

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

SÂMARA ESTER LIMA SARAIVA

ESTUDO E APLICAÇÃO DE MODELO PARA BALANÇO HÍDRICO DO SOLO EM
SISTEMA AGRÍCOLA CONSERVACIONISTA NOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

PONTA GROSSA

2022

SÂMARA ESTER LIMA SARAIVA

ESTUDO E APLICAÇÃO DE MODELO PARA BALANÇO HÍDRICO DO SOLO EM
SISTEMA AGRÍCOLA CONSERVACIONISTA NOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre
em Agronomia – Área de concentração: Ciência do
Solo e Recursos Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos
Barbosa

PONTA GROSSA

2022

S243 Saraiva, Sâmara Ester Lima
Estudo e aplicação de modelo para balanço hídrico do solo em sistema agrícola conservacionista nos Campos Gerais do Paraná / Sâmara Ester Lima Saraiva. Ponta Grossa, 2022.
72 f.

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa.

1. Água no solo - conteúdo. 2. Umidade - sensor. 3. Terraço agrícola. 4. Plantio Direto - sistema. I. Barbosa, Eduardo Augusto Agnellos. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciência do Solo e Recursos Ambientais. III.T.

CDD: 631



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

CERTIDÃO - MS-AGRONOMIA

Título da Dissertação: “**Estudo e aplicação de modelo para balanço hídrico do solo em sistema agrícola conservacionista nos Campos Gerais do Paraná**”.

Nome: **Sâmara Ester Lima Saraiva**

Orientador: **Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa – UEPG

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa - UEPG

Prof. Dr. Maycon Diego Ribeiro - UFPR

Ponta Grossa - PR, 20 de maio de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Augusto Agnellos Barbosa, Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Agronomia**, em 23/05/2022, às 14:43, conforme Resolução UEPGCA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Fabrício Tondello Barbosa, Professor(a)**, em 23/05/2022, às 16:47, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MAYCON DIEGO RIBEIRO, Usuário Externo**, em 24/05/2022, às 12:22, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0997159** e o código CRC **736B8B95**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus e a todos os meus guias, pois são essenciais em minha vida, essa proteção guardou e cuidou de todas as pessoas que amo, principalmente nesse período tão conturbado e triste de pandemia, no qual nos encontramos ainda.

Sou muito grata ao meu orientador, professor Eduardo Augusto Agnellos Barbosa, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e incentivando na busca pelo conhecimento. Obrigada pelo auxílio no prosseguimento das atividades até o fim desse trabalho e pela boa disposição em me auxiliar em minhas dificuldades.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade a mim concedida e aos professores do programa, com carinho especial a professora Neyde Giarola e ao professor Fabrício Tondello Barbosa, que a partir dos desafios propostos e vencidos, contribuíram em mais uma etapa de minha vida acadêmica.

Ao companheirismo de minhas amigas Ana Kelly de Sousa Julião e Alana de Paula Correia de Almeida, a minha amiga Larissa de Paula pelos tantos momentos de idas ao campo para realização desse trabalho e aos demais colegas que de uma forma ou outra contribuíram no desenvolvimento dessa dissertação.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelos recursos físicos, educacionais e humanos. À CAPES pelo apoio ao projeto e a bolsa de estudos concedida. Meus agradecimentos à Rede Agropesquisa do Paraná, ao SENAR e a Fundação Araucária.

Aos integrantes da banca pela atenção, disponibilidade e contribuições.

Aos meus queridos e amados pais, Rosilany de Sousa Lima e Francisco Robson Saraiva da Rocha, pelo amor incondicional na trajetória da minha vida. O apoio e confiança de vocês contribuíram para que eu pudesse ter forças no transcorrer do desenvolvimento e finalização desse trabalho. Agradeço também as minhas queridas irmãs Rebeca e Keila e aos meus irmãos Samuel, Mardoqueu e Lemuel, amo muito vocês. Aos meus sobrinhos, Eduardo, Ariel, José e Heitor, Deus os abençoe, vocês são a luz das nossas vidas.

Muito obrigada!

“É o vento que balança a folha, Guiné, é o vento
que balança a folha.
É, é, é pai Guiné, é o vento que balança a folha!”.

– Adorei as almas –

RESUMO

SARAIVA, S. E. L. **Estudo e aplicação de modelo para balanço hídrico do solo em sistema agrícola conservacionista nos Campos Gerais do Paraná.** 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.

O balanço hídrico do solo (BHS) é importante ferramenta para o planejamento e manejo das plantas cultivadas, pois permite estimar e informar a disponibilidade hídrica para as culturas, a formação de escoamento superficial, dentre outras informações relacionadas a água em sistemas agrícolas. A fiabilidade destas informações é fortemente dependente da qualidade das informações coletadas, bem como dos modelos matemáticos aplicados para estimar cada componente do BHS. Neste sentido, a pesquisa objetivou avaliar a capacidade do modelo de entrada e saída de água no solo desenvolvido pelo Laboratório de Irrigação e Hidrologia Agrícola da UEPG em estimar a umidade do solo e demais componentes do BHS em área produtora de grãos no sistema plantio direto (SPD), com prática mecânica de conservação do solo, na região dos Campos Gerais do Paraná. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Campos Gerais – PR, durante o cultivo das culturas de aveia preta, a soja e trigo, nas safras de inverno e verão entre 2020/2021, em duas áreas experimentais de aproximadamente 1,5 há, com e sem a presença de terraços agrícolas. As informações de umidade estimada pelo modelo ESAS foram comparadas com a umidade medida nos sensores de umidade do solo do tipo FDR, que foram devidamente calibrados, utilizando a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), o coeficiente de determinação (R^2), correlação e índice “d” de concordância. O modelo balanço hídrico do solo proposto atingiu eficácia em estimar o escoamento superficial, prevendo os escoamentos observados através da calha H. O sensor de umidade do tipo FDR mostrou-se aceitável para monitoramento do conteúdo de água no solo. no entanto, a sonda FRD necessita de calibrações com razoável qualidade de ajuste. O modelo mostrou-se adequado para estimar a umidade do solo na zona de desenvolvimento do sistema radicular das culturas de inverno.

Palavras-chaves: Conteúdo de água no solo; sensor de umidade; terraço agrícola; sistema plantio direto.

ABSTRACT

SARAIVA, S. E. L. **Study and application of a model for soil water balance in a conservation agricultural system in Campos Gerais of Paraná.** 2022. Dissertation (Master in Agronomy) – State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.

The soil water balance (BHS) is an important tool for the planning and management of cultivated plants, as it allows estimating and informing the water availability for crops, the formation of surface runoff, among other information related to water in agricultural systems. The reliability of this information is strongly dependent on the quality of the information collected, as well as the mathematical models applied to estimate each component of the BHS. In this sense, the research aimed to evaluate the ability of the soil water input and output model developed by the Laboratory of Irrigation and Agricultural Hydrology at UEPG to estimate soil moisture and other BHS components in a grain producing area in the no-tillage system (SPD), with mechanical practice of soil conservation, in the Campos Gerais region of Paraná. The experiment was carried out at the Escola Farm of the State University of Ponta Grossa, Campos Gerais – PR, during the cultivation of black oats, soybeans and wheat, in the winter and summer harvests between 2020/2021, in two experimental areas of approximately 1.5 ha, with and without the presence of agricultural terraces. The moisture information estimated by the ESAS model was compared with the moisture measured in soil moisture sensors of the FDR type, which were duly calibrated, using the Root Mean Squared Error (REQM), the coefficient of determination (R^2), correlation and concordance index “d”. The proposed soil water balance model was effective in estimating surface runoff, predicting the flows observed through the H-trough. The FDR-type moisture sensor proved to be acceptable for monitoring the water content in the soil. however, the FRD probe requires calibrations with reasonable goodness of fit. The model proved to be suitable for estimating soil moisture in the development zone of the root system of winter crops.

Keywords: Soil water conten

te; humidity sensor; agricultural terrace; no-tillage system.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Ilustração com satélite da vertente selecionada para estudo na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2022. .27
- Figura 2** – Ilustração com satélite dos terraços selecionados para estudo na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2022. .28
- Figura 3** – A) Tubos de acesso; B) Monitoramento da água no solo em tubos de acesso; C) Aparelho Diviner 2000. Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2022..... 34
- Figura 4** – Coleta da biomassa residual da cultura da soja. Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2021. 36
- Figura 5** – Coleta da cultura do trigo para análise do índice de área foliar. Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2021. .37
- Figura 6** – Esquema metodológico para determinação dos componentes do balanço de água no solo com indicação dos parâmetros de entrada e saída do modelo.. 38
- Figura 7** – Taxa de infiltração dependente da umidade volumétrica do solo ($f(\theta_i)$) antecedente ao evento de precipitação e início da formação de escoamento superficial (ES) em resposta a intensidade de precipitação (I_p) e taxa de infiltração. 41
- Figura 8** – Índice de área foliar da cultura da aveia. Sem terraços ● – (ST ●) e Com Terraços ▲ – (CT ▲). 43
- Figura 9** – Índice de área foliar da cultura da soja. Sem terraços ● – (ST ●) e Com Terraços ▲ – (CT ▲). 44
- Figura 10** – Índice de área foliar da cultura do trigo. Sem terraços ● – (ST ●) e Com Terraços ▲ – (CT ▲). 46
- Figura 11** – Cobertura residual das culturas, A) Aveia 2020; B) Soja 2021 e C) Trigo 2021, respectivamente. 47
- Figura 12** – Valores das lâminas na cultura da aveia em megaparcela sem terraços (A) e com terraços agrícolas (B), respectivamente, 2020..... 52
- Figura 13** – Valores das lâminas na cultura da soja em megaparcela sem terraços (A) e com terraços agrícolas (B), respectivamente, 2020/2021..... 54
- Figura 14** – Valores das lâminas na cultura do trigo em megaparcela sem terraços (A) e com terraços agrícolas (B), respectivamente, ano 2021. 56
- Figura 15** – Valores de umidades (θ) medido x estimado em megaparcelas sem terraços – (ST) e com terraços – (CT), respectivamente. Ciclo da aveia 2020..... 58

Figura 16 – Valores de umidades (θ) medido x estimado em megaparcelas sem terraços – (ST) e com terraços – (CT), respectivamente. Ciclo do trigo 2021..... 59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	HIPÓTESES	13
3	OBJETIVOS	14
3.1	OBJETIVO GERAL.....	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1	BALANÇO HÍDRICO DO SOLO.....	15
4.2	COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO DO SOLO	16
4.2.1	Precipitação	16
4.2.2	Infiltração	18
4.2.3	Percolação profunda.....	19
4.2.4	Evapotranspiração de referência e cultural	20
4.2.5	Escoamento superficial.....	21
4.3	BALANÇO HÍDRICO NO MODELO PROPOSTO ESAS/LIHA	22
4.4	PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO	23
4.5	TERRACEAMENTO AGRÍCOLA	25
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	27
5.2	AMOSTRAGENS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO .	29
5.3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	29
5.4	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	30
5.4.1	Curva de retenção de água no solo	30
5.4.2	Porosidade, densidade do solo e análise granulométrica	31
5.4.3	Condutividade hidráulica e infiltração de água no solo	32
5.5	MONITORAMENTO DA ÁGUA NO SOLO.....	33
5.6	ELEMENTOS DO CLIMA.....	34
5.7	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA	35
5.8	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	35
5.9	BIOMASSA RESIDUAL DA COBERTURA VEGETAL	36
5.10	ANÁLISES DA ÁREA FOLIAR.....	36
5.11	SIMULAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO.....	37
5.11.1	Modelo de entrada e saída de água (ESAS/LIHA).....	37
5.12	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	42

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF).....	43
6.2	COBERTURA RESIDUAL.....	46
6.3	CALIBRAÇÃO DO FDR	49
6.4	BALANÇO HÍDRICO DO SOLO.....	51
6.5	RELAÇÃO ENTRE UMIDADE ESTIMADA E MEDIDA	57
7	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional juntamente com uma elevada demanda por alimentos, fibras e energia promovem uma intensificação no uso dos recursos hídricos, gerando notória preocupação da sociedade pela produção sustentável e aumento da disponibilidade de água nas bacias hidrográficas. Deste modo, a água e o solo tem sido um dos recursos naturais mais estudados nos últimos anos, sobretudo no que abrange os seus manejos para se ter maior quantidade e qualidade na produção de alimentos.

Logo, percebemos uma complexidade no que diz respeito ao manejo e conservação do solo e da água, em razão dos inúmeros fatores ligados a produção agrícola e as diferenças edafoclimáticas dos ambientes. Assim, para que haja êxito na aplicação de metodologias agrícolas conservacionistas, um enfoque sistêmico deve ser pensado, tratando de forma racional o uso da água na produção de alimentos, no qual é um dos maiores consumidores dos recursos hídricos.

Observando esses fatores, faz-se necessário compreender a dinâmica da água no solo, onde é obtido a partir de fluxos positivos, no qual a entrada pode ser via (precipitação, irrigação, ascensão capilar, infiltração e o orvalho) e negativos, referentes a saídas desse recursos hídricos, via evapotranspiração, drenagem profunda, escoamento superficial e subsuperficial, até as profundidades exploradas pelas raízes, resultando em uma soma na variação dos componentes do armazenamento de água no solo.

Esse balanço hídrico sofre influências das propriedades do solo, tais como, textura, que inclui drenagem, capacidade de retenção de água, aeração, suscetibilidade à erosão, capacidade de troca de cátions e pH, além da porosidade, granulometria e do conteúdo de matéria orgânica, no qual atua na capacidade de retenção de água, liberando lentamente nutrientes para o crescimento das plantas, melhorando assim a estrutura do solo.

Percebe-se então, o quão complexo e dependentes podem ser a maneira de manejar esse conjunto integrado solo-planta-atmosfera. No qual também estão atrelados aos impactos da erosão hídrica, perda de água no solo, redução de infiltração, sendo estes problemas abrangentes em muitas áreas agrícolas do mundo, bem como, seu fluxo associado às condições físicas do solo e que podem favorecer alterações nesse sistema integrado.

Diante desses paradigmas na agricultura, é crescente a adoção de manejo de conservação do solo e água, como sistema plantio direto (SPD), alinhado à técnica de terraceamento agrícola. No qual essa integração visa tanto o controle da erosão hídrica, reduzindo as perdas de água no solo, uma vez que promove benefícios como a proteção da

superfície terrestre, redução do escoamento superficial ou prejuízos pelo transporte de sedimentos e nutrientes.

Portanto, nesse contexto de conservação do solo e da água, faz-se necessário aprofundar conhecimentos quanto à magnitude e as causas das perdas da água na produção vegetal, estimando assim seus componentes do balanço hídrico do solo.

2 HIPÓTESES

O modelo de entrada e saída de água no solo proposto (ESAS/LIHA), terá desempenho e acurácia satisfatória em estabelecer os componentes hidrológicos e estimar a umidade do solo em uma vertente cultivada no sistema plantio direto, com e sem terraços agrícolas, na região dos Campos Gerais do Paraná.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade do modelo de entrada e saída de água no solo desenvolvido pelo Laboratório de Irrigação e Hidrologia Agrícola da UEPG (ESAS/LIHA) em estimar a umidade do solo e demais componentes do balanço hídrico em área produtora de grãos no sistema plantio direto (SPD), com prática mecânica de conservação do solo, na região dos Campos Gerais do Paraná.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

– Calibrar o sensor de umidade do solo do tipo reflectância no domínio da frequência e mensurar a umidade do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento das culturas em área cultivada com grãos no SPD, com e sem terraços agrícolas.

– Mensurar o índice de área foliar, cobertura residual e a partir destas informações estimar a interceptação da chuva pelo dossel vegetativo e cobertura residual em ambas as áreas.

– Monitorar o escoamento superficial na vertente com o uso de calha H e o escoamento interceptado nos terraços com auxílio de medidor de nível.

- Estimar a capacidade de infiltração de água no solo por meio do modelo de Green-Ampt com aplicação da condutividade hidráulica saturada estimada pelo modelo de Philip-Dunne modificado.

– Avaliar a capacidade do modelo ESAS/LIHA em estimar os componentes do balanço hídrico de solo, como a umidade do solo e o escoamento superficial, com base nas informações de solo, hidrológicas e agrometeorológicas obtidas durante três ciclos de cultivos na vertente estudada.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 BALANÇO HÍDRICO DO SOLO

O balanço hídrico do solo (BHS) é frequentemente aplicado para estimar a dinâmica de absorção da água pelas culturas agrícolas (LIBARDI, 2012), manejo da irrigação, estimativa de evapotranspiração, capacidade de produção de água em bacias hidrográficas, dentre outros fins. Tradicionalmente o BHS é obtido computando a entrada e saídas de água em uma área de controle por meio da precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial e capacidade de armazenamento de água no solo, sendo possível a partir desse método estimar o excedente e a deficiência hídrica que ocorre em uma região ao longo do tempo (MATOS et al., 2020), como é o caso do modelo agrometeorológico de THORNTHWAITE E MATHER (1955). Basicamente, os modelos de BHS computam as entradas e saídas de água em um determinado volume de solo, sendo em sistemas agrícolas regulados pela profundidade efetiva do sistema radicular.

Nas regiões tropicais e subtropicais, a principal forma de entrada de água nas lavouras é via precipitação pluvial, irrigação e ascensão capilar. Obviamente, que nas áreas não irrigadas, denominadas de cultivos em sequeiro, e aquelas com solos profundos, as chuvas são a única forma de entrada de água. De forma geral, os modelos consideram que a parcela da precipitação que não infiltrou no solo, irá acumular na superfície do mesmo, formando o escoamento superficial (LIU et al., 2022). Porém, muitos modelos não consideram a parcela da chuva interceptada pela cobertura vegetal e especialmente pela cobertura residual, o que pode gerar erros na estimativa da parcela da precipitação que atinge a superfície do solo, em especial nas áreas cultivadas no sistema plantio direto.

Tendo em vista isso, as considerações das condições de cultivo são fundamentais nesse processo, como a entrada de água nesse sistema pela precipitação, e suas saídas conforme o tempo de armazenamento de água no solo, afetados pelos fatores dinâmicos que o compõem, como a precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial, subsuperficial e a percolação (LIBARDI, 2012). Dessa forma, faz-se necessário entender como cada componente do balanço hídrico responde se comporta no ambiente.

A adequada mensuração da precipitação é um processo fundamental para determinação do balanço hídrico e aplicação de modelos hidrológicos, de forma que, esse regime hidrológico é extremamente dinâmico no que diz respeito ao espaço e o tempo (BHATI et al., 2021). É importante salientar que, por meio desse recurso hídrico ocorrerá uma ativação nos processos de escoamento e transporte de massa em bacias hidrográficas.

Para o adequado estabelecimento do BHS é essencial conhecer a capacidade de infiltração de água no solo. O processo de infiltração é importante para manutenção do fluxo de base dos rios e recarga dos aquíferos, sendo de fundamental relevância para a gestão dos recursos hídricos (SOUZA, 2015). O regime de infiltração proporciona muitas aplicações hidrológicas, principalmente no que diz respeito ao escoamento superficial, erosão do solo e déficit hídrico em períodos secos, no transporte de contaminantes e na determinação do escoamento superficial por exceder a capacidade da infiltração de água no solo (DENARDIN, 2018).

Em vista dos argumentos apresentados, a avaliação dos processos envolvidos no balanço de água do solo é uma prática viável para o estabelecimento de estratégias de manejo conservacionista da água em sistema agrícola, visando uma melhor eficiência no uso dos recursos naturais (ROCHA, 2004).

4.2 COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO DO SOLO

Diversos fatores determinam como foi a produção agrícola, de forma que, esse movimento da água no solo, com seus fluxos de entradas e saídas, associados com as necessidades culturais, tornam-se uma condição básica no processo de escolha e implementação das culturas em áreas agricultáveis.

Dessa forma, é importante conhecer e observar as sequências de como essa dinâmica hídrica no solo ocorre, pois tais processos como, infiltração, percolação, evapotranspiração e escoamento superficial, são primordiais para um manejo eficiente dos recursos hídricos, e para a sustentabilidade da produção agrícola (MEENA et al., 2020).

4.2.1 Precipitação

A precipitação é a principal variável nos processos hidrológicos e sua mensuração é importante para aplicações socioeconômicas, englobando a agricultura, a geração de energia, seu abastecimento de água e na gestão de riscos associados a eventos extremos, como irregularidade nas precipitações, que podem afetar diretamente a agricultura no Brasil, e, com isso, ocorrer uma limitação na produção agrícola (SILVA et al., 2021).

É interessante ter em mente que a precipitação é uma das variáveis de entrada no balanço hídrico do solo, no qual, o volume concentrado no tempo (precipitação) é transformado

em uma saída (escoamento) (CORTE, 2015). Ainda convém ressaltar que, a precipitação é a variável climatológica com as maiores oscilações no tempo e no espaço.

Vale destacar que altos índices de precipitação no solo podem ser responsável por sua degradação, aumentando as taxas de perda desse solo por meio dos processos erosivos, dentre eles, a erosão por salpicamento (splash) e a erosão pelo escoamento superficial concentrado em sulcos, ravinas e voçorocas (BERTONI & LOMBARDI, 2017).

Além disso, SILVA E BOTELHO (2014) mencionam que, a agricultura depende direta ou indiretamente dessa precipitação para desenvolver sua produção, sendo que a maioria da agricultura cultivada no Brasil é no sistema de sequeiro e necessita dessa variável climática para se desenvolver e obter uma boa produção.

Por conseguinte, e considerando a importância da precipitação exercendo influência direta sobre as condições ambientais, agindo diretamente sobre o balanço de água no solo e indiretamente através de outros elementos como temperatura e umidade do ar e do solo, existe também um grande esforço no sentido de delinear as previsões de ocorrência e da variação espacial dessas precipitações, que são de interesse para o meio agrícola (MEDEIROS et al., 2022).

A aplicação da precipitação total ocorrida em uma determinada área promove superestimação dos valores de umidade do solo, sendo necessária a determinação da precipitação efetiva. Importante salientar que o termo “precipitação efetiva” é utilizado de forma distintas dependendo da área de estudo e até mesmo em uma área específica (DASTANE, 1978), neste estudo o termo foi utilizado para definir a parcela da chuva que atinge a superfície do solo.

No processo de elaboração do BHS muitos modelos não consideram a parcela da precipitação interceptada pela cobertura vegetal e residual no cálculo da precipitação efetiva, o que pode gerar um erro significativo na entrada de água no solo e formação do escoamento superficial, visto que tais valores podem representar uma parcela importante das chuvas, chegando a valores que podem variar em média de 5 a 30% da precipitação total em áreas agrícolas e até valores próximos a 50% em florestas (COOK, et al., 2006; JIAO et al., 2018).

Desta forma, tais valores não podem ser negligenciado no estabelecimento da entrada de água no sistema solo (LIN et al., 2017). Destaca-se que a interceptação pela cobertura vegetal e residual afetará os processos hidrológicos, como a lâmina de água que atinge a superfície do solo e irá contribuir para o processo de infiltração, escoamento superficial e formação da umidade do solo (MUZYLO et al., 2009).

4.2.2 Infiltração

A dinâmica da água no solo caracteriza-se principalmente pelos processos de infiltração, no qual esse regime hidrológico é determinado por diversas variáveis, sendo estas naturais como as variações climáticas, como também de origem antrópica, como as modificações no uso e ocupação do solo (CHEN et al., 2007).

O conhecimento das propriedades físicas do solo como a textura, estrutura, densidade e porosidade são fundamentais, já que esses atributos influenciam expressivamente a infiltração da água no solo (DREWRY et al., 2020). Mediante o exposto, vale destacar que, a água no solo apresenta um movimento cíclico, passando pela infiltração, armazenamento, tendo uma sequência de finalizações no momento de sua drenagem e evaporação e absorção dessa água pelo sistema radicular das culturas.

Chuvas torrenciais (convectivas) favorecem o escoamento superficial, pois a capacidade de infiltração pode ser inferior ao volume de água precipitada em curto intervalo de tempo. Deste modo, é importante avaliar a dispersão temporal das chuvas, que normalmente é muito elevada em regiões tropicais (MEDEIROS et al., 2021).

É importante perceber que os sistemas de conservação melhoram a infiltração de água no solo para diferentes tipos de solos. No entanto, segundo (BRUNEL-SALDIAS et al., 2018), analisaram que, essa infiltração também pode aumentar as perdas de água na zona radicular das culturas devido à alta taxa de percolação. Conforme (WANG et al., 2018), o sistema plantio direto beneficiará no momento que estiver ocorrendo a infiltração, pois essa cobertura de palha na superfície do solo irá minimizar a perda da água, melhorando assim, a taxa de infiltração. Essa prática, conseqüentemente, aliviará o desequilíbrio entre as chuvas e a demanda de água das culturas.

Tendo em vista esses fatores, faz-se necessário levar em consideração o manejo do solo e o tipo de cultura que foi implementada pelo agricultor. Pois à medida que há interferências nesse processo de infiltração, estes podem afetar as dinâmicas de abastecimento subterrâneo e sua disponibilidade superficial (AMARAL et al., 2021).

A infiltração de água no solo pode ser descrita por modelos eminentemente empíricos, como o de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton ou por modelos matemáticos baseados na teoria física do fluxo de água em meios porosos, como o de Green-Ampt, Green-Ampt modificado por Mein-Larson e modelo de Philip (WEBER; APESTEGUI, 2016).

Entre os vários modelos disponíveis para estimar a infiltração da água no solo, o modelo de Green-Ampt é um dos que apresentam maior potencial de utilização, devido à sua

simplicidade e por estar fundamentado no processo físico da infiltração (CECÍLIO et al., 2003). A maior parte dos modelos que se propõem a descrever o processo de infiltração, incluindo-se o modelo de Green-Ampt, que foi usado nesse trabalho, parte da pressuposição de que o perfil de solo no qual se processa a infiltração é homogêneo o que, na grande maioria dos casos, não se constitui em uma verdade.

Devido a variabilidade, tanto espacial quanto temporal, das características físicas do solo ser muito grande, apresentando heterogeneidade ao longo de sua profundidade (sentido vertical) e ao longo do terreno (sentido horizontal) (PINHERIO; VIDE, 2017), o estudo do processo de infiltração da água em solos, bem como condutividade hidráulica saturada, devem ser realizadas com uma ampla cobertura amostral da área para um prognóstico mais correto, tanto da quantidade de água infiltrada no solo, como da taxa com que se dá o processo (FELIZARDO et al., 2020).

4.2.3 Percolação profunda

A percolação profunda dá-se quando a água infiltrada sofre perdas a partir de canais existentes nesse solo. Essas águas também representam uma das principais recargas nos mananciais de águas doces no mundo. Dessa maneira, compreender esses processos é a chave para uma gestão adequada dos recursos hídricos (PRICE, 2011; PONTES et al., 2016). Outro fator existente nesse processo é, o volume de água que percola o perfil do solo também é responsável pelo transporte seletivo de elementos liberados dos compostos formados, ou seja, propicia a lixiviação dos solutos que podem ser transportados para outros horizontes (SILVEIRA, 2022).

Com isso, o volume de água no solo recebe contribuições de entradas e saídas desse fluxo, sendo extremamente variável com o tempo (SANTOS et al., 2011). Deste modo, essa água pode passar pelo processo de percolação, alcançando seu aquífero, ou escoando de forma subsuperficial no solo, por meio de ductos internos, até a superfície, ou seguir um curso d'água, abastecendo rios temporários e intermitentes (HORIKOSHI, 2007).

BRANDÃO FILHO et al., (2018) complementam que, a perda de água na zona radicular por percolação profunda é diferente em cada cultura, pois pode ocorrer uma necessidade hídrica específica no cultivo. A perda de água pode estar relacionada com período de preparação da terra para receber as culturas, esse fator pode explicar as perdas por percolação, pois implica no surgimento de fissuras no solo, prejudicando o movimento de água no solo.

CHANDRA & NARESH (2020), indicam que, a cobertura da palhada que restou do plantio anterior, ajuda na conservação da umidade no perfil do solo, reduzindo o desenvolvimento de rachaduras. Dessa forma, NASSAH et al., (2018) mencionam que, há perdas em termos de percolação, no entanto, no que diz respeito a hidrologia daquele solo, essa percolação é considerada um abastecimento que alimenta o lençol freático. Nesse sentido e analisando esses fatores, é de suma importância reduzir essas perdas através de estratégias e bom planejamento do manejo da irrigação.

4.2.4 Evapotranspiração de referência e cultural

O balanço hídrico aborda todos os processos de retenção e condução de água no sistema solo-planta-atmosfera e é um dos principais métodos para determinação da evapotranspiração de referência e cultural (SILVA et al., 2014). Devendo ser levada em consideração nos estudos de disponibilidade hídrica, as particularidades da área agrícola e suas frações significativas do volume de água do balanço hidrológico (PINHEIRO et al., 2016).

A evapotranspiração de referência (ET_o) tem como padrão em comparar os resultados da evapotranspiração em diferentes períodos do ano ou em outras localidades, dependendo do interesse do produtor. Dessa forma, a obtenção do balanço hídrico de uma determinada região é fundamental o conhecimento da água perdida por evapotranspiração, e para isso, o cálculo da evapotranspiração de referência é utilizado (GURSKI; JERSZURKI; SOUZA, 2018).

Tendo em vista isso, a evapotranspiração de referência (ET_o), refere-se ao poder evaporativo da atmosfera em condições padrão de vegetação, disponibilidade hídrica e área de bordadura, conforme condições estabelecidas por Penman (1948) e utilizadas na determinação da ET_o pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Dessa forma, a ET_o irá avaliar o efeito do clima nas necessidades hídricas das plantas (TEIXEIRA, 2018).

No caso da evapotranspiração da cultura (ET_c), a sua obtenção pode ocorrer de forma direta com o uso de lisímetros e método do balanço de água no solo ou indiretamente pela aplicação de modelos, sendo o mais frequente a aplicação do coeficiente de cultura nos valores de ET_o. A determinação da ET_c é dependente do desenvolvimento das plantas e está associada as condições padrões estabelecidas por Penman, ou seja, sem restrição hídrica.

Frequentemente o seu valor é baseado na evapotranspiração de referência, sendo multiplicada por apenas um fator, o coeficiente da cultura (K_c), ou seja, $ET_c = ET_o * K_c$ (BARBOSA et al., 2015). Nota-se que o cálculo simples não considera as condições de campo, como área transpirante pela cultura, altura da planta, condições atmosféricas que irá afetar na

abertura e fechamento dos estômatos, dentre outros fatores que afetam a evaporação e especialmente a transpiração foliar. Tornando-se importante as determinações do índice de área foliar, bem como os elementos do clima que afetam o processo biológico de abertura e fechamento estomático (DOORENBOS & PRUITT 1977; ALLEN et al., 1998)

Conforme descrito, as condições locais e as práticas agrícolas, incluindo os tipos de plantas e a seleção de variedades, podem interferir consideravelmente na ET_c e, portanto, requerem certas correções (DOORENBOS & PRUITT 1977). Assim, a ET_c depende das condições climáticas predominantes, expressas pela ET_o , pelo tipo de cultura (com maior ou menor resistência à seca) e pela área foliar. Como a área foliar da cultura padrão é constante e a das culturas reais varia, o valor de K_c pode também sofrer variação (BARIANI, 2016). Neste sentido, está estudo aplica o conceito de K_c dual, separando o coeficiente de cultura basal (K_{cb}) e o coeficiente de evaporação (K_e), conforme descrito no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998; ALLEN, 2000; SILVA et al., 2012)

A evapotranspiração da cultura está relacionada as condições padrão, não levando em consideração os efeitos do déficit de água no solo sobre o processo de transpiração foliar e evaporação do solo. Para contornar este efeito, em condições de sequeiro, é utilizado um coeficiente de estresse hídrico do solo (K_s) (ALLEN et al. 1998), para obter a evapotranspiração real da cultura (ET_r).

A aplicação deste coeficiente busca corrigir o processo de evapotranspiração de uma determinada planta cultivada, pois ao esgotar a “água facilmente disponível” do solo a planta entrará em estresse hídrico, ocorrendo processos biológicos que restringem o processo de transpiração foliar para a manutenção do turgor celular. Em consequência da restrição a transferência de água pelas folhas, ocorre uma redução da transpiração foliar que acentuará à medida que o potencial hídrico do solo reduz.

4.2.5 Escoamento superficial

Entre os componentes do balanço hídrico do solo, o escoamento superficial, que é frequentemente desprezado em estudos de balanço hidrológico, tem grande importância. Este componente depende de vários fatores, como a declividade do terreno, tipo de cobertura do solo, capacidade de infiltração e da intensidade da chuva (COSTA et al., 2013).

O escoamento superficial é o processo de ocorrência e transporte da água na superfície do solo, podendo ser afetada e determinada por suas características, rugosidade da superfície do solo e a presença de cobertura por resíduos culturais também influenciam nas

particularidades do escoamento superficial, sua desagregação e transporte de sedimentos resultantes do processo erosivo (OLIVEIRA et al., 2018).

DE OLIVEIRA et al., (2017) elucidam que, o solo sem cobertura vegetal fica exposto aos efeitos das fortes chuvas sazonais, contribuindo nesse aumento do escoamento e consequentemente no processo de erosão em comparação a sistemas naturais mais preservados. Além disso, compreender o efeito das práticas de uso da terra no escoamento e a carga de sedimentos durante a perda desse solo é essencial para a adoção de estratégias adequadas para controlar sua erosão (SUN et al., 2018; EBABU et al., 2019).

Contudo, LONDERO et al., 2021, observaram um aumento do escoamento superficial em áreas com implantação do sistema plantio direto. Não sendo sozinho tão eficaz devido a essa redução nas propriedades físicas na superfície do solo, acarretando perdas que afetam diretamente nos processos hidrológicos. Observando esses fatores, tal estudo elucidada a utilização dos terraços agrícolas para redução do escoamento superficial e aumento da infiltração de água no solo. Ofertando vantagens não somente nesses parâmetros já citados, como também na melhoria da produção de grãos e do teor de umidade do solo (DENG et al., 2021).

Desse modo, a presença de resíduo cultural é importante para a conservação e manutenção das condições físicas de superfície do solo e, que são favoráveis à retenção e à infiltração de água, resultando na diminuição do escoamento superficial (ALMEIDA et al., 2016).

4.3 BALANÇO HÍDRICO NO MODELO PROPOSTO ESAS/LIHA

Existem diversos modelos para simular as interações no sistema solo-planta-atmosfera, e com uma adequada mensuração dos processos de entrada e saída de água no solo é fundamental para determinação do balanço hídrico e aplicação de modelos hidrológicos (MORAES, 2007).

Os modelos de simulação do balanço hídrico do solo, quando adequadamente calibrados, são ferramentas importantes para calcular o requerimento hídrico das culturas, melhorar as práticas de manejo de irrigação e calcular o impacto do déficit hídrico na produtividade das culturas, assim como também podem ser utilizados em áreas irrigadas em geral, não apenas mediante utilização de irrigação deficitária (ÁVILA, 2016).

De acordo com (KAUFMANN, 2013), estudando os processos hidrológicos e aplicação de modelos para o balanço hídrico do solo, reconhece a necessidade de realizar

coletas de dados espaciais e temporais tais como chuva, evapotranspiração, umidade do solo, escoamento superficial e de drenagem, de modo a avaliar a aplicabilidade do modelo selecionado.

A partir desta avaliação, se o modelo apresentar boa eficiência, ele poderá ser utilizado para geração de cenários de uso e ocupação do solo, alterações de sistemas de manejo e de cultivo agrícolas, entre outros aspectos a serem simulados.

Neste sentido, o modelo proposto ESAS/LIHA contribuirá na simulação de entrada e saída de água e sua disponibilidade hídrica para as culturas em diferentes sistemas de preparo e condições de precipitação pluviométricas.

Permitindo assim, planejamento e gerenciamento no uso dos recursos hídricos, tornando melhor o entendimento sobre as relações do sistema solo-planta-atmosfera (ALVES et al., 2012).

4.4 PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO

O estado do Paraná é um dos pioneiros na adoção e desenvolvimento do sistema plantio direto (SPD), e pesquisas mostraram que esse sistema de preparo do solo controla mais de 70% das perdas de solo devido a erosão em comparação ao cultivo convencional adotado pelos pequenos e grandes produtores rurais. No entanto, isso levou os agricultores a acreditar que somente o SPD, sozinho fosse suficiente, abandonando assim o uso dos terraços agrícolas, por considerarem um limitante para o uso de maquinário agrícola (TELLES et al., 2019).

É importante ressaltar que, o manejo sob plantio direto possui premissas básicas que incluem, ausência de revolvimento do solo e manutenção permanente da cobertura do solo por resíduos vegetais e diversificação de espécies, preferencialmente via rotação de culturas associada a utilização de plantas de cobertura (LIMA et al., 2015).

Esse manejo conservacionista envolve um conjunto ordenado de ações, processos, mecanismos e técnicas adequadas para aumentar a produtividade das culturas de interesse agrícola. Tal sistema baseia-se no não revolvimento do solo, manutenção e melhoria de sua estrutura física, incremento de carbono orgânico, na rotação de culturas e na manutenção da cobertura morta (restos culturais ou culturas especificamente de cobertura) (PARIHAR et al., 2016).

Com isso, ocorre aumento da resistência do solo à erosão e maior proteção do solo contra a ação erosiva das chuvas. As plantas de cobertura proporcionam maior produção de biomassa vegetal para cobertura do solo e, no caso das leguminosas disponibilizam maior

quantidade de nitrogênio as culturas em sucessão além de promover maior acúmulo e liberação de macronutrientes (VALICHESKI et al., 2012).

A cobertura do solo influencia na dinâmica e na retenção de água no solo e na redução dos processos erosivos, pois serve como um atenuante sobre o escoamento superficial, reduzindo as taxas e perdas de solo e água, atuando na reciclagem de nutrientes, favorece o desenvolvimento radicular e o rendimento das culturas (THEODORO et al., 2018). Do contrário, se ocorrer a total remoção ou, mesmo que parcial da cobertura vegetal, há uma mudança na dinâmica da água no solo, influenciando na disponibilidade hídrica para as plantas (DOS SANTOS et al., 2016).

A cobertura vegetal proporcionará uma barreira física, dissipando o fluxo de água escoado e conseqüentemente aumentará o tempo de infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial (PINHEIRO et al., 2018). Em complemento, o SPD de longa duração resultará em melhorias na retenção de água do solo, no aumento da porosidade total do solo, na redução da densidade do solo, na distribuição do tamanho de poros e na estabilidade de agregados (TUZZIN DE MORAES et al., 2016).

Esse sistema está direcionado a um método de semeadura realizado sem preparo de solo, preservando grande parte dos resíduos vegetais em sua superfície, reduzindo a energia cinética da gota de chuva sobre superfície terrestre em relação ao preparo convencional com revolvimento do solo (COGO et al., 2003).

SÉGUY et al., (1998), estudando práticas conservacionistas do solo, destacaram algumas vantagens decorridas pelo sistema plantio direto sobre diferentes sistemas de manejo do solo, das quais sua recuperação e manutenção da melhor condição estrutural do solo, favorece o crescimento radicular das culturas, melhoria no controle da erosão, mantendo uma melhor umidade e aeração, reduzindo dessa forma suas oscilações hídricas no solo.

Embora o SPD colabore no controle da erosão do solo, ainda assim, diversos problemas destacam-se o manejo inadequado, no qual há uma ausência de rotação de culturas ou diversificação de espécies vegetais, cobertura insuficiente da superfície do solo, compactação excessiva do solo, abandono do cultivo em contorno e inexistência de obras hidráulicas para disciplinar a enxurrada, agravando os processos erosivos (DENARDIN et al., 2014).

Dessa forma, em determinadas situações, existe a necessidade de barreiras mecânicas para obstrução e contenção do escoamento em áreas de plantio direto. Sendo observado que o SPD sem rotação de culturas e sem terraços não foram suficientes para controlar o escoamento

e a erosão do solo, mesmo durante eventos de baixa intensidade (MARTÍNI et al., 2020) enfatizaram assim a importância da utilização dos terraços agrícolas no SPD.

Analisando tal contexto, o terraceamento agrícola é considerado a principal prática mecânica para controle do escoamento superficial, desde que bem planejada DEUSCHLE et al., (2019). Sua finalidade é diminuir o comprimento de rampa, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento superficial, tendo como principais vantagens o armazenamento de água e de solo no canal, no caso de terraços em nível, ou condução de água e parte do solo para fora da lavoura, para terraços de drenagem. Além disso, servem como orientação para execução de demais operações de manejo em contorno ao declive, que também promovem reduções nas perdas de solo e água (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

4.5 TERRACEAMENTO AGRÍCOLA

O manejo e uso do solo pela adoção de sistemas conservacionistas em áreas agrícolas oportunizam melhorias na qualidade do solo, com reflexo na diminuição da erosão hídrica (TELLES et al., 2019). Dessa forma, os terraços adentram nas áreas agricultáveis como uma das práticas complementares mais eficientes para disciplinar o escoamento superficial e controlar a erosão hídrica, podendo ser uma combinação do camalhão e o canal construído na linha contrária à declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

O terraço é um sistema no qual consiste em um conjunto de canais e diques, adequadamente espaçados e dispostos perpendicularmente à declividade do terreno, com o objetivo de reter e infiltrar ou, interceptar e conduzir, com velocidade controlada, o escoamento superficial originário de chuvas que excedam a capacidade de infiltração de água no solo (GRIEBELER; CARVALHO; MATOS, 2000).

Para obtermos um dimensionamento desses terraços, é importante levar em consideração critérios técnicos, como análise das características das chuvas (intensidade, duração e frequência), características da área, comprimento de rampa, profundidade e permeabilidade do solo (ACKERMANN; ZHEVELEV; SVORAY, 2019), além do volume máximo de escoamento superficial para casos de terraços em nível, de retenção (PRUSKI, 2009). Ou seja, é necessário fazer um levantamento sobre as características do local escolhido, a distância entre os terraços, pois deve ser suficiente para impedir a erosão acentuada e que o volume de água não ultrapasse sua capacidade de armazenamento ou drenagem (PASINI et al., 2017).

Portanto, os terraços ajudam numa melhor infiltração, onde a água infiltrada é convertida em umidade do solo, onde, essa umidade é obtida pelo efeito do terraceamento, demonstrando sua fundamental importância, no qual, os terraços podem afetar a dinâmica da água no solo, o que permite verificar sua eficiência na conservação da água (CHEN; WEI; CHEN, 2020).

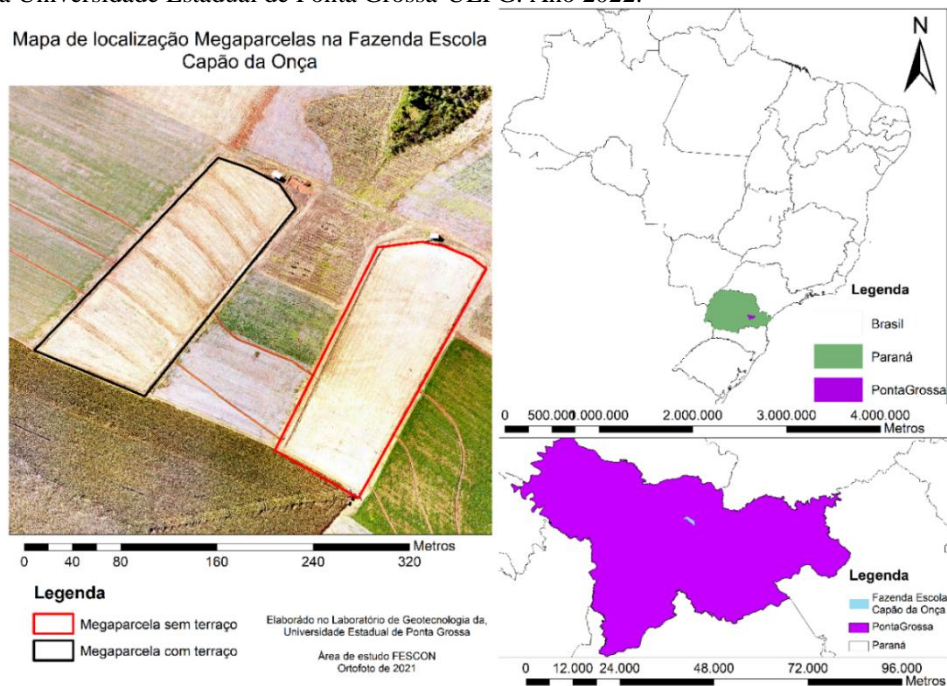
Tendo em vista os aspectos observados, o sistema de plantio direto alinhado com o manejo do terraceamento tem-se apresentado como alternativas para um melhor armazenamento de água no solo e para os sistemas convencionais de manejo do solo em uso na agricultura.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), na região dos Campos Gerais com coordenadas entre 25°05’49” S e 50°03’43,11” W; altitude de 975m, situada no município de Ponta Grossa - Paraná (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb mesotérmico subtropical úmido, com verões brandos, sem estações secas e geadas frequentes e rigorosas. O solo presente na parte superior da área que foi utilizada é classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico com textura baixa de argila, e na parte inferior encontra-se Cambissolo de textura média (EMBRAPA, 2013). Com temperatura média anual de 17,5 °C e precipitação pluvial média anual de 1.495mm (IAPAR, 2009).

Figura 1 – Ilustração com satélite da vertente selecionada para estudo na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2022.



Fonte: Laboratório de Geotecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa/PR (2020).

O experimento é composto por duas megaparcelas (Figura 2), sendo que na primeira foi adotado o tratamento constituído pelo sistema plantio direto e sem a prática mecânica de controle de escoamento superficial (sem terraços – ST), com área de 1,54 hectares. A segunda megaparcela foi implementado o mesmo manejo da primeira área, com sistema plantio direto e

com atuação das práticas mecanizadas para controle do escoamento (com terraços – CT), com dimensões de 1,6 hectares.

Figura 2 – Ilustração com satélite dos terraços selecionados para estudo na Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2022.



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

A área experimental é delimitada em topossequência, no qual, o solo do topo superior das megaparcelas são classificados como um Latossolo vermelho distrófico com textura argilosa. Na sequência encontra-se o topo médio da área, classificada como Latossolo vermelho-amarelo distrófico com menor textura de argila e no topo inferior nota-se a presença de um Cambissolo de textura média (EMBRAPA, 2003).

Os cultivos seguiram o planejamento agrícola da fazenda escola (Fescon), sendo implementadas a cultura da aveia preta (*Avena Strigosa*) no inverno de 2020, cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no verão de 2020/2021 e o ciclo do trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno 2021.

As megaparcelas são delimitadas por camalhões de forma que não haja contribuição do escoamento superficial proveniente da área externa a elas e impedir a saída de água das megaparcelas. No terço inferior foi construído uma delimitação para direcionar o fluxo de água para a calha H de 2,5' e no terço superior as delimitações foram feitas em declive, de forma que evite o acúmulo de água na área acima da megaparcela.

5.2 AMOSTRAGENS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO

Para amostragem dos atributos químicos e físicos do solo, instalou-se uma malha com 36 quadrículas por megaparcela, com aproximadamente 20 x 25 m, sendo 12 no topo superior, 12 no topo médio e 12 no topo inferior. A orientação e espaçamento entre os pontos foram similares entre as megaparcelas. Os pontos centrais de cada quadrícula foram georreferenciados e as coletas ocorreram sempre próxima ao ponto referenciado, adotando-se os quadrantes ao redor deste ponto em cada época de amostragem. As coletas ocorreram sempre após a colheita da cultura de verão.

5.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Após a colheita da cultura de verão, foram coletadas amostras nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. A amostragem foi realizada em 36 pontos por megaparcelas, que comporam uma amostra composta. A determinação da fertilidade do solo foi feito por meio da análise química de rotina, conforme metodologia sugerida por TEIXEIRA et al. (2017). Estabelecido os valores de pH; capacidade de troca de cátions efetiva e total; acidez potencial; Al^{+3} ; Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; K^{+} ; P; soma de base (SB); saturação de base (V%) e carbono orgânico total.

Devido a topográfica do experimento, a pedossequência constituída por Latossolos e Cambissolos (de textura média, originários a partir de sedimentos argilo-arenosos, profundos e com boa drenagem) para cada megaparcela são determinadas a topossequência a seguir: (1) terço superior, (2) terço médio e (3) terço inferior, no qual então em declividade média (%) entre 3 e 13 para mega com terraços e 3-12 para mega sem terraceamento agrícola. Na Tabela 1, constam as informações dos atributos físicos e químicos do solo nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, nas parcelas CT e ST.

Tabela 1. Caracterização da declividade da área, atributos físicos e químicos das unidades experimentais.

Tratamentos	Camadas	Arg	Slt	Art	pH	P	C orgânico	K	Ca + Mg	
		----- kg/kg -----			KCl	mg/dm ³	g/dm ³	--- Cmol _c /dm ³ ---		
MCT	TS	0 - 0,1 m	0,358	0,088	0,552	4,52	43,85	36	0,68	3,94
	TM		0,28	0,109	0,61	5,27	35,6	34,65	0,84	4,95
	TI		0,256	0,078	0,665	5,01	48,44	34,47	0,63	4,31
	TS	0,1 - 0,2 m	0,367	0,074	0,56	4,62	5,1	32,39	0,21	3,33
	TM		0,307	0,075	0,618	4,66	4,18	30,9	0,24	3,18
	TI		0,281	0,052	0,666	4,35	6,96	27,81	0,28	2,36
MST	TS	0 - 0,1 m	0,344	0,073	0,581	4,52	53,78	38,53	0,6	4,12
	TM		0,263	0,086	0,649	5,55	53,49	37,98	0,69	5,79
	TI		0,228	0,073	0,698	5,35	68,16	37,08	0,56	4,97
	TS	0,1 - 0,2 m	0,34	0,069	0,591	4,57	19,2	37,12	0,29	3,02
	TM		0,276	0,076	0,648	4,89	14,72	34,19	0,3	3,5
	TI		0,254	0,046	0,700	4,65	13,97	29	0,3	2,74

MCT: Mega com terraço; MST: Mega sem terraço; TS: Terço Superior; TM: Terço médio; TI: Terço inferior; Arg: argila; Slt: silte; Art: Areia total. Dados obtidos através da coleta de 36 pontos por parcela (n=36), em malha amostral de 18 x 22 m, coletados na camada de 0-0,10 m. Fonte: Autora.

Assim, o solo do topo superior da área experimental é classificado como um Latossolo vermelho distrófico, na sequência, encontra-se o topo médio da área, classificada como Latossolo vermelho-amarelo distrófico e no topo inferior um Cambissolo (EMBRAPA, 2018).

5.4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

5.4.1 Curva de retenção de água no solo

Foram tomadas amostras indeformadas de solo, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 m, com auxílio de trado e anéis volumétricos. As amostragens nas camadas até 0,20 m foram realizadas anualmente e em trinta e seis pontos. As demais profundidades foram realizadas no início e final da pesquisa, próximas aos pontos de instalação dos tubos de acesso dos sensores de umidade. É importante ressaltar que as camadas mais profundas do solo apresentaram pouca modificação ao longo do tempo, sendo divergentes das camadas superficiais que sofrem intensa modificação em decorrência do tráfego de máquinas, plantio e desenvolvimento radicular.

As amostras foram acondicionadas em papel filme e encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo. No laboratório, as amostras foram preparadas, colocando-se, com o auxílio de um elástico, um tecido na parte de baixo dos anéis (toalite). Após este procedimento, ocorreu

o processo de saturação por capilaridade, colocando-as em bandejas com água até atingir 2/3 dos anéis.

Após saturação, as amostras foram pesadas e submetidas a extração de água nos potenciais matriciais (Ψ_m) -1, -3; -6, -10 -30 e -75 kPa em mesa de extração de água à vácuo (EchoTech, DE), nos potenciais -100; -500 em Extrator de Richards (Soil Moisture, USA), sendo determinada a umidade à -1000 e -1500 kPa em determinador do ponto de orvalho modelo WP4-C (Decagon, USA).

A curva de retenção de água no solo foi equacionada como sugerido por VAN GENUCHTEN (1980), Equação 1, com auxílio do programa SWRC (SEKI, 2007).

$$\theta = \theta_r + \left[\frac{\theta_s - \theta_r}{1 + (\alpha \Psi_m^n)} \right]^m \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo, θ a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), Ψ_m ao potencial matricial (KPa), θ_r a umidade residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_s a umidade na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), α , n e m são coeficientes de ajuste da equação, sendo $m = 1 - 1/n$.

A umidade na capacidade de campo foi determinada a -10 kPa (θ_{cc}) e umidade no ponto de murcha permanente determinada a -1500 kPa (θ_{pmp}). A disponibilidade total de água no solo (DTA) foi calculada por meio da Equação 2.

$$DTA = (\theta_{cc} - \theta_{pmp})Z \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo, Z a profundidade efetiva do sistema radicular nas distintas fases de desenvolvimento da cultura.

5.4.2 Porosidade, densidade do solo e análise granulométrica

Após obtenção da curva de retenção de água, o solo presente nos anéis foi seco em estufa de circulação forçada a 105 °C até massa constante, com a informação da massa de solo seco e volume dos anéis foi obtido a densidade do solo (ρ_s , kg dm^{-3}). Com base nos dados de umidade de saturação e de extração de água obtidos a -6 kPa foram calculados a porosidade total (ϕ_t , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) pelo método direto, microporosidade (ϕ_{micro} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) pelo método da mesa de tensão e macroporosidade (ϕ_{macro} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) por diferença entre a ϕ_t e a ϕ_{micro} .

Após determinação da ρ_s , foi realizada a análise granulométrica e densidade de partículas do solo (ρ_p , kg dm^{-3}), essas análises serão efetuadas no solo presente em cada anel e realizadas apenas na primeira amostragem, por ser uma característica muito estável do solo. Todas as análises foram realizadas conforme metodologias apresentadas por TEIXEIRA et al. (2017).

5.4.3 Condutividade hidráulica e infiltração de água no solo

Os testes para obtenção da condutividade hidráulica saturada foram realizados anualmente após a colheita da cultura de verão, utilizando os permeômetros de Philip-Dunne modificados (PDM) (AHMED et al., 2014). O permeômetros foram construídos e testados no Laboratório de Irrigação e Hidrologia Agrícola da UEPG.

As determinações de K_{sat} foram realizadas nas camadas de 0,0-0,05 e 0,15-0,20 m. Selecionou-se a camada de 0,15-0,20 m pois em estudos prévios de resistência a penetração do solo, constatou a presença de camada compactada nesta profundidade. A análise na camada 0,0-0,05 m foi realizada nos 36 pontos referenciados e a camada de 0,15-0,20 m em 12 pontos por megaparcelas. A camada superficial teve maior número de pontos amostrados por sofrer maiores alterações em curto período devido aos processos erosivos. Importante ressaltar que o PDM determina a K_{sat} em camadas de 0,05 m, desta forma, a base do PDM é inserida a uma profundidade de 0,05 m.

Após a instalação foi realizada as medições iniciais de umidade do solo (θ_i), com coleta de três medidas ao redor da borda do PDM. Essas medições foram realizadas com um sensor de umidade do tipo TDR Moisture Meter HH2 ThetaProbe®, com haste de 0,06 m. Sendo realizado o teste de variação da carga hidráulica no tempo (infiltração x tempo). Após o teste, foram tomadas as umidades no ponto de instalação do PDM (θ_f).

Com as informações de variação da carga hidráulica no tempo, raio do PDM, profundidade de instalação e umidade inicial e final, a condutividade hidráulica saturada foi obtida por intermédio de planilha computacional no MS Excel com o suplemento Solver e o aplicativo Visual Basic, conforme metodologia descrita por Ahmed et al. (2014).

Com os dados de condutividade hidráulica saturada e umidade de saturação (θ_s) obtidos nas camadas de 0,0-0,05 m e 0,15-0,20 m, estabeleceu a curva da capacidade de infiltração e a infiltração acumulada em determinado tempo (mm) pelo método de Green-Ampt, conforme Equações 3 e 4. Para resolver a Equação 4, utilizou-se o pacote Solver do MS Excel.

$$f(t) = Ksat \times \left[\frac{[\Psi_m \times (\theta_s - \theta_i)]}{F(t)} + 1 \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$F(t) = (Ksat \times t) + [\Psi_m \times (\theta_s - \theta_i)] \times \ln\left(1 + \frac{F(t)}{[\Psi_m \times (\theta_s - \theta_i)]}\right) \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo, $f(t)$ a taxa de infiltração de água no solo (mm h^{-1}); $Ksat$ a condutividade hidráulica saturada (mm h^{-1}); Ψ_m o potencial matricial médio da frente de umedecimento, (mm.c.a); θ_s a umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_i a umidade inicial do solo, ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); $F(t)$ a infiltração acumulada (mm); t é tempo de infiltração.

5.5 MONITORAMENTO DA ÁGUA NO SOLO

A determinação da variação do conteúdo de água no perfil do solo ocorreu por meio da técnica da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), equipamento Diviner 2000 (SENTEK®). O monitoramento foi determinado diariamente, com medição da umidade em camadas de 0,10 em 0,10 m até a profundidade de 1,0 m (Figura 3).

Foram instalados e distribuídos em toposequência 13 tubos de acesso nas megaparcelas. Sendo dois no topo superior, dois no topo médio e dois no topo inferior da megaparcela sem terraceamento agrícola, seis tubos no total. Já na megaparcela com terraços agrícolas foram instalados dois tubos no topo superior, três no topo médio e dois no topo inferior, sendo 7 tubos de acesso no total. Assim, foi possível observar, dentro de certos limites, a contribuição da água interceptada pelos terraços na umidade do solo na área a jusante ao terraço.

É importante ressaltar que no durante o período do ciclo da soja, realizamos todos os parâmetros que norteiam o balanço hídrico, no entanto, não foi possível realizar a calibração do sensor, pois o aparelho apresentou problemas técnicos, não ocorrendo uma normalização adequada, no qual inviabilizou sua análise de umidade estimada e medida durante o cultivo da soja.

Portanto, tivemos que trocar para o segundo aparelho Diviner 2000, no qual estava guardado caso o primeiro apresentasse algum problema, dessa forma, prosseguimos com o encaminhamento da pesquisa durante os demais cultivos.

Figura 3 – A) Tubos de acesso; B) Monitoramento da água no solo em tubos de acesso; C) Aparelho Diviner 2000. Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2022.



Fonte: A autora. (2022).

5.6 ELEMENTOS DO CLIMA

Os elementos climáticos foram monitorados por estação meteorológica de superfície automática (EMA), instalada próxima às megaparcelas. As variáveis medidas para caracterizar o estado da atmosfera foram: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos e a lâmina e intensidade da precipitação.

Para a obtenção dos elementos agrometeorológicos, foram instalados sensores de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade e direção do vento a 2,0 m de altura, pluviômetro de balança, com resolução de 0,20 mm e pluviômetro Ville de Paris. Os sensores foram acoplados a uma plataforma de coleta de dados (Datalogger CR 300 Campbell Scientific®), com leitura a intervalos de 60 segundos, e aquisição de dados médios, máximos, mínimos e totais, em intervalos de 15 minutos, exceto as informações de precipitação coletadas no pluviômetro Ville de Paris que foram obtidas manualmente, com auxílio de proveta. Os registros agrometeorológicos foram sumarizados em escala diária, exceto a intensidade de precipitação que se estabeleceu em escala horária (mm h^{-1}).

Além dos equipamentos para medir a chuva instalados na EMA, foram instalados no topo inferior entre as megaparcelas, um pluviômetro Ville de Paris e um pluviômetro de balança com sistema de aquisição de dados e leitura em intervalos de cinco minutos.

A evapotranspiração de referência diária (ET_o), foi determinada com base no modelo de Penman-Monteith (Equação 5), conforme descrito por Allen et al. (1998).

$$ET_o = \frac{0,48\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,3u_2)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo, ET_o a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n , radiação líquida sobre a superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G , densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T , temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 , velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s , pressão de saturação de vapor (kPa); e_a , pressão atual de vapor (kPa); $e_s - e_a$, déficit de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); Δ , tangente à curva de saturação de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) e γ , constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

5.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

A evapotranspiração real de cultura (ET_a) foi determinada em seis lisímetros de drenagem instalados em área próxima as megaparcelas. Os lisímetros eram em formato circular, com diâmetro de 1,35 m e profundidade de 1,35 m, a variação do conteúdo de água foi determinado por meio de sensores de umidade do solo do tipo FDR (reflectância no domínio da frequência), modelo Diviner 2000 (SENTEK®).

O monitoramento da drenagem profunda ocorreu com auxílio de pluviógrafos com aquisição automática dos dados (FELTRIN et al., 2011). Após a água de drenagem profunda passada pelos pluviógrafos foram direcionadas para um tanque coletor, como medida de segurança caso ocorra algum problema na medição dos pluviógrafos. A conexão do fundo dos lisímetros até os pluviógrafos, para condução da água, ocorreu por tubulações de PVC.

5.8 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial nas megaparcelas foi obtido via calhas H de 2,5' com canal de aproximação e linígrafos de pressão, com aquisição automática e armazenamento das informações a cada cinco minutos. Com os dados obtidos, foi possível determinar o volume de escoamento superficial e a construção dos hidrogramas para cada evento de chuva, com formação de escoamento superficial.

O monitoramento de infiltração de água nos terraços foi estabelecido com auxílio de um medidor de nível, conforme metodologia descrita por PAULA & PRUSKI (2007) e aplicada por FRANCO (2018). O medidor de nível, é composto de uma haste guia graduada com boia e um anel marcador, instalados, em três pontos no canal de cada terraço.

5.9 BIOMASSA RESIDUAL DA COBERTURA VEGETAL

A biomassa residual da cobertura vegetal sobre a superfície do solo foi mensurada através da colheita de nove amostras ao acaso em cada megaparcela, sendo três em cada topossequência (superior, médio e inferior) (Figura 4).

Figura 4 – Coleta da biomassa residual da cultura da soja. Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2021.



Fonte: A autora. (2022).

A coleta das amostras foi realizada com quadro medindo 0,50 x 0,50 m (0,25 m²). As amostras foram embaladas em pacotes de papel, identificadas e submetidas à secagem em estufa a 60°C durante 72 horas, conforme metodologia descrita por MIYAZAWA et al. (2009).

5.10 ANÁLISES DA ÁREA FOLIAR

O índice de área foliar (IAF) foi mensurado por meio de nove amostras ao acaso em cada megaparcela, sendo três em cada terço da área (Figura 5). A medição foi realizada em três plantas nos pontos de amostragem. A área foliar de cada planta foi estimada por meio do método não destrutivo, com medição do comprimento e largura das folhas, e posterior multiplicação por coeficientes (fator de forma) recomendados na literatura para as culturas da soja (RICHTER et al., 2014) e trigo (MIRALES & SLAFER, 1991), sendo adotado o mesmo fator de forma do trigo para a aveia.

Figura 5 – Coleta da cultura do trigo para análise do índice de área foliar. Fazenda Escola “Capão da Onça” pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG. Ano 2021.



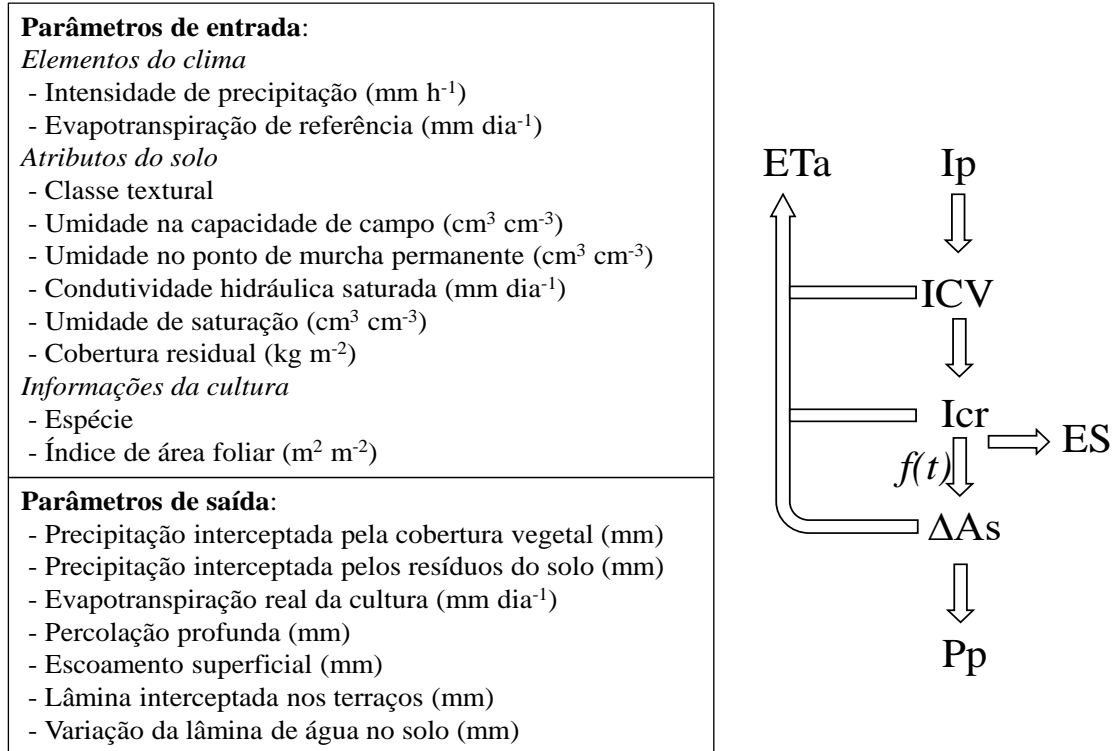
Fonte: A autora. (2022).

5.11 SIMULAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

5.11.1 Modelo de entrada e saída de água (ESAS/LIHA)

A confecção do balanço de água no solo consistiu em determinar e relacionar os componentes de entrada e saída de água, considerando um certo volume de solo. NOLZ (2016) destaca que o uso de lisímetros e sensores de umidade do solo são importantes ferramentas para a quantificação dos componentes hídricos. Essas ferramentas foram adotadas para comparar os componentes estimados com os observados. Os procedimentos para determinação dos componentes do balanço hídrico estão indicados no esquema ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Esquema metodológico para determinação dos componentes do balanço de água no solo com indicação dos parâmetros de entrada e saída do modelo. Sendo, I_p a intensidade de precipitação (mm h^{-1}), ICV a máxima interceptação pela cobertura vegetal (mm), I_{cr} a máxima interceptação pela cobertura residual sobre o solo (mm), $f(t)$ a taxa de infiltração de água no solo (mm), ES o escoamento superficial (mm), ΔA_s a variação da lâmina de água no solo (mm), ET_a a evapotranspiração real da cultura (mm dia^{-1}), e P_p a percolação profunda (mm).



Fonte: A autora. (2022).

Neste estudo, o balanço hídrico do solo em vertente cultivada em condições de sequeiro, descrito de forma simples, conforme Equação 7.

$$\Delta A_s = P - ICV - I_{cr} - ET_a - ES - P_p \quad (\text{Eq. 7})$$

Sendo, ΔA_s a variação no armazenamento de água no solo (mm) explorado pelo sistema radicular da cultura; P a precipitação pluvial (mm); ICV a máxima interceptação da chuva pela cobertura vegetal (mm); I_{cr} a máxima interceptação da chuva pela cobertura residual (mm); ET_a representa a evapotranspiração real da cultura (mm); ES o escoamento superficial (mm); e P_p a percolação profunda (mm). No estudo, a entrada de água por ascensão foi negligenciada pois o lençol freático é profundo (ZHANG et al., 2016).

Estimou-se a evapotranspiração real da cultura seguindo a metodologia descrita por (ALLEN et al., 1998), relacionando a evapotranspiração de referência (ET_o) com o coeficiente de cultura basal ajustado (K_{cb-aj}) e o coeficiente de umidade do solo (K_s) (Equação 8).

$$ET_a = ET_o \times Kc \times Ks \quad (\text{Eq. 8})$$

Sendo, ET_o a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Kc o coeficiente de cultura para as diferentes fases da cultura; Ks o coeficiente de estresse hídrico no solo.

A estimativa do coeficiente de estresse hídrico no solo (Ks), que representa o efeito da redução da umidade do solo sobre a transpiração, foi estimada por meio do modelo logarítmico (Equação 9) proposto por BERNARDO et al. (2006).

$$Ks = \frac{\ln(LAS + 1)}{\ln(DTA + 1)} \quad (\text{Eq. 9})$$

Sendo, LAS a lâmina de água no solo (mm); DTA a disponibilidade total de água no solo (mm). A máxima parcela da precipitação interceptada na cobertura vegetativo (ICV) foi estimada aplicando o modelo proposto por EHLERS (1989) e aplicado por PRUSKI et al., (2001). O cálculo de ICV baseia-se no índice de área foliar (IAF), conforme Equação 10.

$$ICV = 0,932 + 0,4999IAF + 0,0057IAF^2 \quad (\text{Eq. 10})$$

Sendo, ICV a interceptação máxima pela cobertura vegetal (mm); IAF o índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$). Neste método, assumiu-se que toda a precipitação é interceptada pela cobertura vegetal até o momento em que a precipitação se iguala a ICV . O tempo de interceptação pela cobertura vegetal (t_{icv}) é estabelecido por meio da equação 11, conforme apresentado por PRUSKI et al (2001).

$$\int_0^{t_{icv}} I_p dt = ICV \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo, I_p a intensidade instantânea de precipitação (mm h^{-1}); e t_{icv} o tempo de duração da interceptação pela cobertura vegetal (mm).

Transcorrido o t_{icv} , considera-se que a chuva se precipitará sobre a cobertura residual do solo. A interceptação máxima pela cobertura residual (I_{cr}) é dependente da massa e tipo de resíduo, e foi estimada para os resíduos de milho (Equação 12), soja (Equação 13) e trigo (Equação 14) adotando o conjunto de equações quadráticas obtidas no estudo de SAVABI E STOTT (1994). Para a cobertura do solo originada da cultura da aveia, adotou-se a equação obtida para o

trigo. O tempo de interceptação pela cobertura residual (t_{cr}) foi obtido de forma similar ao apresentado para o Acv, conforme Equação 15.

$$I_{cr} = 3,46MR - 1,05 \times 10^{-4}MR^2 \text{ (milho)} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$I_{cr} = 3,46MR - 1,05 \times 10^{-4}MR^2 \text{ (soja)} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$I_{cr} = 3,46MR - 1,05 \times 10^{-4}MR^2 \text{ (trigo)} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$\int_0^{t_{cr}} I_p dt = I_{cr} \quad (\text{Eq. 15})$$

Sendo, I_{cr} a máxima interceptação pela cobertura residual (mm); MR a massa de resíduo sobre o solo (kg m^{-2}); t_{cr} o tempo de duração da interceptação pela cobertura residual (h); I_p a intensidade de precipitação (mm h^{-1}).

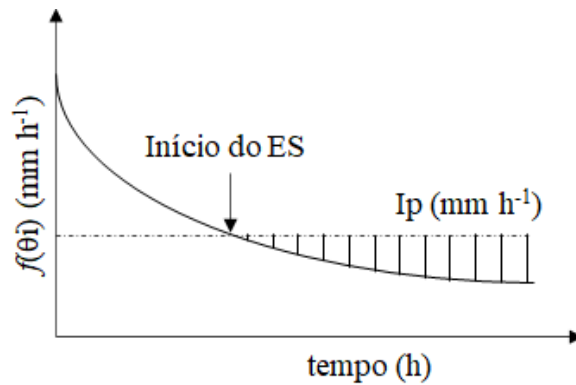
Após toda a lâmina interceptada pela cobertura residual ser preenchida iniciou-se o processo de infiltração. Neste momento, se a intensidade de precipitação após completo armazenamento na cobertura residual ($I_{p_{a-cr}}$) for menor ou igual a taxa de infiltração ($f(t)$), toda a lâmina precipitada irá infiltrar no solo, contribuindo para a umidade do solo, conforme Equação 16.

No instante em que a I_p superar a $f(t)$ inicia-se o processo de escoamento superficial (ES) até o final do evento de precipitação pluvial. A $f(t)$ foi estimada aplicado o modelo de Grenn-Ampt, considerando a umidade volumétrica antecedente ao evento de precipitação para estabelecimento da curva de taxa de infiltração de água no solo, conforme ilustrado na Figura 7.

$$ES = \begin{cases} 0, & I_{p_{a-cr}} \leq f(t) \\ \int_0^{tp} I_{p_{a-cr}} - f(t), & I_{p_{a-cr}} > f(t) \end{cases} \quad (\text{Eq. 16})$$

Sendo, ES o escoamento superficial (mm); tp é o tempo de precipitação (h); $I_{p_{a-cr}}$ é a intensidade de precipitação após a completa interceptação pela cobertura residual (mm h^{-1}); $f(t)$ é a taxa de infiltração após determinado tempo (mm h^{-1}).

Figura 7 – Taxa de infiltração dependente da umidade volumétrica do solo ($f(\theta_i)$) antecedente ao evento de precipitação e início da formação de escoamento superficial (ES) em resposta a intensidade de precipitação (I_p) e taxa de infiltração.



Fonte: A autora. (2022).

Na megaparcela com terraços agrícolas, foi considerado que toda a lâmina formada por escoamento superficial na área entre terraços foi interceptada pelo terraço a jusante e irá infiltrar no solo, contribuindo para a umidade do solo e percolação profunda (P_p) na região dos terraços. Se a lâmina de água infiltrada elevar a umidade na zona explorada pelo sistema radicular das culturas, para valores acima da umidade na capacidade de campo, ocorrerá a formação da percolação profunda (P_p). Assim, a P_p foi estimada por meio da Equação 17.

$$P_p = \begin{cases} 0, & LAS_i + F(t) \leq L_{cc} \\ LAS_i + F(t) - L_{cc}, & LAS_i + F(t) > L_{cc} \end{cases} \quad (\text{Eq. 17})$$

Sendo, P_p a percolação profunda (mm); LAS_i a lâmina de água no solo antecedente ao início da infiltração (mm); $F(t)$ é a infiltração acumulada (mm); L_{cc} é a lâmina de água no solo na capacidade de campo (mm) obtida por meio da Equação 18.

$$L_{cc} = \theta_{cc} \times Z_i \quad (\text{Eq. 18})$$

Sendo, L_{cc} a lâmina de água no solo na capacidade de campo (mm); θ_{cc} é umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); e Z_i é a profundidade efetiva do sistema radicular no momento da determinação do L_{cc} .

5.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Cada megaparcela foi considerada um tratamento. A repetição se dará pelo monitoramento de eventos ao longo do tempo. A avaliação foi pela análise comparativa entre as megaparcelas, já que contemplam a presença e ausência do controle de escoamento superficial como medida complementar. Dessa forma, para cada evento haverá uma resposta diferente no fluxo da água em função dos eventos de chuva natural.

As análises serão realizadas no software R (R Core Team, 2017). Os dados serão submetidos a estatística descritiva para averiguação da média, mediana, quartis, curtose, coeficiente de assimetria, análise de distribuição por box-plot e presença de outliers pelo método Grubbs ($p < 0,05$). Para julgar se os fatores alteraram as médias de forma significativa, foi realizado o teste de *t student* ($p < 0,05$) para as variáveis com distribuição normal dos resíduos. As variáveis que não obtiverem a normalidade dos resíduos, mesmo após a transformação, ou quando julgado necessário, serão analisadas pelo teste não paramétrico de KruskalWallis ($p < 0,05$).

Para verificar a proporção da variância total dos dados observados que podem ser explicados pelos modelos, foi aplicado a análise do coeficiente de determinação (R^2), o qual apresenta valores entre 0 e 1, sendo que mais próximo de “1” melhor a concordância entre os dados observados e estimados.

De forma geral, erro é a diferença entre o resultado de um valor estimado e o valor observado de uma determinada grandeza. O mesmo foi avaliado por meio da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), expressa a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de que REQM apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada, de modo que quanto mais próximo de zero, melhor é o modelo.

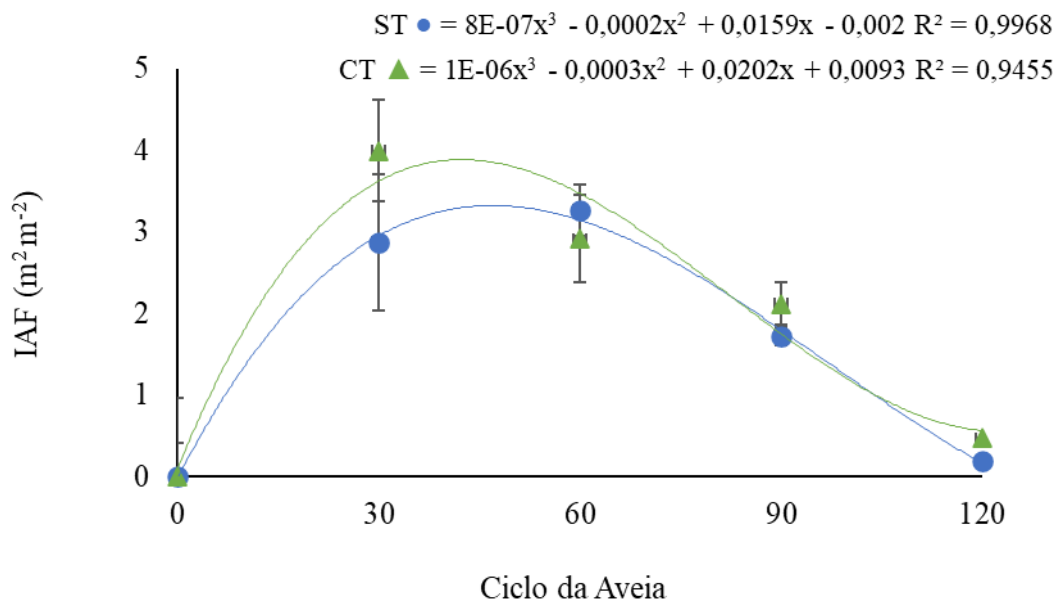
A acurácia do modelo foi avaliada por meio do índice de concordância “d” de (WILLMOTT, 1982), que mede a distância com que os pontos Observados e Estimados estão afastados da reta 1:1, quanto maior o valor (aproximadamente 1,0), melhor a concordância entre o Estimado e o Observado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

Na Figura 8, estão ilustrados os valores do índice de área foliar (IAF) para a cultura da aveia durante o transcorrer do seu ciclo de desenvolvimento na área experimental. Constatou-se que ocorreu comportamentos similar entre as fases de crescimento da cultura nas áreas sem terraços (ST●) e com terraços (CT▲) agrícolas, porém com uma ligeira superioridade no IAF da área com terraço na fase de desenvolvimento vegetativo. O modelo de ajuste polinomial apresentou bom coeficiente de determinação (R^2) nas duas condições de cultivo, permitindo seu uso posterior para estabelecer a retenção de água pela cobertura vegetal.

Figura 8 – Índice de área foliar da cultura da aveia. Sem terraços ● – (ST ●) e Com Terraços ▲ – (CT ▲).



Fonte: A autora.

Aos 30 dias após o plantio, a aveia semeada em área terraceada mostrou maior estímulo no seu estágio inicial, com valor de crescimento de $3,99 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, diferentemente na megaparcela sem terraço agrícola, onde esse valor foi menor que $2,87 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Ao longo do ciclo, percebemos uma diminuição no seu IAF em ambas as áreas de cultivo, ocorrendo uma redução gradativa até o fim de seu ciclo vegetativo.

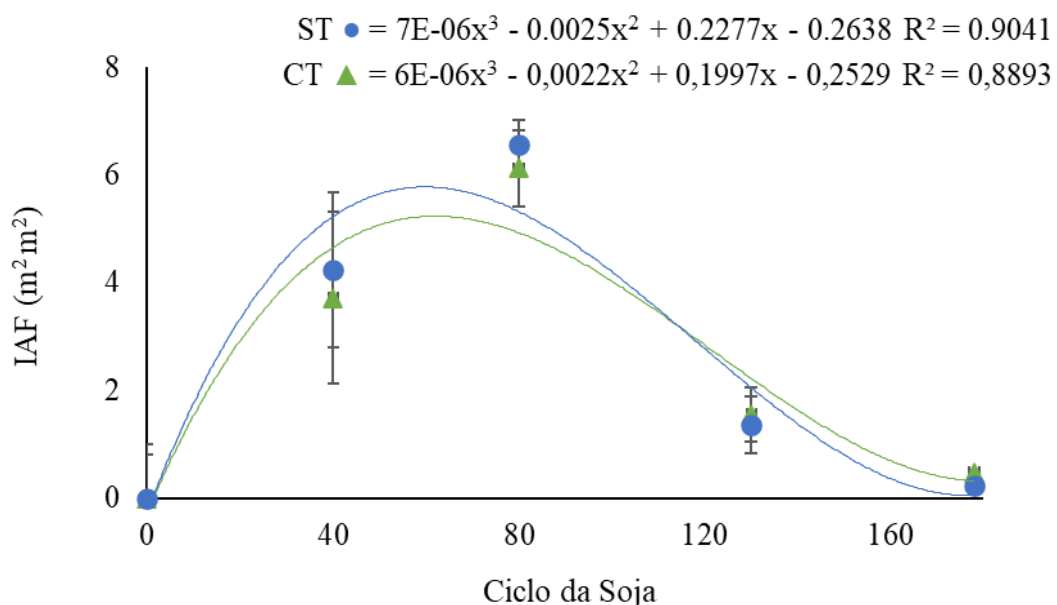
A redução no índice de área foliar, pode estar relacionada com efeitos deletérios de uma possível baixa na umidade do solo, pois a cultura necessita de mínimas condições ambientais que dependem de temperaturas e quantidade de água disponível no solo para seu pleno

desenvolvimento (CASTRO et al., 2012). As informações de disponibilidade de água no solo estão apresentadas no “tópico 6.4” Figura 12. Salienta que naturalmente há uma redução do IAF na fase final do ciclo de desenvolvimento, porém este efeito foi constatado entre os 60 e 90 dias após a semeadura, fase que a planta de aveia deveria manter um maior IAF, porém neste período ocorreu um acentuado esgotamento da água no solo e constatou-se que a planta entrou em estresse hídrico severo.

Segundo (SIAD et al., 2019) o crescimento da cultura e sua fenologia afetam o balanço hídrico do solo, controlando e intensificando a ETr, a entrada de água no solo e o definindo o rendimento das culturas. Tais propriedades do dossel vegetativo irão indicar a fase de desenvolvimento da vegetação e a atividade da planta em termos de consumo de água (BHATTACHARYA, 2018).

Estão ilustrados na Figura 9 as diferenças dos valores do IAF, para a cultura da soja durante seu ciclo de desenvolvimento. Foi percebido comportamentos distintos entre as fases de crescimento da cultura nas áreas experimentais sem terraços (ST●) e com terraços (CT▲) agrícolas. Constatou-se que a soja semeada na megaparcela sem terraceamento apresentou coeficiente de determinação (R^2) ligeiramente superior as plantas da megaparcela com terraços agrícolas.

Figura 9 – Índice de área foliar da cultura da soja. Sem terraços ● – (ST ●) e Com Terraços ▲ – (CT ▲).



Fonte: A autora.

Aos 40 dias após o plantio da soja, houve pequena diferença em seus estádios vegetativos, obtivendo valores aproximados, com $4,24 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $3,71 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em áreas sem e com terraços agrícolas, respectivamente. No entanto, após 80 dias de cultura em campo, a soja semeada em áreas sem e com terraços agrícolas, mostraram um significativo estímulo em seus estágios de desenvolvimento.

Mesmo com esse aumento no IAF, a área sem terraceamento obteve valor ligeiramente aproximado a megaparcela com terraços agrícolas em seu índice foliar, com crescimento de $6,56 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $6,11 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, respectivamente, ambos favorecendo significativamente no aumento do índice de área foliar.

Ao longo do ciclo reprodutivo entre a formação e enchimento de vagens, foi percebido em ambas as áreas uma diminuição no IAF, com valores de $1,35 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em área sem terraceamento e com terraços esse valor teve uma pequena diminuição, $1,55 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Tais reduções nos resultados do índice de área foliar podem estar relacionado com o período no qual a planta começa a utilizar os seus fotoassimilados para a formação de novos componentes, bem como as vagens e os grãos (TOLEDO et al., 2010). Dessa forma, é notório o quanto houve diminuição no índice de área foliar.

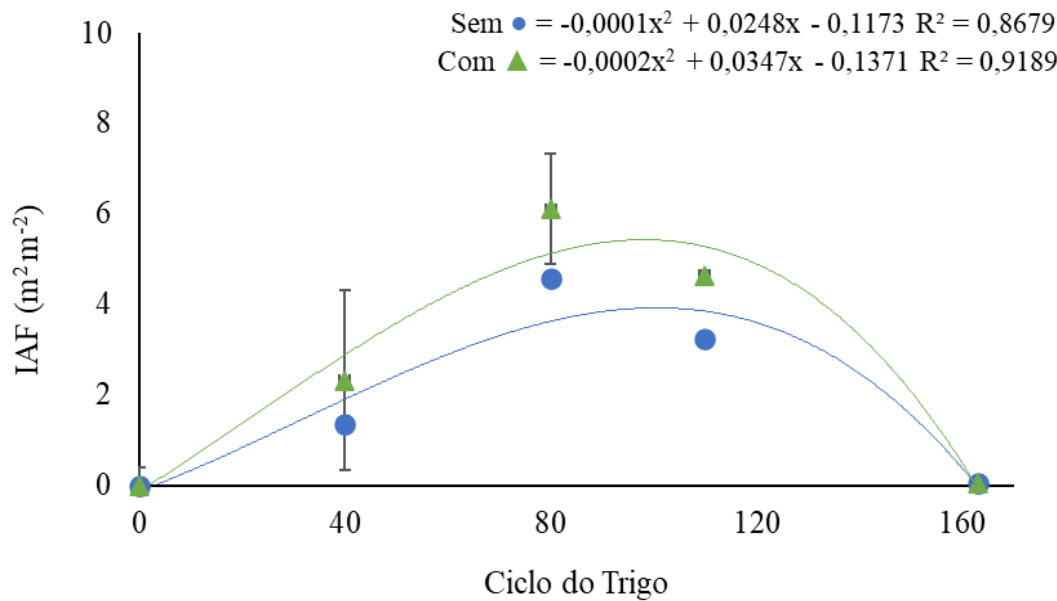
Já no estágio final do ciclo, que se inicia a maturação e maturação plena, a megaparcela com terraço agrícola não diminuiu tanto em comparação com a área sem terraço, com valores de $0,47 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $0,21 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em seus índices foliares, respectivamente.

A época de semeadura também pode afetar diretamente a disponibilidade dos elementos meteorológicos ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, que por sua vez determinam o período de crescimento vegetativo e a emissão de ramificações em suas cultivares (SETIYONO et al., 2011).

O índice de área foliar aponta também que, os maiores estoques de água no solo podem reduzir efeitos do déficit hídrico em soja cultivada no SPD, reforçando a importância da análise integrada de respostas das culturas em um enfoque sistêmico de manejo de solo e água TURETA et al., (2020).

O índice de área foliar (IAF) ilustrados na (Figura 10), referem-se para a cultura do trigo durante suas fases na área experimental. Constatando-se melhores respostas no modelo de ajuste polinomial, com comportamentos distintos entre as fases de crescimento da cultura nas áreas sem terraços ● – (ST●) e com terraços ▲ – (CT▲) agrícolas. No qual indicou que, o trigo semeado na área de megaparcela com terraceamento apresentou uma melhor resposta no coeficiente de determinação (R^2) em comparação a megaparcela sem terraços agrícolas.

Figura 10 – Índice de área foliar da cultura do trigo. Sem terraços ● – (ST ●) e Com Terraços ▲ – (CT ▲).



Fonte: A autora.

Aos 40 dias após o plantio, o trigo semeado em área terraceada, mostrou um significativo estímulo no seu estágio inicial que dá início aos aphilamentos, com valores de crescimento de $2,31 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e em comparação a área sem terraços esse valor foi menor, $1,34 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Na fase de desenvolvimento (crescimento do colmo e espiga), temos valores de $6,09 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em comparação a sem terraços, com menor expressão, $4,58 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

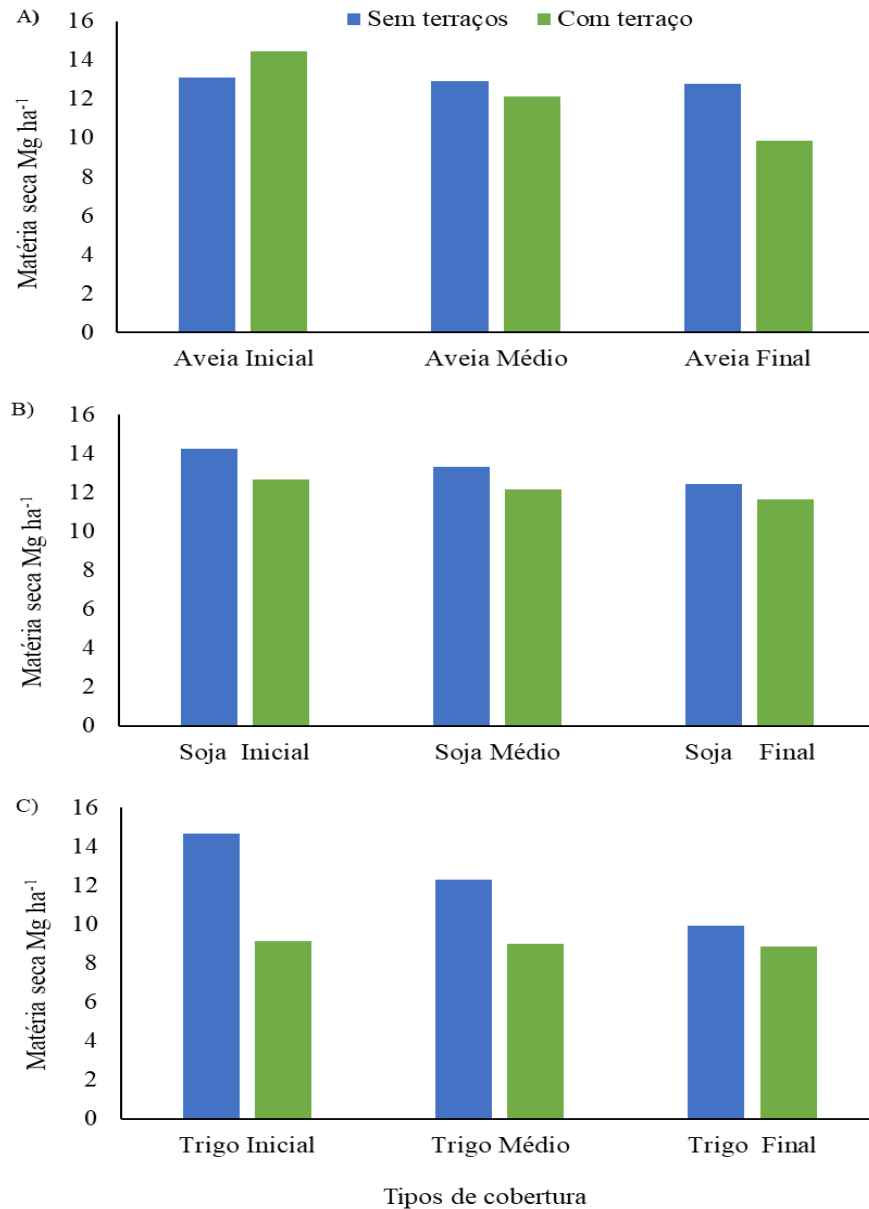
No período de florescimento é percebido uma diminuição em ambas as áreas de cultivo, no entanto, o trigo sobre terraços mostrou melhores valores $4,64 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e a sem terraços com $3,22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Já em sua fase de maturação de grãos e senescência, temos valores de $0,05 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $0,03 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em megaparcelas sem e com terraços, respectivamente. YILDIRIM et al., (2017) explanam o impacto significativo que o IAF possui na fotossíntese e na interceptação de radiação, contribuindo para a produção de biomassa agrícola das culturas.

6.2 COBERTURA RESIDUAL

No presente estudo, a análise de cobertura residual apresentou baixa variação na formação da matéria seca entre as áreas sem e com terraceamento agrícola (Figura 11A). Apesar de não ocorrer efeito significativo no início do cultivo de inverno em ambas as megas, com produção de $13,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ sem terraços e $14,44 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura vegetal em área com

terraços, houve uma manutenção dessa massa seca durante a metade do ciclo da aveia com $12,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $12,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ referentes respectivamente as megas sem e com terraços.

Figura 11 – Cobertura residual das culturas, A) Aveia 2020; B) Soja 2021 e C) Trigo 2021, respectivamente.



Fonte: A autora.

A aveia preta respondeu com baixa diminuição de sua cobertura residual na fase final do ciclo na área sem terraços, produzindo $12,78 \text{ Mg ha}^{-1}$, já na megaparcela com terraços, essa cobertura reduziu para $9,88 \text{ Mg ha}^{-1}$, fazendo com que não houvesse diferença entre as áreas experimentais.

Conforme observado por JIA et al., (2021), solos cobertos com cobertura morta apresentam maior conservação da umidade e menor evaporação da água do solo em comparação a solos descobertos. Fato que pode resultar em maior disponibilidade hídrica para as plantas, contribuindo para o aumento produtivo em comparação a áreas sem cobertura do solo. Ainda que no presente estudo não tenha sido observada diferença significativa na produção de cobertura residual, é evidente a importante contribuição da cobertura do solo para o aumento produtivo da cultura, sendo essa uma alternativa para o aumento da sustentabilidade durante a implantação dos cultivos.

Os resultados obtidos para cobertura residual da soja (Figura 11B), apresentaram pequena variação na matéria seca, entre as áreas sem e com terraceamento agrícola. Na fase inicial do ciclo de cultivo de verão sob o sistema plantio direto, as megaparcelas sem e com terraços agrícolas, apresentaram resultados de biomassa residual de 14,26 Mg ha⁻¹ e 12,66 Mg ha⁻¹ respectivamente.

No transcorrer da metade do cultivo, a soja mostrou resultados entre 13,34 Mg ha⁻¹ em ambiente sem terraceamento e 12,15 Mg ha⁻¹ em área com terraços. No momento final do ciclo, a cultura não apresentou consideráveis respostas, tendo produção de 12,42 Mg ha⁻¹ e 11 Mg ha⁻¹ sem e com terraceamento agrícola, respectivamente.

Segundo WOLSCHICK et al. (2016), ressaltam que a introdução de espécies de plantas de cobertura nos sistemas de cultivo é importante para a recuperação ou manutenção da qualidade estrutural do solo, pelo maior aporte de biomassa vegetal. Sua cobertura vegetal contribui para o retardo e controle do escoamento, infiltração de água, redução da erosão do solo, aumentando a matéria orgânica e contribuindo dessa forma para uma melhor nutrição do solo e das plantas (DAROUICH et al., 2022).

KLIEMANN et al., (2006) ressaltam que, o tempo de permanência dos resíduos vegetais sobre o solo em SPD são imprescindíveis para o sucesso deste sistema de cultivo, já que esse sistema depende da capacidade da planta de cobertura em gerar e manter matéria seca suficiente para cobrir o solo.

Por meio da Figura 11C, observa-se que o cultivo do trigo resultou variação nas respostas para cobertura residual, apresentando variações na biomassa. Na fase inicial do ciclo de cultivo de inverno em sistema plantio direto, as megaparcelas sem e com terraços agrícolas, apresentaram resultados de biomassa residual de 14,65 Mg ha⁻¹ e 9,16 Mg ha⁻¹ respectivamente, mostrando que a área sem terraceamento apresentou maior cobertura residual, e conseqüentemente mais potencial de retenção de água e manutenção da umidade do solo (SANTOS et al., 2011; SILVA et al. 2015).

Na metade do ciclo da cultura, o trigo semeado em ambiente sem terraceamento agrícola obteve resposta, com valor de 12,29 Mg ha⁻¹, enquanto na área com terraços, o resultado médio foi de 9,02 Mg ha⁻¹. Ao final do ciclo, a cultura não apresentou considerável respostas de variação, tendo produção de cobertura de 9,92 Mg ha⁻¹ sem terraços e 8,87 Mg ha⁻¹ com terraceamento agrícola.

Dessa forma, é importante ressaltar a influência das condições edafoclimáticas, pois esse cenário também promove rápida decomposição da palhada, reduzindo a matéria orgânica, gerando assim, efeitos negativos na qualidade do solo (JENSEN et al., 2020).

6.3 CALIBRAÇÃO DO FDR

Para melhor precisão na medição da umidade do solo pelo sensor do tipo FDR realizou sua calibração *in situ*. Os resultados da etapa de calibração para as megaparcelas com e sem terraços estão ilustrados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Equações de calibração em função da frequência relativa (FR), coeficiente de determinação (R²), raiz média do erro quadrático (RQEM) e o coeficiente de correlação de Pearson. Megaparcela sem terraços agrícolas.

Camada (m)	Eq. de calibração	R ²	RQEM (cm ³ cm ⁻³)	Correlação
Topo Superior				
0,0 - 0,10	$\theta = 0,6731 * FR^{3,1185}$	0,93	0,017	0,97
0,10 - 0,20	$\theta = 0,5489 * FR^{2,7254}$	0,87	0,027	0,93
0,20 - 0,30	$\theta = 0,94 * FR^{4,1927}$	0,87	0,021	0,93
0,30 - 0,40	$\theta = 0,8045 * FR^{3,7583}$	0,91	0,012	0,96
Topo Médio				
0,0 - 0,10	$\theta = 0,568 * FR^{2,017}$	0,87	0,065	0,94
0,10 - 0,20	$\theta = 0,5234 * FR^{2,3264}$	0,95	0,019	0,98
0,20 - 0,30	$\theta = 0,896 * FR^{3,605}$	0,96	0,035	0,98
0,30 - 0,40	$\theta = 0,6842 * FR^{3,3621}$	0,92	0,018	0,96
Topo Inferior				
0,0 - 0,10	$\theta = 0,6893 * FR^{3,0323}$	0,92	0,028	0,96
0,10 - 0,20	$\theta = 0,5902 * FR^{2,6804}$	0,92	0,018	0,96
0,20 - 0,30	$\theta = 0,6556 * FR^{2,8145}$	0,95	0,022	0,97
0,30 - 0,40	$\theta = 0,9144 * FR^{3,0551}$	0,83	0,069	0,91

Fonte: A autora.

Tabela 3 – Equações de calibração em função da frequência relativa (FR), coeficiente de determinação (R^2), raiz média do erro quadrático (RQEM) e o coeficiente de correlação de Pearson. Megaparcela com terraços agrícolas.

Camada (m)	Eq. de calibração	R^2	RQEM ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	Correlação
Topo Superior				
0,0 - 0,10	$\theta = 0,6036*FR^{2,1349}$	0,92	0,061	0,96
0,10 - 0,20	$\theta = 0,7861*FR^{3,6966}$	0,96	0,020	0,98
0,20 - 0,30	$\theta = 0,5783*FR^{2,5411}$	0,91	0,018	0,95
0,30 - 0,40	$\theta = 0,8048*FR^{3,531}$	0,87	0,023	0,94
Topo Médio				
0,0 - 0,10	$\theta = 0,6957*FR^{2,2574}$	0,86	0,090	0,92
0,10 - 0,20	$\theta = 0,454*FR^{1,7097}$	0,81	0,039	0,90
0,20 - 0,30	$\theta = 0,4796*FR^{1,8223}$	0,84	0,034	0,92
0,30 - 0,40	$\theta = 0,5391*FR^{2,1425}$	0,92	0,026	0,96
Topo Inferior				
0,0 - 0,10	$\theta = 0,4737*FR^{1,8702}$	0,96	0,040	0,98
0,10 - 0,20	$\theta = 0,6493*FR^{1,7964}$	0,86	0,123	0,94
0,20 - 0,30	$\theta = 0,7203*FR^{2,9478}$	0,94	0,032	0,97
0,30 - 0,40	$\theta = 0,9743*FR^{3,3125}$	0,87	0,070	0,93

Fonte: A autora.

Por meio da Tabelas 2 e 3, constatou-se adequados valores para os coeficientes estatísticos aplicados na avaliação do processo de calibração. Os valores de R^2 encontram-se entre 0,87 a 0,93, a RQEM entre 0,012 à 0,69 e coeficiente de correção variando de 0,91 a 0,98, na profundidade do solo de 0,0-0,40 m. Na megaparcela com terraço os valores observados para os coeficientes estatísticos aplicados foram próximos aos observados na megaparcela sem terraço. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de calibração do sensor FDR para obtenção de valores mais precisos de umidade do solo (VELDKAMP E O'BRIEN, 2000).

Dados aferidos no estudo de (SOUZA et al., 2013), observaram que os valores de coeficiente de determinação obtidos nas calibrações em latossolo vermelho-amarelo de textura média e argilosa, alcançaram valores próximos. Constatou que os resultados encontrados em outros estudos, realizados em condições de campo, no qual foram relatados valores em concordância com os obtidos neste estudo, como os observados por (OLIVEIRA et al., 2020) em solo franco-arenoso, os quais observaram valores de R^2 em sistema plantio direto de 0,89, (HABERLAND et al., 2014) que obtiveram R^2 de 0,92 em solos de textura média, (GABRIEL et al., 2010), observaram valores ligeiramente inferior a este estudo, com R^2 próximo a 0,81, em solos argilosos.

Em pesquisas para determinação do conteúdo de água no solo, (PRIMO et al., 2015), destacam que os resultados do conteúdo de água no solo determinados pelo FDR do leva em consideração aspectos relacionados com a topografia, propriedades físicas do solo, cobertura vegetal e condições meteorológicas locais.

Oliveira et al., (2020) constatou que a calibração do sensor é afetada pela densidade aparente e porosidade do solo. BOHME et al., (2013) realizaram calibrações da sonda FDR no Quênia, em solos com altas concentrações de argila, constataram que a porosidade total do solo influencia a determinação da umidade pelas sondas FDR. Desta forma, as equações de calibração podem sofrer alterações temporais em área com intervenção mecânica de descompactação, como ocorre em alguns cultivos em SPD, na região dos Campos Gerais, como o realizado na área antes durante a implementação do experimento.

Visto isso, essas aferições da constante dielétrica feita em campo, estão propícias a mudanças de fatores do meio, relacionando-se com a umidade volumétrica. Ou seja, resultados encontrados no estudo de (SILVA JR. et al., 2013), no qual, utilizaram um perfil de solo de até 1,0 m, com obtenção de uma equação única de calibração no perfil, obtiveram R^2 de 0,212, apresentando assim, alta dispersão dos resultados obtidos de umidade no perfil do solo.

Na Tabela 3, constatou que a aplicação da equação padrão do fabricante subestimou o conteúdo de água no solo em todos os pontos avaliados, ressaltando a importância de realizar a calibração em campo para obtenção de adequados valores de umidade, permitindo avaliações hidrológicas e um manejo da irrigação mais assertivo.

6.4 BALANÇO HÍDRICO DO SOLO

O balanço hídrico do solo (BHs) das megaparcelas sem e com terraços agrícolas, durante o ciclo da aveia, estão ilustrados nas Figuras 12A e B. Os dados referem-se à água precipitada e consumida pela cultura em campo, podendo variar consideravelmente em termos de tempo e espaço. De acordo com as condições climáticas, o conteúdo de água no solo pode ter influenciado o sistema de cultivo, o manejo do solo, o estágio fenológico da planta e até mesmo, influenciar a evapotranspiração da cultura.

Por meio do extrato das respostas do BHs não foi possível constatar efetiva contribuição da implementação dos terraços regularizar o escoamento superficial devido as condições de baixo índice pluviométrico e poucas chuvas intensas registradas ao longo do ciclo de cultivo da aveia no sistema plantio direto. A infiltração nas megaparcelas sem e com terraços apresentam valores similares, sendo de 257,34 mm. Já a drenagem profunda apresentou pequena diferença,

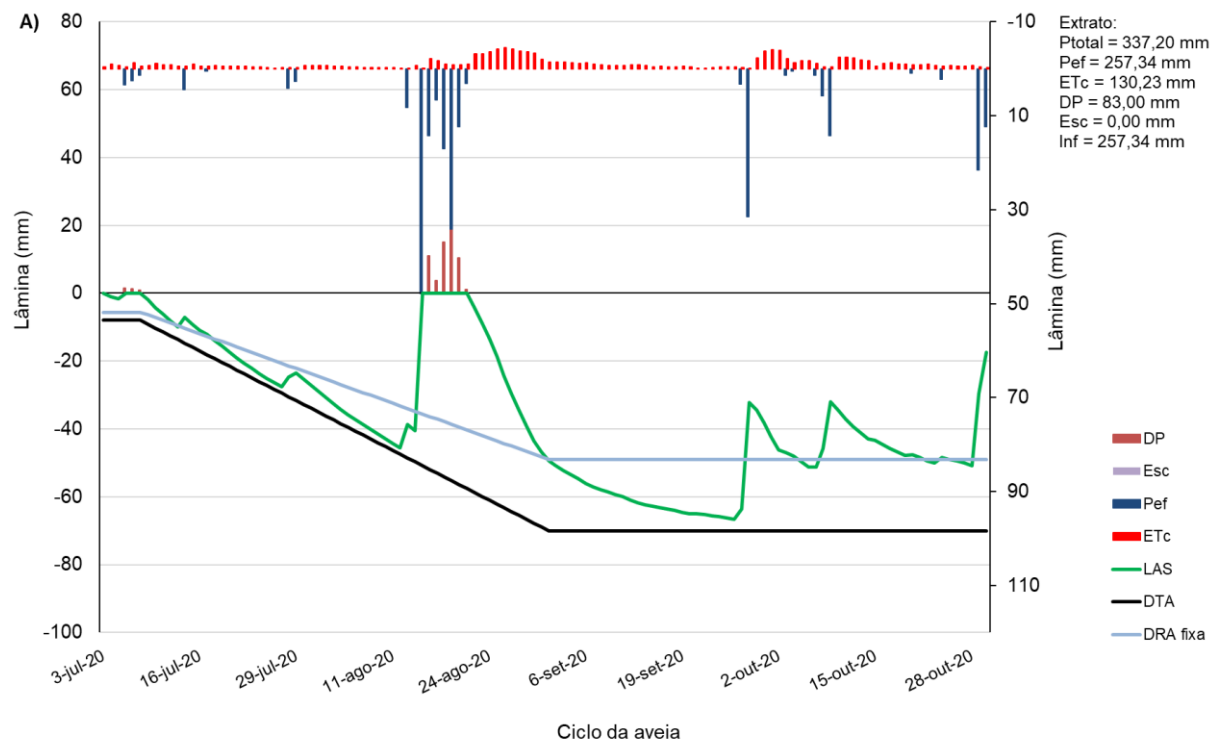
sendo 83,00 mm em megaparcela sem terraços e 80,33 mm em megaparcela com terraços agrícolas.

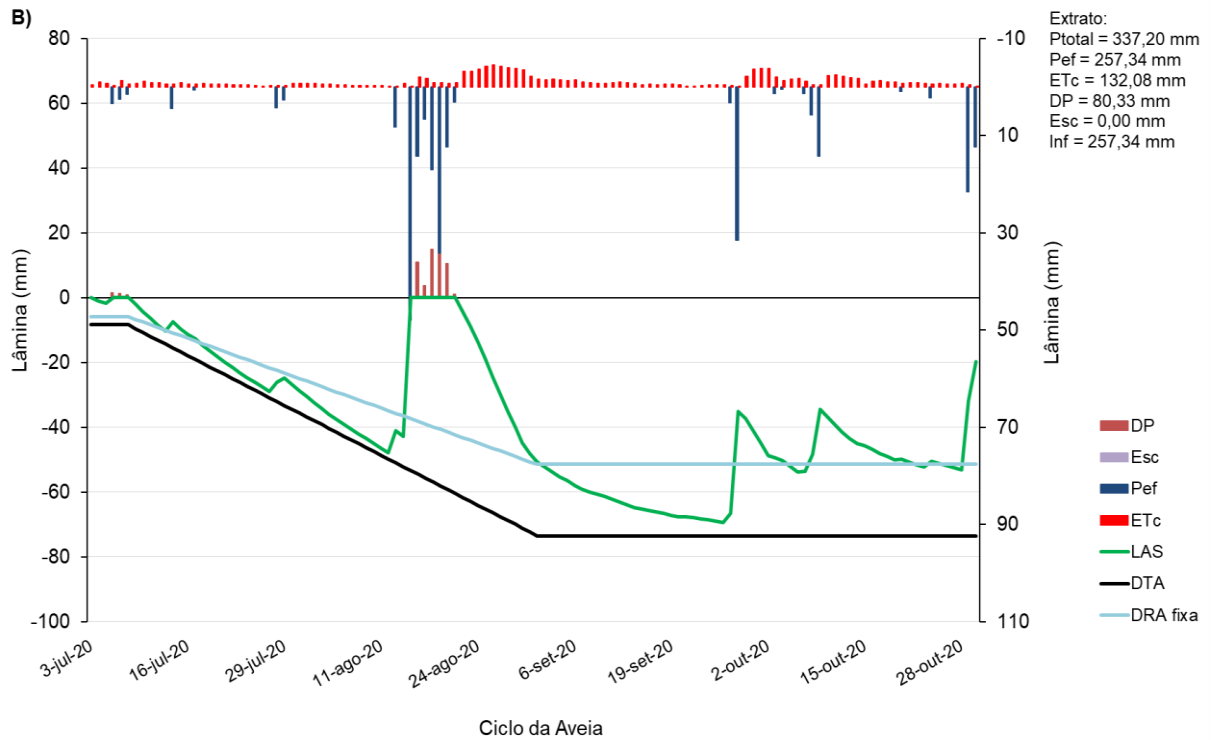
A baixa diferença pode ter ocorrido devido à má distribuição de chuva durante o ciclo da aveia, ano de 2020 e pela baixa precipitação em relação a normal climatológica da região. No entanto, o modelo foi condizente com o observado em campo, no qual não foram registrados eventos de escoamento em nenhuma das megaparcelas.

Segundo PANACHUKI et al., (2011), a presença de palhada na superfície do solo causa redução na velocidade do escoamento superficial, resultando em menores perdas de solo e água. Em contrapartida, essas perdas podem sofrer um aumento com intensidades de chuva mais elevadas, causando redução no tempo de início do escoamento, independente das condições da superfície do solo (OLIVEIRA et al. 2013). Outro fato relevante é a elevada capacidade de infiltração de água no solo, observados na área agrícola do presente estudo (CHIQUETE, 2020).

De forma geral, quanto mais acentuada a declividade do terreno, maior será o volume de escoamento superficial e conseqüentemente, maiores os danos devido à erosão hídrica (OLIVEIRA et al., 2010). No entanto, nem toda água que entra no sistema da bacia pela via da precipitação escoará, uma vez que haverá infiltração, acúmulo de água nas depressões da superfície do solo, perdas por evapotranspiração, e retenção de água pelo dossel vegetativo e cobertura residual (CASAROLI et al., 2018).

Figura 12 – Valores das lâminas na cultura da aveia em megaparcela sem terraços (A) e com terraços agrícolas (B), respectivamente, 2020.



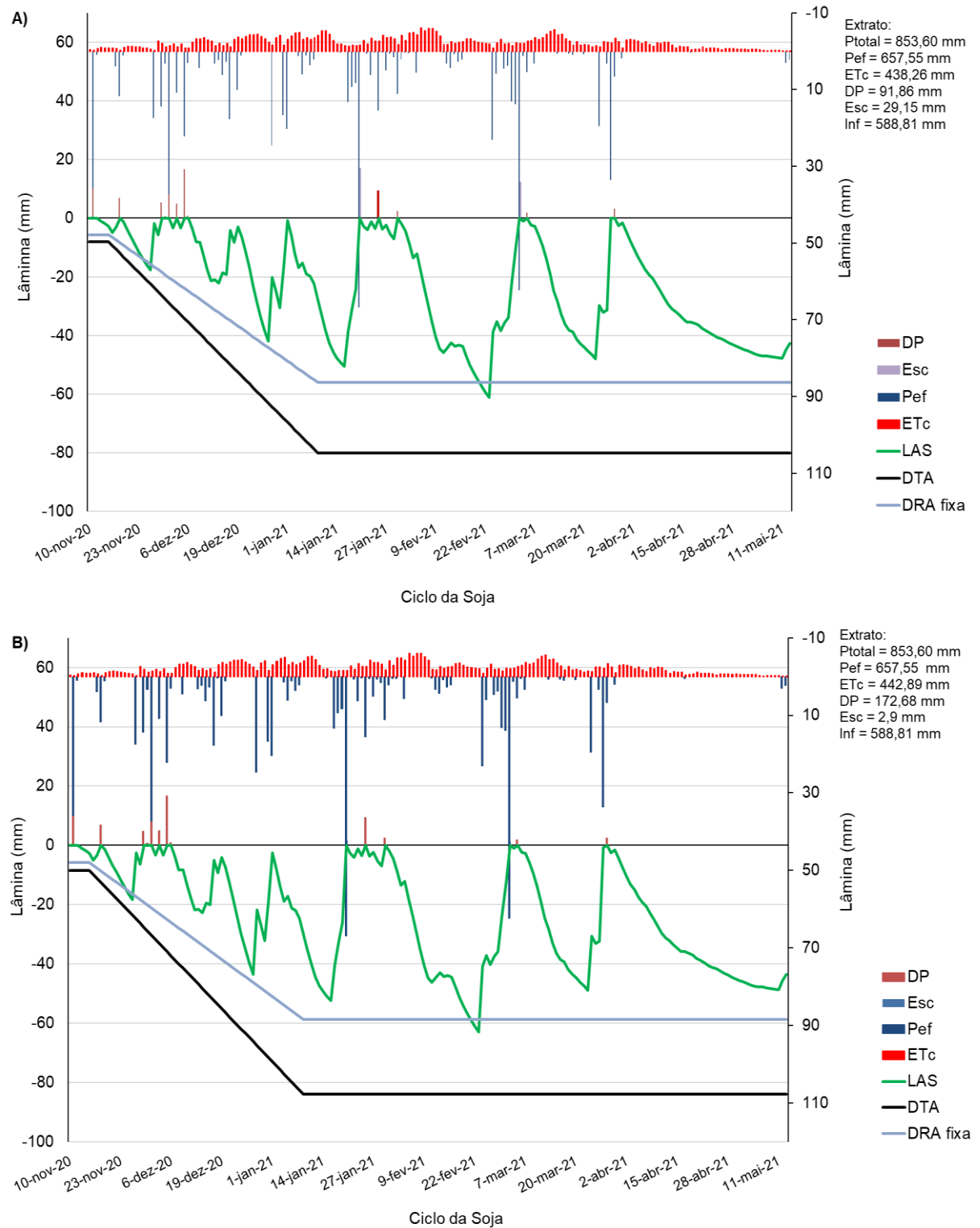


Fonte: A autora.

O conteúdo de água no solo ilustrados nas (Figuras 13A e B), referem-se às megaparcelas sem e com terraços, durante o ciclo da soja, expressando respostas eficientes no que diz respeito a eficiência dos terraços. Por meio do extrato dos resultados do BHs constatou-se que a implementação dos terraços foi eficiente em elevar a infiltração da água no solo com o cultivo da soja no SPD.

O escoamento foi contido com mais eficácia na megaparcela com terraços, sendo 2,9 mm para a unidade terraceada e na parcela sem terraços ocorreu um escoamento de 29,15 mm. Os eventos de escoamento previsto no modelo foram observados no campo, demonstrando que o modelo desenvolvido foi eficaz em estimar o escoamento superficial, possibilitando prever os escoamentos observados na calha H. O evento de escoamento observado na megaparcela com terraços apresentou 85% de redução do escoamento estimado, valor próximo ao observado, com aproximadamente 94%.

Figura 13 – Valores das lâminas na cultura da soja em megaparcela sem terraços (A) e com terraços agrícolas (B), respectivamente, 2020/2021.



Fonte: A autora.

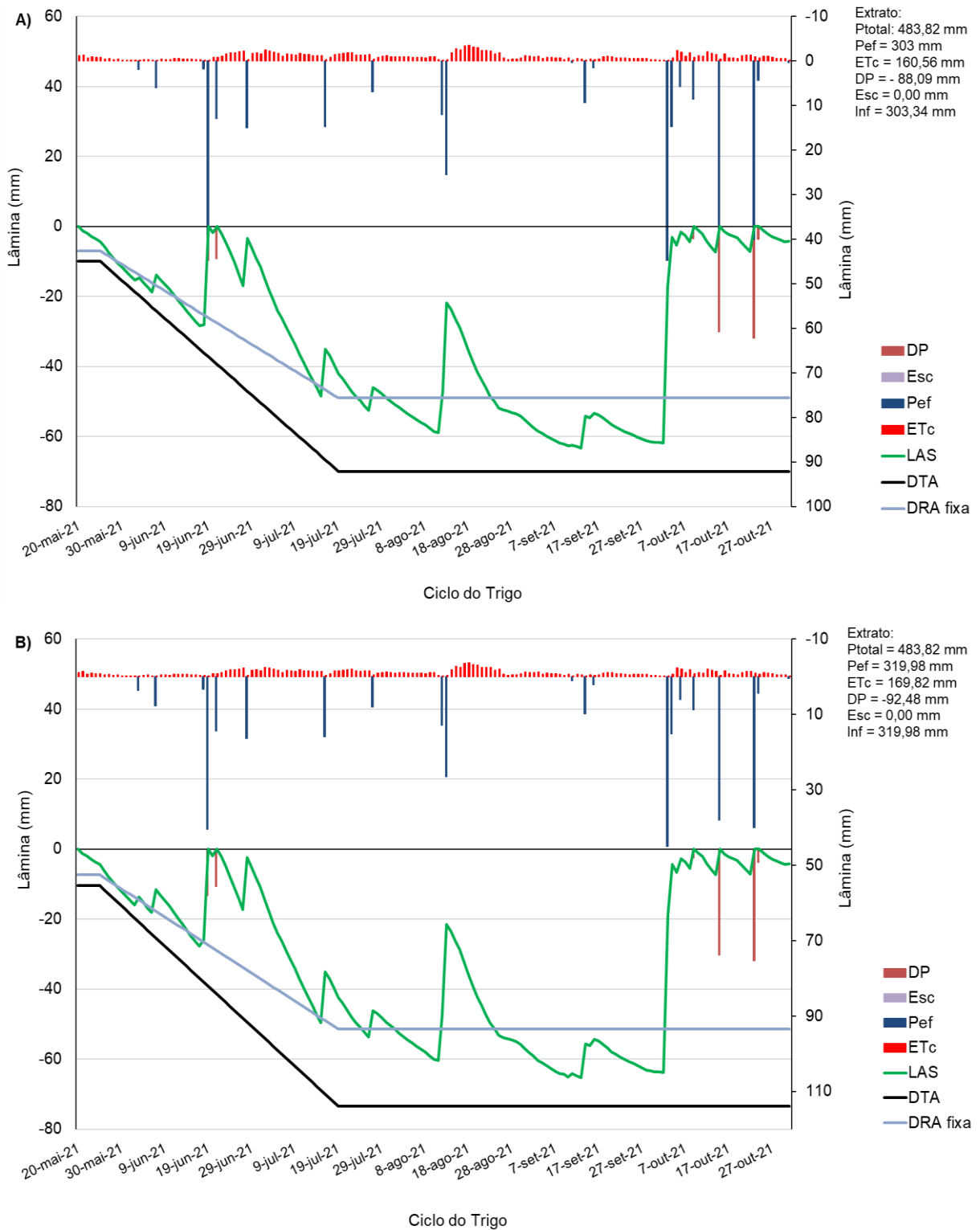
É interessante ressaltar que houve maior precipitação durante o ciclo da soja, ocorrendo o escoamento superficial. No entanto, foi nesse período em que o solo teve maior índice na taxa

de infiltração. Dessa forma, os resultados seguem a linha dos autores QIAN et al., (2014), onde dissertam que, práticas conservacionistas elevam a capacidade de infiltração de água no solo. Portanto, as práticas de conservação proporcionam maior proteção as áreas agrícolas, bem como o bom funcionamento dos terraços e do sistema plantio direto, promovendo redução nas taxas de erosão hídrica do solo, presentes principalmente em ambientes com declividades mais acentuadas e que podem sofrer com precipitações mais intensas LIU et al., (2013).

O balanço de água no solo (BHs) das megaparcelas sem e com terraços, durante o ciclo do trigo, representados nas Figuras 14A e B, evidenciam a ocorrência de deficiências hídricas em alguns períodos ao longo do ciclo da cultura do trigo, no ano de 2021, no qual ocorreu baixas precipitações e períodos mais secos, entre os meses de maio e outubro.

Por meio do extrato das respostas do BHs constatou-se que, a infiltração nas megaparcelas apresentaram baixa diferença, sendo de 303,34 mm e 319,98 mm, na megaparcela sem e com terraços agrícolas, respectivamente. Dessa forma, a implementação dos terraços foi eficiente em elevar a infiltração da água no solo da vertente cultivada com trigo no sistema plantio direto. Os resultados mostraram um bom desempenho do modelo na determinação dos componentes do balanço hídrico.

Figura 14 – Valores das lâminas na cultura do trigo em megaparcela sem terraços (A) e com terraços agrícolas (B), respectivamente, ano 2021.



Fonte: A autora.

Segundo COSTA E MIYAZAKI (2021) a mudança do tipo de vegetação altera, direta ou indiretamente, o fluxo de escoamento da água das chuvas, bem como sua infiltração. Durante

os intervalos de cultivo, o solo exposto torna-se vulnerável à instalação de processos erosivos. Em muitos casos, os terraços aumentam o armazenamento de água no solo, podendo ser afetado por mudanças em sua interceptação, no escoamento superficial e na evapotranspiração (GUO et al., 2019). No entanto, resultados opostos também foram observados, o que refletiu em incertezas quanto ao armazenamento hídrico no solo mediante ao terraço (MARTINS et al., 2013). Estudos apontam que esse manejo conservacionista pode encurtar o comprimento do escoamento superficial e promover a infiltração em comparação com as áreas sem terraços agrícolas (TAROLLI et al., 2021).

6.5 RELAÇÃO ENTRE UMIDADE ESTIMADA E MEDIDA

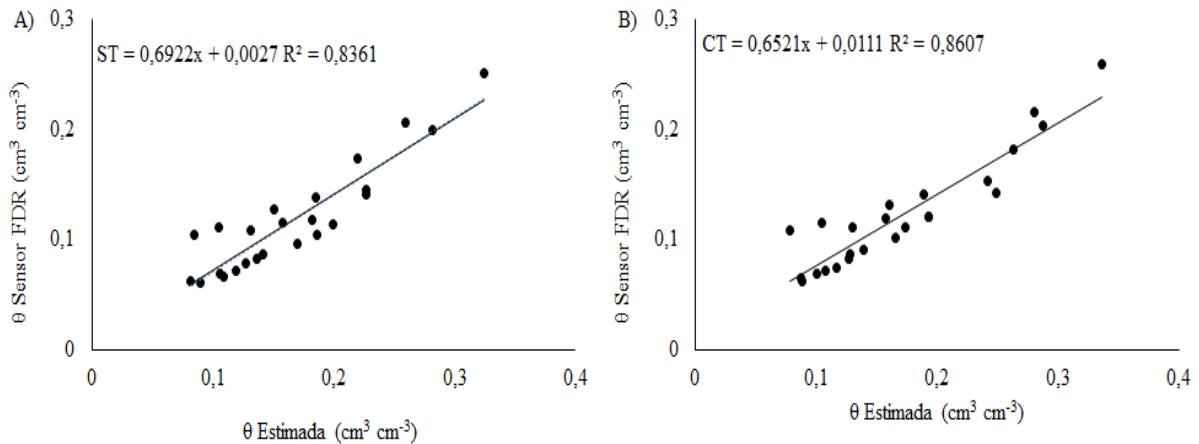
O conteúdo de água no solo mediante a comparação do medido pelo sensor FDR versus estimado pelo balanço de água no solo, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da aveia estão apresentados na Figura 15A e B. O modelo linear apresentou melhor ajuste entre os dados de umidade do solo e observou que neste ciclo de cultivo a estimativa da umidade pelo BHS foi eficiente em prever a umidade do solo em uma vertente cultivada no SPD.

A megaparcela sem terraços, Figura 15A, apresentou coeficiente de determinação de Willmont (d) igual a 0,79, coeficiente de correlação (r) igual a 0,9143 (muito bom) e raiz quadrada do erro médio (RQME) igual a 0,0923.

Possivelmente o preparo do solo pode influenciar nos efeitos da compactação do solo, comprometendo a aferição das umidades, aumentando sua densidade e reduzindo a porosidade do solo. Tendo em vista isso, o rearranjo do solo após a subsolagem e o tráfego do maquinário no campo, podem afetar diretamente a qualidade e estrutura do solo OLIVEIRA et al., (2019) e conseqüentemente a eficiência em estimar a umidade do solo.

Já a megaparcela com terraços, Figura 15B, apresentou “ d ” igual a 0,8102, “ r ” igual a 0,9277 (muito bom) e RQME igual a 0,0991 estando dentro dos padrões satisfatórios. Os resultados corroboram com PROVENZANO et al., (2020), sendo que a umidade estimada esteve relativamente próxima a umidade medida, no qual seu RQME foi 0,05, no qual, percebe-se bom desempenho, estando próximo ao resultado encontrado no presente estudo para a megaparcela com terraços agrícolas.

Figura 15 – Valores de umidades (θ) medido x estimado em megaparcelas sem terraços – (ST) e com terraços – (CT), respectivamente. Ciclo da aveia 2020.



Fonte: A autora.

Ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja não foi possível realizar a calibração do sensor, pois o aparelho apresentou problemas técnicos, não ocorrendo uma normalização adequada, no qual inviabilizou sua análise na relação da umidade estimada e medida em campo durante o cultivo.

A baixa qualidade na estimativa da umidade do solo provavelmente ocorreu pela perda de qualidade nas medições de sua umidade pelo sensor FDR. Conforme observado por BOHME et al., (2013) e OLIVEIRA et al., (2020), a porosidade do solo afeta a eficiência do sensor FDR em prever sua umidade, desta forma, a possível reestruturação e subsolagem do solo durante dois ciclos de cultivo, podem ter afetado a equação de calibração do sensor, em especial para condições de maior umidade do solo, com foi o caso do cultivo da soja, que ocorreu no verão, período de maior índice pluviométrico na região, e condição observada pelo BHS desta safra (Figura 13A e B).

Os resultados obtidos mostram que essas aferições podem sofrer alterações devido as propriedades físicas do solo, bem como sua densidade, podendo influenciar assim, em algum erro na umidade estimada. No entanto, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de ajustar equações de calibração de sondas capacitivas (SILVA et al., 2013).

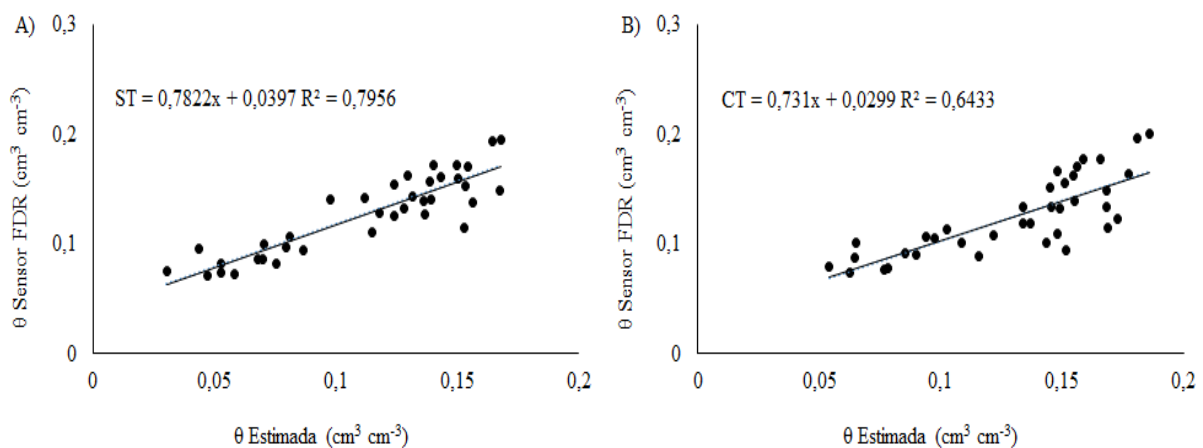
As aferições com a sonda demonstraram um comportamento inesperado, onde as megasparcelas sem e com terraços agrícolas apresentaram, na maioria dos casos, valores mais baixos de água, principalmente na primeira camada de solo. RAMOS et al. (2014) pesquisando com a sonda Diviner, obteve uma correlação negativa entre os valores de umidades obtidos e estimados, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo, e destacando que

os erros são mais prováveis de ocorrer após os eventos de chuva, especialmente nas camadas superficiais do solo.

Por outro lado, esses resultados podem ser indicativos que a umidade do solo estimada pelo modelo, superestima a umidade no perfil do solo após eventos de chuva, especialmente na camada superficial do solo, que apresenta as maiores perdas iniciais de água, tanto pelo processo de drenagem profunda, consumo de água pela planta e evaporação direta.

A dinâmica da água no solo mediante a comparação do medido em campo versus a estimado pelo sensor de umidade, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do trigo em megaparcelsas sem e com terraços agrícolas, estão apresentados nas Figuras 17A e B. Os dados obtidos tiveram melhores ajustes no modelo linear.

Figura 16 – Valores de umidades (θ) medido x estimado em megaparcelsas sem terraços – (ST) e com terraços – (CT), respectivamente. Ciclo do trigo 2021.



Fonte: O autor.

A megaparcela sem terraços (Figura 17A), apresentou coeficiente de determinação “d” igual a 0,9005, coeficiente de correlação igual a 0,8919 e RQME igual a 0,0511, estando este dentro dos padrões satisfatórios. Já a megaparcela com terraços (Figura 17B) apresentou coeficiente de determinação “d” igual a 0,8895, coeficiente de correlação “r” igual a 0,8020, o erro das estimativas por meio da RQME foi de 0,0504, estando também de acordo com os padrões satisfatórios. Os dados satisfatórios encontrados no presente estudo corroboram com a pesquisa de (CARLOS et al., 2022).

Os resultados demonstram o quanto esse sensor de capacitância promove dados mais precisos das condições de menor umidade do solo (LI et al., 2018), que por sua vez, contribui na avaliação dos parâmetros hídricos, fornecendo assim, informações relevantes da dinâmica da água no solo que influenciam o desenvolvimento agrícola. Neste sentido HOLZMAN et al.

(2018) dissertam que, quanto mais esses dados de umidade estiverem próximos da realidade do solo, pode-se ter uma atuação eficaz na compreensão do estado de hídrico do solo em fases críticas de crescimento das culturas, bem como, sendo essencial para a dinâmica do balanço hídrico (WANG et al., 2017), melhorando assim a eficiência do uso da água, o rendimento e a qualidade na produção agrícola.

7 CONCLUSÕES

O sensor de umidade do tipo FDR mostrou-se aceitável para monitoramento do conteúdo de água no solo, com adequado R^2 e baixo erro. No entanto, a sonda FRD necessita de calibrações com razoável qualidade de ajuste que atendam as diferentes classes, texturas e camadas do solo que ocorrem em vertentes.

O modelo balanço hídrico do solo proposto atingiu eficácia em estimar o escoamento superficial, prevendo, apesar dos poucos eventos, os escoamentos observados através da calha H.

O modelo de balanço de água no solo proposto mostrou-se adequado para estimar a umidade do solo na zona de desenvolvimento do sistema radicular das culturas de inverno, ou seja, no período de menor índice pluviômetro na região dos Campos Gerais do Paraná. No cultivo de verão, não é possível indicar se o modelo apresentou baixa previsibilidade da umidade do solo ou se o rearranjo do solo afetou a capacidade do sensor FDR em estimar umidades mais elevadas do solo.

REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, O.; ZHEVELEV, H. M.; SVORAY, T. Agricultural systems and terrace pattern distribution and preservation along climatic gradient: From sub-humid mediterranean to arid conditions. **Quaternary International**, v. 502, p. 319–326, 2019. doi:10.1016/j.quaint.2018.09.032
- AMARAL, A. K. N.; SILVA, G. B. da.; SANTOS, D. A. R. dos.; CHEREM, L. F. S. A Influência da Variabilidade da Superfície D' Água nas Mudanças de Uso e Cobertura do Solo e da Precipitação na Sub-Bacia na Hidrográfica do Rio Corrente (Goiás/ Brasil). **Planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas** [E-book]/. Goiânia: Cegraf UFG, 2021. 587 p.: il. - (Coletânea 2).
- AHMED, F.; NESTINGEN, R.; NIEBER, J.L.; GULLIVER, J. S.; HOZALSKI, R.M.A. Modified Philip–Dunne infiltrometer for measuring the field-saturated hydraulic conductivity of surface soil. **Vadose Zone Journal**, v.13, n.10, p.1-14, 2014
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN R. G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal of Hydrology**: 229: 27-41.
- ALMEIDA, W. S. DE et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110–1119, set. 2016.
- ALVES, E. M.; NETTO, A. M.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CABRAL, J. J. S. P.; GONDIM, M.V.S. Simulação da dinâmica da água em solo cultivado com feijão caupi no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 175-186, 2012.
- ÁVILA, V. S. **Balço hídrico do solo e partição da evapotranspiração de soja, milho e feijão submetidos à irrigação deficitária no sul do Brasil**. 15 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, 2016.
- BARIANI, C. J. DE M. V. **Combinação de modelos de balanço hídrico no solo e sensoriamento remoto para o monitoramento de áreas irrigadas**. Tese e Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 143 p. 2016.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10 ed. São Paulo: Ícone, 2017.
- BHATI, D. S.; DUBEY, S. K.; SHARMA, D. Application of Satellite-Based and Observed Precipitation Datasets for Hydrological Simulation in the Upper Mahi River Basin of Rajasthan, India. **Sustainability**, 2021, 13, 7560. doi.org/10.3390/su13147560

BHATTACHARYA, A. 2018. Changing Climate and Resource Use Efficiency in. Academic Press, Plants.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2006. 625p.

BOHME, B.; BECKER, M.; DIEKKRÜGER, B. Calibrating a FDR sensor for soil moisture monitoring in a wetland in Central Kenya. **Physics and Chemistry of the Earth**, Parts A/B/C, v. 66, p. 101-111, 2013.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. comps. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, 535 p. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010>.

BRUNEL-SALDIAS, N.; SEGUEL, O.; OVALLE, C.; ACEVEDO, E.; MARTÍNEZ, I. (2018). Tillage effects on the soil water balance and the use of water by oats and wheat in a Mediterranean climate. **Soil and Tillage Research**, 184(), 68–77. doi:10.1016/j.still.2018.07.005

CARLOS, F. U.; CRISTIAN, K. F.; MARCO, G. S. Testing the Model Efficiency of HYDRUS 2D/3D Under Desert Conditions for Water Content and Pore Electrical Conductivity: a Case Study in an Olive Orchard. **J Soil Sci Plant Nutr** (2022). <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00777-0>

CASAROLI, D.; ROSA, F. O.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; BRITO, B. V.; PENA, D. S. Aptidão edafoclimática para o Mogno-Africano no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 357-368, 2018.

CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M. DA.; NETO, J. F. Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**. Volume 11, número 3, p.1-15, 2012.

CHANDRA, M. S.; NARESH, R. K. Tillage and straw retention in rice-wheat cropping system influences on soil aggregation, aggregate carbon and water balance under irrigated conditions: An overview. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 2020; 9(1): 1125-1135.

CHEN, D.; WEI, W.; CHEN, L. How can terracing impact on soil moisture variation in China? A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. e105849, 2020.

CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. **Catena**, v. 70, n. 2, p. 200–208, 2007. DOI:10.1016/j.catena.2006.08.007.

CHIQUETE, S. M. **Características físico-hídrica do solo em área de plantio direto com e sem terraços agrícolas**. Dissertação. Programa de pós-graduação em agronomia. UEPG. 2021.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. (2003). Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7(3), 415–422. doi:10.1590/S1415-43662003000300002

COOK, H. F.; VALDES, G. S. B.; LEE, H. C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil Tillage Res.*, 91 (1–2) (2006),

pp. 227-235 Drastig, K; Quinones, T.S.; Zare, M.; Dammer, K.H.; Prochnow, A. Rainfall interception by winter rapeseed in Brandenburg (Germany) under various nitrogen fertilization treatments. **Agr. Forest Meteorol.**, 268 (15) (2019), pp. 308-317

COGO, N. P.; LEVIN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo do solo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

CORTE, A. C. D. **Balanço hídrico em bacia urbana**. 2015. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

COSTA, C. F. G.; FIGUEIREDO, R. O.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, I. P. O. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.162-169, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000200007>

COSTA, H. R. DE O.; MIYAZAKI, L. C. P. Impactos Ambientais Urbanos na Bacia do Córrego do Capim: Enchentes e Inundações provocadas pela Apropriação e Ocupação do Relevo. 2021. P 302 – 315. **Planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas** [E-book] Goiânia: Cegraf UFG, 2021. 587 p.: il. - (Coletânea 2).

DAROUICH, H.; RAMOS, T. B.; PEREIRA, L. S.; RABINO, D.; BAGAGIOLO, G.; CAPELLO, G.; SIMIONESEI, L.; CAVALLO, E.; BIDDOCCU, M. Water Use and Soil Water Balance of Mediterranean Vineyards under Rainfed and Drip Irrigation Management: Evapotranspiration Partition and Soil Management Modelling for Resource Conservation. **Water** 2022, 14, 554. <https://doi.org/10.3390/w14040554>

DASTANE, N. G. **Effective rainfall in irrigated agriculture**. vol. 4, no. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1978. Bull

DE OLIVEIRA, Y. M. M.; DE OLIVEIRA, E. B.; YEDA MARIA MALHEIROS DE OLIVEIRA, C. N. P. F.; DE OLIVEIRA, E. B. (2017) Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. **Embrapa Florestas**, Brasília, p.21-30, cap 2, 2017.

DENARDIN, J. E. **Compactação e adensamento de solo: Caracterização, origem, riscos, danos e soluções**. Passo Fundo: Embrapa; 2018.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; COGO, N. P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p.23-41.

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

DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. 1977. “Guidelines for predicting crop-water requirements.” In: **FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24**, translated by Gheyi, H. R., Metri, J. E. C., Damasceno, F. A. V., 1-156. second rev. Rome: FAO.

DEUSCHLE, D.; MINELLA, J. P.; DE AN HÖRBE, T.; LONDERO, A. L.; SCHNEIDER, F. J. (2019). Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, 340, 157-163.

DOS SANTOS, J. C. N.; DE ANDRADE, E. M.; GUERREIRO, M. J. S.; MEDEIROS, P. H. A.; DE QUEIROZ PALÁCIO, H. A.; DE ARAÚJO NETO, J. R. (2016). Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. **Journal of Hydrology**, 541, 1057-1066.

DREWRY, J. J.; CARRICK, S.; PENNY, V.; HOULBROOKE, D.J.; LAURENSEN, S.; MESMAN, N. L. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 63, n. 1, p. 1-25, 2020.

EBABU, K.; TSUNEKAWA, A.; HAREGEWEYN, N.; ADGO, E.; MESHESHA, D. T.; AKLOG, D.; YIBELTAL, M. (2019). Effects of land use and sustainable land management practices on runoff and soil loss in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. **Science of the Total Environment**, 648, 1462-1475.

EHLERS, W. Transpiration efficiency of oat. **Agronomy Journal**, v.81, p.810-817. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 2003.

FELIZARDO, L. M.; SANTINI JUNIOR, M.; FARIA, G. A.; MALTONI, K. L.; OLIVEIRA, J. N. de. Testes de infiltração de água no solo como forma de quantificar os parâmetros para equação de Horton. *Research, Society and Development*, [S.L.], v. 9, n. 9, e145996767, 14 ago. 2020. **Research, Society and Development**. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6767>.

FELTRIN, R. M.; DE PAIVA, J. B. D.; DE PAIVA, E. M. C. D.; BELING, F. A. Lysimeter soil water balance evaluation for an experiment developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest region. **Hydrological Processes**, v. 25, p. 2321-2328, 2011.

FRANCO, A. P. B. **Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento**. Piracicaba, 2018. 140 p. Tese (Doutorado em Ciência, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D. F. DE; MATOS, A. T. DE. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o sistema de informações geográficas. estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 299–303, 2000.

GUO, H.; ZHANG, B.; HILL, R.L.; WU, S.; DONG, Q.; SUN, L, ZHANG, K. Fish-scale pit effects on erosion and water runoff dynamics when positioned on a soil slope in the Loess Plateau region. China. **Land Degrad. Dev.** 30 (15), 1813–1827. 2019.

GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Alternative Methods of Reference Evapotranspiration for Brazilian Climate Types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 567-578, 2018.

HOLZMAN, M. E.; CARMONA, F.; RIVAS, R.; NICLÒS, R. Early assessment of crop yield from remotely sensed water stress and solar radiation data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 145:297-308, 2018.

HORIKOSHI, A. S. **Balço hídrico atual e simulaço de cenários futuros para o município de Taubaté**, 2007, 94 fl., Dissertaço (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2007.

JENSEN, E. S., CARLSSON, G., HAUGGAARD-NIELSEN, H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: a global-scale analysis. **Agronomy Sustainable Development**, 40, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>

JIA, Q.; SHI, H., LI, R.; MIAO, Q.; FENG, Y.; WANG, N.; LI, J. (2021). Evaporation of maize crop under mulch film and soil covered drip irrigation: field assessment and modelling on West Liaohe Plain, China. **Agricultural Water Management**, 253, 106894.

JIAO, L.; LU, N.; FU, B.; WANG, J.; LI, Z.; FANG, W.; LIU, J.; WANG, C.; ZHANG, L. (2018). Evapotranspiration partitioning and its implications for plant water use strategy: Evidence from a black locust plantation in the semi-arid Loess Plateau, China. **Forest Ecology and Management**, 424(), 428–438. doi:10.1016/j.foreco.2018.05.011.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Decomposition rates of cover crop residues on a Dystrophic Oxisol. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, 36, 21–28. 2006.

LI, B.; WANG, L.; KASEKE, K. F.; VOGT, R.; LI, L.; SEELY, M. (2018). The impact of fog on soil moisture dynamics in the Namib Desert. **Advances in Water Resources**, (), S0309170817306449–. doi:10.1016/j.advwatres.2018.01.004

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Ed. 2, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 346 p.

LIN, P.; RAJIB, M. A.; YANG, Z.; SOMOS-VALENZUELA, M.; MERWADE, V.; MAIDMENT, D. R.; WANG, Y.; CHEN, L. (2017). Spatiotemporal Evaluation of Simulated Evapotranspiration and Streamflow over Texas using the WRF-Hydro-RAPID Modeling Framework. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, (), –. doi:10.1111/1752-1688.12585

LIMA, C. A. D.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; SANTOS, T. E. M. D.; ANDRADE, E. M. D.; MONTEIRO, A. L. N. (2015). Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, 46, 697-706.

LIU, S.; LI, J.; ZHANG, X. Simulations of Soil Water and Heat Processes for No Tillage and Conventional Tillage Systems in Mollisols of China. **Land** 2022, 11, 417. <https://doi.org/10.3390/land11030417>

LIU, S. L.; DONG, Y. H.; LI, D.; LIU, Q.; WANG, J.; ZHANG, X. L. (2013). Effects of different terrace protection measures in a sloping land consolidation project targeting soil erosion at the slope scale. **Ecological Engineering**, 53(), 46–53. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.12.001

LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P.; SCHNEIDER, F. J.; DEUSCHLE, D.; MENEZES, D.; EVRARD, O.; MERTEN, G. H. (2021). Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, 35(3), e14094.

MARTÍNI, A. F.; FAVARETTO, N.; DE BONA, F. D.; DURAES, M. F.; DE PAULA SOUZA, L. C.; GOULARTE, G. D. (2021). Impacts of soil use and management on water quality in agricultural watersheds in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, 32(2), 975-992.

MARTINS, M. A. S.; MACHADO, A. I.; SERPA, D.; PRATS, S. A.; KEIZER, J. J. Runoff and interrill erosion in a Maritime Pine and a Eucalypt plantation following wildfire and terracing in north-central Portugal. **J. Hydrol. Hydromech.** 61 (4), 261–268. 2013.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, B. D. B.; BARROS, A. S.; DANTAS NETO, J.; SABOYA, L. M. F. Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 973-982, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.3.p973-982.

MEDEIROS, R. M. DE.; HOLANDA, R. M. DE.; FRANÇA, M. V. DE.; SABOYAL, L. M. F.; FILHO, M. C.; ARAÚJO, W. R. DE. Variabilidade urbana em Recife - PE, por meio das contribuições: precipitação, temperatura e umidade relativa do ar. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e28311225943, 2022. (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25943>.

MEDEIROS, R. M. DE.; HOLANDA, R. M. DE.; FRANÇA, M. V. DE.; SABOYA, L. M. F.; FILHO, M. C.; ARAÚJO, W. R. DE. Variáveis climáticas sobre a bacia hidrográfica do rio Uruçuí preto - Piauí, Brasil. Subsídios para gestão de recursos hídricos e agropecuário. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar**. v.3, n.1, 2021. ISSN 2675-6218. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i1.1017>.

MEENA, A., HANIEF, M., DINAKARAN, J., RAO, K. S., 2020. Soil moisture controls the spatiotemporal pattern of soil respiration under different land use systems in a semi-arid ecosystem of Delhi, India. **Ecological Processes** 9, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0218-0>

MORAES, M. F. DE. **Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental/representativa de santa maria/cambiocó** - município de são josé de ubá – rj. 2007. 92p. (Tese de Doutorado).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. de. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 191-234.

MUZYLO, A.; VALENTE, F.; DOMINGO, F.; LLORENS, P. Modelling rainfall partitioning with sparse Gash and Rutter models in a downy oak stand in leafed and leafless periods **Hydrol. Process.** 26 (2012), pp. 3161-3173

NASSAH, H.; ER-RAKI, S.; KHABBA, S.; FAKIR, Y.; RAIBI, F.; MERLIN, O.; Mougénot, B. Evaluation and analysis of deep percolation losses of drip irrigated citrus crops under non-saline and saline conditions in a semi-arid area. **Biosyst.** 2018. Eng. 165, 10–24.

NOLZ, R. A review on the quantification of soil water balance components as a basis for agricultural water management with a focus on weighing lysimeters and soil water sensors. **Journal of Land Management, Food and Environment**, v.67, n.3, p. 133-144, 2016.

OLIVEIRA, I. N. DE.; SOUZA, Z. M. DE. S.; LOVERA, L. H.; FARHATE, C. V. V.; LIMA, E. DE. S.; ESTEBAN, D. A. A.; TOTTI, M. C. V. Capacitance probe calibration for an Ultisol Udult cultivated with sugarcane by soil tillages, **Agricultural Water Management**, Volume 241,2020,106341, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106341>.

OLIVEIRA, I. N.; SOUZA, Z. M.; LOVERA, L. H.; VIEIRA FARHATE, C. V.; SOUZA LIMA, E.; AGUILERA ESTEBAN, D. A.; FRACAROLLI, J. A.; 2019. Least limiting water range as influenced by tillage and cover crop. *Agric. Water Manag.* 225(), 105777 –. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105777>.

OLIVEIRA, I. N. DE. **Qualidade do solo utilizando diferentes coberturas e preparos do solo em área de cana-de-açúcar**. Dissertação na área de água e solos, Universidade Estadual de Campinas. 2018.

OLIVEIRA, Z. B.; CARLESSO, R.; MARTINS, J. D.; KNIES, A. E.; SANTA, C. D. Perdas de água por escoamento superficial a partir de diferentes intensidades de chuva simulada. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 415, 2013. ISSN 1808-3765.

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

PARIHAR, C. M.; YADAV, M. R.; JAT, S. L.; SINGH, A. K.; KUMAR, B.; PRADHAN, D. C.; JAT, M. L.; JAT, R. K.; SAHARAWAT, Y. S.; YADAV, O. P. Long term effect of conservation agriculture in maize rotations on total organic carbon, physical and biological properties of a sandy loam soil in north-western Indo Gangetic Plains. **Soil & Tillage Research**, v. 161 p. 116-128, 2016.

PASINI, F.; MANCUSO, M. A.; RIPPEL, E. C.; BOSCAINI, R. **Sistema de terraceamento para manejo agrícola**. Santa Maria: UFSM, 2017. 5p. (Informe Técnico, 76). ISSN: 1984-6126.

PAULA, A. L. T.; PRUSKI, F. F. **Sistema de monitoramento da infiltração de água em terraços e bacias de acumulação**. Boletim Técnico. Viçosa: UFV, 2007, 13p.

PINHEIRO, A. G.; PALÁCIO, A. D. Q.; ANDRADE, E. M. D. **Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu**. v. 23, n. 1, p. 10, 2018.

PINHEIRO, E. A. R.; METSELAAR, K.; VAN LIER, Q. D. J.; ARAÚJO, J. C DE. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology**, Londres, v. 9, n. 7, p. 1313-1327, 2016. <https://doi.org/10.1002/eco.1728>

PONTES, L. M.; COELHO, G.; MELLO, C. R. DE.; SILVA, M. A. DA.; OLIVEIRA, G. C.; VIOLA, M. V. Avaliação de modelo de balanço hídrico com base na estimativa da recarga potencial. **Rev. Ambient. Água** vol. 11 n. 4 Taubaté – Oct. / Dec. 2016.

PRICE, K. Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. **Progress in Physical Geography**, p. 1– 28, 2011. <http://dx.doi.org/10.1177/0309133311402714>

PROVENZANO, G.; RALLO, G.; DUARTE GUEDES CABRAL DE ALMEIDA, C.; GOMES DE ALMEIDA, B. (2020). Development and Validation of a New Calibration Model for Diviner 2000® Probe Based on Soil Physical Attributes. **Water**, 12(12), 3414– . doi:10.3390/w12123414

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Rev. Bras. Eng. Agríc.**, v.5, n.2, p.301-307, 2001.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 279 p.

QIAN, F.; CHENG, D.; LIU, J. Analysis of the water and soil erosion and infiltration characteristic in Ziquejie Terrace. **IERI Procedia**, v. 9, p. 13–19, 2014.

RAMOS, F. T.; PIVETTA, F.; MATOS, V. D.; SEIXAS, G. D. B.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. (2014). Acurácia e calibração de uma sonda de capacitância em um Neossolo Quartzarênico cultivado com caju. **Bioscience Journal**, 30(6), 1631-1641.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. The R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>. 2020.

RICHTER, G. L.; ZANON JÚNIOR, A.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRÄULICH, B.; ROCHA, T. S. M. D.; CERA, J. C. (2014). Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, 73(4), 416-425.

ROCHA, G. C. **Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem, do gradiente de potencial total e do potencial mátrico da água, em um solo cultivado com citrus**. 2004. 117 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SANTOS, T. E. M. DOS; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.7, p.670-679, 2011.

SAVABI, M. R.; STOTT, D. E. Plant residue impact on rainfall interception. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.4, p. 1093-1098, 1994.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A.; CORTÊS, N. de. Agricultura brasileira das frentes pioneiras. In: **Agriculture et development**, Montpellier, França. Special Issue. Montpellier: CIRAD, 1998. p.2-38.

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

SIAD, S.M., IACOBELLIS, V., ZDRULI, P., GIOIA, A., STAVI, I., HOOGENBOOM, G., 2019. A review of coupled hydrologic and crop growth models. **Water Manag.** 224.

SILVA JUNIOR J. J. DA.; COLOMBO, A.; SCALCO, M. S.; SIVA, B. M.; LIMA, P.T. Calibração de sondas de capacitância para determinação de umidade de em latossolo vermelho distroférico. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 743 – 755, 2013.

SILVA, J. R. L. DA.; ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A. DE.; MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JUNIOR, V. DE. P. E. Vista do Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.10, n.2, p.293-303, 2015. DOI:10.5039/agraria.v10i2a4219

SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D de O.; NETO, D. J.; MARACAJÁ, K. F. B.; ARAÚJO, L. E. de. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** - Agriambi, v. 17, n. 1, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>

SILVA, G. B.; BOTELHO, M. I. V. O processo histórico da modernidade da agricultura no Brasil (1960-1979). **Campo-território: revista de geografia agrária**, v. 9, n. 17. 2014.

SILVA, O. de A.; SOUSA, S. R. C. T. de.; BRITO, H. K. de. Variabilidade pluviométrica, produção de arroz e percepção de agricultores no município de Caxias/MA. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 15, n. 39, set./dez. de 2021. Pp. 234-256.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.147-157, 2014. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014)

SILVA, V. P. R.; BORGES, C. J. R.; FARIAS, C.; ALBUQUERQUE, W.; BARBOSA, B. B. 2012. Water requirements and single and dual crop coefficients of sugarcane grown in a tropical region, Brazil. **Agricultural Sciences** 3: 274-286.

SILVEIRA, A. P. P. DA. **Solos e recursos hídricos**. Ebook. 171 p. Editora Senac, São Paulo. 2022.

SETIYONO, T. D., BASTIDAS, A. M., CASSMAN, K. G., WEISS, A., DOBERMANN, A.; SPECHT, J. E. (2011). Nodal leaf area distribution in soybean plants grown in high yield environments. **Agronomy Journal**, 103, 1198-1205. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2011.0051>

SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.3-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100001>

SOUZA, P. G. C. **Obtenção da curva de retenção de água em latossolo empregando dados de mini-infiltrômetro e técnicas de modelagem**. Dissertação na área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Sete Lagoas. 2015. 11 p.

SUN, D.; ZHANG, W.; LIN, Y.; LIU, Z.; SHEN, W.; ZHOU, L.; FU, S. (2018). Soil erosion and water retention varies with plantation type and age. **Forest Ecology and Management**, v. 422, p. 1-10, 2018.

TAROLLI, P.; PIJL, A.; CUCCHIARO, S.; WEI, W. Slope instabilities in steep cultivation systems: process classification and opportunities from remote sensing. **Land Degrad. Develop.** 32, 1368–1388. 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3798>.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. ISBN 978-85-7035-771-7

TEIXEIRA, L. M. N. **Evapotranspiração em vegetação natural do bioma caatinga obtida por balanço hídrico no solo e por sensoriamento remoto**. Dissertação do curso de mestrado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

TELLES, T. S.; LOURENÇO, M. A. P.; OLIVEIRA, J. F.; COSTA, G. V.; BARBOSA, G. M. C. Soil conservation practices in a watershed in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, p. 1–10, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>

THEODORO, G. DE F.; GOLIN, H DE O.; SILVA, M. S. DA.; REZENDE, R. P.; ABREU, V. L. S. DE. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo a penetração. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 25–30, 5 jul. 2018. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.2220>

TOLEDO, N. T.; MULLER, A. G.; BERTO, J. L.; MALLMANN, C. E. S. Ajuste do modelo fototérmico de estimativa do desenvolvimento e do índice de área foliar de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.3, p.288–295, 2010.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (**Publications in Climatology**, v. 8, n.1)

PRIMO, J. T. DE A.; SILVA, T. G. F. DA; SILVA, S. M. S. E.; MOURA, M. S. B. DE.; SOUZA, L. S. B. DE. (2015). Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, 62(1), 20–29. doi:10.1590/0034-737x201562010003

TUZZIN DE MORAES, M. et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351–362, 2016.

VELDKAMP, E; O'BRIEN, J. Calibration of a Frequency Domain Reflectometry Sensor for Humid Tropical Soils of Volcanic Origin. **Soil Sci. Soc. Am. J.** - SSSAJ 64, 2000.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STURMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; AND BAADÉ, E. S. A. S. Growth of cover crops and soybean yield according to physical attributes in compacted soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 969–977, set. 2012.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.44, n.5, p. 892–898. 1980.

WANG, S.; WANG, H.; ZHANG, Y.; WANG, R.; ZHANG, Y.; XU, Z.; JIA, G.; WANG, X.; LI, J. (2018). The influence of rotational tillage on soil water storage, water use efficiency and maize yield in semi-arid areas under varied rainfall conditions. **Agric. Water Manag.** 23, 376–384.

WANG, T.; FRANZ, T. E.; LI, R.; YOU, J.; SHULSKI, M. D.; AND RAY, C. 2017. Evaluating climate and soil effects on regional soil moisture spatial variability using EOFs. **J. Water Resour. Res.** 53, 4022–4035. 2017.

WEBER, J. F. y APESTEGUI, L. Relation between the Parameters of the Kostiakov and Lewis-Kostiakov Infiltration Models, Cordoba, Argentina. **Tecnol. cienc. água.** 2016, vol.7, n.2, pp.115-132. ISSN 2007-2422.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309–1313, 1982.

WOLSCHICK, N.H.; BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; SANTOS, K.F.; WERNER, R.S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, n.2, p.134-143, 2016.

YILDIRIM, M.; DEMIREL, K.; BAHAR, E., 2017. Radiation use efficiency and yield of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. California wonder) under different irrigation treatments. **J. Agric. Sci. Technol.** 19, 693–705.

ZHANG, D. et al. Soil water balance and water use efficiency of dryland wheat in different precipitation years in response to green manure approach. **Scientific Reports**, v.6, 26856, 2016.