

SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL E DA NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA EM VINTE ANOS AGRÍCOLAS

JOHAN ASSMANN¹ E ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA¹

¹ *Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul, Curso de Engenharia Agrícola, Rodovia Taufik Germano, 3013, Passo D'Areia, CEP. 96503-205, Cachoeira do Sul/RS, Brasil, johanassmann1@gmail.com, zanandra.oliveira@ufsm.br.*

1 RESUMO

O presente estudo tem como objetivo realizar a simulação do balanço hídrico sequencial e da necessidade de irrigação para a cultura da soja em 20 anos agrícolas (2001 a 2022) na região edafoclimática de Cachoeira do Sul – RS. Realizou-se uma simulação inicial (modelo CROPWAT 8.0) a partir de dados observados durante a realização de experimento de campo com a cultura da soja no ano agrícola 2021/22, aonde foram coletados todos os dados de entrada necessários. Após, foram realizadas outras 20 simulações para todos os anos agrícolas entre 2001-2 e 2021-22 mantendo os parâmetros observados no agrícola 2021-22 e alterando apenas as chuvas durante o ciclo da cultura. Os valores de chuva acumuladas ao longo do ciclo da soja variaram entre 284 e 1084 mm e a demanda por irrigação suplementar entre 75 e 345 mm. Do total, foram nove anos com chuvas acima da média dos dados, demandando em média 129 mm de irrigação e onze anos com chuvas abaixo da média dos dados, com uma demanda média de 205 mm de irrigação suplementar. A necessidade da irrigação é dependente da distribuição regular das chuvas ao longo do ciclo devido ao melhor aproveitamento da chuva efetiva.

Palavras-chave: *Glycine max.* Cropwat. Requerimento hídrico.

ASSMANN, J.; OLIVEIRA, Z. B. de
SIMULATION OF THE SEQUENTIAL WATER BALANCE AND THE NEED FOR IRRIGATION FOR SOYBEAN CROPS IN TWENTY AGRICULTURAL YEARS

2 ABSTRACT

The present study aims to carry out the simulation of the sequential water balance and the need for irrigation for the soybean crop in 20 agricultural years (2001 to 2022) in the edaphoclimatic region of Cachoeira do Sul - RS. An initial simulation was carried out (CROPWAT 8.0 model) based on data observed during the field experiment with the soybean crop in the 2021/22 agricultural year, where all the necessary input data were collected. Afterwards, another 20 simulations were carried out for all agricultural years between 2001-2 and 2021-22, maintaining the parameters observed in the 2021-22 agricultural year and changing only the rainfall during the crop cycle. Accumulated rainfall values throughout the soybean cycle varied between 284 and 1084 mm and the demand for supplementary irrigation between 75 and 345 mm. Of the total, there were nine years with rainfall above the data average, demanding an average of 129 mm of irrigation and eleven years with rainfall below the data average, with an average demand of 205 mm of supplementary irrigation. The need for irrigation is dependent on the regular distribution of rainfall throughout the cycle due to better use of effective rainfall.

Keywords: *Glycine max.* Cropwat. Water requirement.

3 INTRODUÇÃO

Para atender a produção de alimentos necessária para suprir a demanda mundial de forma sustentável, já que a agricultura é responsável pela maior parte do consumo hídrico, é necessário o conhecimento sobre o consumo de água das plantas e um planejamento adequado do uso da água em sistemas agrícolas. Neste contexto, os modelos de simulação de balanço hídrico são ferramentas que podem contribuir para avaliar a disponibilidade hídrica, a demanda de água e a eficiência dos sistemas de manejo, auxiliando no planejamento de reservatórios e de sistemas de irrigação. A modelagem do balanço hídrico contribui para maximizar a eficiência do uso da água, prevenir a escassez de recursos hídricos e minimizar os impactos ambientais. Segundo Araújo, Paiva e Silva (2016), estes modelos são fundamentais para garantir a segurança hídrica, a produção agrícola sustentável e a preservação do meio ambiente.

O balanço hídrico é um método contábil de estimativa da disponibilidade de água no solo e baseia-se na aplicação do princípio de conservação de massa (PEREIRA.; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Permite observar a dinâmica de água no solo a partir do armazenamento, deficiência e excessos hídricos (CAMARGO; CAMARGO, 2000). De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), os principais componentes do balanço hídrico para definir a demanda e disponibilidade hídrica é a precipitação (P), evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC).

O boletim FAO 56 de Allen *et al.* (1998), representou um grande avanço no que diz respeito aos conceitos e métodos

para estimar a evapotranspiração (ET). No referido documento foi parametrizado o método Penman-Monteith FAO (FAO-PM) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). 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. Segundo Pereira *et al.* (2015), a publicação do boletim FAO 56 representou um grande avanço na aplicação das curvas de K_c para uma ampla variedade de climas e locais. Assim, ficou estabelecido a metodologia padrão para a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c: ET_o x K_c).

O modelo CROPWAT (FAO) utiliza informações e metodologias de cálculo baseadas no boletim FAO 56 e no boletim FAO 33 em uma interface gráfica, com certa facilidade de manusear, contribuindo para o manejo da irrigação. Knežević *et al.* (2013), simulando o balanço hídrico para o trigo em Bijelo Polje- Montenegro concluíram que o balanço hídrico foi simulado com sucesso pelo modelo. Oliveira *et al.* (2020), afirmaram com seu estudo que a utilização do modelo CROPWAT com dados da previsão do tempo para estimar a ET_o, pode ser utilizada como ferramenta para a estimativa do requerimento hídrico da soja na região edafoclimática de Cachoeira do Sul-RS.

Com o aumento da demanda global por alimentos, a soja tornou-se um dos grãos mais cultivados em todo o mundo. A safra de soja mundial em 2021/22 alcançou cerca de 356 bilhões toneladas em uma área cultivada de 130.935 milhões de hectares (EMBRAPA, 2023). Contudo, esta cultura tem tido sua produtividade limitada pelo déficit hídrico (ZANON *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2020), causado pela distribuição irregular das precipitações

pluviais e elevada demanda evaporativa da atmosfera (ZIPPER; QIU; KUCHARIK, 2016), recorrente na região Sul do País e com maior agravamento em anos de Lã Niña (BERLATO; FONTANA, 2003).

A necessidade hídrica da soja varia de 450 a 800 mm durante todo o ciclo fenológico, dependendo das condições climáticas do local (DOOREMBOS; KASSAM, 1994; ZANON *et al.*, 2018). Durante o ciclo da cultura da soja, é importante garantir que não haja déficit hídrico durante as fases críticas: fase de estabelecimento da cultura e fase reprodutiva (DOOREMBOS; KASSAM, 1994; THOMAS; COSTA, 2010; ZANON *et al.*, 2018).

Assim, a irrigação suplementar é uma prática fundamental para o bom desempenho produtivo da soja no estado (SENTELHAS *et al.*, 2015). Oliveira, Knies e Gomes (2020) observaram um incremento de 13 sacas ha^{-1} a mais de soja com o uso da irrigação suplementar em Cachoeira do Sul no ano agrícola 2019-20. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo realizar a simulação do balanço hídrico sequencial e da necessidade de irrigação para a cultura da soja em vinte anos agrícolas (2001 a 2022) na região edafoclimática de Cachoeira do Sul – RS.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A modelagem inicial foi realizada a partir de dados observados durante a realização de experimento de campo com a cultura da soja no ano agrícola 2021/22. O local da coleta de dados de solo e da cultura foi na Estação Experimental 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, altitude de 125 m), na depressão central do estado. O clima,

segundo Köppen, é definido como subtropical úmido (Cfa), predominante na região Sul. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013). A cultivar analisada foi a BMX Garra IPRO (Grupo de maturidade relativa 6.3).

O sistema de irrigação foi o de aspersão convencional (aspersores Agropolo NY 25), instalados com espaçamento de 12x12 m, com lâmina fixa de irrigação de 15 mm, aplicadas sempre que o esgotamento da capacidade de água disponível no solo (CAD) fosse de 40%. Na tabela 1 estão apresentados os valores de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) que resultam na capacidade de água disponível do solo (CAD) para cada camada avaliada de 0-60 cm do perfil do solo.

O monitoramento da disponibilidade água no solo, denominada de CAD atual foi realizado a partir determinação do conteúdo volumétrico de água utilizando um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific), cujos sensores foram instalados nas camadas de 0 a 30 cm e de 30 a 60 cm na área irrigada e na área de sequeiro. Sendo realizadas determinações em datas pontuais, pois o sistema não possui aquisição automática para a coleta e envio dos dados.

Os dados de chuva foram obtidos de um pluviômetro instalado na área experimental. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelo método FAO – PM a partir da estação meteorológica automática instalada na UFSM Cachoeira do Sul, cerca de 15 km do local do experimento. Utilizou-se para o cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) o K_c simples, com os seguintes valores: 0,15 (inicial), 1,15 (médio) e 0,3 (final). Para o ajuste da curva do K_c, utilizou-se a metodologia proposta por Allen *et al.* (1998) com a fração de cobertura do dossel (F_c).

Tabela 1. Caracterização da disponibilidade de água no perfil do solo.

Camada do perfil (cm)	Dados de solo		
	θ_{CC}	θ_{PMP}	CAD (mm)
00-20	0,284	0,13	30,8
20-40	0,314	0,15	32,8
40-60	0,357	0,17	37,4

Onde: θ_{CC} : unidade volumétrica na capacidade de campo (cm^3/cm^3); θ_{PMP} unidade volumétrica no ponto de murcha permanente (cm^3/cm^3); $\text{CAD} = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times \text{profundidade da camada (mm)}$.

Fonte: Autores.

A tabela 2 apresenta as datas de ocorrência e o percentual de fechamento do dossel utilizados para o ajuste da curva de Kc. Durante o ciclo de desenvolvimento da soja foram realizadas avaliações fenológicas

e a determinação da profundidade máxima de exploração do sistema radicular que foi de 60 cm de profundidade, determinada por meio de trincheira quando a cultura estava em estágio de R2 (plena floração).

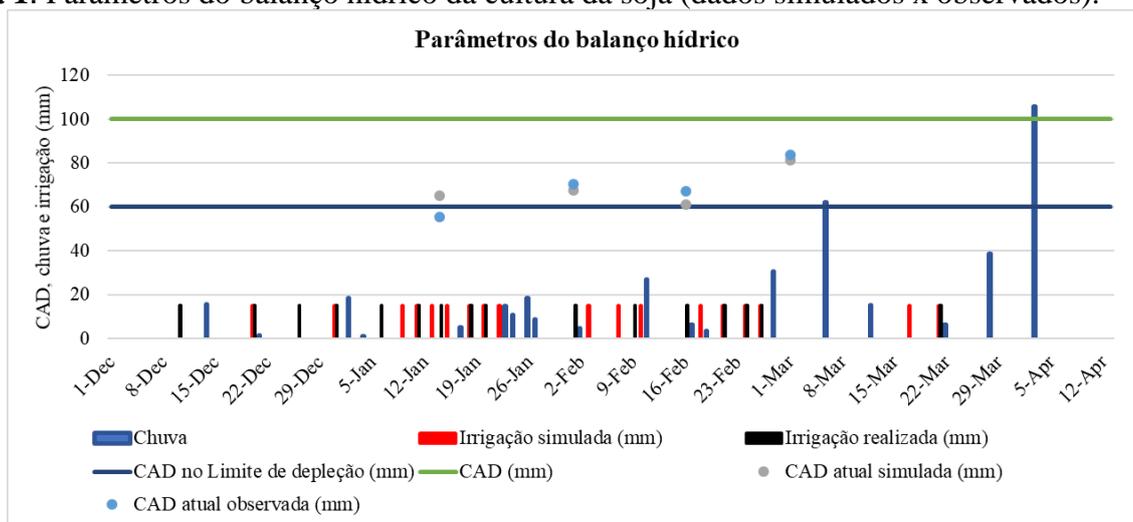
Tabela 2. Datas de ocorrência das principais etapas do ciclo de desenvolvimento necessárias para a calendarização da necessidade da irrigação.

Etapa	Data
Semeadura	30/11/2021
10% do fechamento da entrelinha de cultivo	15/12/2021
100% do fechamento da entrelinha de cultivo	12/01/2022
Início da senescência	15/03/2022
Colheita	14/04/2022

Fonte: Autores.

Os parâmetros relatados serviram como dados de entrada ao modelo CROPWAT, sendo informado ao modelo os seguintes parâmetros de entrada: clima - ETo (estimada pelo método FAO – PM), chuva obtida no local do experimento; cultura- profundidade mínima e máxima do sistema radicular, fixada em 10 e 60 cm, respectivamente, altura máxima da cultura de 100 cm, depleção crítica (fixada 40 mm e lâmina fixa de 15 mm), duração dos subperíodos de desenvolvimento da cultura conforme tabela 2; solo - total de água disponível entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Tabela 1) – 168 mm/m, máxima profundidade do sistema radicular de 60 cm (determinada em R2), e depleção inicial de 0 mm – determinada no dia da semeadura.

O software foi rodado para as mesmas condições que o trabalho de campo foi realizado e observou-se parâmetros simulados bem próximos ao estimados para a CAD e número e datas de irrigações (Figura 1). Após está simulação inicial (Figura 1) foram realizadas outras 20 simulações para todos os anos agrícolas entre 2001-2 e 2021-22, mantendo os parâmetros de modelagem no ano agrícola 2021-22 e alterando apenas as chuvas durante o ciclo da cultura. Os dados de chuva foram obtidos em série histórica de um produtor rural na localidade do Bosque Cachoeira do Sul, situada cerca de 10 km do local do experimento (2001-2016), de dados coletadas no próprio local de experimento e de dados da estação metrológica da UFSM – CS (2017 a 2022).

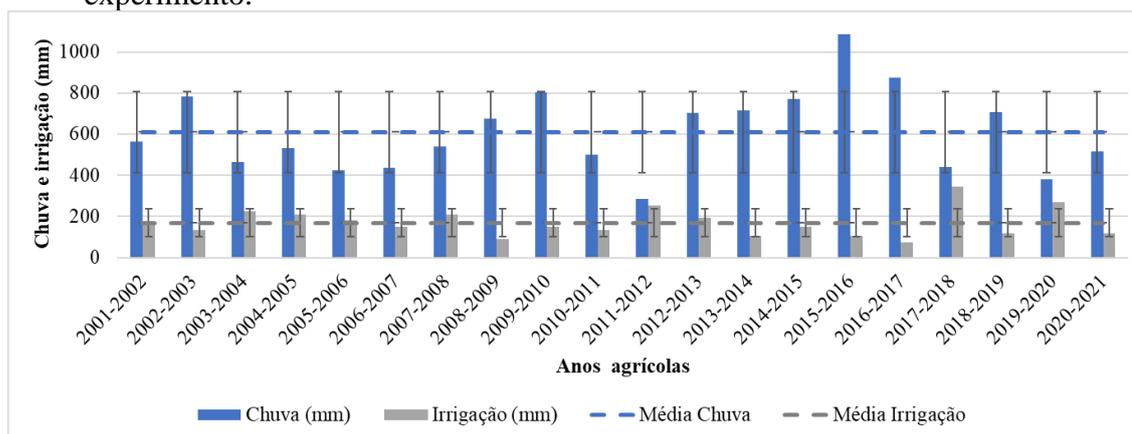
Figura 1. Parâmetros do balanço hídrico da cultura da soja (dados simulados x observados).

Fonte: Autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta os dados das chuvas observadas e das irrigações simuladas para os anos agrícolas de 2001-2002 a 2020-2021. As chuvas acumuladas para o ciclo de desenvolvimento da soja variaram entre 284 e 1084 mm, sendo a média dos valores de 610 mm. Os valores

médios de chuva observados são superiores ao da normal climatológica para Cachoeira do Sul de 473, 6 mm para 1/12 a 14/04 (INMET, 2023). Foram nove anos com chuvas acima da média dos dados, sendo cinco anos consecutivos entre 2012-13 e 2016-17 e, onze anos com chuvas abaixo da média, sendo cinco anos consecutivos entre 2003-04 e 2007-08.

Figura 2. Resultado de temperatura e radiação solar global para o período de condução do experimento.

Fonte: Autores.

A variação na lâmina de irrigação necessária para suplementar as chuvas foi entre 75 e 345 mm, em função da quantidade e distribuição das chuvas. Farias, Neumaier e Nepomuceno (2017), analisando dados

metrológicos de 1976 a 2008, para o RS, verificaram que apesar da quantidade total de chuvas durante todo o ciclo de desenvolvimento da soja ter atingido valores próximos a 700 mm, os rendimentos

alcançados não foram tão altos em função da má distribuição da precipitação, principalmente durante a fase mais crítica (período reprodutivo), limitando a obtenção de elevados rendimentos de grão.

Anos agrícolas com mais chuvas acumuladas não necessariamente demandaram menos irrigação (Tabela 3), isso ocorre em função de muitas vezes os eventos de chuvas serem concentrados, assim excede a CAD e perde-se mais água por escoamento superficial ou drenagem, tornando-se uma chuva não útil ao balanço hídrico da cultura. A exemplo, a comparação

entre dois anos secos (2005-06 e 2006-07) e dois anos úmidos (2013-14 e 2014-15) que apresentaram similaridade de chuvas acumuladas e valores distintos de escoamento superficial e lâmina de irrigações suplementar (Tabela 3). De acordo com Carlesso (2010), um adequado manejo de irrigação é aquele que determina quando e quanto irrigar, baseado na necessidade de água das culturas, nas características de solo e condições meteorológicas do ambiente de cultivo, visando otimizar a qualidade e quantidade da produção obtida.

Tabela 3. Resultados de parâmetros do balanço hídrico para a cultura da soja nos anos agrícolas de 2001-02 a 2020-21.

Ano agrícola	Chuva (mm)	Escoamento superficial (mm)	Irrigação (mm)	ETc (mm)	Déficit médio (mm)
2001-2002	564,0	92,0	165,0	512,6	29,8
2002-2003	784,0	299,7	135,0	516,7	26,5
2003-2004	464,0	164,4	225,0	496,5	37,4
2004-2005	533,0	136,7	210,0	501,6	34,7
2005-2006	425,0	66,4	180,0	511,0	35,0
2006-2007	436,0	22,7	150,0	513,8	30,0
2007-2008	542,0	92,0	210,0	508,2	33,7
2008-2009	674,0	194,5	90,0	535,9	29,8
2009-2010	801,0	219,5	150,0	520,9	35,5
2010-2011	499,0	71,4	135,0	514,8	32,2
2011-2012	284,0	30,8	255,0	481,3	39,6
2012-2013	705,0	287,8	195,0	516,5	28,6
2013-2014	717,0	133,3	105,0	527,8	27,9
2014-2015	772,0	308,8	150,0	526,4	30,0
2015-2016	1084,0	453,5	105,0	529,6	25,7
2016-2017	876,0	338,9	75,0	540,6	26,4
2017-2018	440,2	203,7	345,0	562,8	20,7
2018-2019	706,6	255,5	120,0	562,6	17,4
2019-2020	380,4	170,7	270,0	483,4	39,6
2020-2021	516,4	103,5	120,0	517,4	29,9

Fonte: Autores.

A variação nos valores de ETc acumulados durante o ciclo para os diferentes anos agrícolas (Tabela 3), são atribuídas ao fato de o modelo utilizar o coeficiente de estresse (Ks) para a redução

do Kc na medida que ocorre a redução da CAD. Segundo Allen *et al.* (1998), em condições de estresse hídrico, tem-se $K_s < 1$, quando há redução de disponibilidade de água no solo; do contrário, quando não há

efeito do estresse hídrico na transpiração dos cultivos, $K_s = 1$. Assim, este parâmetro tem atuação direta no K_c da cultura e impacta na ET_c , fazendo com que em anos úmidos a ET_c seja superior.

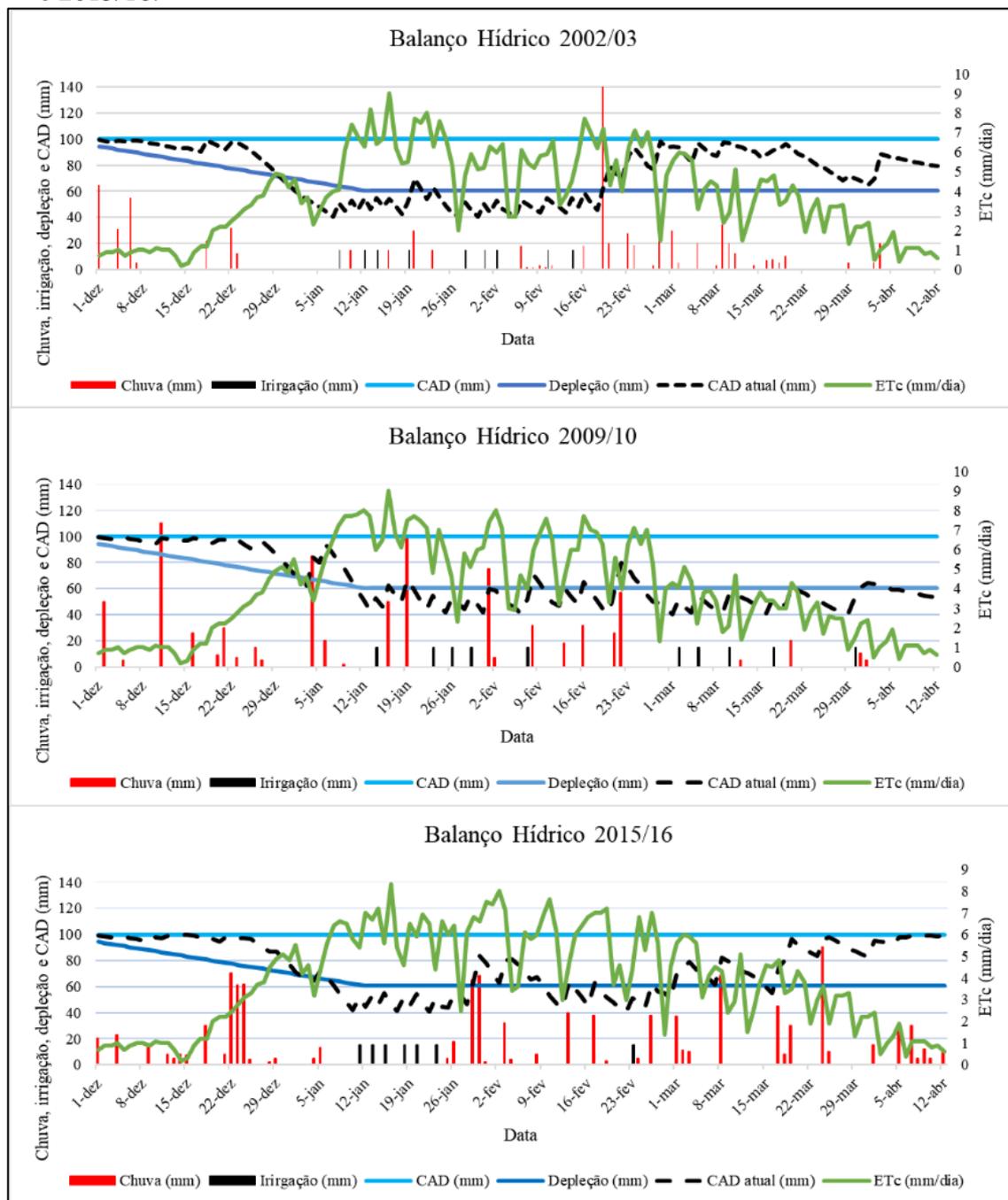
O déficit médio no armazenamento de água no solo (mm) ao longo do ciclo para os diferentes anos agrícolas (Tabela 3), também é variável, sendo este maior em anos mais secos e menor em anos mais úmidos. Embora, tenha sido estabelecido um valor fixo de esgotamento de água no solo para a modelagem, isto pode estar atrelado a distribuição das chuvas ao longo do ciclo. Pois, em condições de chuvas mais espaçadas o déficit vai até próximo ao limite esgotamento fixado. Porém, quando os eventos de chuvas são mais próximos, o suprimento hídrico é retomado à condição ideal, e o déficit é reduzido.

As figuras 3 e 4 apresentam o balanço hídrico sequencial para três anos úmidos (chuvas acima da média dos dados) e três anos secos (chuvas abaixo da média dos dados), respectivamente. As chuvas acumuladas foram de 784, 801 e 1084 mm para os anos agrícolas 2002-2003, 2009-2010 e 2015-2016, respectivamente, com

uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo (Figura 3). Ainda assim, nota-se eventos concentrados de chuvas que geram escoamento superficial (Tabela 3) e períodos com vários dias consecutivos sem chuvas.

No caso do ano agrícola 2002-2003 (Figura 3) foram 18 dias consecutivos sem chuvas na fase de rápido crescimento das plantas e 13 dias na fase reprodutiva (quando a ET_c é máxima), demandando 9 irrigações suplementares para manter o armazenamento de água no solo em níveis desejáveis. No ano agrícola 2009-2010, também teve um intervalo longo entre chuvas no período reprodutivo por duas vezes, uma vez 13 dias sem chuvas (em janeiro) e outra vez por 18 dias (em março), período crítico ao déficit hídrico, com impacto direto aos componentes de produtividade. No agrícola 2015-2016, o mais chuvoso da série de dados, ocorreu a necessidade de 7 irrigações suplementares concentradas no período que compreendeu duas fases do ciclo, a rápido crescimento da cultura e desenvolvimento médio, quando ficou 20 consecutivos dias sem chover (Figura 3).

Figura 3. Balanço hídrico sequencial da cultura da soja para os anos agrícolas 2002/03, 2009/10 e 2015/16.

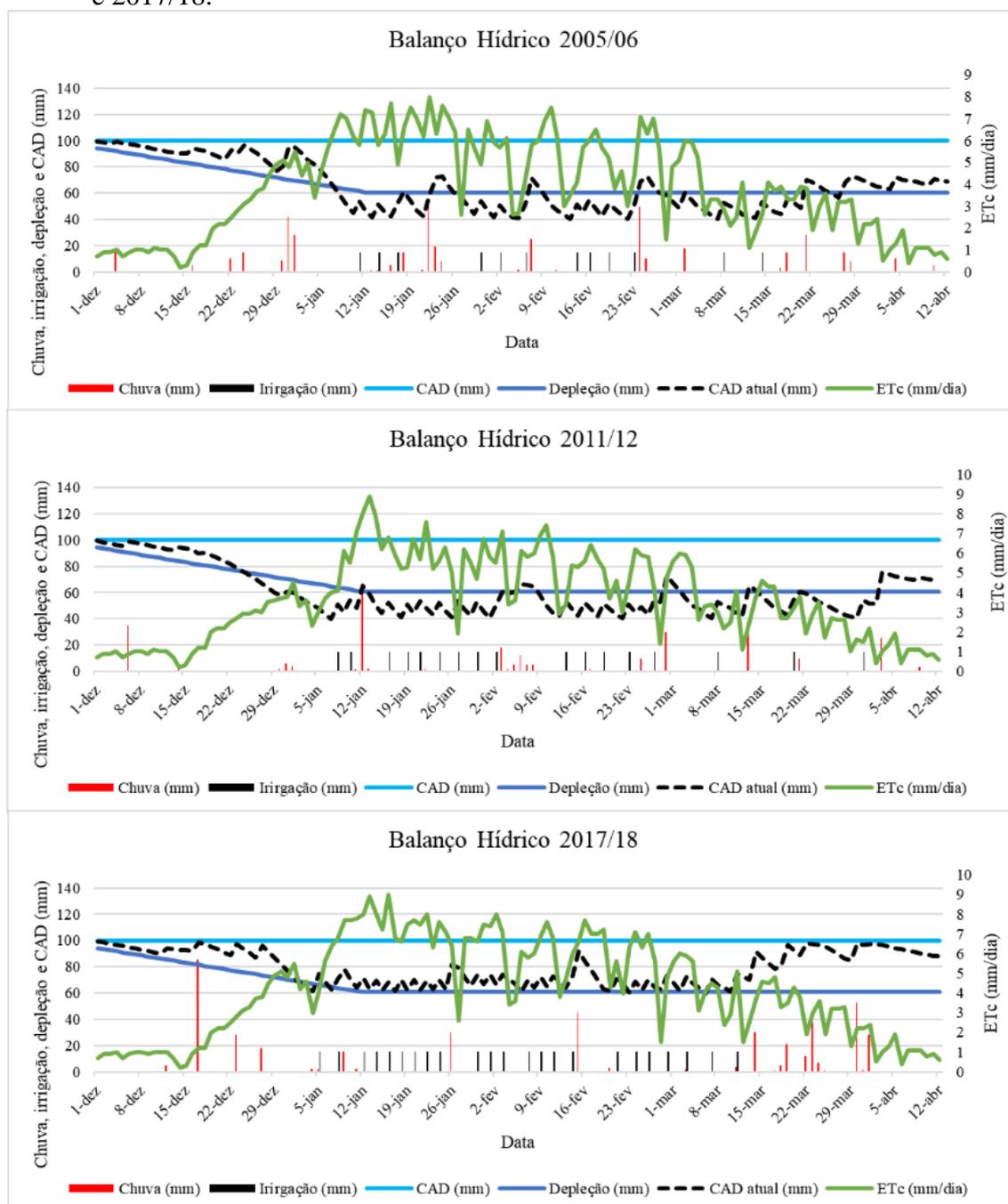


Fonte: Autores.

Para os anos com chuvas abaixo da média dos dados com 425, 284 e 440 mm em 2005-2006, 2011-2012 e 2017-2018, respectivamente (Figura 4), nota-se que além da baixa quantidade de chuvas, inferior a demanda da cultura, houve também, a concentração de eventos de chuvas que

geraram escoamento superficial (Tabela 3) e períodos longos sem chuvas, demandando de irrigações suplementares ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento para a manutenção da umidade em níveis desejados.

Figura 3. Balanço hídrico sequencial da cultura da soja para os anos agrícolas 2005/06, 2011/12 e 2017/18.



Fonte: Autores.

Dentre os anos secos exemplificados, o de 2005-2006 foi o que teve a melhor distribuição de chuvas, com a menor demanda por irrigação suplementar (12 irrigações). O ano de 2017-18 apresentou chuvas acumuladas muito similares ao 2005-2006, mas teve a maior parte das chuvas perdidas por escoamento superficial (203

mm), em função da distribuição próxima entre os eventos, quando o solo já estava com a CAD máxima. Assim, teve a maior necessidade de irrigação suplementar de toda a série de dados, totalizando 23 irrigações. O ano de 2011-2012 foi o que apresentou os menores valores de chuvas acumuladas (284 mm), ainda que com uma

boa distribuição e efetividade, mas insuficientes para suprir a demanda hídrica da cultura ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento, sendo fundamentais 17 irrigações para manter as condições de suprimento hídrico à cultura da soja.

Neste estudo o número de irrigação/ciclo variou de 5 a 23 (Tabela 4) com lâmina total de 75 a 345 mm (Tabela 3). Vivan (2010), estudando a resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS, identificou a necessidades de aplicação de lâmina de irrigação variando de 54,1 a 429,9 mm, em função da duração de ciclo e época de semeadura distintas.

A maior concentração de irrigações ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro, sendo a máxima demanda observada de 10 e 9 irrigações em janeiro e fevereiro,

respectivamente, no ano 2017-18 (chuvas abaixo da média dos dados). Indicando a importância do planejamento do reservatório para o armazenamento da água necessária para a irrigação suplementar nestes meses mais críticos. Assim, os resultados deste estudo servem como um indicativo da necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja na região de estudo, que poderá contribuir para o planejamento de reservatórios e de sistemas de irrigação. Ewaid, Abed e Al-Ansari (2019), estudando a programação e a necessidade da irrigação no sul do Iraque, concluíram que o modelo CROPWAT contribui para a compreensão das necessidades hídricas das culturas (trigo, cevada, sorgo e tomate) e para o planejamento dos recursos hídricos com mais eficiência.

Tabela 4. Resultados do número de irrigações por mês e total para o ciclo da cultura nos anos agrícolas de 2001-02 a 2020-21.

Ano agrícola	Nº de irrigação/mês do ciclo da soja				Soma
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	
2001-2002	6	5	0	0	11
2002-2003	6	3	0	0	9
2003-2004	6	4	4	1	15
2004-2005	5	6	3	0	14
2005-2006	4	6	2	0	12
2006-2007	6	4	0	0	10
2007-2008	7	6	1	0	14
2008-2009	2	3	1	0	6
2009-2010	4	1	5	0	10
2010-2011	6	1	2	0	9
2011-2012	8	6	2	1	17
2012-2013	6	6	1	0	13
2013-2014	4	3	0	0	7
2014-2015	0	5	5	0	10
2015-2016	6	1	0	0	7
2016-2017	0	4	0	1	5
2017-2018	10	9	4	0	23
2018-2019	2	4	1	1	8
2019-2020	5	8	5	0	18
2020-2021	4	2	1	0	7

Fonte: Autores.

4 CONCLUSÕES

Para Cachoeira do Sul - RS, para um período de vinte anos agrícolas foram observadas variações nas chuvas acumuladas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja entre 284 e 1084 mm e na demanda por irrigação suplementar entre 75 e 345 mm. Do total, ocorreram nove anos em que as chuvas estiveram acima da média registrada nos dados, o que resultou na necessidade média de 129 mm de irrigação e, onze anos as chuvas abaixo da média, exigindo uma quantidade maior de irrigação suplementar, em média de 205 mm. A necessidade de irrigação é influenciada pela distribuição regular, intensidade e quantidade das chuvas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, uma vez que isso afeta diretamente a eficiência na utilização da chuva no balanço hídrico da cultura.

5 REFÊRENCIAS

- 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. 2023.
- ARAÚJO, R. A.; PAIVA, J. R.; SILVA, E. P. Modelagem do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica utilizando o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 571-577, 2016.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CARLESSO, R. Manejo del riego y asesoramiento al regante: riego suplementario y siembra directa. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL POTENCIAL DEL RIEGO EXTENSIVO EN CULTIVOS Y PASTURAS, 1., Montevideo, 2010. **Anais [...]**. Montevideo: INIA La Estanzuela (LE), 2010. p. 103-114.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua em rendimento de los cultivos**. Campina Grande: UFPB, 1994. (FAO, Estudos de irrigação e drenagem, 33).
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Editora Embrapa, 2013.
- EMBRAPA. **Soja em número** (Safrá 2022/23). Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 2 ago. 2022.
- EWAID, S. H.; ABED, S. A.; AL-ANSARI, N. Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in Southern Iraq. **Water**, London, v. 11, n. 4, p. 1-12, 2019.
- FARIAS, J. R. B; NEUMAIER, N; NEPOMUCENO A. L. **Seca – Soja em Carência de água**. Londrina: Embrapa soja, 2017. Disponível em: https://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php?option=com_content&view=article&id=73%3Aexigencias-climaticas&catid=84&Itemid=435. Acesso em: 07 jun. 2019.

- INMET. **Normais climatológica do Brasil** – Período de 1961 a 1990. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 4 set. 2023.
- KNEŽEVIĆ, N.; PEROVIC, N.; ZIVOTIC, L.; IVANOV, M. Simulation of winter wheat water balance with CROPWAT and ISAREG modelos. **Agriculture & Forestry**, Podgorica. v. 59, n. 1, p. 41-53, 2013.
- 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, 2020.
- OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; BOTTEGA, E. L.; SILVA, C. M. Estimativa da demanda hídrica da soja utilizando modelo de balanço hídrico do solo e dados da previsão do tempo. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 492-507, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n3p492-507. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3973>. Acesso em: 8 set. 2023.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.
- PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 147, n. 1, p. 4-20, 2015.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 153, n. 1 p. 1394-1411, 2015.
- 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.
- VIVAN, G. A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- ZANON, A. J.; TAGLIAPIETRA, E. L.; SILVA, M. R.; CERA, J. C. **Ecofisiologia da soja** - Visando altas produtividades. 1. ed. Santa Maria: Field Crops, 2018.
- ZIPPER, S. C.; QIU, J.; KUCHARIK, C. J. Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes. **Environmental Research Letters**, Belmopan, Belize v. 11, n. 9, p. 1-12, 2016.