

## ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA DA SOJA UTILIZANDO MODELO DE BALANÇO HÍDRICO DO SOLO E DADOS DA PREVISÃO DO TEMPO

ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA<sup>1</sup>; ALBERTO EDUARDO KNIES<sup>2</sup>; EDUARDO LEONEL BOTTEGA<sup>1</sup> E CLARISSA MORAES DA SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 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, zanandra.oliveira@ufsm.br; eduardo.bottega@ufsm.br.

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Rio grande do Sul, Unidade de Cachoeira o Sul, Rua Sete de Setembro, 1040, Centro, CEP. 96508-010, Cachoeira do Sul/RS, Brasil, albertoek@gmail.com.

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Centro de Ciências Rurais, 3º andar, sala 3325, Campus Universitário, CEP.9105-900, Santa Maria/RS, Brasil, clarissamoraes37@outlook.com

### 1 RESUMO

A estimativa da demanda hídrica dos cultivos em tempo real e futuro pode contribuir para a maior eficiência do uso da água na agricultura irrigada. O presente estudo teve como objetivo estimar o requerimento hídrico da soja, utilizando o modelo de balanço hídrico CROPWAT com dados da previsão do tempo para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Para isso, o estudo foi conduzido em duas etapas: coleta de dados de solo, da previsão meteorológica e da cultura em três anos agrícolas: 2017/18, 2018/19 e 2019; modelagem das condições observadas a campo pelo modelo CROPWAT. A modelagem foi eficiente (d=0,99) para a estimativa da capacidade de água disponível no solo, apresentando baixo erro (RMSE = 2,18 mm) em comparação aos valores medidos a campo, resultando na recomendação da lâmina de irrigação igual à aplicada na cultura, sendo esta de 132, 135 e 60 mm, respectivamente, para os anos agrícolas 2017/18, 2018/19 e 2019. A utilização do modelo de balanço hídrico do solo CROPWAT com dados da previsão do tempo para o cálculo da evapotranspiração de referência pode ser utilizada como ferramenta para a estimativa do requerimento hídrico da soja na região edafoclimática de Cachoeira do Sul-RS.

**Keywords:** simulação do balanço hídrico, manejo da irrigação, previsão meteorológica.

**OLIVEIRA, Z.B.; KNIES, A.E.; BOTTEGA, E.L. SILVA, C.M.  
ESTIMATE OF SOY WATER DEMAND USING SOIL WATER BALANCE MODEL  
AND WEATHER FORECAST DATA**

### 2 ABSTRACT

Estimating the water demand for crops in real and future time can contribute to greater efficiency in the use of water in irrigated agriculture. The present study aimed to estimate the water requirement of soy using the water balance model CROPWAT with data from the weather forecast for the calculation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). For this, the study was conducted in two stages: collection of soil data, meteorological forecast and culture in three agricultural years: 2017/18, 2018/19 and 2019; modeling of the conditions observed in the field

by the CROPWAT model. The modeling was efficient ( $d = 0.99$ ) to estimate the available water capacity in the soil, presenting low error (RMSE = 2.18 mm) compared to the values measured in the field, resulting in the recommendation of irrigation depth equal to that applied to the crop, which is 132, 135 and 60 mm, respectively, for the agricultural years 2017/18, 2018/19 and 2019. The use of the CROPWAT soil water balance model with weather forecast data for the calculation of the Reference evapotranspiration can be used as a tool to estimate the water requirement of soybean in the edaphoclimatic region of Cachoeira do Sul-RS.

**Keywords:** simulação do balanço hídrico, manejo da irrigação, previsão meteorológica.

### 3 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul aparece em terceiro lugar no ranking entre os estados que mais produzem soja no Brasil. No ano de 2018, produziu 17,08 milhões de toneladas cultivadas em 5,71 milhões de hectares. Se considerada a evolução da cultura nos últimos 10 anos, houve uma ampliação de 112,92% na produção (EMATER, 2018a). Na região central do RS, destaca-se o município de Cachoeira do Sul, como segundo maior produtor do grão no estado, com uma área cultivada de 142,7 mil hectares, produzindo aproximadamente 390 mil toneladas (EMATER, 2018b).

O clima está entre os fatores de maior ação sobre a limitação às máximas produtividades para a cultura da soja (ZANON et al., 2018). O déficit hídrico é o maior causador da redução na produção das culturas de primavera-verão no Rio Grande do Sul (BERGAMASCHI et al., 2004), sendo causado pela distribuição irregular das precipitações pluviais e elevada demanda evaporativa da atmosfera (ZIPPER; QIU; KUCHARIK, 2016).

Estudando a estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul, Matzenauer, Barni e Maluf (2003) observaram que é frequente a ocorrência de deficiência hídrica durante o período crítico da soja, podendo-se esperar uma redução no rendimento de grãos de soja em nove a cada vinte safras. Doorenbos & Kassam (1994) consideram que os períodos de florescimento e de

formação da colheita da soja são os mais sensíveis ao déficit hídrico, particularmente a última parte do período de florescimento e o período de desenvolvimento da vagem. Nesse sentido, a irrigação é uma tecnologia que pode atenuar os efeitos da deficiência hídrica e assim, contribuir para o incremento de produtividade da cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul. No entanto, para que essa tecnologia cumpra com seu propósito, deve ser manejada de forma correta.

O manejo de irrigação é complexo, pois envolve o conhecimento de uma série de variáveis relacionadas ao equipamento de irrigação (lâmina de aplicação), ao solo (infiltração, armazenamento e disponibilidade de água), à cultura (profundidade do sistema radicular, altura de plantas, índice de área foliar, fator de cobertura de solo, entre outras) e às chuvas no local. Nesse sentido, o balanço hídrico do solo integra todas essas variáveis, sendo este um método de disponibilidade de água no solo, a qual se baseia na aplicação do princípio de conservação de massa (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997) e, permite observar a dinâmica de água no solo a partir do armazenamento, deficiência e excessos hídricos (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

Para a realização do balanço hídrico, é necessário determinar o consumo de água pelas plantas, denominado de evapotranspiração (ET) (ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser estimada a partir da evapotranspiração de referência (ETo) e do

coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) - ( $ET_c = ETo \times K_c$ ) (ALLEN et al., 1998). O método padrão para a estimativa da  $ETo$  é o desenvolvido por Penman-Monteith, que, após parametrização, passou a denominar-se Penman-Monteith FAO (FAO-PM) (ALLEN et al., 1998). O método FAO-PM, bastante aceito internacionalmente devido à sua elevada precisão em uma variabilidade de condições meteorológicas (XU & CHEN, 2005; YODER; ODHIAMBO; WRIGHT, 2005; LÓPEZ-URREA et al., 2006; JABLOUN & SAHLI, 2008; BARROS et al., 2009; ROCHA, 2011).

Além disso, está apresentado no boletim FAO 56, a atualização do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que é utilizado como uma integração das diferenças físicas e fisiológicas existentes entre a cultura em questão e a cultura de referência, podendo ser este um único coeficiente ( $K_c$  simples) ou um  $K_c$  dual, em que a evaporação e a transpiração são abordadas individualmente (ALLEN et al., 1998).

As estimativas da ET, que evoluíram com o passar dos anos de uma escala de tempo maior (mensal, quinzenal) para uma escala de tempo menor (diárias, horários) (ALLEN et al., 2005), tendem a evoluir para uma escala de tempo futura (PEREIRA et al., 2014), temática de alguns estudos (XU et al., 2012; SILVA; MEZA; VARAS, 2010; ER-RAKI et al., 2010; ISHAK et al., 2010; CAI et al., 2007; CAI et al., 2009; OLIVEIRA, 2015). Essa proposta apresenta-se como uma alternativa para o cálculo da  $ETo$  em regiões produtoras agrícolas não cobertas pela rede de observações meteorológicas (INMET e Centro de Previsão e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE), bem como para locais em que a utilização de estações meteorológicas automáticas não é possível, em razão do seu custo inicial e da infraestrutura necessária.

A estimativa da  $ET_c$  em escala futura, a partir do cálculo da  $ETo$  com dados da previsão do tempo, juntamente com

modelos computacionais que simulam o balanço hídrico, um exemplo é o modelo CROPWAT, desenvolvido pela FAO, com a finalidade de planejamento e monitoramento da irrigação e de suprimento de água para as áreas a serem irrigadas, podem ser estratégias para a determinação da demanda hídrica dos cultivos agrícolas em tempo real e futuro. Nessa proposta, pode-se prever com antecedência a entrega de água em um perímetro irrigado; o irrigante poderá fazer seu planejamento antecipado, evitando que vários equipamentos operem ao mesmo tempo; o manejo fitossanitário e nutricional das plantas poderá ser realizado de acordo com a prática de irrigação (quimigação e fertirrigação, por exemplo), que contribuem para a maior eficiência do uso da água na agricultura irrigada. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi estimar o requerimento hídrico da soja utilizando o modelo de balanço hídrico CROPWAT com dados da previsão do tempo para o cálculo da  $ETo$  na região edafoclimática de Cachoeira do Sul-RS

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três experimentos de campo com a cultura da soja em área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada no distrito de Três Vendas no município de Cachoeira do Sul - RS (29°53' S e 53°00' W, altitude de 125 m), na região central do estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas 2017/18, 2018/2019 e 2019. O clima da região é classificado como subtropical úmido, do tipo Cfa predominante na região sul (ALVARES et al., 2013). O solo da área experimental foi classificado como argissolo vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de faixas com parcelas subdivididas (cultivar x regime hídrico/irrigado e não irrigado) em quatro

repetições, com parcelas experimentais possuindo dimensões de 5 x 2,5 m. A cultivar utilizada foi a Nidera 4823 RR (NS 4823).

A semeadura foi realizada no dia 19 de novembro de 2017 para o ano agrícola 2017/18, no dia 21 de novembro de 2018 para o ano agrícola 2018/19 e no dia 11 de janeiro de 2019 para o ano agrícola de 2019, com um conjunto trator/semeadora, no sistema de plantio direto sobre aveia e nabo forrageiro. O espaçamento entrelinhas de cultivo foi de 50 cm e 14 plantas por metro linear (28 plantas m<sup>-2</sup>). Os demais manejos e tratamentos culturais seguiram as recomendações agrônomicas para a cultura da soja (CARAFFA et al., 2019).

A caracterização físico-hídrica do solo da área experimental foi realizada antes do cultivo do primeiro ano agrícola,

utilizando amostras de solo deformadas e indeformadas coletadas com o auxílio detrado castelinho nas camadas de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m de profundidade. As amostras foram enviadas para análise no Laboratório do Sistema Irriga, Departamento de Engenharia Rural da UFSM, sendo os principais resultados apresentados na Tabela 1.

No dia da semeadura, foram coletadas amostras deformadas de solo na camada de 0-20 cm para a determinação da umidade gravimétrica conforme a metodologia padrão (estufa). Posteriormente, a umidade gravimétrica foi multiplicada pela densidade do solo (Tabela 1) e pela espessura da camada (mm) para a obtenção do armazenado inicial de água no solo (mm).

**Tabela 1.** Resultado da caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Cachoeira do Sul, 2020.

Camadas (m)	Granulometria (%)			Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	Umidade volumétrica (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	
	Areia	Silte	Argila		CC	PMP
0,0 – 0,2	51,6	36,0	12,4	1,51	0,28	0,12
0,2 – 0,4	44,3	42,8	13,0	1,46	0,32	0,13
0,4 – 0,6	38,7	43,6	17,7	1,33	0,34	0,14

Em que: CC: umidade volumétrica ( $\theta_v$ ) no ponto da curva característica de água no solo de 10 KPa; PMP: umidade volumétrica no ponto da curva característica de água no solo de 1500 KPa.

O fator de disponibilidade hídrica (“f”) utilizado foi de 0,4 e de 0,65 para o estabelecimento da capacidade disponível de água real (CAD real = CAD\*f), sendo esta de 72 e 44 mm para os anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 – 2019, respectivamente. A escolha de valores diferentes de “f” foi para um estudo de produtividade da soja com diferentes condições de disponibilidade hídrica. Dessa forma, a cultura foi irrigada sempre que a depleção da CAD (Tabela 1) chegou a 40 mm e a 68 mm para os anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 - 2019, respectivamente. A profundidade de exploração do sistema radicular foi

determinada por meio de trincheira quando a cultura estava em estágio de R2, visualizando-se raízes em até 0,60 m de profundidade.

O método de irrigação utilizado foi a aspersão convencional, em que os aspersores (modelo Plona Pa 150 - 5 x 12 Mn) foram instalados no espaçamento de 6 x 6 m, com uma taxa de aplicação de 12 mm h<sup>-1</sup> a 15 mm h<sup>-1</sup>, dependendo do número de aspersores em funcionamento simultâneo, sendo as seguintes lâminas fixas aplicadas via irrigação: 12 mm (2017/18), 15 mm (2018/19) e 12 mm (2019). A determinação da necessidade de irrigação baseou-se na

metodologia proposta por Allen et al. (1998). A ETo foi estimada pelo método FAO – PM com dados meteorológicos faltantes, conforme realizado por Oliveira (2015) para a região de Santa Maria – RS. Os dados meteorológicos de temperatura do ar máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), velocidade do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ) foram obtidos diariamente da previsão do tempo, disponíveis no site: [www.tempoagora.com.br](http://www.tempoagora.com.br). Os dados de radiação solar ( $\text{KJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) foram estimados com dados de temperatura do ar conforme Allen et al. (1998), cuja metodologia pode ser visualizada passo a passo em Oliveira (2015).

Utilizou-se o Kc simples para o cálculo da ETc, com os seguintes valores: 0,15 (inicial), 1,15 (médio), 0,3 (final). Para o ajuste da curva do Kc, utilizou-se a metodologia proposta por Allen et al. (1998) com a fração de cobertura do dossel (Fc). A Fc foi estimada por meio de uma grade quadriculada de 0,50 x 0,50 m com malha de 0,10 x 0,10 cm, em que se obteve a cobertura do dossel em relação ao máximo que pode ocupar para aquele espaçamento entrelinhas e entre plantas.

Os dados de chuva (mm) foram obtidos de um pluviômetro instalado na área experimental. As chuvas e as irrigações foram consideradas entradas no sistema e a ETc foi considerada como saída. A percolação profunda não foi considerada para o cálculo do balanço hídrico. As chuvas que excederam a CAD real não foram consideradas no balanço hídrico, ou seja, não foram consideradas como chuva efetiva.

A determinação do conteúdo de água no solo foi realizada em alguns momentos do ciclo da cultura de acordo com a disponibilidade da instrumentação. Utilizou-se um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific), constituído por um *datalogger* (Modelo CR10X Campbell SCi), multiplexadores e sensores, os quais realizam a medida direta da umidade

volumétrica. Foram instalados dois sensores FDR, em uma parcela irrigada e uma não irrigada, de forma a explorar as camadas de 0 a 30 cm e de 30 a 60 cm de profundidade do perfil do solo que permaneceram fixos durante o ciclo da cultura, sendo apenas o *datalogger* móvel de acordo com as necessidades de medições.

A disponibilidade de água no solo (mm) no dia da leitura foi calculada pela subtração entre a umidade volumétrica do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) do dia e umidade volumétrica no PMP (Tabela 1), para as camadas do perfil do solo de abrangência dos sensores (0-30 e 30-60 cm) e posterior multiplicação pela espessura da camada (mm). A soma do armazenamento de água nas camadas do perfil do solo mensurada pelos sensores será denominada de CAD atual observada.

Os dados culturais de: fenologia, altura de plantas e Fc foram medidos semanalmente em duas plantas por parcela experimental, este último até o fechamento do dossel.

A partir dos dados coletados durante os experimentos de campo, o modelo CROPWAT foi rodado três vezes, uma para cada experimento (2017/18, 2018/19 e 2019). Para a programação das irrigações pelo modelo, foram utilizados os mesmos parâmetros que para o manejo da irrigação da cultura: depleção e lâminas fixas.

O modelo possuiu quatro interfaces para entrada de dados: clima/ ETo; chuvas; cultura; solo. Para a alimentação dos dados de clima/ ETo, a opção foi pelo cálculo diário da ETo pelo método Penman-Monteith com dados de temperatura do ar (máxima e mínima), sendo os demais estimados pelo modelo. Os dados diários de temperatura do ar (°C) informados ao modelo foram os obtidos na previsão meteorológica. Os dados de chuva informados ao modelo foram os coletados no local dos experimentos. A opção para a estimativa da chuva efetiva foi a proposta pelo *Soil Conservation* – USDA.

Os dados de entrada da cultura referem-se à: profundidade mínima e máxima do sistema radicular, fixada em 10 e 60 cm, respectivamente; altura máxima da cultura de 91, 84 e 55 cm para os anos agrícolas 2017/18, 2018/19 e 19,

respectivamente; depleção crítica (fixada em 65 e 40% - para anos agrícolas 2017/18, 2018/19 e 19, respectivamente); duração dos subperíodos de desenvolvimento da cultura (Tabela 2) para a evolução da curva do Kc.

**Tabela 2.** Duração (em dias) dos subperíodos de desenvolvimento da cultura para a evolução da curva do Kc. Cachoeira do Sul, 2020.

Subperíodo	Anos agrícolas		
	2017/18	2018/19	2019
Inicial (dias)	20	17	16
Desenvolvimento (dias)	26	26	13
Médio (dias)	34	33	34
Final (dias)	36	35	30

Os dados de solo referem-se a: total de água disponível entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Tabela 1) – 186 mm/m; máxima profundidade do sistema radicular de 60 cm; e depleção inicial de 105, 107 e 91 mm para os anos agrícolas 2017/18, 2018/19 e 2019, respectivamente – determinados no dia da semeadura.

Foram utilizados os seguintes resultados gerados pelo modelo CROPWAT após a simulação: chuva efetiva (mm), ETc (mm dia<sup>-1</sup>), déficit (mm) que foi transformado em variação no armazenamento de água no solo (mm) e necessidade de irrigação (mm). Os resultados de drenagem não são gerados pelo modelo, para isso foi feita a subtração entre entradas (chuvas, irrigação e variação no armazenamento de água no solo) e saídas (evapotranspiração e drenagem) = 0. Os resultados gerados foram plotados em gráficos para a análise do balanço hídrico do solo.

Os resultados de CAD observada (medida à campo) e CAD simulada pelo modelo foram comparados por indicadores estatísticos: coeficiente linear de regressão (b), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al. 1985). Os

valores de d podem variar de 0, para nenhuma concordância, a 1, para uma concordância perfeita. O b foi obtido através de regressão linear forçada à origem e utilizado para verificar a sub ou superestimação dos dados pelo modelo. O R<sup>2</sup> indica a correlação existente entre os dados observados e estimados, enquanto o RMSE é o erro propriamente dito, o qual objetiva um valor mais próximo de zero (MORIASI et al., 2007).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O balanço hídrico da cultura (Figura 1) demonstra irregularidade na distribuição e baixas quantidades de chuvas ao longo do ciclo da cultura da soja no ano agrícola 2017/18, em especial no período reprodutivo a partir dos 51 dias após a semeadura (DAS), em que a irrigação suplementar passa a suprir quase que totalmente a demanda hídrica da cultura.

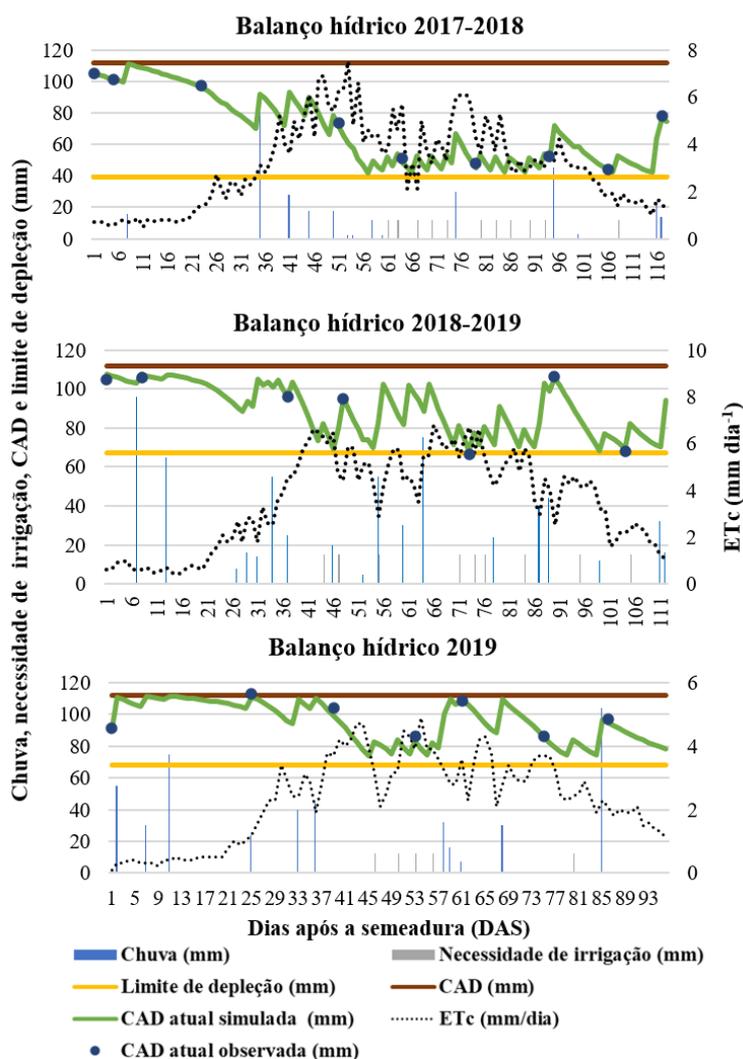
No ano agrícola 2018/19, houve uma melhor distribuição das chuvas que, associada ao manejo da irrigação proposto para esse ano, de menor esgotamento de água no solo, contribuiu para a manutenção da CAD atual em níveis elevados, com o número de irrigações similar ao do ano anterior.

Na semeadura de safrinha (ano agrícola 2019), nota-se uma boa distribuição e quantidade de chuvas na fase inicial e de rápido crescimento da cultura (até 37 DAS) e, posteriormente, um período de aproximadamente 20 dias sem chuvas, no qual a irrigação suplementar supre a demanda hídrica da cultura e contribui para manutenção da umidade do solo em níveis desejáveis. Os períodos críticos da cultura a falta de água são o estabelecimento da cultura (germinação e emergência) e a fase reprodutiva (THOMA & COSTA, 2010).

A duração do ciclo da cultura (Figura 1) foi muito parecida para os anos agrícolas 2017/18 (118 dias) e 2018/2019 (112 dias)

em função das datas de semeadura serem semelhantes (meados de novembro) e de ser na época preferencial para a cultura (BRASIL, 2018). Já a semeadura de safrinha (em 2019) resultou em um encurtamento do ciclo, em especial, os subperíodos inicial e de desenvolvimento, o que pode ser atribuído ao fotoperíodo e à redução na disponibilidade de radiação solar, características do período para a região. De acordo com Zanon et al. (2018), quando ocorre o atraso da época de semeadura preferencial (novembro a dezembro), observa-se uma redução da duração do ciclo dedesenvolvimento.

**Figura 1.** Balanço hídrico da cultura da soja simulado pelo modelo CROPWAT com dados da previsão do tempo para os três anos agrícolas. Cachoeira do Sul, 2020.



Na Tabela 3 estão apresentados os componentes do balanço hídrico para o manejo da irrigação da cultura realizado e o

simulado pelo modelo CROPWAT para as mesmas condições.

**Tabela 3.** Componentes do balanço hídrico utilizado para o manejo da irrigação da cultura da soja e simulados pelo modelo CROPWAT para os anos agrícolas 2017/18, 2018/19 e 2019. Cachoeira do Sul, 2020.

<b>Componentes do balanço hídrico</b>	<b>2017-18</b>	<b>2018-19</b>	<b>2019</b>
<b>Utilizada para o manejo da irrigação</b>			
ETc (mm)	354,0	389,0	216,0
Chuva total (mm)	324,0	632,0	457,0
Irrigação (mm)	132,0	135,0	60,0
<b>Simulado</b>			
ETc (mm)	360,9	394,0	222,9
Chuva efetiva (mm)	298,0	315,4	273,0
Irrigação (mm)	132,0	135,0	60,0
Drenagem (mm)	31,7	43,0	97,2
Variação no armazenamento (mm)	-37,4	-13,4	-12,9

Pequenas diferenças na ETc utilizada para o manejo da irrigação da cultura e a estimada pelo modelo podem ser atribuídas ao fato de o modelo utilizar apenas a temperatura do ar para o cálculo da ETo e estimar as demais variáveis meteorológicas. Por outro lado, no manejo da irrigação utilizaram-se todas as variáveis disponíveis na previsão do tempo. Oliveira (2015), utilizando dados da previsão do tempo para a estimativa da ETo em Santa Maria (RS), Cristalina (GO) e Morrinhos (GO), verificou que a mesma é superestimada ( $>0,04$  e  $<0,72$  mm dia<sup>-1</sup>) e atribui isso à superestimativa da temperatura máxima do ar pela previsão do tempo.

Nesse caso, pode haver uma superestimativa maior da ETo pelo modelo CROPWAT por utilizar apenas dados de temperatura do ar. Contudo, o modelo utiliza 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

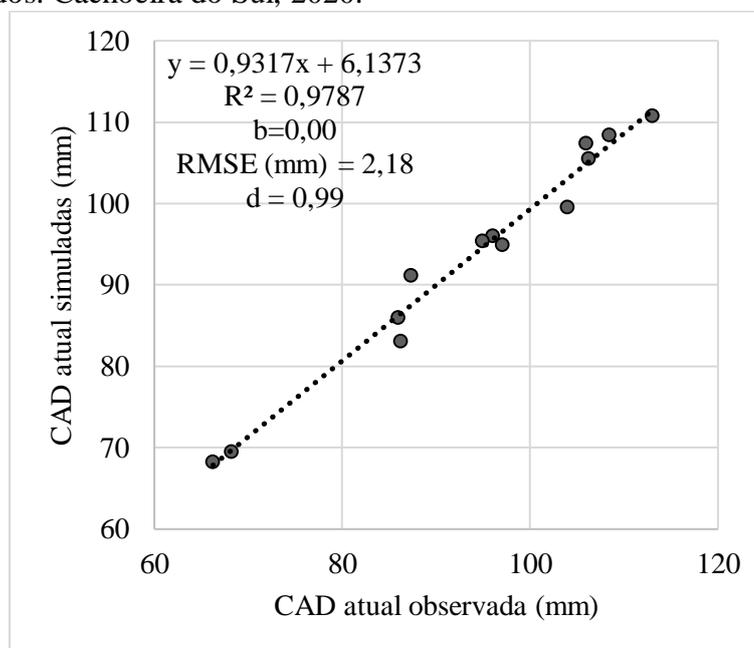
água no solo; do contrário, quando não há efeito do estresse hídrico na transpiração dos cultivos,  $K_s = 1$ . De acordo com os autores, esse parâmetro tem atuação direta no Kc da cultura. Desse modo, a possível superestimativa da ETo pode ter sido compensada com a redução do Ks, resultando em valores muito aproximados de ETc estimada pelo modelo e a utilizada.

Vozhehova et al. (2018), em estudo realizado na Ucrânia, avaliaram a precisão do modelo CROPWAT na estimativa da ETc e da necessidade de irrigação, verificando superestimativa de 15,86% na ETc do milho irrigado por aspersão. Os autores indicam a necessidade de calibração prévia do modelo.

Neste estudo, observa-se uma boa concordância entre os valores de CAD atual observada e CAD atual simulada pelo modelo durante o ciclo da cultura para os três anos agrícolas (Figura 1). Mesmo não havendo exatidão na estimativa da ETc, a contribuição das chuvas na reposição da CAD, faz com que tenha esse bom ajuste

entre valores observados e estimados (Figura 2).

**Figura 2.** Valores de CAD observados nos anos agrícolas (2017/18, 2018/19 e 2019) e simulados para as condições observadas a campo pelo modelo CROPWAT. Indicadores estatísticos ( $R^2$ , b, RMSE e d) para a comparação entre valores observados e estimados. Cachoeira do Sul, 2020.



Os indicadores estatísticos (Figura 2) demonstram elevada correlação entre dados observados e estimados de CAD ( $R^2 = 0,97$ ), bem como elevada eficiência ( $d=0,99$ ) da estimativa da CAD com um baixo RMSE (2,18 mm). O RMSE obtido representa 1,94% da CAD. Martins et al. (2013), simulando o balanço hídrico para a cultura do milho na região sul do Brasil com o modelo SimDualKc obteve valores de RMSE variando entre 2 a 3,3% da CAD. Antonello (2019), trabalhando com a simulação do balanço hídrico do solo para a cultura da soja na região do planalto do RS, também utilizando o modelo SimDualKc, obteve para a CAD atual simulada em comparação a observada RMSE de 4,43 mm. Knezevic et al. (2013), simulando o balanço hídrico para o trigo em Bijelo Polje-Montenegro concluem que o balanço hídrico foi simulado com sucesso pelos modelos CROPWAT e ISAREG.

Dessa forma, o modelo de balanço hídrico CROPWAT com dados da previsão do tempo para o cálculo da ETo demonstrou-se uma ferramenta eficiente, resultando na recomendação da lâmina de irrigação igual à aplicada na cultura obtida pelo método da FAO (ALLEN et al., 1998), sendo esta de 132, 135 e 60 mm, respectivamente, para os anos agrícolas 2017/18, 2018/19 e 2019 (Tabela 3). Oliveira (2018), comparando as irrigações realizadas com dados meteorológicos medidos com as irrigações estimadas utilizando dados da previsão do tempo para a cultura do milho na região do Planalto do RS, observou que o número de irrigações recomendadas ao longo do ciclo com a ETo calculada com dados meteorológicos medidos foi igual ao número de irrigações estimadas com a ETo calculada com dados da previsão meteorológica (oito irrigações).

Esses resultados são de grande relevância, pois o modelo CROPWAT é de

fácil operação (plataforma amigável), de um número reduzido de variáveis de entrada e que possibilita a utilização de dados da previsão do tempo para o cálculo da ETo, sendo uma alternativa para locais onde não há coleta de dados meteorológicos. Ferreira et al. (2006), em testes comparativos de produtividade relativa da cultura (YRT), evapotranspiração real (ETr) e depleção de água na zona radicular (Dr), utilizando, entre outros, o programa CROPWAT, verificaram que os resultados estiveram muito próximos para YRT e ETr totalizadas para o ciclo da cultura do milho. 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.

No ano de 2017/18, as chuvas ficaram abaixo do necessário para suprir a demanda da cultura, razão pela qual tem-se uma maior redução do armazenamento de água no solo e uma ETc acumulada menor nesse ano em comparação ao ano de 2018/19 (Tabela 3), ambos com duração do ciclo bem parecida. Para a semeadura de safrinha (2019), as características meteorológicas do período de menor demanda atmosférica (menor ETo) e a redução no ciclo impactam em menores valores de ETc acumulada, comparada à semeadura de safra 2017/18 e 2018/19.

No ano agrícola 2017/18 há o maior aproveitamento da chuva como chuva efetiva e tem-se as menores perdas de água por drenagem (Tabela 3). Nos anos 2018/19 e 2019, em função do maior volume de chuvas e da realização de irrigações para manter a CAD em níveis elevados, tem-se maiores perdas por drenagem (Tabela 3).

No agrícola de 2017/18 as chuvas acumuladas na fase inicial e de rápido desenvolvimento são suficientes para suprir a demanda hídrica da cultura nesses

subperíodos do ciclo (Tabela 4). Contudo, dos 56 aos 83 dias após a semeadura (DAS), período de alta demanda evapotranspirométrica (até  $7,5 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e de redução de chuvas, a CAD atual permanece muito próxima ao limite de depleção, demandando 7 irrigações suplementares, embora, com o aumento do volume das chuvas na fase final do ciclo (85 mm), as irrigações suplementares (quatro irrigações na fase final) são necessárias para manter o armazenamento de água no solo em níveis desejáveis.

No ano agrícola 2018/19, as irrigações iniciaram aos 41 DAS com maior concentração entre os 66 e 76 DAS, quando se observa maior redução da CAD atual (Figura 1) em função da maior demanda da cultura, em que a ETc atinge  $6,8 \text{ mm dia}^{-1}$  e valores acumulados nesse período (médio) de 211,3 mm maiores que a chuva acumulada no período de 209,0 mm (Tabela 4). A redução do armazenamento de água no solo, variação negativa, vem do período anterior (rápido desenvolvimento) em função da crescente demanda evapotranspirométrica da cultura ( $6,6 \text{ mm dia}^{-1}$ ), porém por ser esse um período mais curto que o período de desenvolvimento médio, a demanda de irrigação é menor (apenas 1 irrigação de 15 mm) (Tabela 4).

Na safrinha (2019), a boa distribuição e quantidades de chuvas nos subperíodos inicial e de rápido desenvolvimento superam a demanda hídrica da cultura, fazendo com que as irrigações estejam concentradas no período de 45 a 61 DAS. Essa menor demanda por irrigação suplementar na safrinha em comparação à semeadura de safra está de acordo com outros estudos (FRANKE & DORFMAN, 2000; MATZENAUER; BARNI; MALUF, 2003; VIVAN, 2010; FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2017), contudo a irrigação é fundamental para o suprimento hídrico da cultura na fase reprodutiva (Figura 1, Tabela 4).

A ETC inicia próxima a 1,0 mm dia<sup>-1</sup> na fase inicial e segue com incremento crescente a até 7,5 mm dia<sup>-1</sup> na fase de desenvolvimento reprodutivo (Tabela 4). De acordo com Thomas & Costa (2010), a demanda por água aumenta progressivamente com o desenvolvimento da cultura da soja, atingindo o máximo no florescimento até o início da formação de legumes e se mantém alta até a maturação.

Verifica-se, para os três anos agrícolas, uma redução do volume de chuvas e má distribuição delas no período reprodutivo em que a demanda hídrica da cultura é elevada, evidenciando a importância da irrigação suplementar para a produtividade da cultura. Matzenauer, Barni e Maluf (2003) afirmam que é frequente a ocorrência de deficiência hídrica durante o período crítico da soja no RS.

**Tabela 4.** Chuvas e irrigações acumuladas (mm), evapotranspiração da cultura máxima (mm dia<sup>-1</sup>) e acumulada (mm) e variação no armazenamento de água no solo (mm), nos quatro subperíodos do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja (inicial, de rápido desenvolvimento, médio e final) em três anos agrícolas. Cachoeira do Sul, 2020.

Período	ETc máxima (mm dia <sup>-1</sup> )	ETc acumulada (mm)	Variação do armazenamento (mm)	Chuva acumulada (mm)	Irrigação acumulada (mm)
<b>2017-2018</b>					
Inicial	0,9	14,6	-5,0	16,0	0,0
Rápido desenvolv.	6,9	109,1	-26,7	149,0	0,0
Médio	7,5	147,0	-22,2	48,0	84,0
Final	4,2	90,2	22,8	85,0	48,0
<b>2018-2019</b>					
Inicial	1,0	13,0	-4,1	161,0	0,0
Rápido desenvolv.	6,6	83,3	-21,3	108,0	15,0
Médio	6,8	211,3	-9,8	209,0	90,0
Final	4,6	86,4	20,1	128,0	30,0
<b>2019</b>					
Inicial	0,8	8,40	16,30	160,0	0,0
Rápido desenvolv.	3,4	24,2	3,90	64,0	0,0
Médio	4,9	119,7	-21,4	99,0	48,0
Final	3,7	70,6	20,9	134,0	12,0

Farias, Neumaier & Nepomuceno (2017), analisando dados meteorológicos 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 drasticamente a obtenção de elevados

rendimentos de grão. Vivan (2010), estudando a resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS, identificou a importância de complementação hídrica, com necessidades de aplicação de lâmina de irrigação variando de 54,1 a 429,9 mm, sendo que as culturas com duração de ciclo médio e tardio e semeadura em 15/12 necessitaram de menores lâminas de irrigação suplementar

comparadas às demais combinações simuladas.

## 6 CONCLUSÃO

A utilização do modelo de balanço hídrico do solo CROPWAT com dados da previsão do tempo para o cálculo da evapotranspiração de referência pode ser utilizada como ferramenta para a determinação do requerimento hídrico da soja na região edafoclimática de Cachoeira do Sul - RS, apresentando eficiência

( $d=0,99$ ) para a estimativa da capacidade de água disponível no solo com baixo erro (RMSE = 2,18 mm).

A necessidade de irrigação suplementar na soja é variável em função da época de semeadura, da distribuição das chuvas e do manejo de irrigação previsto, de maior ou menor esgotamento da água no solo, sendo as seguintes lâminas totais observadas para esse estudo na região edafoclimática de Cachoeira do Sul - RS: 132 mm (2017/18 - safra), 135 mm (2018/19 - safra) e 60 mm (2019 - safrinha).

## 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998, 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em:

<<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

ALLEN, R. G.; CLEMMENS, A.J.; BURT, C.M.; SOLOMON, K.; O'HALLORAN, T. Prediction Accuracy for Project wide Evapotranspiration Using Crop Coefficients and Reference Evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Nebraska, v.131, n.1, p. 24-36, 2005.

ALVARES, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, G.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Alemanha, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANTONELLO, M. C. **Simulação do balanço hídrico e rendimento de grãos da soja em condições irrigada e de sequeiro no Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (Dissertação). Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais. Pg 1-66, 2019.

BARROS, V. R.; SOUZA, A.P.; FONSECA, D.C.; SILVA, L.D.B. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, D.A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, V. M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria Nº 154:** Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de soja no Estado do Rio Grande do Sul - Ano-safra 2018/2019. Brasília, DF: MAPA, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/safra-vigente/rio-grande-do-sul>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CAI, J. B.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L.S. Estimating reference evapotranspiration with FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 145, n. 01-02, p. 22-35, 2007.

CAI, J. B.; LIU, Y.; XU, D.; PAREDES, P. Simulation of the soil water balance of wheat using daily weather forecast messages to estimate the reference evapotranspiration. **Hydrology and Earth System Sciences**, Alemanha, v.13, n.7, p.1045–1059, 2009.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CARAFFA, M.; PIRES, J.L.F.; RUGERI, A.P.; RIFFEL, C.T.; HARTEK, L.S.H.; DANIELOWSKI, R.; PIZZANI, R (Org.). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2018/2019 e 2019/2020**. Três de Maio-RS: Setrem, p.105, 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeitos da água no rendimento das culturas** (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). Roma: FAO, 1994. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed, 353p, Brasília, DF: Editora Embrapa, 2013.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL – EMATER/RS. 2018a. **Emater divulga dados oficiais da colheita de soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre Disponível em: [http://www.emater.tche.br/site/info-agro/acompanhamento\\_safra.php#.X6FpIGhKjIU](http://www.emater.tche.br/site/info-agro/acompanhamento_safra.php#.X6FpIGhKjIU). Acesso em: 12 dez. 2019.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Emater divulga dados oficiais da colheita de soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2018a. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/emater-divulga-dados-oficiais-da-colheita-de-soja-no-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 12 dez. 2019.

ER-RAKI, S.; CHEHBOUNI, A.; KHABBA, S.; SIMONNEAUX, V.; JARLAN, L.; OULBBA, A.; RODRIGUEZ, J.C.; ALLEN, R. Assessment of reference evapotranspiration methods in semi-arid regions: can weather forecast data be used as a alternate of ground meteorological parameters? **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v.3, n. 12, p. 1-10, 2010.

EWALD, S.H.; ABED, S.A.; AL-ANSARI, N. Crop Water Requirements and Irrigation Schedules for Some Major Crops in Southern Iraq. **Water**, Basel, Switzerland, v.756, n. 11, p.2-12, 2019.

- FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja em carência de água: exigências climáticas. 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](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.
- FERREIRA, P. A.; BORGES JÚNIRO, J.C.F.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C, L.T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte II: testes e aplicação. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**. Campina Grande, v. 10, n.4, p. 783-791,2006.
- FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília-DF, v. 35, n. 8, p. 1675-1683, 2000.
- ISHAK, A.M.; BRAY, M.; REMESAN, D.H. Estimating reference evapo-transpiration using numerical weather modelling. **Hydrological Processes**, United Kingdom, v.24,n.24, p.3490–3509, 2010.
- JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Netherlands. v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.
- 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.
- LOPEZ-URREA, R.; OBALLA, M.S.; FABEIRO, C.; MORTALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amisterdam. v.85, n.1/2, p.15–26, 2006.
- MARTINS, J. D, RODRIGUES, G.C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z.B.; KNIES, A.E.; PETRY, M.T.; PEREIRA, L.SDual crop coefficients for maize in southern Brazil: Model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, Germany, v.115, n.3, p. 291 - 310, 2013.
- 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.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **PORTARIA Nº 154**. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de soja no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2018/2019. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/safra-vigente/rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MORIASI, D.; ARNOLD, J.; LIEW, M.W.V.; BIGNER, R. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, Raleigh, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

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. Rendimento de grãos de milho irrigado por gotejamento subterrâneo e estimativa da irrigação com dados da previsão do tempo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã-SP, v. 12, n.1, p. 40-51, 2018.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183p, 1997.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R.G.; SMITH, M.; RAES, R. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**. Elsevier, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>, 2014. Acesso em: 29 jan. 2020.

ROCHA, E.T.; MEDEIROS, E.; JÚNIOR FUCK, S.C.F.; GONDIM, R.S. Estimativa da ETo pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 42, n. 1, p. 75-83, jan-mar, 2011.

SILVA, D.; MEZA, F.J.; VARAS, E. Estimating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) using numerical weather forecast data in central Chile. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 382, n1-4, p. 64–71, 2010.

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.

VIVAN, G. A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS**. 2010. 87 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.

VOZHEHOVA, R.A.; LAVRYNENK, Y.O.; KOKOVIKHIN, S.; LYKHOVYD, P.V.; BILIAIEVA, I.M.; DROBITKO, A.V.; NESTERCHUK, V.V. Assessment of the CROPWAT 8.0 software reliability for evapotranspiration and crop water requirements calculations. **Journal of Water and Land Development**, Poland, v.39, n X-XII, p; 147-152, 2018.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J.J; KNINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, A.C. Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.0, n.C5, p.8995-9005, 1985.

XU, C.Y.; CHEN, D. Comparison of estimation seven models of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 19, n. 18, p. 3717- 3734, 2005.

XU, J. Z.; PENG, S.Z.; YANG, S.H.; LUO, Y.F.; WANG, T.L. Predicting daily evapotranspiration in a Humid region of China by the locally calibrated Hargreaves-Samani equation using weather forecast data. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Iran, v.14,n.6, p.1331-1342, 2012.

YODER, R. E.; ODHIAMBO, L. O.; WRIGHT, W. C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 2, p. 197-202, 2005.

ZANON, A. J.; SILVA, M. R., TAGLIAPIETRA, E.L.; CERA, J.C **Ecofisiologia da soja- Visando altas produtividades**. 1° ed. Santa Maria: [n.s.], 2018. ISBN: 978-85-54856-14-4. 136p.

ZIPPER, S. C.; QIU, J.; KUCHARIK, C. J. Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes. **Environmental Research Letters**, United Kingdom, v.11, n.9, p.1-12, 2016.