 a	16,01 a	12,82 a	7,29 a
CV %	3,52	3,96	12,7	23,40	18,55	15,70	21,72
10-20 cm							
Terço inferior	1,50 a	0,47 a	0,34 a	0,12 a	21,65 a	11,68 a	12,60 a
Terço médio	1,59 a	0,44 a	0,28 a	0,17 a	17,07 a	14,94 a	10,80 a
Terço superior	1,54 a	0,46 a	0,31 a	0,16 a	14,70 a	13,58 a	11,75 a
CV %	4,13	5,85	14,30	14,82	32,09	20,48	17,81
20-40 cm							
Terço inferior	1,54 a	0,46 a	0,35 a	0,11 a	16,47 a	10,09 b	15,51 a
Terço médio	1,49 a	0,45 a	0,29 a	0,16 a	18,97 a	17,60 a	12,18 a
Terço superior	1,48 a	0,47 a	0,29 a	0,18 a	17,51 a	14,75 ab	12,15 a
CV %	3,76	3,55	12,08	22,96	28,06	18,94	16,36

Ds – Densidade do solo; Pt – porosidade total; Mi – Microporosidade; Ma – macroporosidade; COT – carbono orgânico total; RP – Resistência à penetração. Médias seguidas de mesma letra não diferenciam entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 5 são apresentadas as médias da Tie para as posições do terreno. Não foi encontrada diferença significativa entre o terço inferior, médio e superior de ambas as áreas (pelo teste F da ANOVA), mesmo havendo um decréscimo da infiltração na área de eucalipto de acordo com a declividade da encosta, o que não ocorre com a área de pastagem, em que o terço médio tem maior infiltração.

Tabela 5 – Valores médios da taxa de infiltração estável (mm h⁻¹) para três posições na encosta de áreas com eucalipto e pastagem.

Uso da terra	Terço inferior	Terço médio	Terço superior	CV %
Eucalipto	49,31	53,29	88,46	40,63
Pastagem	56,00	154,00	75,47	57,13

5.3 Atributos do solo sob eucalipto e pastagem

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios dos atributos físicos do solo nas áreas de eucalipto e da pastagem, submetidos ao teste F, com significância de 0,05. Os valores médios da taxa de infiltração estável encontradas para o eucalipto e pastagem estão apresentados na Tabela 7.

Ambas as áreas apresentam solos com condições físicas menos favoráveis à permeabilidade, como alta densidade, baixo teor de matéria orgânica e elevada resistência à penetração. As *Tie*'s encontradas nessas áreas são consideradas como representativas de moderada permeabilidade (entre 40 e 190 mm h⁻¹), de acordo com os critérios propostos por PRUSKI *et al.* (1997). Houve grande variação no comportamento da infiltração dentro das duas áreas estudadas, com um desvio padrão de 29,2 mm h⁻¹ para o eucalipto e 65,1 mm h⁻¹ para a pastagem, sendo que a pastagem apresentou, em média, uma *Tie* 66% maior que a área sob cultivo de eucalipto, contudo não se diferiram estatisticamente.

Na camada superficial, o solo sob cultivo de eucalipto apresenta-se mais compactado e com menor porosidade total que a pastagem, o que pode contribuir para o valor mais baixo de infiltração observado, embora a diferença não seja significativa.

Tabela 6 – Médias dos atributos físicos e do carbono orgânico total para as áreas de eucalipto e pastagem

Área	RP (MPa)	Ds (kg dm ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	COT (g kg ⁻¹)
0-10 cm										
Eucalipto	9,75 a	1,63 a	0,41 b	0,28 b	0,13 a	263,2 b	64,8 a	556,46 a	115,58 b	17,25 a
Pastagem	11,23 a	1,52 b	0,46 a	0,32 a	0,14 a	327,4 a	70,5 a	425,04 b	177,03 a	15,16 a
s	3,212	0,078	0,030	0,037	0,025	49,847	35,697	104,243	40,02	3,487
CV%	30,62	4,95	6,93	12,37	18,66	16,88	52,77	21,24	27,36	21,52
10-20 cm										
Eucalipto	8,37 b	1,53 a	0,44 b	0,25 b	0,19 a	273,3 b	62,1 a	545,92 a	118,68 b	19,20 a
Pastagem	13,29 a	1,54 a	0,46 a	0,31 a	0,15 b	366,5 a	72,2 a	389,05 b	172,27 a	17,81 a
s	3,790	0,051	0,022	0,044	0,024	66,262	43,595	114,636	39,214	4,989
CV%	35,00	3,32	4,92	15,77	16,77	20,71	64,92	24,52	26,96	26,96
20-40 cm										
Eucalipto	10,56 a	1,55 a	0,43 b	0,25 b	0,18 a	303,5 b	64,9 a	504,23 a	127,54 b	20,66 a
Pastagem	14,03 a	1,51 a	0,46 a	0,31 a	0,15 a	406,1 a	64,2 a	368,32 b	161,44 a	17,65 a
s	4,058	0,052	0,022	0,045	0,036	68,143	32,730	101,53	30,908	4,554
CV%	33,01	3,40	4,97	16,07	22,22	19,21	50,72	23,27	21,39	23,77

RP – Resistência à penetração; Ds – Densidade do solo; Pt – porosidade total; Mi – Microporosidade; Ma – macroporosidade; COT – carbono orgânico total. Médias seguidas de mesma letra não diferenciam entre si, pelo teste F a 5% de significância.

Tabela 7 – Média da taxa de infiltração estável (Tie) para área de eucalipto e pastagem, Rive, Alegre – ES

Área	Tie (mm h⁻¹)
Eucalipto	63,7 a
Pastagem	95,2 a
s	51,5
CV%	64,9

Médias seguidas de mesma letra não diferenciam entre si, pelo teste F a 5% de significância.

5.4 Modelagem da infiltração

As curvas de infiltração simuladas pelos modelos de Kostiakov (K), Kostiakov-Lewis (KL), Horton (H) e Philip (P), correspondentes às áreas sob eucalipto e pastagem, são apresentadas nas Figuras 10 e 11, respectivamente. Ao observar os valores estimados em relação aos valores medidos em campo, verifica-se que todos os modelos encontraram dificuldade para se aproximar da taxa de infiltração inicial, sendo o de K e de KL são os que mais se aproximam. O modelo de Horton, apesar de não ser capaz de estimar com precisão os valores iniciais, foi o que melhor estimou os valores finais da infiltração, enquanto os demais modelos tenderam a superestimar esses valores, principalmente o de Philip.

Os valores médios dos coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação dos dados simulados com os valores observados para ambas as áreas estão elencados na Tabela 9 e os valores por ensaio de infiltração são detalhados no Apêndice B. Para todos os ajustes, o modelo de Philip foi o que teve pior desempenho, tendo erro médio absoluto (MAE) variando de 11,25 a 48,91 mm h⁻¹ e coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) médio de 0,60, para a área de eucalipto. Já para a área de pastagem, o MAE variou entre 16,23 e 91,99 mm h⁻¹, e o NSE médio foi igual a 0,53, apesar dos altos valores do coeficiente de determinação (R²). Esse modelo foi o com maior superestimação (MBE= 12,58 e 21,50 mm h⁻¹ para eucalipto e pastagem, respectivamente). Os demais modelos foram melhores que o de Philip e tiveram desempenhos semelhantes entre si.

Observando o ajuste do ponto 1 do terço médio do eucalipto e seus coeficientes apresentados no Apêndice B, percebe-se que o desempenho de estimativa foi bem abaixo do ideal, o que pode ser atribuído à variação encontrada nos dados de campo, oriunda provavelmente de um erro amostral.

As equações com os parâmetros estimados estão elencadas na Tabela 8. Em relação aos coeficientes ajustados, o modelo de KL obteve valores muito elevados para K e valores muito baixos para α , portanto não significativos para a maioria das equações.

Figura 10 – Valores de infiltração medidos e curvas de infiltração estimadas pelos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip em Latossolo Vermelho-amarelo, sob cultivo de eucalipto, para três posições de amostragem e três repetições em cada uma

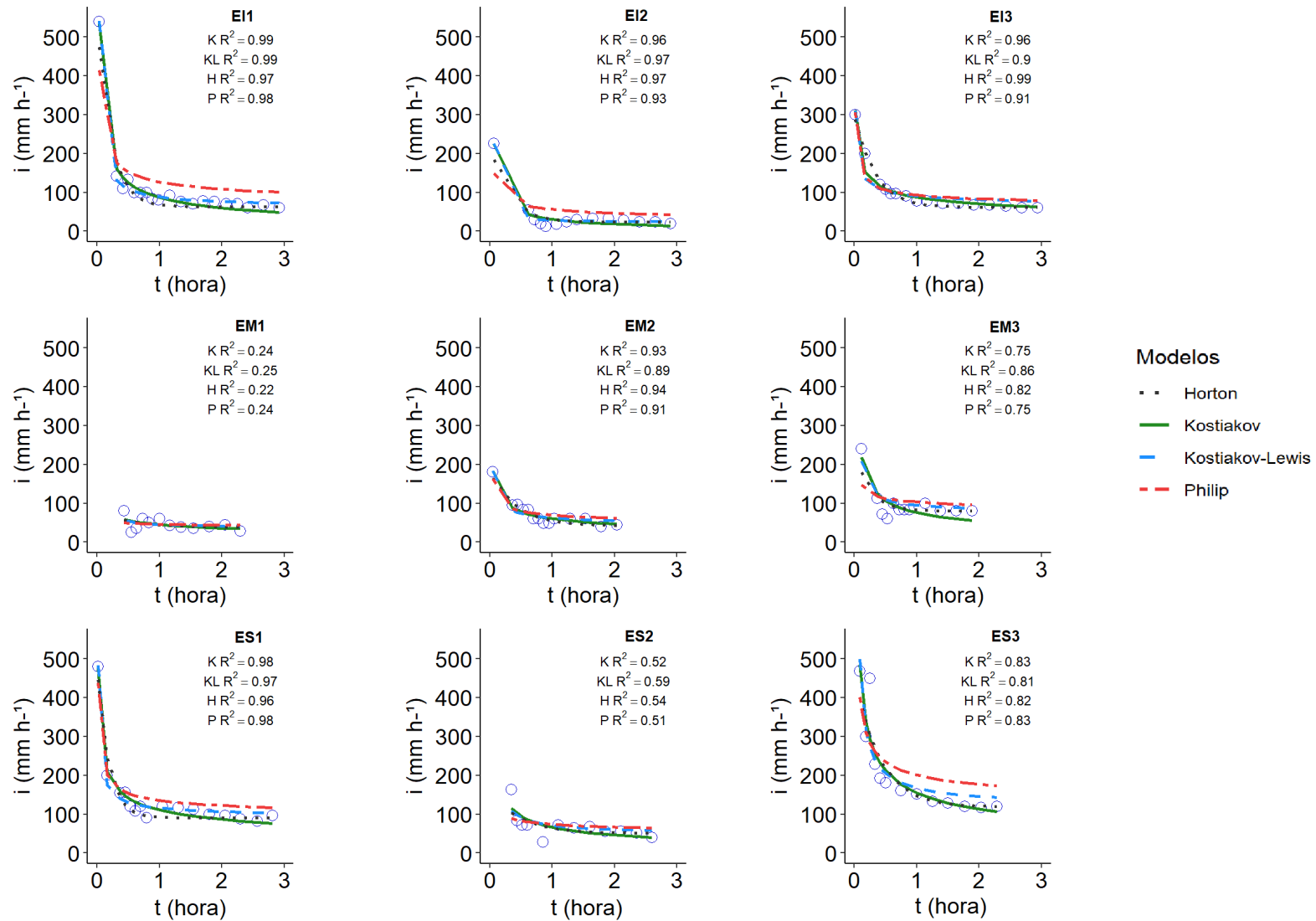


Figura 11 - Valores de infiltração medidos e curvas de infiltração estimadas pelos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip em Latossolo Vermelho-amarelo, sob pastagem, para três posições de amostragem e três repetições em cada uma.

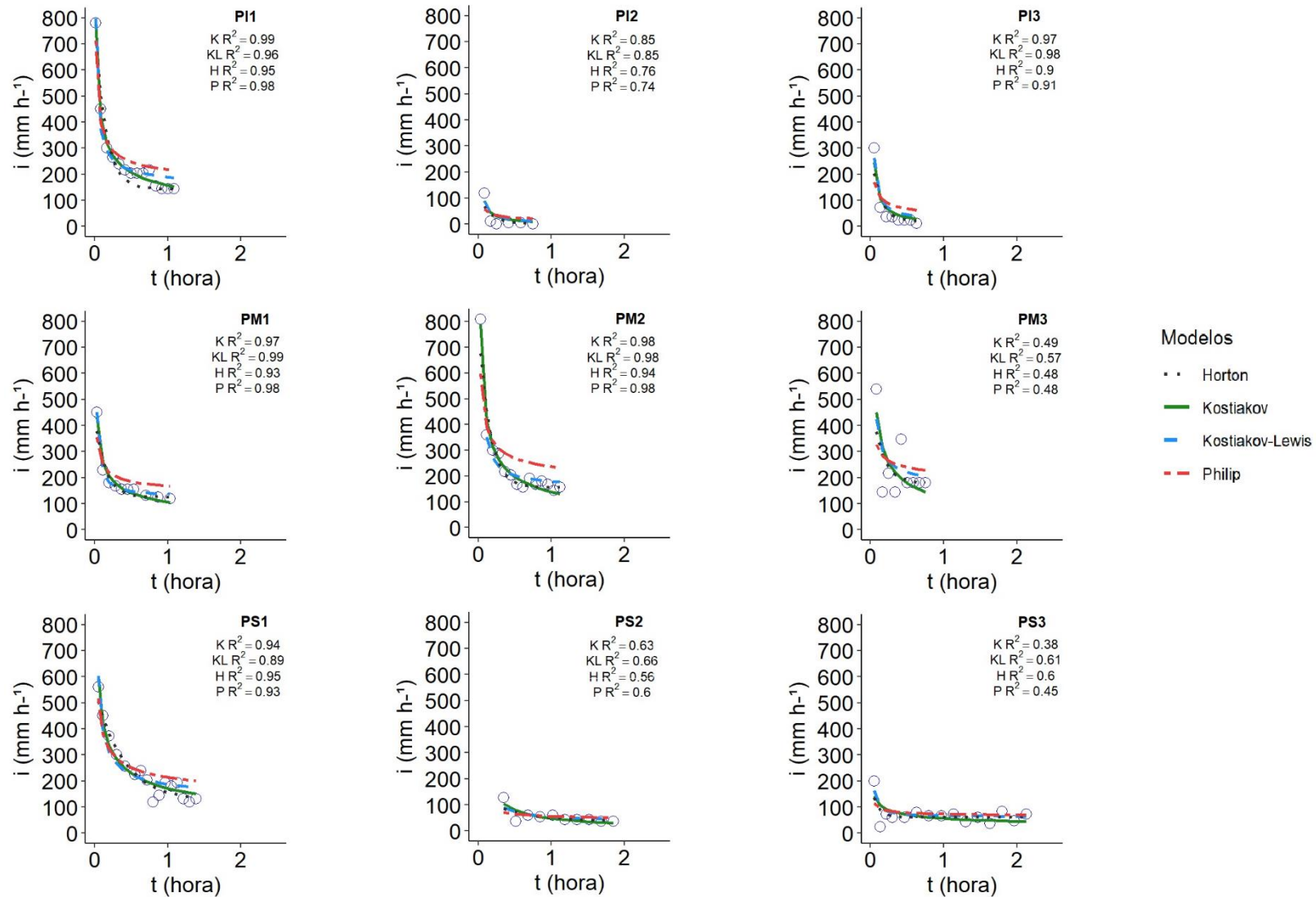


Tabela 8 – Equações de infiltração instantâneas com parâmetros estimados para as áreas de eucalipto e pastagem estudadas

Área	K	KL	H	P
EI1	$i = 186,284 \cdot 0,466^* \cdot t^{(0,466^*-1)}$	$i = 184,773 \cdot 0,138^* \cdot t^{(0,138^*-1)} + 62,67$	$i = 62,67 + (540 - 62,67)e^{-4,458^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 128,51^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 62,67$
EI2	$i = 115,482 \cdot 0,264^* \cdot t^{(0,264^*-1)}$	$i = -10,031^{ns} \cdot -0,424^{ns} \cdot t^{(-0,424^{ns}-1)} + 24$	$i = 24 + (225 - 24)e^{-3,421^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 64,11^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 24$
EI3	$i = 126,84 \cdot 0,69^* \cdot t^{(0,69^*-1)}$	$i = 61,242 \cdot 0,476^* \cdot t^{(0,476^*-1)} + 61,25$	$i = 61,25 + (300 - 61,25)e^{-3,09^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 63,06^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 61,25$
EM1	$i = 65,7^* \cdot 0,687^* \cdot t^{(0,687^*-1)}$	$i = 30960^{ns} \cdot 0,0003^{ns} \cdot t^{(0,0003^{ns}-1)} + 37,86$	$i = 37,86 + (80,77 - 37,86)e^{-1,835^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 16,768^{ns} \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 37,86$
EM2	$i = 95,976 \cdot 0,629^* \cdot t^{(0,629^*-1)}$	$i = 57,772 \cdot 0,357^* \cdot t^{(0,357^*-1)} + 42$	$i = 42 + (180 - 42)e^{-2,333^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 54,238^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 42$
EM3	$i = 149,694 \cdot 0,506^* \cdot t^{(0,506^*-1)}$	$i = 874500^{ns} \cdot 0,00002^{ns} \cdot t^{(0,00002^{ns}-1)} + 80$	$i = 80 + (240 - 80)e^{-4,134^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 45,9^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 80$
ES1	$i = 171,806 \cdot 0,645^* \cdot t^{(0,645^*-1)}$	$i = 76,493 \cdot 0,329^* \cdot t^{(0,329^*-1)} + 90,63$	$i = 90,63 + (480 - 90,63)e^{-5,5^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 89,575^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 90,63$
ES2	$i = 140,552 \cdot 0,472^* \cdot t^{(0,472^*-1)}$	$i = 72000^{ns} \cdot 0,0002^{ns} \cdot t^{(0,0002^{ns}-1)} + 51$	$i = 51 + (162,86 - 51)e^{-2,364^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 36,28^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 51$
ES3	$i = 286,105 \cdot 0,541^* \cdot t^{(0,541^*-1)}$	$i = 281,42^{ns} \cdot 0,173^{ns} \cdot t^{(0,173^{ns}-1)} + 118,75$	$i = 118,75 + (468 - 118,75)e^{-2,524^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 163,1^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 118,75$
PI1	$i = 259,908 \cdot 0,608^* \cdot t^{(0,608^*-1)}$	$i = 130,152 \cdot 0,348^* \cdot t^{(0,348^*-1)} + 144$	$i = 144 + (780 - 144)e^{-6,85^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 147,1^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 144$
PI2	$i = 327300^{ns} \cdot 0,00002^{ns} \cdot t^{(0,00002^{ns}-1)}$	$i = 275000^{ns} \cdot 0,00003^{ns} \cdot t^{(0,00003^{ns}-1)} + 3$	$i = 3 + (120 - 3)e^{-7,097^{ns} \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 31,07^{ns} \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 3$
PI3	$i = 126,84^{ns} \cdot 0,154^{ns} \cdot t^{(0,154^{ns}-1)}$	$i = 517000^{ns} \cdot 0,00002^{ns} \cdot t^{(0,00002^{ns}-1)} + 21$	$i = 21 + (300 - 21)e^{-8,409^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 66,47^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 21$
PM1	$i = 180,593 \cdot 0,585^* \cdot t^{(0,585^*-1)}$	$i = 786,3^{ns} \cdot 0,014^{ns} \cdot t^{(0,014^{ns}-1)} + 126$	$i = 126 + (450 - 126)e^{-7,367^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 83,84^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 126$
PM2	$i = 283,811 \cdot 0,489^* \cdot t^{(0,489^*-1)}$	$i = 912,3^{ns} \cdot 0,026^{ns} \cdot t^{(0,026^{ns}-1)} + 156$	$i = 156 + (810 - 156)e^{-6,863^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 163,08^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 156$
PM3	$i = 258,738 \cdot 0,484^* \cdot t^{(0,484^*-1)}$	$i = 141200^{ns} \cdot 0,0001^{ns} \cdot t^{(0,0001^{ns}-1)} + 180$	$i = 180 + (540 - 180)e^{-7,187^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 84,78^{ns} \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 180$

PS1	$i = 293,257^* \cdot 0,587^* \cdot t^{0,587^*-1}$	$i = 193,494^* \cdot 0,312^* \cdot t^{(0,312^*-1)} + 128$	$i = 128 + (560 - 128)e^{-2,692^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 173,42^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 128$
PS2	$i = 183,67^{ns} \cdot 0,264^{ns} \cdot t^{0,264^{ns}-1}$	$i = 149300^{ns} \cdot 0,0001^{ns} \cdot t^{(0,0001^{ns}-1)} + 36$	$i = 36 + (128,57 - 36)e^{-1,818^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 41,44^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 36$
PS3	$i = 82,145^* \cdot 0,691^* \cdot t^{0,691^*-1}$	$i = 10300^{ns} \cdot 0,0005^{ns} \cdot t^{(0,0005^{ns}-1)} + 62,40$	$i = 62,40 + (200 - 62,40)e^{-12,348^* \cdot t}$	$i = \frac{1}{2} \cdot 23,13^* \cdot t^{-\frac{1}{2}} + 62,40$

* indica parâmetro significativo pelo teste t (P<0,05), ns indica parâmetro não significativo pelo teste t (P<0,05).

Tabela 9 – Coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados através dos modelos empregados. K – Kostiakov; KL – Kostiakov-Lewis; H – Horton; P – Philip

MODELO	RMSE	NSE	R ²	MBE	MAE
Eucalipto					
K	18,50	0,79	0,79	-0,56	13,49
KL	19,56	0,77	0,80	3,91	14,04
H	20,45	0,78	0,80	-3,52	15,14
P	31,29	0,60	0,78	12,58	25,48
Pastagem					
K	30,71	0,77	0,80	1,65	24,73
KL	32,66	0,77	0,83	9,99	26,94
H	38,25	0,74	0,79	-4,62	26,52
P	55,75	0,53	0,78	21,90	47,98

RMSE - raiz do quadrado médio do erro (mm h⁻¹); NSE - coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; R² - coeficiente de determinação; MBE – erro médio (mm h⁻¹); MAE – erro médio absoluto (mm h⁻¹).

5.4.1 Ajuste dos modelos a partir de valor de β médio para Horton

A partir dos valores de β estimados para a equação de Horton de todos os pontos de cada área foi calculado o β médio para avaliar como seria o comportamento dos ajustes para cada área (Figuras 12 e 14). Esse ajuste também foi feito utilizando os valores médios de β e Tie, simultaneamente (Figuras 13 e 15). As Tabelas 10 e 11 elencam os coeficientes estatísticos do desempenho dos ajustes. O Apêndice C traz as equações utilizadas para cálculo da infiltração dos pontos do eucalipto e da pastagem, utilizando o β médio de cada área.

O valor de MAE aumentou de 15,14 para 15,64 mm h⁻¹ para a área de eucalipto e 26,52 para 33,95 mm h⁻¹ para a área de pastagem. O MBE indica que houve redução na subestimação para a área de eucalipto, passando de -3,52 para -2,29 mm h⁻¹ e aumento da subestimativa de -4,62 para -10,32 mm h⁻¹ para a área de pastagem. O NSE para o ponto 1 do terço médio do eucalipto teve valor próximo de zero e para o ponto 2 do terço superior da pastagem apresentou valor negativo, não sendo indicado a adoção da média para o ajuste desses pontos.

A utilização do β médio juntamente com o Tie média resulta nas equações $i = 63,68 + (i_i - 63,68)e^{-3,296t}$ para a área sob eucalipto e $i = 95,16 + (i_i - 95,16)e^{-6,737t}$ para área de pastagem. Utilizando os valores de infiltração inicial de cada ensaio, observa-se na Tabela 11 que houve o aumento do valor de MAE de 15,64 para 25,54 mm h⁻¹ no eucalipto e de 33,95 para 68,05 mm h⁻¹ para a pastagem (em relação ao uso somente do β médio), com R² de 0,79 e 0,76 para as áreas de eucalipto e pastagem, respectivamente. Contudo, a média de NSE apresentou valor negativo, contraindicando a utilização desse ajuste para a pastagem.

Figura 12 – Ajuste do modelo de Horton a partir de valor médio de β para a área de eucalipto

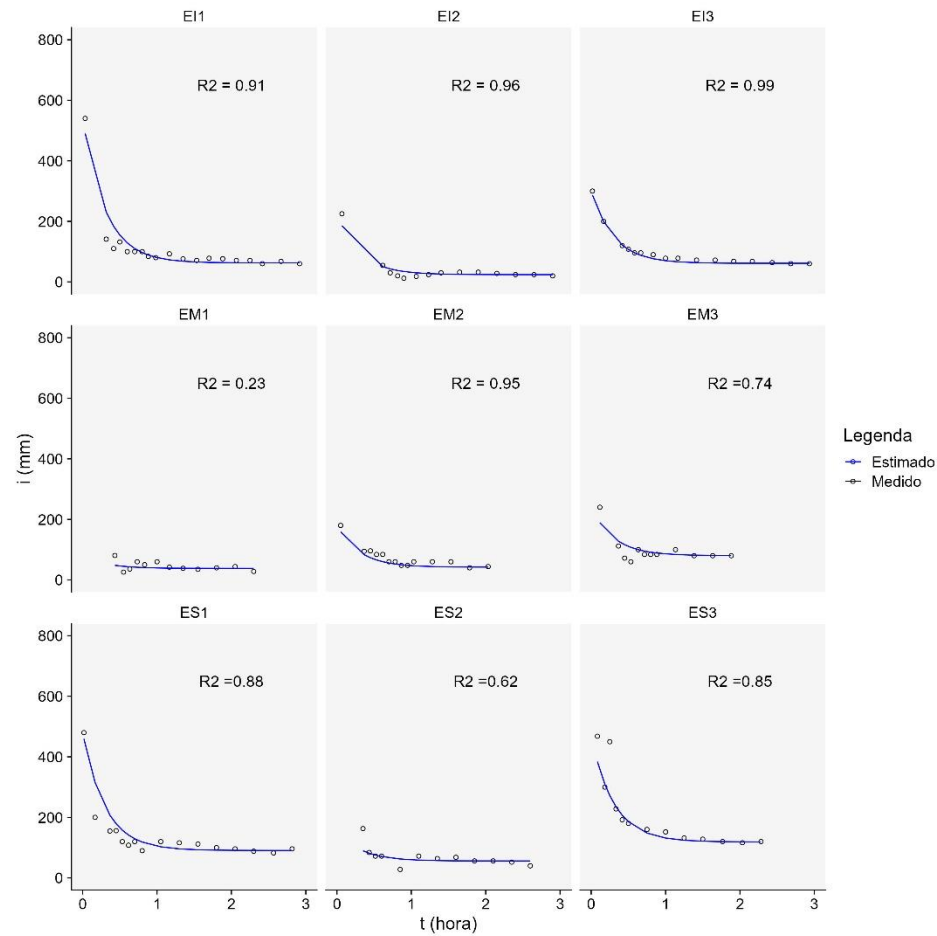


Figura 13 – Ajuste do modelo de Horton a partir dos valores médios de β e Tie , para a área de eucalipto

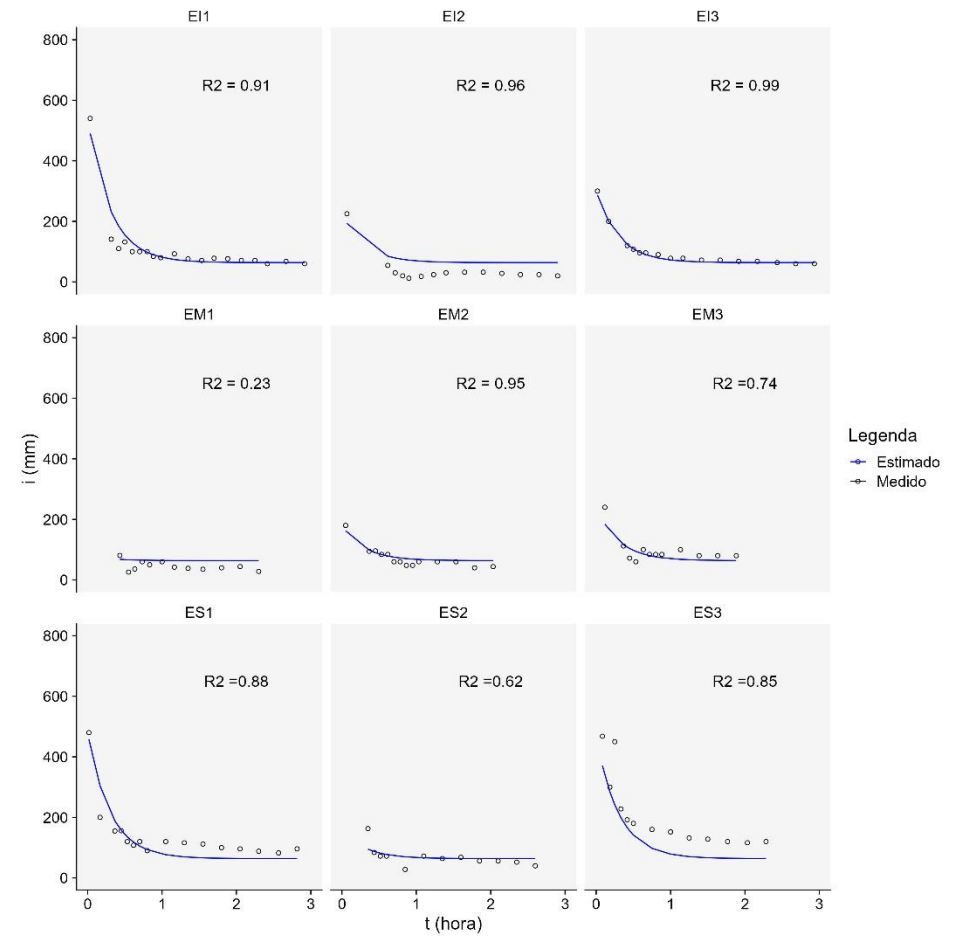


Figura 14– Ajuste do modelo de Horton a partir de valor médio de β para a área de pastagem.

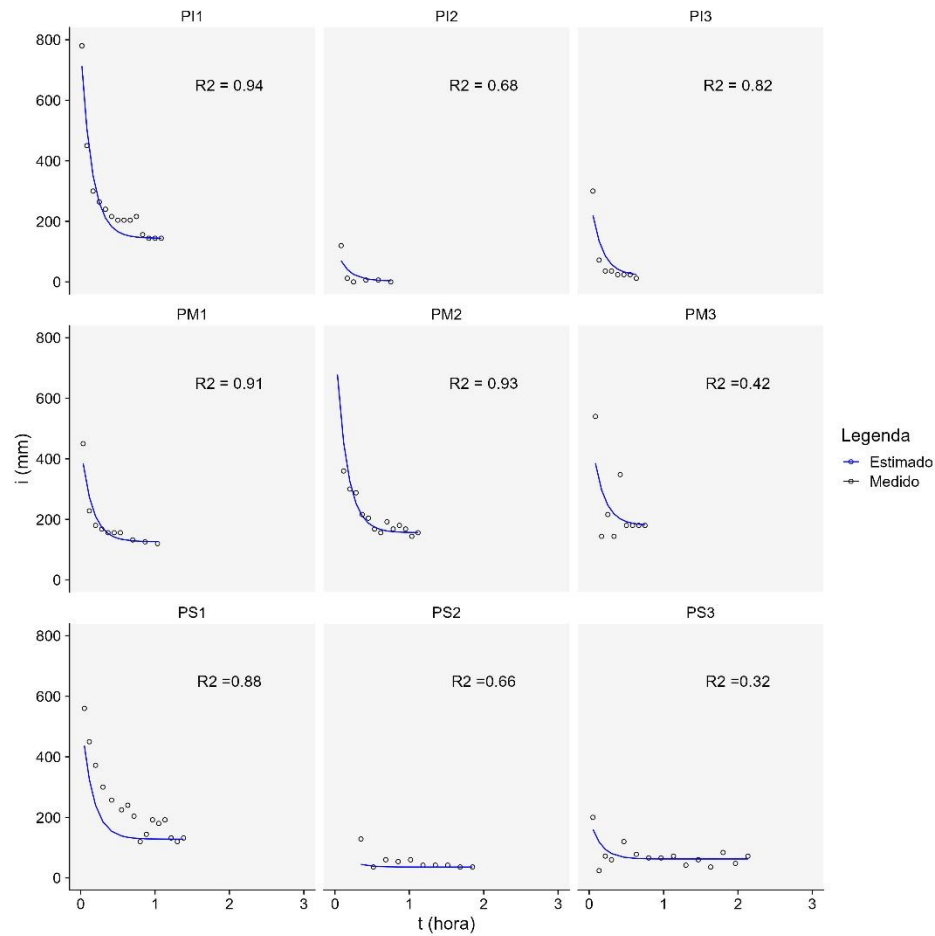


Figura 15 - Ajuste do modelo de Horton a partir de valores médios de β e T_{ie} para a área de pastagem.

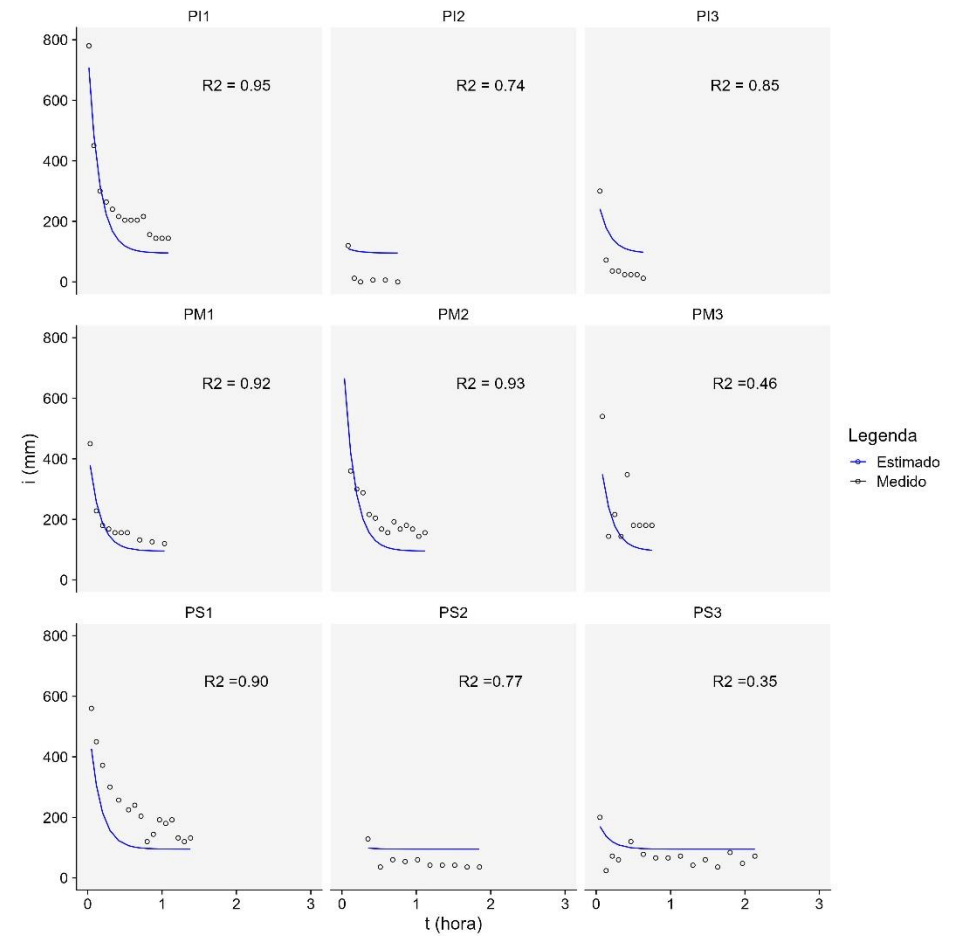


Tabela 10 – Coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados através do modelo de Horton utilizando valor de β médio para as áreas de eucalipto e pastagem

ÁREA	I1	I2	I3	M1	M2	M3	S1	S2	S3	MÉDIA
Eucalipto										
RMSE	31,10	14,34	7,39	14,40	14,16	25,09	36,83	24,46	55,33	24,79
NSE	0,91	0,92	0,99	0,07	0,83	0,69	0,84	0,41	0,78	0,72
R²	0,91	0,96	0,99	0,23	0,95	0,74	0,88	0,62	0,85	0,79
MBE	5,42	0,43	-5,30	-4,39	-10,94	5,52	13,45	-4,14	-20,67	-2,29
MAE	19,44	9,92	5,85	10,98	11,56	16,76	25,39	13,87	26,96	15,64
Pastagem										
RMSE	41,01	25,86	41,60	28,26	46,47	91,55	81,84	29,25	32,91	46,53
NSE	0,94	0,64	0,79	0,91	0,92	0,44	0,55	-0,22	0,33	0,59
R²	0,95	0,74	0,85	0,92	0,93	0,46	0,90	0,77	0,35	0,76
MBE	-16,97	1,77	12,32	-1,72	-7,88	-1,89	-65,41	-16,36	3,29	-10,32
MAE	32,72	18,76	32,26	19,55	29,20	64,98	67,66	16,93	23,52	33,95

RMSE - raiz do quadrado médio do erro (mm h⁻¹); NSE - coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; R² - coeficiente de determinação; MBE – erro médio (mm h⁻¹); MAE – erro médio absoluto (mm h⁻¹).

Tabela 11 – Coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados através do modelo de Horton utilizando valores de β e Tie médios para as áreas de eucalipto e pastagem.

ÁREA	I1	I2	I3	M1	M2	M3	S1	S2	S3	MÉDIA
Eucalipto										
RMSE	31,27	42,19	6,16	24,47	14,10	24,98	38,21	24,75	79,45	31,73
NSE	0,91	0,34	0,99	-1,68	0,83	0,69	0,83	0,40	0,54	0,43
R²	0,91	0,96	0,99	0,23	0,95	0,74	0,88	0,62	0,85	0,79
MBE	6,32	36,68	-3,23	19,80	7,63	-8,40	-9,15	2,91	-64,41	-1,32
MAE	19,38	41,23	5,04	21,96	11,76	20,08	30,21	15,80	64,41	25,54
Pastagem										
RMSE	71,04	85,38	87,14	38,06	74,49	116,42	105,16	49,21	46,20	74,79
NSE	0,81	-2,92	0,06	0,83	0,80	0,10	0,26	-2,44	-0,32	-0,31
R²	0,95	0,74	0,85	0,92	0,93	0,46	0,90	0,77	0,35	0,76
MBE	-58,07	75,99	71,24	-26,89	-60,64	-74,30	-94,80	41,97	32,66	-10,31
MAE	65,75	79,55	85,89	34,14	69,34	95,61	94,80	48,02	39,37	68,05

RMSE - raiz do quadrado médio do erro (mm h⁻¹); NSE - coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; R² - coeficiente de determinação; MBE – erro médio (mm h⁻¹); MAE – erro médio absoluto (mm h⁻¹).

6 DISCUSSÃO

Em caráter exploratório dos resultados, pode-se analisar em conjunto o agrupamento pela distância euclidiana, a correlação linear de Pearson e a PCA (Figuras 6, 7, 8 e 9 e Tabela 2), sendo possível inferir que a diferença entre as áreas agrupadas está mais relacionada às suas características texturais e à relação de macro e microporos, uma vez que a presença da vegetação não influenciou na diferença de infiltração de água no solo.

O pisoteio mais intenso nos pontos que compõem o grupo 1 (Figura 6), associado à menor presença de matéria orgânica pode ter causado a redução da macroporosidade, e isso, por sua vez, pode estar relacionado à menor infiltração, já que a presença de macroporos está associada ao fluxo de ar e água no solo (Pagliai; Vignozzi; Pellegrini, 2004). Rabot *et al.* (2018) mostram em seu estudo que o aumento da taxa de infiltração ocorre de acordo com o aumento do tamanho médio dos poros, e que solos de textura argilosa com poros maiores que 3 mm apresentam maiores taxas de infiltração por ter maior estabilidade de agregados em comparação a solos com textura arenosa. Os autores também destacam a importância da matéria orgânica para aumentar a agregação. No caso desse grupo, somente o maior teor de argila não foi suficiente para causar o aumento na infiltração, devido aos outros fatores envolvidos.

Para o grupo 3 (Figura 3), a proporção de macroporosidade/porosidade total praticamente dobra em relação ao grupo 1 (33,66 e 18,41%, respectivamente), indicando que mesmo com a densidade semelhante e com textura média, a presença de macroporos foi o que mais influenciou na quantidade de água infiltrada. O grupo 2 apresenta elevada densidade do solo, principalmente na primeira camada, o que pode ter sido um fator que dificultou a infiltração nessa área (Figura 3). No geral, a taxa de infiltração estável é inversamente proporcional à densidade do solo (Rabot *et al.*, 2018), isso também pode ser observado para esse estudo a partir dos dados da correlação (Figura 7) que mostram uma relação negativa, embora fraca, entre a D_s e a T_{ie} , para a camada de 0-10 cm. Essa análise também sustenta o fato que a maior D_s impacta na menor presença de macroporos (Basset *et al.*, 2023; Mongil-Manso; Navarro-Hevia; San Martín, 2021).

A partir das análises apresentadas na Tabela 3 e 4, pode-se dizer que tanto a área de eucalipto quanto a área de pastagem são homogêneas, não havendo

diferença significativa em seus atributos físicos ao longo da declividade da área de estudo. Apesar disso, a variação da Tie dentro das áreas foi alta, consistindo em maiores valores na área de pastagem que em área de eucalipto, sendo a variabilidade espacial e temporal da infiltração bem relatada na literatura (Alves *et al.*, 2005; Khodaverdilo *et al.*, 2017; Sá *et al.*, 2023). Em áreas de pastagem, a variação espacial da infiltração pode estar relacionada ao relevo e à movimentação do gado, além de o aumento da intensidade de pastejo reduzir a infiltração, especialmente até os 10 cm de profundidade (Miguel; Vieira; Grego, 2009). Já para ambientes florestais, Penna; Fernandes; Pereira (2023) indicam que a homogeneidade da condutividade hidráulica acompanha o estágio de desenvolvimento da floresta, sendo ambientes mais maduros, mais homogêneos.

O teste estatístico (Tabela 7) atesta que não há influência da vegetação na Tie, o que se observa são diferenças nas características físicas do solo de um uso para o outro (Tabela 6). Apesar de ambas as áreas apresentarem textura média, o solo da pastagem tem maior teor de argila, o que pode contribuir para maior porosidade total, e melhor relação de macroporos e microporos e menor densidade, favorecendo as condições estruturais do solo. A presença de indivíduos arbóreos, em tese, impacta positivamente na infiltração de água no solo pela presença de caminhos preferenciais das raízes (Penna; Fernandes; Pereira, 2023), e maior aporte de matéria orgânica (Mendonça *et al.*, 2009), contudo, não é o observado nesse estudo. Isso pode estar relacionado com o curto período de implantação do eucalipto na área. De forma semelhante a deste trabalho, um estudo em Latossolos no estado do Pará, sob pastagem abandonada e eucalipto com dois anos de idade também não obteve diferença de Tie para as áreas, o que foi atribuído ao uso de máquinas e operações de preparo do solo para o eucalipto e pisoteio animal para a área de pastagem (Rocha *et al.*, 2016).

A diferença do sistema radicular das árvores em relação ao das gramíneas também pode ter influenciado. O sistema radicular das gramíneas forma uma rede densa de raízes finas na camada superficial, contribuindo para a estabilidade do solo e aumentando a quantidade de poros, o que pode permitir com mais facilidade a entrada de água no solo (Marchini *et al.*, 2015). Já as árvores, apesar de terem sistema radicular mais profundo e extenso, na camada superficial não há tanta presença de raízes finas.

Alguns estudos também apontam que a distância dos testes de infiltração em relação às árvores também pode impactar nos resultados de infiltração encontrados. Nesse estudo, os ensaios foram realizados a uma distância média de 1,5 m das árvores. Zadeh; Sepaskhah (2016) realizaram ensaios de infiltração a 0,50 m das árvores e na entrelinha e constataram que para solo de textura média a infiltração foi 152% maior próxima da árvore que na entrelinha. Revell *et al.* (2022) encontraram infiltração média a 0,10 m das árvores 75,87% maior do que a 2,0 metros, no período de inverno solos de textura média a argilosa.

Em síntese, mesmo a pastagem apresentando algum grau de degradação, a presença de gramíneas cobrindo grande parte do solo e as diferenças na distribuição dos poros não levaram a diferença significativa na taxa de infiltração em relação ao eucalipto. Os resultados encontrados também podem ser consequência de a área de eucalipto ainda sofrer pisoteio esporádico de animais, fato evidenciado pela presença de excrementos no local nos dias de coletas. A área de eucalipto não possui camada espessa de serrapilheira, nem sub-bosque formado, reduzindo a proteção do solo ao pisoteio do gado, o que pode ter contribuído na redução da quantidade de poros e causado a compactação do solo. Desse modo, o período curto de mudança no uso do solo associado com o manejo adotado não foi suficiente para causar diferenças na infiltração encontrada em ambas as áreas.

Com relação à modelagem da taxa de infiltração instantânea (Figuras 10 e 11 e Tabelas 8 e 9), os modelos de K e KL foram mais eficientes em se aproximar dos valores de infiltração inicial, contudo após esse período inicial, o KL teve tendência de superestimar os valores. Esse comportamento também foi observado por Florentino *et al.* (2023) em um Cambissolo, a partir de 80 minutos de ensaio.

O modelo de Horton subestimou os valores iniciais de infiltração, o que também foi observado em solo de textura arenosa por Oliveira; Soares; Holanda (2018). Contudo, avaliando o ajuste no período final, foi o que mais se aproximou dos valores medidos a campo, o que é compreensível, uma vez que esse modelo estabelece o decaimento da taxa de infiltração até um valor constante, em solos inicialmente secos. Cherobim *et al.* (2015), trabalhando com Latossolo de textura argilosa, obtiveram resultado semelhante ao compararem os modelos de Horton, Kostiaikov-Lewis e Philip. Para esse mesmo estudo, o modelo de Philip também não apresentou resultado satisfatório, sugerindo que o modelo não é adequado para períodos curtos. Vários estudos indicam que o modelo de Horton é indicado para a obtenção da taxa

de infiltração em diferentes manejos e diferentes tipos de solo (Cherobim *et al.*, 2015; Haghighi *et al.*, 2010; Tomasini *et al.*, 2010).

Quanto aos valores extremos apresentados pelos parâmetros K e α para KL, Castro; Souza (1999), ao avaliarem o efeito desses parâmetros na infiltração acumulada em um solo aluvial eutrófico de textura média, constataram que variações elevadas dos parâmetros geraram pequenas variações na infiltração, tendo maior impacto a variação dos valores da Tie.

A utilização do valor médio de β como entrada da equação de Horton permitiu ajuste com pouca redução da qualidade dos dados obtidos, para ambas as áreas (Figuras 12 e 14 e Tabela 10). O emprego do valor de β médio associado à Tie média permite, em teoria, utilizar a equação em solos com as mesmas características observadas nesse estudo, sob o uso de eucalipto, ao substituir o valor de li pela intensidade de precipitação (Tabela 11). Nesse caso, são necessários estudos para avaliar o desempenho dessas equações na prática. Para o solo sob pastagem, em decorrência da maior heterogeneidade das suas propriedades físico-hídricas, ao realizar a substituição da Tie de cada ponto pela Tie média, elevou-se muito o valor do erro, não sendo indicado o uso da equação para estimação da infiltração instantânea.

7 CONCLUSÕES

As diferenças entre as áreas após a mudança de uso estão mais relacionadas à macro e microporosidade e aos teores de argila e areia do solo. Não houve diferença de Tie entre as áreas, indicando que para as condições de manejo adotadas, o período de 5 anos após o plantio de eucalipto não foi suficiente para aumentar a capacidade de infiltração de água no solo. Desse modo, é necessário avaliar a longo prazo os efeitos da conversão de pastagens em silvicultura sobre os atributos físico-hídricos do solo. Em relação aos modelos avaliados, o de Philip não é indicado para estimativa da infiltração em locais com as mesmas características desse estudo, sendo o modelo de Horton o mais indicado para estimação da infiltração para as áreas, podendo também os modelos de Kostiaikov e Kostiaikov-Lewis serem adotados. O uso do β médio e da Tie média permitiu ajustar a equação de Horton com níveis aceitáveis de

erro para a área de eucalipto, sendo possível aplicá-las para calcular a infiltração em áreas com características edáficas semelhantes e sob o mesmo uso do presente estudo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. A. *et al.* Assessment of land cover change on the hydrology of a Brazilian headwater watershed using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. **CATENA**, [s. l.], v. 143, p. 7–17, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S034181621630131X>.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, M. C. *et al.* Propriedades físicas e infiltração de água de um Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) do noroeste do estado de São Paulo, Brasil, sob três condições de uso e manejo. **Cad. do Lab. Xeol. Laxe**, [s. l.], v. 30, p. 167–180, 2005.

ANDRADE, A. P. *et al.* Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 42, n. 5, p. 814–821, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012000500009&lng=pt&tlng=pt.

ARMENISE, E. *et al.* Soil seal development under simulated rainfall: Structural, physical and hydrological dynamics. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 556, p. 211–219, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169417307497>.

BASCHE, A. D.; DELONGE, M. S. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 14, n. 9, p. e0215702, 2019. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0215702>.

BASSET, C. *et al.* How does soil structure affect water infiltration? A meta-data systematic review. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 226, p. 105577, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016719872200263X>.

BENGOUGH, A. G. Water Dynamics of the Root Zone: Rhizosphere Biophysics and Its Control on Soil Hydrology. **Vadose Zone Journal**, [s. l.], v. 11, n. 2, 2012. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/vzj2011.0111>.

BEZERRA, C. B. *et al.* Latossolo húmico sob pastagem com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 1–9,

2019. Disponível em:

<http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v14i1a5603>.

BOHEM, S.; SCHUMER, C. **10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023**. [s. l.], 2023. Disponível em:

[https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023#:~:text=O IPCC conclui%2C entre os,cedo – entre 2018 e 2037](https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023#:~:text=O+IPCC+conclui%2C+entre+os,cedo+-+entre+2018+e+2037). Acesso em: 7 mar. 2024.

BONO, J. A. M. *et al.* Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 1845–1853, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000600019&lng=pt&tlng=pt.

BRANDÃO, V. dos S. *et al.* **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

CASTRO, L. C. A. de; SOUZA, F. de. Análise dos parâmetros da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis na irrigação por sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 167–172, 1999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43661999000200167&lng=pt&tlng=pt.

CHEROBIM, V. F. *et al.* Water infiltration post-liquid dairy manure application in no-till Oxisol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 153, p. 104–111, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198715001154>.

CUNHA, J. L. X. L. *et al.* Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 19, n. 11, p. 1021–1027, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015001101021&lng=en&tlng=en.

DA SILVA, G. F. *et al.* Soil—Plant Relationships in Soybean Cultivated under Conventional Tillage and Long-Term No-Tillage. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 697, 2022.

DIB, V. *et al.* Shedding light on the complex relationship between forest restoration and water services. **Restoration Ecology**, [s. l.], v. 31, n. 5, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13890>.

FAILACHE, M. F.; ZUQUETTE, L. V. Soil water infiltration under different land use conditions: in situ tests and modeling. **RBRH**, [s. l.], v. 26, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312021000100227&tlng=en.

FLORENTINO, R. W. *et al.* Assessing Horton and Kostiakov models focused on estimating soil water infiltration. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 144–155, 2023. Disponível em: <https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/view/7022>.

GONDIM, T. M. de S. *et al.* Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, [s. l.], v. 4, p. 64–73, 2010. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/490>.

HAGHIGHI, F. *et al.* Evaluation of some infiltration models and hydraulic parameters. **Spanish Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 210, 2010. Disponível em: <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/1160>.

HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. **Soil science society of America proceeding**, [s. l.], v. 5, p. 399–417, 1940.

IBÁ. **Silvicultura e recursos hídricos**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/pdfs/silvicultura-hidricos.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2024.

ILSTEDT, U. *et al.* The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 251, n. 1–2, p. 45–51, 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112707004665>.

INMET, I. N. de M.-. **Estação Alegre A617**. [S. l.], 2023.

KHODAVERDILLOO, H. *et al.* Ring diameter effects on determination of field-saturated hydraulic conductivity of different loam soils. **Geoderma**, [s. l.], v. 303, p. 60–69, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706117300939>.

KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from a dynamic view for the purposes of amelioration. **International Soil Science Society**, [s. l.], p. 17–21, 1932.

LEWIS, M. R.; MILNE, W. E. Analysis of border irrigation. **Agriculture Engineering**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 267–272, 1938.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.

MARCHINI, D. C. *et al.* Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 574–580, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000600574&lng=pt&tlng=pt.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013.

MENDONÇA, L. A. R. *et al.* Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 89–98, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000100010&lng=pt&tlng=pt.

MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo**. Visoça: [s. n.], 2005.

MERHEB, C. **An Evaluation of Short-Term Effects of Different Soil Management Systems on Soil Physical, Structural and Hydraulic Properties and an Estimation and Optimization of Water Infiltration for Layered Domains Using a Restructured Green-Ampt Model in an Agricul**. 2022. 195 f. - LAU, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://laur.lau.edu.lb:8443/xmlui/handle/10725/14192>.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 44, n. 11, p. 1513–1519, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009001100020&lng=pt&tlng=pt.

MONGIL-MANSO, J.; NAVARRO-HEVIA, J.; SAN MARTÍN, R. Does forest restoration influence soil infiltrability? A case study in the restored woodland of Sierra de Ávila (Central Spain). **Journal of Mountain Science**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 1778–1793, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11629-020-6636-8>.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 282–290, 1970. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022169470902556>.

OBIECHEFU, G. C.; EGBUIKWEM, P. N.; EMERSON, K. U. Prediction of soil erosion of imo state soils by their infiltration rates. **IJRESM**, [s. l.], v. 3, n. 6, p. 597–601, 2020. Disponível em: https://www.ijresm.com/Vol.3_2020/Vol3_Iss6_June20/IJRESM_V3_I6_157.pdf.

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

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 79, n. 2, p. 131–143, 2004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198704001394>.

PENNA, M. F. A.; FERNANDES, N. F.; PEREIRA, N. R. Mudanças nas propriedades químicas e de condutividade hidráulica do solo associadas a diferentes estágios de sucessão ecológica. In: BIODIVERSIDADE E SAÚDE NA ESTAÇÃO BIOLÓGICA FIOCRUZ MATA ATLÂNTICA: PESQUISA, CONSERVAÇÃO E EDUCAÇÃO. 1. ed. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2023. p. 318–337. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/biodiversidade-e-saude-na-estacao-biologica-fiocruz-mata-atlantica-pesquisa-conservacao-e-educacao>.

PHILIP, J. R. Numerical solution of equations of the diffusion type with diffusivity concentration dependent. **Australian Journal of Physics**, [s. l.], v. 2, n. 10, p. 29–42, 1957.

PRUSKI, F. F. *et al.* Modelo para dimensionamento e alocação de sistemas de

terraceamento em nível. **J. Irrig. Drain. Eng.**, [s. l.], v. 123, p. 8–12, 1997.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**.

Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org>.

RABOT, E. *et al.* Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, [s. l.], v. 314, p. 122–137, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706117310273>.

RAWLS, W. J. *et al.* Infiltration. *In*: **HIDROLOGY HANDBOOK**. 2. ed. New York: American Society of Civil Engineers - ASCE, 1996. p. 75–124.

REVELL, N. *et al.* The Impact of Tree Planting on Infiltration Dependent on Tree Proximity and Maturity at a Clay Site in Warwickshire, England. **Water**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 892, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/6/892>.

ROCHA, J. E. C. da *et al.* Organic matter and physical-hydric quality of an oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture. **CERNE**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 381–388, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602016000400381&lng=en&tlng=en.

SÁ, L. M. da S. *et al.* Infiltração de água no solo sob diferentes condições de uso: sistema agroflorestal, pastagem e floresta. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [s. l.], v. 21, n. 9, p. 12379–12379, 2023. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1509>.

SALEMI, L. F. *et al.* Land-use change in the Atlantic rainforest region: Consequences for the hydrology of small catchments. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 499, p. 100–109, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169413005027>.

SANTANA, M. L. T. *et al.* Impacts of Land Use Changes on Soil Functions and Water Security: Insights from a Three-Year-Long Study in the Cantareira System, Southeast of Brazil. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 18, p. 13395, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/18/13395>.

SANTOS, D. A. **Biocarvões como condicionadores do solo e seus efeitos sobre o crescimento e nutrição de Eucalyptus urograndis**. 2020. 117 f. - Universidade Federal do Espírito Santo, [s. l.], 2020.

SANTOS, R. S. *et al.* Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: A soil physical health assessment. **Geoderma**, [s. l.], v. 400, p. 115149, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706121002299>.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 15, p. 229–235, 1991.

SUN, D. *et al.* The effects of land use change on soil infiltration capacity in China: A

meta-analysis. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 626, p. 1394–1401, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969718301244>.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3 eded. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TOMASINI, B. A. *et al.* Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1060–1070, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000600007&lng=pt&tlng=pt.

WOLSCHICK, N. H. *et al.* The Effect of Soil Management on Pore Size Distribution and Water Infiltration. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s. l.], v. 64, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132021000100225&tlng=en.

ZACARIAS, A. J. **Biocarvão como condicionador do solo cultivado com eucalipto**. 2021. 79 f. - Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Alegre, [s. l.], 2021.

ZADEH, M. K.; SEPASKHAH, A. R. Effect of tree roots on water infiltration rate into the soil. **Iran Agricultural Research**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 13–20, 2016.

APÊNDICE A - Médias gerais dos atributos para três profundidades de Latossolo Vermelho-amarelo em estudo, em área de pastagem e eucalipto.

Área	Infiltrômetro	Umidade (%)	RP (MPa)	Ds (kg dm ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	Areia total (g kg ⁻¹)	COT (g kg ⁻¹)
0-10 cm													
Eucalipto	EI1	13,12	11,77	1,60	0,41	0,28	0,13	269,2	85,0	541,7	104,1	645,8	22,33
	EI2	24,07	4,74	1,61	0,41	0,28	0,13	249,2	64,9	579,0	106,9	685,8	20,15
	EI3	21,48	4,47	1,69	0,42	0,30	0,12	295,9	60,8	527,3	116,0	643,3	14,87
	EM1	13,27	12,37	1,69	0,39	0,26	0,13	244,2	50,8	603,2	101,9	705,0	22,33
	EM2	13,81	15,01	1,61	0,41	0,27	0,14	291,3	72,1	495,9	140,6	636,6	15,64
	EM3	14,27	14,74	1,59	0,42	0,27	0,15	286,1	76,9	516,9	120,0	637,0	12,07
	ES1	19,47	12,44	1,72	0,38	0,28	0,10	223,5	49,5	626,7	100,3	726,9	19,84
	ES2	15,23	8,39	1,63	0,41	0,27	0,14	257,9	52,7	559,1	130,4	689,5	16,42
	ES3	17,35	9,60	1,57	0,42	0,28	0,14	251,3	70,3	558,4	120,1	678,5	11,60
	Média	16,90	10,39	1,63	0,41	0,28	0,13	263,2	64,8	556,5	115,6	672,0	17,25
	s	3,97	3,90	0,05	0,01	0,01	0,02	24,3	12,4	41,7	13,8	32,9	4,10
	CV%	23,49	37,57	3,22	3,49	4,03	11,44	9,23	19,13	7,49	11,94	4,89	23,75
Pastagem	PI1	6,92	9,78	1,43	0,46	0,28	0,18	298,9	48,9	529,9	122,4	652,3	16,58
	PI2	10,73	12,04	1,52	0,47	0,38	0,09	372,5	152,7	305,2	169,6	474,8	13,78
	PI3	11,43	8,43	1,57	0,48	0,39	0,08	392,4	158,0	255,3	194,3	449,5	12,07
	PM1	7,04	12,04	1,51	0,46	0,29	0,17	265,5	47,7	529,5	157,4	686,8	18,28
	PM2	6,64	11,36	1,46	0,43	0,27	0,15	252,7	36,2	577,9	133,2	711,1	13,31
	PM3	10,07	9,33	1,53	0,48	0,33	0,15	338,2	83,0	372,3	206,5	578,8	14,40
	PS1	7,37	14,96	1,60	0,43	0,31	0,12	347,6	35,7	404,1	212,6	616,7	18,28

	PS2	7,84	12,04	1,53	0,46	0,31	0,15	310,6	36,7	452,3	200,5	652,8	17,66
	PS3	6,67	11,13	1,50	0,46	0,32	0,14	368,2	36,0	399,0	196,8	595,8	12,07
	Média	8,30	11,23	1,52	0,46	0,32	0,14	327,4	70,5	425,0	177,0	602,1	15,16
	s	1,90	1,92	0,05	0,02	0,04	0,03	48,7	50,4	107,9	33,0	89,7	2,57
	CV%	22,86	17,07	3,29	3,96	12,88	23,83	14,87	71,40	25,39	18,64	14,90	16,95
10-20 cm													
Eucalipto	EI1	14,94	8,52	1,51	0,44	0,25	0,19	224,5	86,8	603,6	85,1	688,7	23,10
	EI2	18,95	3,93	1,53	0,42	0,24	0,18	229,8	53,3	624,7	92,3	717,0	17,51
	EI3	19,16	3,66	1,48	0,44	0,26	0,18	250,2	58,7	611,4	79,7	691,1	15,64
	EM1	12,92	7,98	1,50	0,42	0,24	0,18	281,0	46,1	544,1	128,7	672,8	22,33
	EM2	14,35	11,22	1,51	0,44	0,26	0,18	335,4	55,6	482,4	126,6	609,0	19,06
	EM3	15,35	12,31	1,55	0,44	0,27	0,17	307,9	87,4	466,3	138,3	604,6	15,95
	ES1	14,35	10,28	1,55	0,44	0,24	0,20	281,4	55,0	522,3	141,3	663,6	26,52
	ES2	14,81	7,04	1,51	0,44	0,25	0,20	278,1	56,5	518,1	147,2	665,3	19,68
	ES3	13,42	10,41	1,58	0,45	0,26	0,19	270,9	59,7	540,4	128,9	669,3	13,00
	Média	15,36	8,37	1,53	0,44	0,25	0,19	273,3	62,1	545,9	118,7	664,6	19,20
	s	2,22	3,07	0,03	0,01	0,01	0,01	35,4	14,7	56,5	25,8	36,7	4,23
	CV%	14,47	36,66	1,97	2,39	4,91	5,37	12,95	23,62	10,35	21,74	5,53	22,04
Pastagem	PI1	10,33	13,61	1,52	0,42	0,27	0,16	331,3	44,5	506,9	117,2	624,1	29,31
	PI2	13,90	10,46	1,55	0,47	0,38	0,09	363,4	193,8	265,2	177,6	442,7	19,06
	PI3	13,57	10,68	1,43	0,50	0,38	0,12	426,5	164,5	256,3	152,8	409,1	16,60
	PM1	9,43	15,64	1,55	0,43	0,26	0,17	277,1	46,4	536,3	140,2	676,5	21,78
	PM2	9,84	17,22	1,53	0,44	0,25	0,18	309,9	39,5	465,2	185,4	650,6	17,12
	PM3	13,15	11,59	1,68	0,46	0,31	0,14	396,4	30,9	399,3	173,4	572,7	12,32
	PS1	13,10	17,22	1,57	0,47	0,32	0,15	414,9	45,3	356,2	183,6	539,7	20,88
	PS2	9,17	11,81	1,56	0,44	0,28	0,16	338,8	34,9	427,6	198,6	626,2	12,84
	PS3	12,97	11,36	1,49	0,48	0,32	0,16	440,3	49,6	288,5	221,7	510,2	10,37
	Média	11,72	13,29	1,54	0,46	0,31	0,15	366,5	72,2	389,1	172,3	561,3	17,81
	s	1,97	2,74	0,07	0,03	0,05	0,03	56,4	61,4	104,4	31,4	93,4	5,82

	CV%	16,79	20,62	4,35	5,60	15,32	17,88	15,40	85,05	26,83	18,22	16,65	32,69
	20-40 cm												
Eucalipto	EI1	13,40	10,08	1,57	0,42	0,24	0,18	242,8	64,2	609,6	83,4	693,0	25,93
	EI2	19,95	5,21	1,59	0,40	0,26	0,14	341,8	75,7	428,2	154,2	582,5	20,49
	EI3	19,42	6,22	1,54	0,43	0,28	0,15	335,7	60,2	500,1	104,0	604,1	16,86
	EM1	14,11	12,80	1,48	0,42	0,24	0,19	306,4	53,4	508,4	131,8	640,2	19,84
	EM2	14,89	11,77	1,57	0,44	0,26	0,18	290,7	75,9	516,6	116,8	633,4	14,78
	EM3	17,09	16,36	1,59	0,44	0,29	0,15	338,5	83,3	458,3	119,9	578,2	26,58
Pastagem	ES1	12,39	9,67	1,51	0,43	0,22	0,21	265,5	45,6	533,3	155,7	688,9	17,63
	ES2	13,97	9,33	1,53	0,43	0,23	0,20	293,4	60,2	514,1	132,3	646,3	25,80
	ES3	12,07	13,59	1,57	0,43	0,24	0,19	315,2	65,4	469,6	149,8	619,4	18,02
	Média	15,25	10,56	1,55	0,43	0,25	0,18	303,4	64,9	504,2	127,5	631,8	20,66
	s	2,91	3,52	0,04	0,01	0,02	0,02	34,1	11,9	51,6	24,3	41,1	4,40
	CV%	19,06	33,35	2,47	3,11	9,39	13,91	11,22	18,29	10,25	19,06	6,51	21,32
Pastagem	PI1	13,25	9,78	1,52	0,44	0,29	0,15	37,2	372,3	477,5	115,0	35,3	21,91
	PI2	17,54	11,13	1,53	0,47	0,37	0,10	48,0	479,8	250,7	166,5	103,0	15,69
	PI3	15,73	9,11	1,58	0,46	0,38	0,08	44,5	445,4	227,1	154,3	173,3	11,80
	PM1	10,58	16,09	1,53	0,47	0,28	0,19	32,8	328,1	497,6	129,4	44,9	22,30
	PM2	13,03	21,72	1,56	0,44	0,28	0,16	38,9	389,5	413,9	161,6	35,0	19,84
	PM3	12,93	14,51	1,40	0,44	0,32	0,12	38,7	387,1	367,5	184,0	61,4	14,78
	PS1	11,20	17,33	1,47	0,48	0,29	0,18	42,4	423,8	376,6	150,6	49,0	24,12
	PS2	10,00	12,82	1,45	0,46	0,25	0,21	35,6	355,5	405,4	202,6	36,5	14,39
	PS3	15,26	13,72	1,52	0,47	0,32	0,15	47,3	473,0	298,6	189,1	39,3	14,00
	Média	13,28	14,03	1,51	0,46	0,31	0,15	406,1	64,2	368,3	161,4	529,8	17,65
	s	2,52	3,98	0,06	0,02	0,04	0,04	52,7	46,2	94,1	28,2	85,5	4,43
	CV%	18,95	28,37	3,79	3,53	13,67	28,36	12,97	72,00	25,55	17,47	16,15	25,07

RP – Resistência a penetração; DS – Densidade do solo; Pt – porosidade total; Mi – Microporosidade; Ma – macroporosidade; COT – carbono orgânico total.

APÊNDICE B - Valores dos coeficientes estatísticos obtidos a partir da comparação entre dados observados e simulados para a taxa de infiltração em Latossolo Vermelho-amarelo, sob cultivo de eucalipto e pastagem.

EUCALIPTO										
ÁREA	EI1	EI2	EI3	EM1	EM2	EM3	ES1	ES2	ES3	MÉDIA
Modelo Kostiakov										
RMSE	12,46	10,79	13,00	13,06	9,28	22,85	14,36	22,29	48,40	18,50
NSE	0,99	0,96	0,95	0,24	0,93	0,74	0,98	0,51	0,83	0,79
R²	0,99	0,96	0,96	0,24	0,93	0,75	0,98	0,52	0,83	0,79
MBE	-1,84	-1,32	0,71	-0,01	0,22	-1,49	-0,99	-0,65	0,30	-0,56
MAE	10,63	9,63	7,29	9,97	8,15	18,42	12,29	17,43	27,55	13,49
Modelo Kostiakov-Lewis										
RMSE	8,86	8,85	19,82	13,37	11,64	22,52	15,19	24,28	51,47	19,56
NSE	0,99	0,97	0,89	0,20	0,89	0,75	0,97	0,42	0,81	0,77
R²	0,99	0,97	0,90	0,25	0,89	0,86	0,97	0,59	0,81	0,80
MBE	1,91	0,54	3,98	1,54	1,31	11,15	3,16	7,31	4,26	3,91
MAE	7,13	6,29	14,20	10,65	9,98	17,70	12,54	17,15	30,75	14,04
Modelo Horton										
RMSE	22,39	14,29	6,87	13,23	8,83	23,62	21,20	22,93	50,67	20,45
NSE	0,95	0,92	0,99	0,22	0,93	0,72	0,95	0,48	0,81	0,78
R²	0,97	0,97	0,99	0,22	0,94	0,82	0,96	0,54	0,82	0,80
MBE	-9,46	-0,23	-3,29	0,40	-1,40	-0,61	-9,09	1,62	-9,63	-3,52
MAE	16,86	9,82	6,09	10,12	7,76	14,07	16,90	15,18	39,51	15,14
Modelo Philip										
RMSE	47,83	33,28	20,01	14,06	14,39	36,01	27,72	28,30	59,98	31,29
NSE	0,79	0,59	0,89	0,11	0,83	0,35	0,91	0,21	0,74	0,60
R²	0,98	0,93	0,91	0,24	0,91	0,75	0,98	0,51	0,83	0,78
MBE	29,96	17,92	5,83	1,33	5,66	11,38	18,60	5,66	16,92	12,58
MAE	43,16	28,89	15,03	11,25	12,89	26,84	23,91	18,43	48,91	25,48

PASTAGEM										
ÁREA	PI1	PI2	PI3	PM1	PM2	PM3	PS1	PS2	PS3	MÉDIA
Modelo Kostiakov										
RMSE	17,59	23,02	28,79	17,10	24,93	88,05	30,22	16,25	30,46	30,71
NSE	0,99	0,72	0,90	0,97	0,98	0,48	0,94	0,62	0,37	0,77
R ²	0,99	0,85	0,97	0,97	0,98	0,49	0,94	0,63	0,38	0,80
MBE	0,37	10,05	11,54	-1,32	-2,22	-3,07	1,31	-0,57	-1,19	1,65
MAE	14,37	20,28	25,05	15,37	21,92	67,15	26,01	10,18	22,27	24,73
Modelo Kostiakov-Lewis										
RMSE	32,37	24,37	31,13	8,57	24,27	87,32	41,61	18,23	26,05	32,66
NSE	0,96	0,68	0,88	0,99	0,98	0,49	0,88	0,53	0,54	0,77
R ²	0,96	0,85	0,98	0,99	0,98	0,57	0,89	0,66	0,61	0,83
MBE	7,12	11,22	20,58	2,05	6,20	22,62	6,86	4,86	8,41	9,99
MAE	23,83	22,05	30,16	6,77	19,05	74,39	34,11	13,51	18,59	26,94
Modelo Horton										
RMSE	40,98	25,80	38,58	27,64	46,42	91,39	28,66	18,34	26,48	38,25
NSE	0,94	0,64	0,82	0,91	0,92	0,44	0,95	0,52	0,52	0,74
R ²	0,95	0,76	0,90	0,93	0,94	0,48	0,95	0,56	0,60	0,79
MBE	-18,35	0,50	0,30	-6,45	-9,42	-6,12	-2,86	0,18	0,67	-4,62
MAE	33,02	18,29	24,30	18,87	29,22	63,26	23,33	10,80	17,61	26,52
Modelo Philip										
RMSE	51,00	34,59	64,07	46,71	89,28	106,24	54,03	22,56	33,28	55,75
NSE	0,90	0,36	0,49	0,74	0,71	0,25	0,80	0,28	0,25	0,53
R ²	0,98	0,74	0,91	0,98	0,98	0,48	0,93	0,60	0,45	0,78
MBE	30,00	9,88	25,08	23,84	47,15	21,55	22,26	4,03	9,72	21,50
MAE	46,79	30,94	57,67	42,71	77,56	91,99	44,66	16,23	23,27	47,98

RMSE - raiz do quadrado médio do erro (mm h⁻¹); NSE - coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; R² - coeficiente de determinação; MBE – erro médio (mm h⁻¹); MAE – erro médio absoluto (mm h⁻¹).

APÊNDICE C - Equações de infiltração instantânea com parâmetros estimados para as áreas de eucalipto e pastagem estudadas, utilizando β médio.

Área	H
EI1	$i = 62,67 + (540 - 62,67)e^{-3,295 \cdot t}$
EI2	$i = 24 + (225 - 24)e^{-3,295 \cdot t}$
EI3	$i = 61,25 + (300 - 61,25)e^{-3,295 \cdot t}$
EM1	$i = 37,86 + (80,77 - 37,86)e^{-3,295 \cdot t}$
EM2	$i = 42 + (180 - 42)e^{-3,295 \cdot t}$
EM3	$i = 80 + (240 - 80)e^{-3,295 \cdot t}$
ES1	$i = 90,63 + (480 - 90,63)e^{-3,295 \cdot t}$
ES2	$i = 51 + (162,86 - 51)e^{-3,295 \cdot t}$
ES3	$i = 118,75 + (468 - 118,75)e^{-3,295 \cdot t}$
PI1	$i = 144 + (780 - 144)e^{-6,737 \cdot t}$
PI2	$i = 3 + (120 - 3)e^{-6,737 \cdot t}$
PI3	$i = 21 + (300 - 21)e^{-6,737 \cdot t}$
PM1	$i = 126 + (450 - 126)e^{-6,737 \cdot t}$
PM2	$i = 156 + (810 - 156)e^{-6,737 \cdot t}$
PM3	$i = 180 + (540 - 180)e^{-6,737 \cdot t}$
PS1	$i = 128 + (560 - 128)e^{-6,737 \cdot t}$
PS2	$i = 36 + (128,57 - 36)e^{-6,737 \cdot t}$
PS3	$i = 62,40 + (200 - 62,40)e^{-6,737 \cdot t}$