

III Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM-CS

Eficiência do uso da água e produtividade da soja irrigada utilizando dos observados para o cálculo do balanço hídrico

Water use efficiency and productivity of irrigated soybean using observations for calculating the water balance

Zanandra Boff de Oliveira¹ , Luíza Seibert¹ ,
Pedro Eduardo Fischer Boeno¹ , Rafaela Fauth Bisol¹ , Vitor Maus Spies¹ ,
Alice Balansin¹ , Eduardo Leonel Bottega¹ , Alberto Eduardo Knies^{II} 

^I Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil.

^{II} Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

RESUMO

O objetivo deste estudo é (i) analisar recomendação da necessidade de irrigação para a cultura da soja pela metodologia do cálculo do balanço hídrico aferido com monitoramento da umidade do solo pelo sensor TDR, (ii) verificar os impactos da irrigação efetuada na produtividade da soja e na eficiência do uso da água. Bem como, (iii) comprar está recomendação de irrigação com as geradas pelo cálculo e pela simulação balanço hídrico seguindo a metodologia da FAO - sem utilizar os parâmetros de umidade do solo obtidos pelo TDR, para a safra 2022/2023 em Cachoeira do Sul/RS. Dessa forma, o estudo foi dividido em uma etapa de campo e uma de simulação/cálculo. A suplementação hídrica de 295,6 mm via irrigação, contribuiu para o incremento de todos os componentes de produtividade e na produtividade final da soja que foi de 4.370,8 kg ha⁻¹ (irrigada) e 2.473,6 kg ha⁻¹ (sequeiro). Por outro lado, a eficiência do uso da água foi maior na condição de menor disponibilidade hídrica de 16,4 kg mm⁻¹ (sequeiro) e de 9,8 kg mm⁻¹ (irrigada). O cálculo e a simulação do balanço hídrico realizados a partir dos dados obtidos à campo, pela metodologia do boletim FAO – 56, recomendaram maiores números de irrigações, totalizando em maior lâmina acumulada para o ciclo de 420,0 mm (calculado) e 405,0 mm (simulado Cropwat), ressaltando a importância de haver o monitoramento da umidade do solo nas metodologias para recomendação da necessidade de irrigação.

Palavras-chave: Manejo da irrigação; TDR; *Glycine max*

ABSTRACT

The objective of this study is to (i) analyze the recommendation of the need for irrigation for soybean crops using the methodology of calculating the water balance measured by monitoring soil moisture by the

TDR sensor, (ii) verify the impacts of irrigation on soybean productivity and water use efficiency, and (iii) compare this irrigation recommendation with those generated by the calculation and simulation of the water balance following the FAO methodology - without using the soil moisture parameters observed by the TDR, for the 2022/2023 harvest in Cachoeira do Sul/RS. Thus, the study was divided into a field stage and a simulation/calculation stage. The water supplementation of 295.6 mm via irrigation contributed to the increase in all productivity components and in the final soybean productivity, which was 4,370.8 kg ha⁻¹ (irrigated) and 2,473.6 kg ha⁻¹ (rainfed). On the other hand, water use efficiency was higher in conditions of lower water availability of 16.4 kg mm⁻¹ (rainfed) and 9.8 kg mm⁻¹ (irrigated). The calculation and simulation of the water balance performed from data obtained in the field, using the methodology of FAO bulletin – 56, recommended a higher number of irrigations, totaling a higher accumulated depth for the cycle of 420.0 mm (calculated) and 405.0 mm (simulated Cropwat), highlighting the importance of monitoring soil moisture in methodologies for recommending the need for irrigation.

Keywords: Irrigation management; TDR; *Glycine max*

1 INTRODUÇÃO

A irrigação desempenha um papel fundamental na agricultura, permitindo a distribuição artificial de água quando as chuvas não são capazes de suprir o requerimento hídrico dos cultivos. Em 2019, o Brasil apresentou 8,2 milhões de hectares irrigados. Ao mesmo tempo, o país ainda possui um potencial irrigável efetivo de 13,7 milhões de hectares, onde a Região Sul se destaca, contribuindo com 31% desse potencial, ficando atrás somente do Centro-Oeste, com 45% (ANA, 2021). A prática de irrigação oferece várias vantagens, dentre elas ampliar a produtividade em duas ou até três vezes quando comparada ao cultivo em condições de sequeiro. Na cultura da soja, Oliveira, Knies; Gomes (2020), Oliveira *et al.* (2021), Pigatto *et al.* (2023) e Oliveira; Branzelli; Knies (2023), observaram na região central do RS, incrementos de produtividade em mais de 100% com o uso da irrigação suplementar, variável em função da época de semeadura e do tipo de cultivar.

A soja (*Glycine max* M.) é uma cultura de grande importância mundial devido a sua composição e gama de aplicações industriais. Além disso, os avanços tecnológicos agrícolas aliados a modernos sistemas de produção potencializaram a produtividade e rentabilidade desta cultura, tornando-a uma das principais commodities do mundo. Os dados da safra 2023/2024 são de uma produção mundial de 369 bilhões

de toneladas, em uma área de cerca de 136 bilhões de hectares cultivados (USDA, 2024). O Brasil destaca-se neste cenário, é atualmente, o maior produtor mundial, produzido cerca de 147,68 milhões de toneladas, em 45,7 milhões de hectares cultivados nesta safra (CONAB, 2024).

No entanto, Silva *et al.* (2020), destaca que o déficit hídrico é o principal causador de quebra de produtividade da cultura da soja no Brasil. Ainda, de acordo com Matzenauer *et al.* (2003), no RS é frequente ocorrer déficit hídrico durante o período crítico da soja, podendo ocorrer redução da produtividade em nove a cada vinte safras. Entretanto, mesmo com os conhecidos prejuízos do déficit hídrico para a produtividade da soja (Sentelhas *et al.*, 2015, Zanon *et al.*, 2018), a maioria das áreas cultivadas no estado gaúcho são no regime de sequeiro (Sentelhas *et al.*, 2015). Nesse sentido, a escolha da época de semeadura e o posicionamento de cultivares baseadas nos rendimentos alcançados na região e em seu grupo de maturação relativa (GMR), são formas de minimizar possíveis efeitos causados pela variabilidade do clima na cultura da soja (Zanon *et al.*, 2016; Alliprandini *et al.*, 2009).

Além da adoção da irrigação, o manejo desta de forma eficiente, é fundamental para o sucesso da atividade. Contudo, o manejo da irrigação, ou seja, a determinação de quando e quanto irrigar, é complexo. Pois, envolve uma série de variáveis do sistema solo-planta-atmosfera. Neste contexto, destaca-se o método do balanço hídrico, uma abordagem que calcula as entradas e saídas de água em uma área específica, considerando variáveis como variação no armazenamento de água no solo, precipitação, evaporação, infiltração e escoamento superficial (Camargo; Camargo, 2000).

Os principais componentes do balanço hídrico para definir a demanda e disponibilidade hídrica é a precipitação (P), evapotranspiração (ET), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC) (Allen *et al.*, 1998; Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2002). Sendo que, o boletim FAO 56 de Allen *et al.* (1998), representou um grande avanço no que diz respeito aos conceitos e métodos para estimar a ET. No referido documento, estabeleceu-se o método Penman-Monteith como o padrão

para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o), e após sua parametrização, passou a ser conhecido como Penman-Monteith FAO (FAO-PM). O boletim, também, abordou a atualização do coeficiente de cultura (K_c), que serve como um fator de correção para levar em conta as diferenças físicas e fisiológicas entre a cultura em estudo e a cultura de referência, utilizado para calcular a evapotranspiração da cultura (ET_c = ET_o x K_c).

No entanto, mesmo com o cálculo diário do balanço hídrico, é importante o monitoramento da umidade do solo para a aferição da variação no ARM. Este monitoramento pode ser feito com o auxílio de sensores, a exemplo do TDR (Time Domain Reflectometry), que mede o tempo de propagação de ondas eletromagnéticas ao longo de uma sonda até a reflexão no solo. Souza et al. (2006) consideram essa técnica (TDR) como um método confiável para a determinação da umidade do solo. Para Oliveira *et al.* (2022), sensores TDR forneceram medições rápidas, contínuas e estáveis do teor de água do solo. Assim, a aferição da variação do ARM calculado através do método do balanço hídrico com dados obtidos os sensores TDR, pode contribuir para a determinação mais acurada da necessidade de irrigação.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é verificar os impactos da irrigação manejada a partir do balanço hídrico com o monitoramento da umidade volumétrica do solo por sensores TDR, na produtividade e na eficiência do uso da água de vinte e duas cultivares de soja, para a safra 2022/2023, em Cachoeira do Sul/RS.

2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2022/23 na Estação Agrônômica da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), localizada no distrito de Três Vendas, no município de Cachoeira do Sul (29°53'S e 53°00'W e altitude de 125 m). De acordo com Köppen, o clima predominante nessa região é caracterizado como subtropical úmido (Cfa). O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso no esquema fatorial (2 x 22), sendo o fator "A" dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro) e o fator "B" 22

cultivares de soja e três repetições, totalizando 132 parcelas experimentais. As 22 cultivares de soja foram escolhidas em função da disponibilidade (doação de sementes) e estão apresentadas com seus respectivos GMR na Tabela 1 e uma visão geral do experimento pode ser observada na Figura 1.

Tabela 1 – Cultivares e seus respectivos GMR's

Nº	Nome	GMR	Nº	Nome	GMR
1	BMX* ZEUS	5.5	12	BMX GARRA	6.3
2	BMX TROVÃO	5.2	13	NEO 580	5.8
3	BMX TORQUE	5.7	14	NEO 530	5.3
4	BMX COMPACTA	6.5	15	NEO 560	5.6
5	BMX LÓTUS	6.1	16	NEO 590 I2X	5.9
6	BMX VÊNUS	5.7	17	TMG 7362	6.3
7	BMX CROMO	5.6	18	TMG 7363	6.3
8	BMX RAIO	5.0	19	TMG 2165	6.5
9	BMX NEXUS	6.4	20	NS 6700	7.1
10	BMX FIBRA	6.4	21	NS 5710	5.8
11	BMX COLISEU	6.3	22	NS 5933	6.1

Legenda: BMX: Brasmax; Neo: Neogen; TMG: Tropical Melhoramento e Genética; NS: Nidera

Fonte: Autores

Figura 1 – Imagem aérea do experimento



Fonte: Autores

A semeadura foi realizada no dia 26/11/2022, dentro do período recomendado pelo zoneamento agrícola de risco climático para a cultura (ZARC), utilizando um conjunto trator (Massey Ferguson MF4275) – semeadora (Massey Ferguson MF 407, 7 linhas), utilizando o sistema de plantio direto sobre a palhada do trigo. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,5 metros, contendo 14 plantas por metro linear, perfazendo a densidade de semeadura de 310.000 sementes hectare⁻¹. O manejo e os tratos culturais, seguiram as recomendações agronômicas para a cultura da soja.

A irrigação foi efetuada por um sistema de aspersão convencional e o manejo da irrigação foi realizado utilizando o serviço de gestão da irrigação da empresa Raks Tecnologia Agrícola. Esse serviço abrangeu o monitoramento da umidade volumétrica do solo (θ) com um sensor TDR em conjunto com a plataforma de gestão de irrigação. O sensor possui hastes com 20 cm de comprimento e foi inserido verticalmente no solo na camada de 0-20 cm. O monitoramento da umidade do solo foi em intervalos de uma hora, onde os dados foram transmitidos via rede telefônica e disponibilizados na plataforma de acesso remoto.

A instalação do sensor foi realizada em 13/12/2022 (Figura 2), e assim que finalizada, o solo foi saturado com água, o que viabilizou a observação do comportamento da água no solo através da plataforma. Em paralelo, a empresa configurou a curva de retenção de água, determinada pelos parâmetros obtidos em análises físicas do solo realizadas anteriormente (Tabela 2).

Figura 2 – Imagem do conjunto TDR utilizado



Fonte: Raks Tecnologia Agrícola

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros físico- hídricos o solo do local do experimento

Variável	Valor
Areia	51,60%
Silte	36,00%
Argila	12,40%
Capacidade de Campo (CC)	0,2849 cm ³ /cm ³
Ponto de murcha permanente (PMP)	0,1198 cm ³ /cm ³
Profundidade da camada	200,00 mm
Capacidade de água disponível*	33,02 mm

Fonte: Autores

Na plataforma foram informadas as chuvas e adicionadas imagens e informações sobre a evolução da cultura. Para tanto, realizou-se avaliações culturais, como o monitoramento da fração de cobertura (F_c) para o acompanhamento da curva do K_c (Allen *et al.*, 1998), altura de plantas (cm) e profundidade de sistema radicular (cm). As variáveis meteorológicas e a ETo foram obtidas de uma estação meteorológica automática, localizada a cerca de 20 km do local. A ET_c foi calculada ($ETo \times K_c$).

As informações de quando e quanto irrigar, obtidas da plataforma da empresa, foram determinadas a partir da variação do armazenamento de água no solo (mm), buscando manter o armazenamento atual entre o armazenamento na CC e no PMP. O armazenamento de água no solo, é obtido pela multiplicação da umidade volumétrica (cm³cm⁻³) pela profundidade do perfil do solo avaliada (200 mm), conforme tabela 2.

No final do ciclo de desenvolvimento da cultura, procedeu-se a colheita das plantas de forma manual na região central de cada parcela experimental (3m²), após realizou-se a trilha, a limpeza, a determinação de umidade dos grãos e a pesagem. O peso obtido foi corrigido para uma umidade de 13% e extrapolado para hectare (kg ha⁻¹). A eficiência do uso da água (EUA) em kg mm⁻¹ foi calculada pela razão entre a produtividade da cultura (kg ha⁻¹) e o total de água utilizado pela cultura (irrigada: chuva + irrigação e sequeiro: chuva). Os resultados de produtividade foram submetidos à análise no software Sisvar, realizando a análise da variância pelo teste F e análise

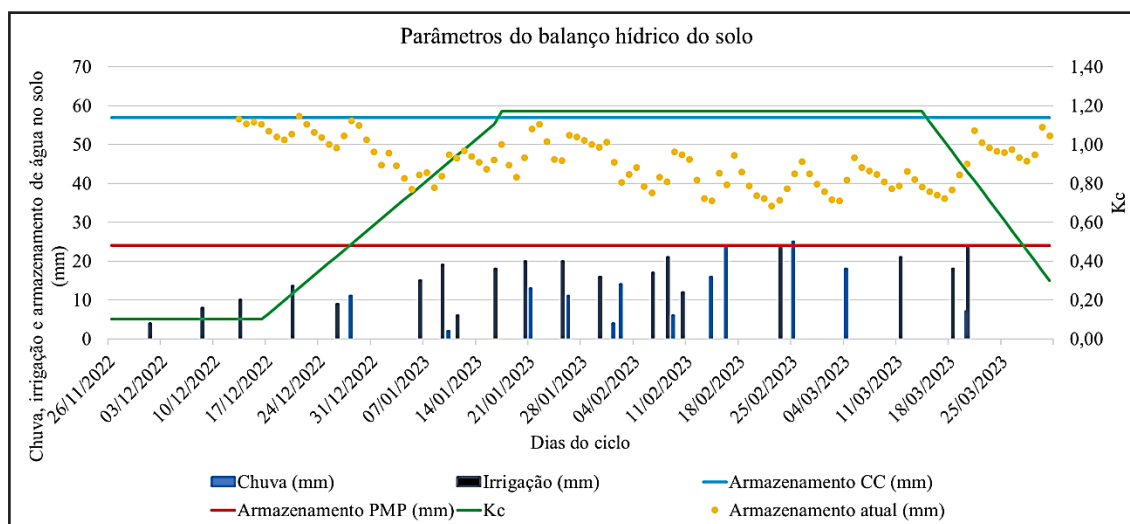
complementar do fator irrigação pelo teste de “Tukey” e do fator cultivar pelo teste de “Scott Knott” com nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo dos 125 dias do ciclo de cultivo foram registrados apenas 12 eventos de chuvas, totalizando 151 mm (Figura 3), sendo este bem inferior a necessidade hídrica da cultura, que de acordo com Farias *et al.* (2007), varia conforme o clima, manejo e duração do ciclo, com uma média de 450 a 800 mm por ciclo para alcançar o máximo rendimento.

Além disso, nota-se a distribuição irregular de chuvas ao longo do ciclo (Figura 3), marcada pela ausência de chuvas na fase inicial (germinação e emergência) e vários dias consecutivos sem chuva significativa (de 29/12 a 20/01 e de 05 a 20/03), no período de floração e enchimento de grãos. Thomas; Costa (2010) afirmam que, a fase inicial de estabelecimento das plantas, juntamente com a fase reprodutiva, representa os momentos mais críticos ao déficit hídrico para o cultivo da soja.

Figura 3 – Parâmetros gerais do balanço hídrico

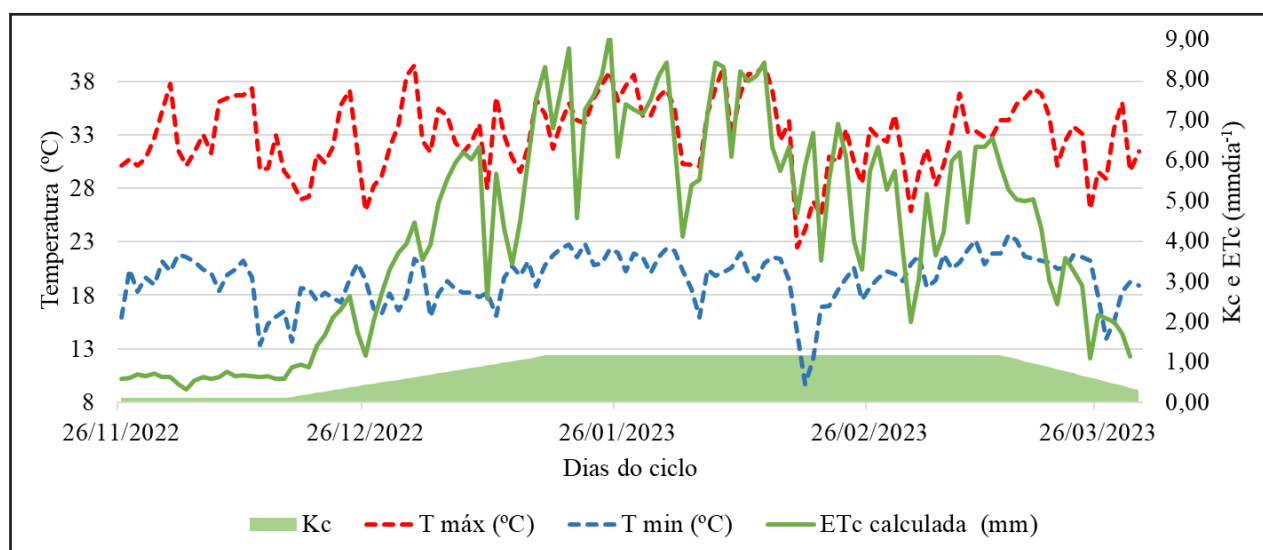


Fonte: Autores

Ademais, a temperatura do ar foi bastante elevada com registros de até 39,5 °C (Figura 4). Altas temperaturas contribuem para que a ET também seja elevada, chegando

em até 9 mm dia⁻¹, na fase reprodutiva, quando o K_c é máximo (Figura 4). Oliveira (2015) em seu estudo com a estimativa da ET_o com dados da previsão meteorológica identificou que a variável meteorológica com maior associação com a ET_o foi a temperatura máxima. Dessa forma, para suprir a demanda hídrica da cultura, diante desta elevada demanda atmosférica (Figura 4) e da irregularidade das chuvas, que também, foram em baixos acumulados (Figura 3), foram necessários 295,6 mm via irrigação suplementar, divididos em 19 eventos ao longo do ciclo, para manter o armazenamento de água no solo entre a CC e PMP (Figura 3).

Figura 4 – Valores de temperatura máxima e mínima do ar, de evapotranspiração da cultura e evolução do coeficiente de cultivo(K_c) ao longo do ciclo de cultivo



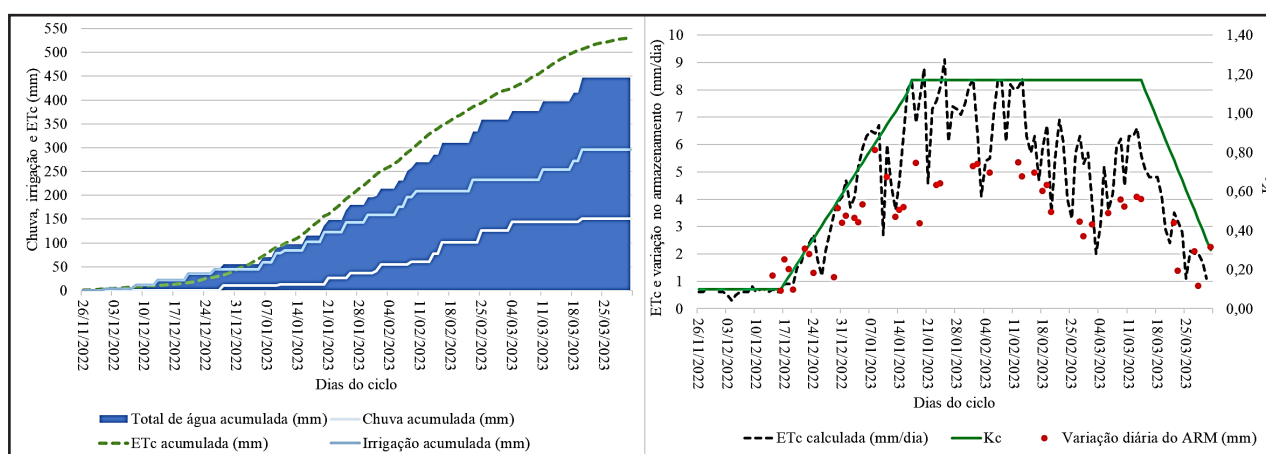
Fonte: Autores

Na Figura 5 A, é possível observar que a ET_c acumulada ao longo do ciclo (529,9 mm) é muito superior ao acumulado de chuvas (151 mm). Ao fazer um cálculo simples de entradas e saídas de água no sistema (chuva- ET_c), a lâmina necessária para a reposição da ET_c via irrigação seria de 378,9 mm. Todavia, a quantidade de água necessária para a reposição do armazenamento de água no solo (Figuras 3 e 5A), quando se utilizou o monitoramento da umidade volumétrica do solo com o sensor TDR, foi de 295,6 mm. Demonstrando a importância do

monitoramento da variação do armazenamento de água no solo para identificar a demanda hídrica real da cultura.

Segundo Allen *et al.* (1998), com a redução da disponibilidade hídrica no solo tem-se a evapotranspiração real menor do que a ET_c , o que pode ser observado na variação diária do armazenamento de água no solo, que é de um modo geral, menor que a ET_c (Figura 5 B). A ET_c foi estimada usando um método empírico, que se baseia em variáveis meteorológicas e características da cultura (F_c). Porém, alterações fisiológicas decorrentes do calor e do déficit hídrico, podem afetar a taxa de transpiração, o que não é contemplado no cálculo. Por isso, a importância do monitoramento da umidade volumétrica do solo. Para Dong *et al.* (2018), sensores de umidade do solo melhoram o manejo de irrigação, devido à sua praticidade em fornecer dados contínuos e em várias profundidades do perfil do solo.

Figura 5 – Valores acumulados de chuva e evapotranspiração da cultura (ET_c) ao longo do ciclo de cultivo (A) e ET_c e variação diárias do armazenamento de água no solo (B)



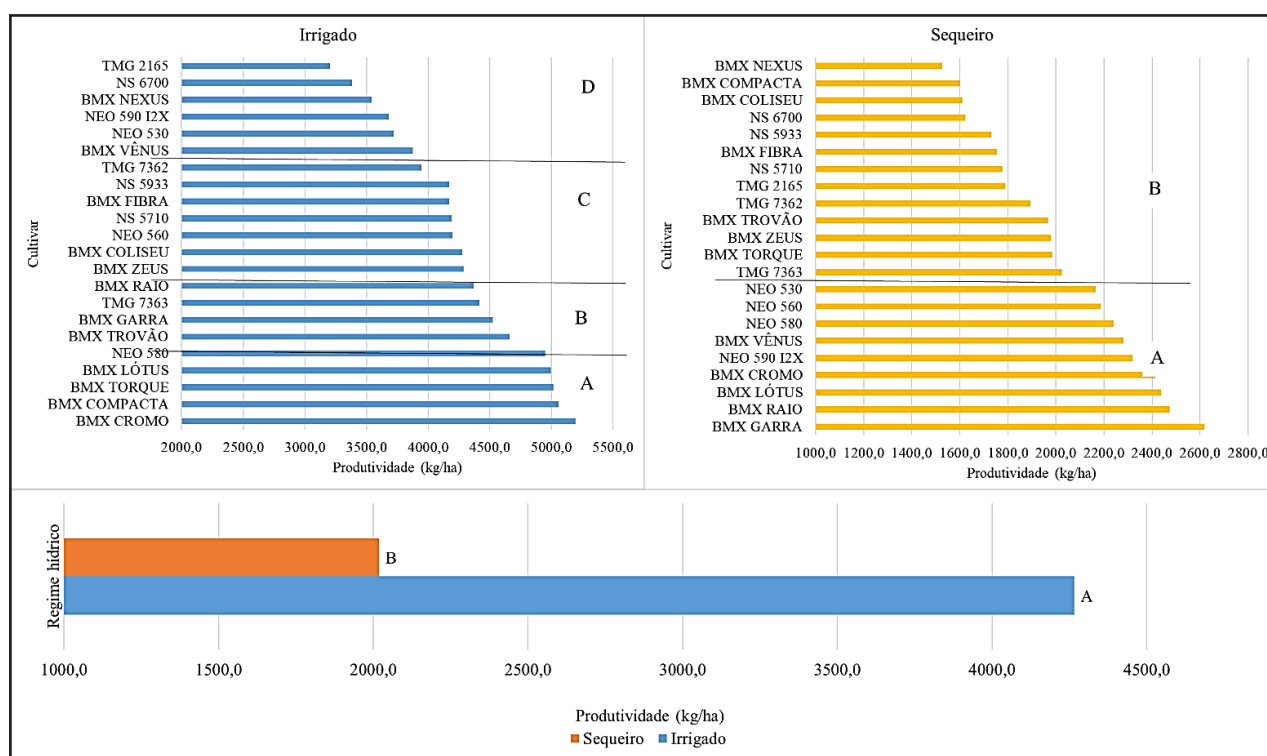
Fonte: Autores

Dessa forma, a maior disponibilidade hídrica resultou em maiores produtividades da soja com o uso da irrigação (Figura 6). O incremento médio de produtividade foi de 1,13 vezes em relação ao cultivo de sequeiro, corroborando com os resultados obtidos

Oliveira, Knies; Gomes (2020), Oliveira *et al.* (2021), Oliveira; Branzelli; Knies (2023), no mesmo local de estudo. Gajić *et al.* (2018), afirmam que a irrigação é necessária para o cultivo da soja em anos semissecos e secos, quando as chuvas sazonais são inferiores a 300 mm. Em anos úmidos, com quantidade e distribuição de chuvas favorável durante a estação de crescimento, os rendimentos são semelhantes aos obtidos com irrigação.

Ao mesmo tempo, observa-se grandes diferenças entre as cultivares para um mesmo regime hídrico (Figura 6). Sendo que, a produtividade da soja irrigada variou entre 3.206,6 e 5.195,4 kg ha⁻¹ e a de sequeiro de 1.527,6 a 2.617,9 kg ha⁻¹ (Figura 6). Ademais, cultivares mais produtivas no regime hídrico irrigada, não foram as mais produtivas no regime hídrico de sequeiro. Demonstrando, a importância da genética do material na relação com a EUA (Figura 7).

Figura 6 – Resultados da produtividade da soja para as diferentes cultivares nos dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro) e entre regimes hídricos



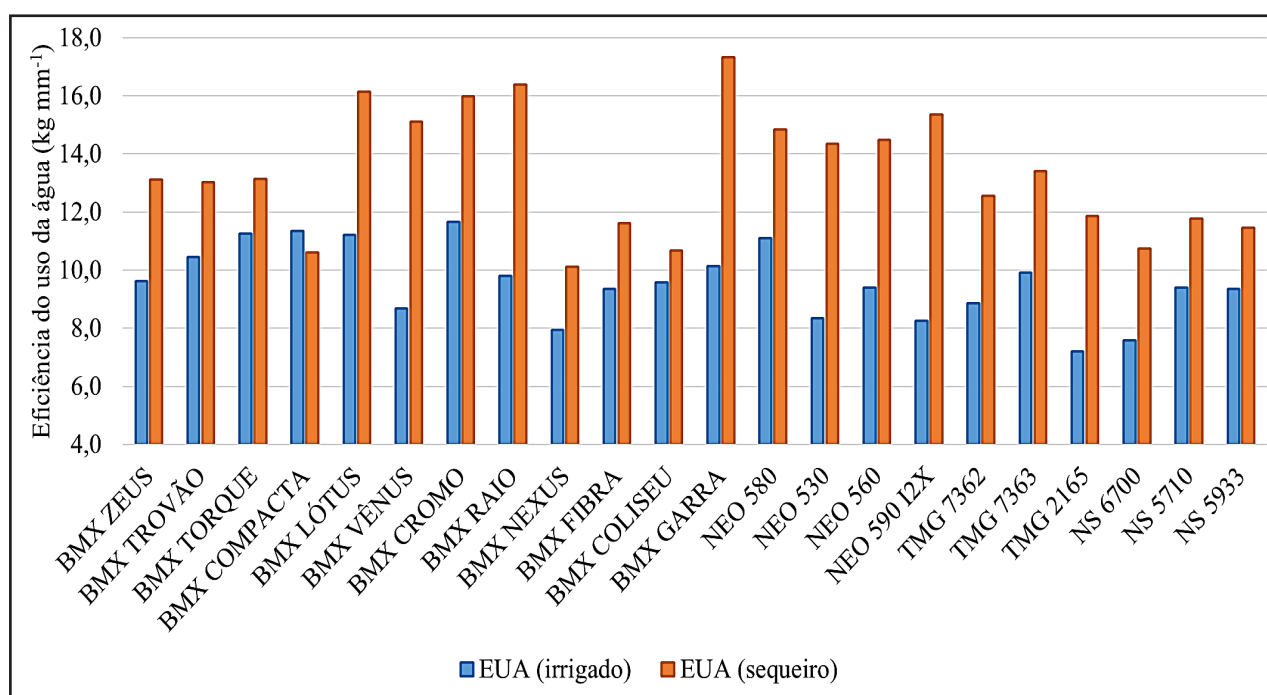
Legenda: as letras comparam grupos de cultivares pelo teste de “Scott Knott” e os regimes hídricos pelo teste de “Tukey”

Fonte: Autores

Ao contrário da produtividade, uma maior EUA pela soja é verificada no regime hídrico de sequeiro, em média de $13,4 \text{ kg mm}^{-1}$, contra $9,6 \text{ kg mm}^{-1}$ no regime hídrico irrigado (Figura 7). Almeida (2021), também, observou em seu estudo maiores produtividades de soja para os tratamentos de maior disponibilidade hídrica, variando de 2.700,0 a 5.400,0 kg ha^{-1} , para níveis de reposição hídrica entre 40 e 120% e, maior EUA à medida que a disponibilidade hídrica no solo é reduzida, sendo que os valores de EUA encontrados variaram de 6 a 12 kg mm^{-1} .

No presente estudo (Figura 7), a EUA variou entre 7,2 a $11,6 \text{ kg mm}^{-1}$ para a soja irrigada e de 10,1 a $17,3 \text{ kg mm}^{-1}$ para a soja de sequeiro. A resposta ao déficit hídrico nas plantas é expressa através de mecanismos biofísicos ou químicos (Xiong *et al.*; 2022), como parte destas respostas podem incrementar a resistência estomática (Ohsumi *et al.*, 2007), aumentar a área de exploração de sistema radicular (Miyazaki; Arita, 2020) e aumentar a EUA (Blum, 2009).

Figura 7 – Eficiência do uso da água (EUA) para diferentes cultivares de soja nos regimes hídricos irrigado e sequeiro



Fonte: Autores

A maior EUA foi para as cultivares BMX Garra, BMX Raio, BMX Lótus, no regime hídrico de sequeiro ($>16<17,3 \text{ kg mm}^{-1}$) e, para as cultivares BMX Trovão, BMX Torque, BMX Compacta, BMX Lótus, BMX Garra e NEO 580, no regime hídrico irrigado ($>10<11,6 \text{ kg mm}^{-1}$). Não sendo possível estabelecer relação entre a EUA e o GMR (Tabela 1). As diferenças podem ser atribuídas a uma questão genética dos materiais, pois cultivares que possuem maior capacidade de absorver água do solo, menor perda de água por transpiração e estômatos que fecham mais rapidamente em resposta ao estresse hídrico, são mais eficientes no uso da água.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da umidade volumétrica do solo por sensores TDR demonstrou ser uma ferramenta eficiente para manejo da irrigação da cultura da soja, sendo possível avaliar por meio da variação do armazenamento de água no solo, a demanda hídrica real da cultura, que foi menor que a evapotranspiração calculada pelo método empírico.

A suplementação hídrica de 295,6 mm via irrigação, contribuiu para um incremento superior a 100% na produtividade da soja, que foi média para as 22 cultivares de $4.265,1 \text{ kg ha}^{-1}$ (irrigada) e $2018,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (sequeiro).

Para condições similares a de estudo, recomenda-se para áreas de sequeiro as cultivares BMX Garra, BMX Raio, BMX Lótus, que apresentaram a maior eficiência no uso da água ($>16<17,3 \text{ kg mm}^{-1}$). Enquanto, para áreas irrigadas, recomenda-se as cultivares BMX Trovão, BMX Torque, BMX Compacta, BMX Lótus, BMX Garra e NEO 580, que foram as mais eficientes no uso da água ($>10<11,6 \text{ kg mm}^{-1}$).

AGRADECIMENTOS

A empresa Raks Tecnologia Agrícola pelo apoio com o equipamento TDR e a plataforma de gerenciamento da irrigação para a condução do experimento de campo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - 2. ed. - Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao>. Acesso em: 23 de novembro. 2024.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300 p. (**Irrigation and Drainage Paper, 56**). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: 06 set. 2024..
- ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. A. R.; PITOL, C.; PRADO, L. C.; STECKLING, C.. Understanding soybean maturity groups in brazil: environment, cultivar classification and stability. **Crop Science**, Madison, v.49, mai-jun, p.801-808, 2009.
- ALMEIDA, A. M.de. Eficiência do uso da água e resposta termal da cultura da soja submetida a diferentes níveis de reposição hídrica. 2021. **Tese (Doutorado)** – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-11022022-150829/>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- BLUM A. O uso efetivo da água (EUW) e não a eficiência do uso da água (WUE) é o objetivo da melhoria da produtividade agrícola sob estresse hídrico. **Field Crops Res.** v.112, n.1, p. 119–123, 2009.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia, Campinas**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira – grãos**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 ago. 2024.
- DONG, S.; LI, Y.; ZHAO, Z.; LI, Y.; LIU, S.; ZHOU, H.; DONG, Q.; LI, S.; GAO, X.; SHEN, H.; XU, Y.; HAN, Y.; ZHANG, J.; YANG, M. Land Degradation Enriches Soil $\delta^{13}\text{C}$ in Alpine Steppe and Soil $\delta^{15}\text{N}$ in Alpine Desert by Changing Plant and Soil Features on Qinghai-Tibetan Plateau. **Soil Science Society of America Journal**, v.82, p. 960–968, 2018.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Editora
- GAJIC, B.; KRESOVIC, B.; TAPANAROVA, A.; ZIVOTIC, L.; TODOROVIC, M. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 210, p. 224-23, 2018.
- GOMES, L.D.; FLUMIGNAN, D. L.; COMUNELLO, E.; GARCIA, R. A. Calibration of the cropwat model for the study of soybean production systems. **Engenharia Agrícola: Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 43, ed. 1, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/CW4cypYpYgDmsK7bLDGbWdy/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 5 nov. 2024.

KUHN, F.; FILIPPI, D. **Monitoramento da umidade do solo para manejo da irrigação**. In: DIAS, Eduardo Mario (org.) *et al.* Agro 4.0: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil. 1ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Autografa, 2023. cap. 10, p. 203-212. ISBN 978-85-518-5052-7. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/agro-4-0-fundamentos-realidades-e-perspectivas-para-o-brasil>. Acesso em: 7 nov. 2024.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1013-1019, 2003.

MIYAZAKI, A.; ARITA, N. Deep rooting development and growth in upland rice NERICA induced by subsurface irrigation. **Plant Production Science**, v 23, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1343943X.2020.1732829#abstract>. Acesso em: 7 nov. 2024.

OLIVEIRA, Z. B. Estimativa da evapotranspiração a partir de dados diários de previsão meteorológica. 2015. 95 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

OLIVEIRA, Z. B.; BARANZELLI, L. F.; KNIES, A. E. Análise da produtividade da soja em cinco anos agrícolas com a utilização da irrigação suplementar na região central do RS. **Irriga**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 745-755, 2023.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; GOMES, J. I. T. Produtividade de cultivares de soja com e sem irrigação suplementar para a safra e safrinha de 2019/20 na região central do RS. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.6, n.10, p. 81268-81284, oct. 2020.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A.E.; RODRIHUES, L.R.; SCHIMIDT, D.; KURY, A.G. Produtividade da soja em função da época da semeadura e da irrigação suplementar na região central do RS. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 4, p. 774-786, outubro-dezembro, 2021.

OSHUMI, A.; KANEMURA, T.; HOMMA, K. HORIE, T.; SHIRAIWA, T. Genotypic variation of stomatal conductance in relation to stomatal density and length in rice (*Oryza sativa*. L). **Plant Production**, v.10, p- 322-328, 2007.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas** – Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PIGATTO, G.; OLIVEIRA Z.B.; KNIES, A.E.K. Desempenho agrônômico de cultivares de soja com a utilização da irrigação suplementar na safra 2022-2023. **Revista Plantio Direto Digital** 2023. Disponível em <https://plantiodireto.com.br/artigos/1552>. Acesso em 08/09/2023.

SENTELHAS, P. C *et al.* The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, A.V.; MATSURA, E.E. OR, R. Time Domain Reflectometry (TDR) calibration for estimating soil solution concentration. Engenharia de Água e Solo. **Engenharia Agrícola**. v. 26, n.1, 2006

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos**. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Ed.) Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010, p.13-33, 248p.

XIONG, Y.; CHEN, X.; TANG, L.; WANG, H. Comparison of surface renewal and Bowen ratio derived evapotranspiration measurements in an arid Vineyard. **Journal of Hydrology**, v. 613, 1288474, 2022.

ZANON, A. J. *et al.* **Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades**. 1º ed. Santa Maria: [n.s.], ISBN: 978-85-54856-14-4, p.136, 2018.

ZANON, A. J.; STRECK, N.A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v. 108, p.1447-1454, 2016.

Contribuição de autoria

1 – Zanandra Boff de Oliveira

Professora adjunta da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul e atua como docente do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (PPGAP) da UFSM. <https://orcid.org/0000-0003-3422-8452> • zanandrabofoff@gmail.com

Contribution: Conceituação, Metodologia, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Recursos, Escrita, Visualização de dados, Administração do Projeto.

2 – Luíza Seibert

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0009-0004-5695-0192> • luiza.seibert@acad.ufsm.br

Contribution: Curadoria de dados, Investigação.

3 – Pedro Eduardo Fischer Boeno

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0009-0000-7977-4620> • pedroeduardo445@gmail.com

Contribution: Curadoria de dados, Investigação.

4 – Rafaela Fauth Bisol

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0009-0007-6799-6083> • rafaela.bisol0@gmail.com

Contribution: Curadoria de dados, Investigação.

5 – Vitor Maus Spies

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0009-0002-9303-9176> • vitorspies@gmail.com

Contribution: Curadoria de dados, Investigação.

6 – Alice Balansin

Engenheira agrícola graduada na Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0000-0001-9575-1517> • alicebalansin@gmail.com

Contribution: Metodologia, Curadoria de dados, Investigação, Recursos, Validação.

7 – Eduardo Leonel Bottega

Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul e atua como docente do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (PPGAP) da UFSM.

<https://orcid.org/0000-0003-4035-6880> • eduardo.bottega@ufsm.br

Contribution: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Escrita, Supervisão.

8 – Alberto Eduardo Knies

Professor adjunto da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul unidade em Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0000-0003-4895-8624> • albertoek@gmail.com

Contribution: Conceituação, Metodologia, Validação, Curadoria de dados, Investigação, Recursos, Escrita, Supervisão, Administração do Projeto, Obtenção de Financiamento.

How to quote this article

OLIVEIRA, Z. B.; SEIBERT, L.; BOENO, P. E. F.; BISOL, R. F. .; SPIES, V. M.; BALANSIN, A.; BOTTEGA, E. L.; KNIES, A. E. Eficiência do Uso da Água e Produtividade da Soja Irrigada Utilizando Dados Observados para o Cálculo do Balanço Hídrico. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 47, esp 4, e91939, 2025. Disponível em: 10.5902/2179460X91939.