

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE COMPARATIVA DO BALANÇO HÍDRICO DE THORNTHWAITE-MATHER SIMPLIFICADO E MEDIÇÕES DE CAMPO EM SOLO ARENOSO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

*Thomás Vinícius Silva de Amorim¹; Davi de C. D. Melo²; Felipe Daniel de Oliveira Dantas³;
Cristiano das Neves Almeida⁴; Antônio Edmilson de Alcântara Dantas⁵; & Sansara Lúcio Ribeiro
Barbosa⁶*

Abstract: Understanding the soil-water-atmosphere interaction is essential for crop management. Typically, sensors are used to compute the soil water balance and assist in irrigation management decisions. This article compares the simplified Thornthwaite-Mather water balance as a tool against real data obtained from various sensors installed on a micrometeorological tower. The available water capacity in the sandy soil was estimated at 33.29 mm up to a depth of 50 cm. Due to failures in TDR sensors, machine learning predictive models — specifically the GradientBoostingRegressor ($R^2 = 0.65$) — were used to estimate missing data. The simplified balance based on crop evapotranspiration overestimated the annual accumulated water deficit by 72.34% compared to actual evapotranspiration data. When compared to the real accumulated annual water deficit, it overestimated by 33.76%. It is concluded that the simplified model is not reliable for precise water management.

Resumo: O discernimento acerca da interação solo-água-atmosfera é essencial para gestão do cultivo. Normalmente, sensores são utilizados a fim de computar o balanço hídrico do solo e auxiliar na tomada de decisões sobre o manejo da irrigação. Este artigo compara o balanço hídrico simplificado de Thornthwaite-Mather como ferramenta frente a dados reais obtidos por diversos sensores instalados numa torre micrometeorológica. A capacidade de água disponível no solo arenoso foi estimada em 33,29 mm até 50 cm de profundidade. Devido a falhas em sensores TDR, foi utilizado modelos preditivos de machine learning para estimar os dados ausentes, mais precisamente o GradientBoostingRegressor ($R^2 = 0,65$). O balanço simplificado em função da evapotranspiração da cultura superestimou o déficit hídrico acumulado anual em 72,34% frente a dados de evapotranspiração real. Quando comparado ao déficit hídrico real acumulado anual superestimou em 33,76%. Conclui-se que o modelo simplificado não é confiável para gestão hídrica precisa.

Palavras-Chave – Balanço Hídrico; Cana-de-açúcar; Sensoriamento Remoto.

1) Graduando em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba (CT/UFPB), fone (83) 99347-7601, thomas-vinicius@hotmail.com

2) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (DECA/UFPB), fone (83) 3362-1700, davi.diniz@academico.ufpb.br

3) Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (CT/UFPB), fone (84) 9865-7567, felipedanielos99@gmail.com

4) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (DECA/UFPB), fone (83) 993490880, almeida74br@yahoo.com.br

5) Mestrando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (CT/UFPB), fone (83) 9911-0881, antonio.alcantara@academico.ufpb.br

6) Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (CT/UFPB), fone (83) 9822-1457, slrb@academico.ufpb.br

1 – INTRODUÇÃO

Na safra de 2024/2025, estima-se que a safra de cana-de-açúcar encerre o ciclo com a produção estimada de 676,96 milhões de toneladas, sendo este o segundo maior volume colhido na série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento. No Nordeste, a colheita estimada é de 54,4 milhões de toneladas, representando uma queda de 3,7% em relação à safra passada. Sabe-se que tal resultado é majoritariamente influenciado pela deficiência hídrica na região, reduzindo diretamente a produtividade (CONAB, 2025).

A gestão dos recursos hídricos é essencial para a saúde do cultivo, pois a interação entre clima, solo e atmosfera influencia diretamente a disponibilidade de água para as plantas. Compreender o balanço hídrico climatológico permite identificar períodos de seca ou excesso, auxiliando no manejo da irrigação por gotejo e outras decisões agrícolas. Atividades como plantio e aplicação de insumos também dependem do conhecimento da capacidade de água disponível no solo, já que erros podem gerar desperdícios ou estresse hídrico.

A dimensão da capacidade de água disponível pode ser estimada a partir do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) de (Thornthwaite e Mather, 1955), que segundo a metodologia simplificada por (Mendonça, 1958) contabiliza o fluxo de entrada e saída das incógnitas hidrológicas verticais como a precipitação, evapotranspiração, drenagem profunda e ascensão capilar. Tais variáveis colaboram diretamente no déficit ou excesso hídrico do solo. Logo, tendo em mente que o solo se comporta como um reservatório dinâmico, cujas características se alteram à medida que seca, é de extrema importância compreendê-lo em suas diferentes fases. Assim, uma saída possível para o monitorar tal dinâmica é por meio do balanço hídrico simplificado de Thornthwaite-Mather que permite estimar de forma indireta o estado hídrico do solo.

Diante disso, o seguinte trabalho tem como objetivo aferir, através de uma análise comparativa, a confiabilidade do método do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite-Mather simplificado (Mendonça, 1958), como meio auxiliar para manejo da irrigação quando comparado ao fluxo hídrico no solo através de dados reais obtidos em campo através de uma torre micrometeorológica instalada com diversos sensores.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Área de estudo

A área de estudo está localizada na bacia do rio Miriri, Município de Rio Tinto – PB (região da zona da Mata Paraibana), numa área destinada a produção de açúcar e etanol. O local do

experimento foi escolhido estrategicamente, sendo este composto por três talhões de cana-de-açúcar onde o proprietário aplica diferentes lâminas mensais de irrigação, por gotejamento, com objetivo de definir a melhor relação mínima lâmina vs. máxima produtividade (Nascimento et al., 2022).

2.2 – Coleta e análise de amostras do solo

Para início de estudo, foi verificada a análise do solo através de amostras do solo que foram coletadas, a cada 10 cm desde a superfície até 50 cm de profundidade, com auxílio de trado tipo TAI e cilindros metálicos para determinação das características do solo, densidade do solo, umidade do solo à capacidade de campo, umidade do solo ao ponto de murcha e porosidade, conforme o Manual de Métodos e Análises de Solo da Embrapa (Teixeira et al., 2017).

Foram coletadas cerca de 30 amostras de solo em diferentes pontos do terreno, com peso médio de 64 g, secas em estufa a 110 °C por 24 horas para determinar a densidade e características do solo. A análise granulométrica classificou o solo como acinzentado distrófico fragipânico arenoso/médio (Silva et al., 2022), com densidade média de 1,6134 g/cm³.

A capacidade de água disponível (CAD) foi estimada a cada 10 cm de profundidade por meio da curva de retenção de água no solo, baseada na umidade volumétrica em diferentes tensões matriciais. Considerou-se a capacidade de campo (θ_{CC}) (cm³ cm⁻³) a 10 kPa e o ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) (cm³ cm⁻³) a 1500 kPa a fim de determinar a capacidade hídrica, conforme Equação 1.

$$CAD = 0,01 \cdot (\theta_{CC} \% - \theta_{PMP} \%) \cdot \rho \cdot Z \quad (1)$$

Onde: CAD – capacidade de água disponível (mm); θ_{CC} – capacidade de campo em porcentagem; θ_{PMP} – ponto de murcha permanente em porcentagem; ρ – densidade do solo (kg/m³); Z – profundidade (m).

Com as capacidades para cada intervalo de profundidade, a capacidade de água disponível para a área o solo em estudo é determinado pela soma acumulada das capacidades por intervalo de profundidade, conforme Equação 2.

$$CAD_{total} = CAD_{0-10} + CAD_{10-20} + CAD_{20-30} + CAD_{30-40} + CAD_{40-50} \quad (2)$$

Assim, seguindo o método simplificado do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite-Mather, a partir dos valores de capacidade de água disponível (CAD), evapotranspiração (ET) e

precipitação (P), iniciam-se os cálculos simultâneos de nível de água consumido (Nac) e do armazenamento real da umidade do solo (ARM), começando pelo primeiro mês negativo do ano de estudo. Quando a diferença (P - ET) for negativa, calcula-se o Nac e depois o ARM com a fórmula: $ARM = CAD \cdot e^{\frac{-|Nac|}{|CAD|}}$. Se (P - ET) for positivo, primeiro calcula-se o ARM atual somando-se à diferença (ARM = ARM anterior + (P - ET)) e, em seguida, determina-se o Nac pela equação: $Nac = CAD \cdot \ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right)$. O valor do Nac atualizado será utilizado no caso de ocorrer um novo período seco.

A alteração do armazenamento de água no solo (ALT) é obtida pela diferença entre o ARM atual e o anterior, indicando se houve reposição (ALT > 0) ou retirada de água do solo (ALT < 0). Com isso, estima-se indiretamente a evapotranspiração real (ETR): se (P - ET) for negativo, ETR = P + |ALT|; se positivo, ETR é igual à ET. Já a deficiência hídrica (DEF), que indica a quantidade de água que deixou de ser evapotranspirada, é obtida pela subtração ET - ETR. Por fim, calcula-se o excedente hídrico (EXC), que representa a água que excede a capacidade de armazenamento do solo e percola em profundidade. Se o ARM for menor que a capacidade de água disponível (CAD), o EXC é nulo. Quando o ARM atinge o CAD, o excedente é dado por: EXC = (P - ET) - ALT.

2.3 – Obtenção de dados meteorológicos

Para obtenção dos dados diários de precipitação (P), foi utilizado um pluviômetro tipo balsa (Texas Electronics TR-525) com resolução de 0,1 mm, instalado em uma torre micrometeorológica. Além do pluviômetro, a torre dispõe de sensores para obtenção do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G). O fluxo de calor latente (λET) foi, então, obtido como resíduo do balanço de energia: $\lambda ET = Rn - G - H$. Assim, do fluxo de calor latente, é possível determinar a lâmina de água evapotranspirada real pela cultura (ETR), dividindo o resíduo pelo calor latente de vaporização. Os dados foram registrados a cada 30 min e coletados *in loco* quinzenalmente.

Visando o levantamento dos dados de evapotranspiração da cultura (ETc), previamente foi determinada a evapotranspiração de referência (ETo) pela equação de Penman-Monteith, parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 1998), através dos dados coletados pela torre. Em seguida, ainda seguindo os parâmetros da FAO, foram utilizados os valores de coeficiente de cultura (Kc) recomendados para a cana de açúcar nas suas diferentes fases a fim de determinar a evapotranspiração de cultura, conforme a Equação 3. Para o estudo, foi considerado o período de setembro a dezembro

como estágio inicial ($K_c = 0,4$), de janeiro a março como estágio médio ($K_c = 1,25$) e de abril até agosto como estágio final ($K_c = 0,75$).

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (3)$$

Acerca da umidade volumétrica do solo, foi utilizada a reflectometria no domínio do tempo (TDR) cujo as medidas são baseadas na forte correlação observada entre a constante dielétrica do solo e seu conteúdo volumétrico de água. Desse modo, foram instaladas duas sondas TDR modelo CS 615 e CS 616 da Campbell Scientific®, uma na entrelinha e outra na linha de cana-de-açúcar, calibradas para o solo em estudo conforme metodologia adotada em (Silva et al., 2022). Com o conteúdo da umidade do solo calibrada, foi obtida a variação da umidade do solo (ΔSWC) em mm em função do tempo para que se conclua o fluxo hídrico na região de estudo, conforme Equação 4.

$$\Delta SWC = P - ETR - DP \quad (4)$$

Com a drenagem profunda (DP) obtida indiretamente foi calculado o déficit ou excesso hídrico, pois o terreno em estudo é plano e o solo arenoso, tornando o escoamento superficial e a ascensão capilar uma parcela desprezível para o fluxo hídrico. A Equação 4 foi usada para reproduzir o balanço hídrico real com base em dados da torre micrometeorológica. A irrigação por gotejamento foi desconsiderada para avaliar se há ocorrência natural de déficit ou excesso hídrico, verificando talvez possíveis aplicações desnecessárias de água.

2.4 – Preenchimento de lacunas com Machine Learning

Durante o monitoramento, falhas em um dos sensores TDR comprometeram parte da série temporal da umidade do solo. Para reconstituir o balanço hídrico com base em dados reais e na equação do fluxo hídrico, adotou-se uma abordagem de aprendizado de máquina. Foram testados algoritmos como LinearRegression, RandomForest, GradientBoosting, XGBoost e CatBoost usando Python e a biblioteca Scikit-Learn. O treinamento foi feito com variáveis com séries completas: ΔSWC_1 (obtido da TDR funcional), ETR e precipitação. O modelo preditivo que apresentar melhor desempenho em razão de um bom coeficiente de correlação (R^2), menor raiz do erro quadrático médio (RMSE) e menor erro médio absoluto (MAE) em comparação à média absoluta (MA) será o modelo selecionado para preencher os dados faltosos.

2.5 – Análise comparativa

Com o objetivo de desenvolver uma análise comparativa diante do método simplificado do balanço hídrico de Thornthwaite-Mather primeiramente foi computado o método considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) e assim confrontado os resultados quando utilizado a evapotranspiração real (ETR) no mesmo método. Por fim, será comparado, agora com os dados reais de campo, o mesmo balanço hídrico obedecendo o fluxo hídrico da Equação 4.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A capacidade de água disponível total (CAD), de 33,29 mm até 50 cm de profundidade, foi obtida a partir das umidades médias à capacidade de campo e ao ponto de murcha para cada intervalo de profundidade. Utilizaram-se dados de julho de 2022 a junho de 2023, por representarem o período mais completo de dados. Com base nos dados de precipitação, evapotranspiração da cultura e capacidade de água disponível, foi aplicado o método simplificado de Thornthwaite-Mather para elaborar o balanço hídrico climatológico, Tabela 1. Já as representações gráficas do balanço simplificado e completo estão, respectivamente, nas Figuras 1A e 1B.

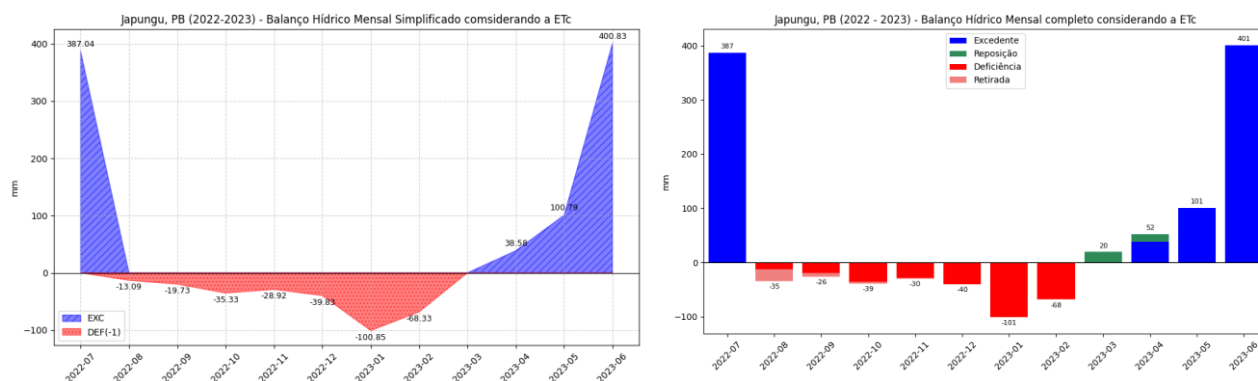
Tabela 1 – Balanço Hídrico Climatológico em função da evapotranspiração da cultura.

Datas	ETc	P	(P-ETc)	NAC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
jul-22	74,56	461,6	387,04	0	33,29	0	74,56	0	387,04
ago-22	94,81	60,2	-34,61	-34,61	11,77	-21,52	81,72	13,09	0
set-22	54,73	28,6	-26,13	-60,74	5,37	-6,4	35	19,73	0
out-22	60,44	21,4	-39,04	-99,78	1,66	-3,71	25,11	35,33	0
nov-22	29,91	0	-29,91	-129,7	0,68	-0,99	0,99	28,92	0
dez-22	60,11	19,8	-40,31	-170	0,2	-0,48	20,28	39,83	0
jan-23	174,44	73,4	-101,04	-271	0,01	-0,19	73,59	100,85	0
fev-23	152,94	84,6	-68,34	-339,4	0	-0,01	84,61	68,33	0
mar-23	147,41	167	19,59	-17,66	19,59	19,59	147,41	0	0
abr-23	88,72	141	52,28	0	33,29	13,71	88,72	0	38,58
mai-23	81,61	182,4	100,79	0	33,29	0	81,61	0	100,79
jun-23	64,77	465,6	400,83	0	33,29	0	64,77	0	400,83

Figura 1 – Balanço hídrico climatológico simplificado considerando a evapotranspiração da cultura (A) e completo (B).

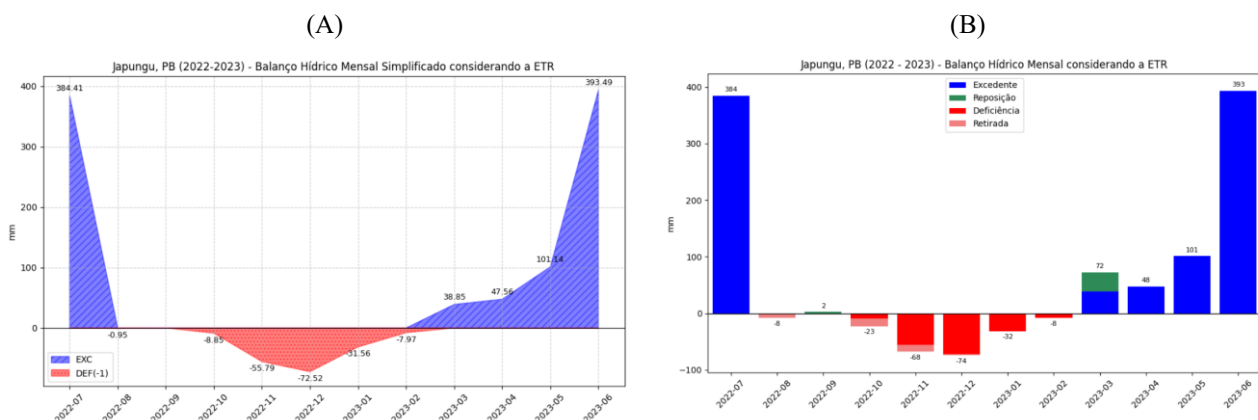
(A)

(B)



Em seguida, como análise comparativa, foi substituído os valores de evapotranspiração de cultura (ETc) pelos valores de evapotranspiração real (ETR) obtido indiretamente através do calor latente medido pelos dados da torre micrometeorológica, conforme mostra a Figura 2. O balanço hídrico climatológico simplificado e completo oriundo dessa alteração está representado, respectivamente, na Figura 2A e Figura 2B.

Figura 2 – Balanço hídrico climatológico simplificado considerando a evapotranspiração real (A) e completo (B).



Assim, observa-se uma discordância significativa quando comparado o comportamento do balanço hídrico climatológico a partir da evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração real. Visto que, do balanço hídrico orientado pela evapotranspiração da cultura, foi computado 7 meses (Ago a Fev) de déficit hídrico com pico de -100,85 mm e 400,83 mm de excesso hídrico. Por outro lado, o balanço hídrico orientado pela evapotranspiração real computou 6 meses (Ago a Dez, Fev) de déficit hídrico com pico de -75,52 mm e 393,49 mm de excesso hídrico. O déficit hídrico acumulado anual foi de -306,08 mm quando se considerou a evapotranspiração da cultura. Por outro lado, ao se utilizar a evapotranspiração real, o valor foi de -177,64 mm. Dessa forma, observa-se uma

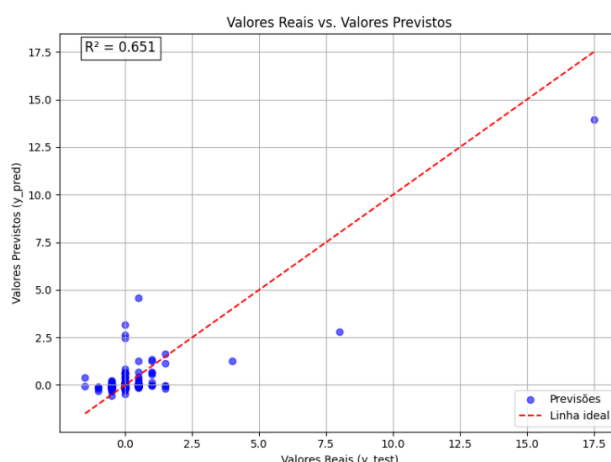
superestimação de 72,30% no déficit hídrico acumulado ao se adotar o balanço hídrico baseado na evapotranspiração da cultura.

Por outro lado, ainda com base nos dados de precipitação (P), evapotranspiração real (ETR) e umidade do solo (SWC), foi possível estimar a drenagem profunda (DP) e consequentemente fluxo hídrico real (Equação 4). Devido a falhas em um dos sensores TDR, adotou-se o uso de aprendizado de máquina para prever a variação de umidade do solo faltante. Utilizando a biblioteca Scikit-Learn, o modelo GradientBoostingRegressor apresentou o melhor desempenho, com R^2 de 0,65 (Figura 3), MAE de 0,1658, RMSE de 0,3837 e MA de 0,2387, de acordo com a Tabela 2, indicando erros moderados e desempenho satisfatório na predição. Essa estratégia permitiu estimar os dados de umidade do solo ausentes de forma mais robusta.

Tabela 2 – Avaliação dos algoritmos preditivos testados.

Modelo Preditivo	R^2	RMSE	MAE	MA
GradientBoostingRegressor	0,651	0,384	0,166	0,239
CatBootsRegressor	0,619	0,401	0,183	0,273
Linear Regression	0,618	0,401	0,173	0,244
XGBRegressor	0,493	0,463	0,198	0,276
RandomForestRegressor	0,475	0,470	0,199	0,245

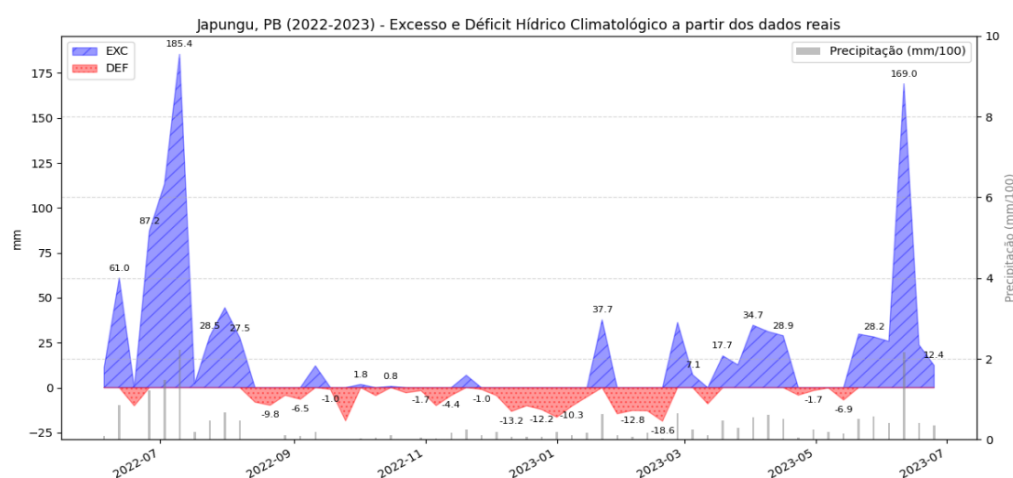
Figura 3 – Dispersão entre valores previstos de variação da umidade do solo pelo modelo preditivo GradientBoostingRegressor versus valores separados para teste.



Por fim, com a variação da umidade do solo estimada para todo intervalo de estudo, pôde-se então concluir o balanço hídrico climatológico orientado pelos dados reais de campo seguindo o fluxo

hídrico, Equação 4. O balanço hídrico real, Figura 4, apresentou pico de excesso hídrico de 185,44 mm e pico de déficit hídrico de -18,6 mm, além de um déficit hídrico acumulado anual de -228,82 mm — representando uma superestimação de 33,76% pelo método simplificado baseado na evapotranspiração da cultura. Além disso, observa-se uma resposta mais direta e rápida à precipitação (barras cinzas). O comportamento geral é mais complexo e menos linear que o modelo simplificado.

Figura 4 – Balanço hídrico climatológico orientado pelos dados reais de campo.



4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que o modelo simplificado de Thornthwaite-Mather, apesar de sua facilidade e baixo custo, apresenta discrepâncias significativas quando comparado aos dados obtidos por sensores micrometeorológicos, especialmente na estimativa do déficit hídrico acumulado. A superestimação observada (até 72,34%) compromete a confiabilidade do método para uma gestão hídrica precisa, especialmente em cultivos com alta sensibilidade ao estresse hídrico, como a cana-de-açúcar.

Apesar do custo elevado de aquisição, instalação e manutenção de torres micrometeorológicas e sensores de solo, tais sistemas fornecem medições diretas e de alta resolução temporal, reduzindo incertezas e permitindo decisões mais acertadas no manejo da irrigação. Em contrapartida, métodos simplificados podem ser úteis em cenários onde a infraestrutura técnica ou financeira é limitada.

O estudo é limitado ao solo arenoso, à cana-de-açúcar e ao clima local, o que restringe a generalização dos resultados. A curta série temporal também influencia as análises. Recomenda-se que estudos futuros avaliem o custo-benefício entre sensores e modelos simplificados em diferentes cenários produtivos.

5 – REFERÊNCIAS

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).

CARNEIRO, E. A.; OLIVEIRA, F. P.; NASCIMENTO, A. F.; SILVA, A. S.; PONTES, G. P. **ABRHidro - ANAIS - PARÂMETROS FÍSICOS-HÍDRICOS DO SOLO VISANDO A DETECÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM ÁREA DE DE CANA-DE-AÇÚCAR**. 2022. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14289>. Acesso em: 20 jun. 2025.

CONAB. **Safra 2024/25 de cana-de-açúcar encerra com produção estimada em 676,96 milhões de toneladas**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/safra-2024-25-de-cana-de-acucar-encerra-com-producao-estimada-em-676-96-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 23 jun. 2025.

MENDONÇA, Pedro de Varennes E. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. **Anais do Instituto Superior de Agronomia, Vol. 22, p. 271, [S. l.]**, 1958. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/16969>. Acesso em: 20 jun. 2025.

NASCIMENTO, A. F.; BORGES, V. P.; SILVA, A. S.; CARNEIRO, E. A.; MELO, D. C. D. **ABRHidro - ANAIS - SENSORIAMENTO REMOTO DE ALTA RESOLUÇÃO NA AVALIAÇÃO DE USO DE ÁGUA E DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR: IMPLANTAÇÃO DE EXPERIMENTO E PERSPECTIVAS**. 2022. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14288>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SILVA, A. S.; NASCIMENTO, A. F.; PONTES, G. P.; FILGUEIRA, H. J. A.; MELO, D. C. D. **ABRHidro - ANAIS - CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDR) EM ARGISSOLO ACINZENTADO DISTRÓFICO COM PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE CRUZ DO ESPÍRITO SANTO-PB**. 2022. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14336>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SNYDER, R. L.; SPANO, D.; PAWU, K. T. Surface renewal analysis for sensible and latent heat flux density. **Boundary-Layer Meteorology, [S. l.]**, v. 77, n. 3, p. 249–266, 1996. DOI: 10.1007/BF00123527.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; PAULO CESAR TEIXEIRA, CNPS; GUILHERME KANGUSSU DONAGEMMA. **Manual de métodos de análise de solo**. [s.l.] : Brasília, DF: Embrapa, 2017., 2017. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 20 jun. 2025.

THORNTHWAITE E MATHER. **1955 Thornthwaite and Mather - The Water Balance | PDF**. 1955. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/657565712/1955-Thornthwaite-and-Mather-The-water-balance>. Acesso em: 20 jun. 2025.