

PARTIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES CULTIVARES EM CADA ESTÁDIO FENOLÓGICO

ANTÔNIO AUGUSTO PINTO ROSSATTO¹; JARDEL HENRIQUE KIRCHNER²;
JULIANO DALCIN MARTINS³; LEONARDO SEIBEL SANDER⁴; WILLIAM
NATHANIEL BATTU DO AMARAL⁵ E MIRTA TERESINHA PETRY⁶

¹ Eng. Agrônomo, Instituto Federal Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua Nelsi Ribas Fritsch, 1111 - Esperança, Ibirubá, RS, 98200-000, antonio_rossatto@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, Doutor, Professor do Instituto Federal Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua. Nelsi Ribas Fritsch, 1111 - Esperança, Ibirubá, RS, 98200-000, jardel.kirchner@ibiruba.ifrs.edu.br.

³ Eng. Agrônomo, Doutor, Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Avenida Roraima, nº1000, bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97195-000, juliano.martins@ufsm.br.

⁴ Eng. Agrônomo, Instituto Federal Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua. Nelsi Ribas Fritsch, 1111 - Esperança, Ibirubá, RS, 98200-000 leonardo.sander@ibiruba.ifrs.edu.br

⁵ Acadêmico de Agronomia. Instituto Federal Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua. Nelsi Ribas Fritsch, 1111 - Esperança, Ibirubá - RS, 98200-000, williamnathanielbattudoamaral@gmail.com.

⁶ Eng. Agrônoma, Doutora, Professora Titular do Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Avenida Roraima, nº1000, bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97195-000, mirta.petry@gmail.com

1 RESUMO

A soja é a principal cultura no Brasil, tanto em área, como em volume produzido. As condições meteorológicas durante o ciclo têm considerável efeito sobre o rendimento, principalmente relacionadas às precipitações ao longo do ciclo de desenvolvimento. O suprimento de água via irrigação suplementar requer o conhecimento da evapotranspiração da cultura (ET_c) para que o manejo dos recursos hídricos seja racional, com conhecimento sobre a evaporação e a transpiração. Teve-se por objetivo no presente trabalho fracionar a ET_c em transpiração da cultura (T_c) e evaporação do solo (E_s) por estágio fenológico, para diferentes cultivares de soja, em condição irrigada e de sequeiro. O experimento foi conduzido a campo, na área didático-experimental do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Ibirubá/RS durante a safra 2018/2019, em dois regimes hídricos (sequeiro e irrigado), utilizando quatro cultivares de soja (Raio IPRO, Elite IPRO, Lança IPRO, Ícone IPRO). O modelo SIMDualKc foi utilizado para simular o balanço hídrico, particionando os valores de ET_c nos estádios fenológicos e condições de cultivo. Observou-se maior ET_c ($T_c + E_s$) para as cultivares de soja irrigada, em comparação às mesmas cultivares em regime de sequeiro. O particionamento da ET_c nos diferentes estádios fenológicos, permitiu observar diferentes comportamentos de E_s e T_c entre as cultivares, principalmente durante os estádios de germinação-emergência e florescimento-enchimento de grãos, sendo o modelo SIMDualKc eficaz no estabelecimento do regime hídrico da cultura da soja, bem como, na representação das frações de E_s e T_c .

Palavras-chave: *Glycine max*, irrigação, evaporação do solo, transpiração da cultura, estádios fenológicos.

**ROSSATTO, A. A. P.; KIRCHNER, J. H.; MARTINS, J. D.; SANDER, L. S.;
AMARAL, W. N. B.; PETRY, M. T.
PARTITION OF EVAPOTRANSPIRATION OF SOYBEAN CULTURE IN
DIFFERENT CULTIVARS IN EACH PHENOLOGICAL STADIUM**

2 ABSTRACT

Soy is the main crop in Brazil, both in area and in volume produced. Meteorological conditions during the cycle have a considerable effect on yield, mainly related to rainfall during the development cycle. The supply of water via supplementary irrigation requires knowledge of crop evapotranspiration (ET_c) so that the management of water resources is rational, with knowledge about evaporation and transpiration. The objective of the present work was to fractionate the ET_c in transpiration of the crop (T_c) and evaporation of the soil (E_s) by phenological stage, for different soybean cultivars, under irrigated and rainfed conditions. The experiment was conducted in the field, in the didactic-experimental area of the Federal Institute of Rio Grande do Sul - Ibirubá / RS during the 2018/2019 harvest, in two water regimes (rainfed and irrigated), using four soybean cultivars (Raio IPRO, Elite IPRO, Launches IPRO, IPRO Icon). The SIMDualKc model was used to simulate the water balance, partitioning the ET_c values in the phenological stages and cultivation conditions. The higher ET_c (T_c + E_s) was observed for irrigated soybean cultivars, compared with the same cultivars under rainfed conditions. The partitioning of ET_c, in the different phenological stages, allowed to observe different behaviors of E_s and T_c among the cultivars, mainly during the stages of germination-emergence and flowering-filling of grains, the SIMDualKc Model is effective in establishing the water regime of the crop. soybean, as well as, in the representation of the E_s and T_c fractions.

Keywords: *Glycine max*, irrigation, soil evaporation, crop transpiration, phenological stages.

3 INTRODUÇÃO

A produtividade da soja é altamente dependente de fatores ambientais, e o déficit hídrico é o principal fator que afeta o seu rendimento, uma vez que a cultura demanda de cerca de 650 mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento para atingir produtividades condizentes com a expectativa (SENTELHAS et al., 2015). Outros fatores, como o manejo do solo e das plantas, época de semeadura adequada a cada grupo de maturação relativa (GMR) (BATTISTI et al., 2017) e a gestão da irrigação aparecem como importantes elementos a serem previamente considerados no sucesso da cultura. Conhecer o comportamento morfológico e

fisiológico de cada GMR frente às adversidades ambientais, como elevadas temperaturas e estresse hídrico é fundamental para diminuir a diferenças entre os rendimentos potenciais e aqueles obtidos em nível de produtor (BOOTE et al., 2011).

O conhecimento do GMR também deve ser considerado no planejamento do cultivo da soja, pois permite estimar o número de dias que a cultivar levará para atingir a maturidade, desde a semeadura até a maturidade fisiológica. O tempo (dias) é determinado conforme o fotoperíodo e as condições de temperatura, (ZANON et al., 2015), exercendo influência no regime de necessidade hídrica da cultura, e conseqüentemente, variações na resposta

produtiva, seja na agricultura de sequeiro quanto irrigada.

A cultura da soja é altamente responsiva a água, no entanto, para o máximo rendimento produtivo da cultura, um satisfatório suprimento hídrico durante todo o ciclo de desenvolvimento é requerido. Montoya et al. (2017) salientam que um moderado estresse hídrico durante a fase vegetativa pode não refletir em significativa redução no rendimento. Por outro lado, déficits de média a longa duração durante o período reprodutivo pode representar severa redução no rendimento (LICHT; WRIGHT; LENSSEN, 2013).

Entretanto, as respostas de distintos GMR de soja às diferentes disponibilidades hídricas nas condições subtropicais do Sul do Brasil, ainda causam dúvidas devido ao desconhecimento da evapotranspiração da cultura (ET_c) nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento.

O conhecimento do consumo de água nos diversos estádios fenológicos de desenvolvimento das plantas, permite o manejo de uma irrigação mais racional conforme a exigência da cultura. Na agricultura de sequeiro o conhecimento da demanda hídrica permite ajustar as épocas de semeadura, conforme a disponibilidade hídrica média da região, possibilitando maior aproveitamento das precipitações (FERNANDES; TURCO, 2003).

Atrair a evapotranspiração da cultura, a cada um dos estádios fenológicos pelos quais a soja passa, durante o transcorrer do seu desenvolvimento é de extrema importância para o planejamento da irrigação, podendo identificar os períodos de maior necessidade hídrica. Além disso, fazer o planejamento do ciclo da cultura de acordo com estes períodos de maior necessidade hídrica, em momentos com normais climatológicas mais adequadas, são estratégias para otimizar os recursos hídricos na agricultura de sequeiro.

Os componentes individuais da ET_c permitem melhorar a gestão da irrigação,

pois a transpiração (T_c) é usualmente associada à produtividade, enquanto a evaporação (E_s) não é desejável (KOOL et al., 2014). Medidas diretas da T_c e E_s são difíceis e exigem instrumentação adequada, razão pela qual, são estimados fazendo-se o balanço hídrico do solo. A E_s é separada da ET_c por meio da umidade do solo e das condições meteorológicas, devido a sua dependência da energia e umidade. Assim, teve-se por objetivo no presente trabalho fracionar a ET_c em transpiração da cultura (T_c) e evaporação do solo (E_s) nas diferentes fases de desenvolvimento e identificar a necessidade hídrica das cultivares de soja, com distintos GMR nos diferentes estádios fenológicos em condição irrigada e de sequeiro.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do local e do experimento

O experimento foi conduzido durante o ano agrícola 2018/2019, no município de Ibirubá/RS, localizado na região fisiográfica do planalto médio (28°37'39''S e 53°05'23''O) com altitude de cerca de 400 metros acima do nível do mar. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, pertencente à unidade de mapeamento Cruz Alta (STRECK et al., 2008).

A semeadura da soja foi realizada no sistema plantio direto, em 13/11/2018, tendo resíduos vegetais da cultura do trigo. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, bifatorial, dispostos em 4 blocos, 8 repetições e 64 unidades experimentais, com dimensões de 9,45 m². Os fatores foram compostos de quatro cultivares, em duas condições hídricas (irrigado e sequeiro).

Os tratamentos consistiram em quatro cultivares, de grupos de maturação relativa (GMR) distintos: GMR 5.0 (Raio 50I52RSF IPRO); GMR 5.5 (Elite

58I55RSF IPRO); GMR 5.8 (Lança 58I60 RSF IPRO); e GMR 6.8 (Ícone 68I70 RSF IPRO). Cada cultivar foi dividida em duas frações para compor os tratamentos irrigado e sequeiro. Foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão convencional, com aspersores tipo Agropolo NY-25, espaçados a cada 12 m. O coeficiente de uniformidade e coeficiente de distribuição (CHRISTIANSEN, 1942) foi respectivamente de 90% e 85%. A avaliação do sistema indicou taxa de aplicação de $9,42 \text{ mm hora}^{-1}$,

A lâmina irrigada foi aplicada com turno de irrigação variável, e determinada com o Sistema Irriga®, uma plataforma de manejo de irrigação que estabelece o momento e a quantidade de água a ser aplicada. O Sistema Irriga® teve como entrada parâmetros agronômicos da cultura, características do solo, condições meteorológicas do local, equipamento de irrigação, em combinação com modelos matemáticos de determinação do balanço hídrico do solo.

4.2 Modelo de simulação

O modelo de simulação SIMDualKc foi utilizado para simular a evapotranspiração da cultura para a soja. O modelo SIMDualKc adota a aproximação dos Kc-dual como proposto por Allen et al. (2005) para calcular a ETc em campo, considerando separadamente a evaporação do solo (Es) e transpiração da cultura (Tc), sendo descrito em detalhes por Rosa et al. (2012). Os parâmetros de entrada necessários são determinados no local ou ajustados e calibrados. No presente trabalho, os seguintes dados foram utilizados:

a) Dados de solo: caracterização física hídrica do solo, com determinação da textura, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, na camada radicular (0-0,60 m) que permitiu o cálculo da água do solo total disponível (TAW, mm) e

facilmente disponível (RAW, mm), e os valores para o total de água evaporável (TEW, mm), água facilmente evaporável (REW, mm) e espessura da camada de solo de evaporação (Ze, m), conforme definido por Allen (2000).

b) Dados da cultura: data de semeadura, duração das diferentes fases de desenvolvimento, consideradas pelo SIMDualKc (semeadura, início do período de crescimento rápido, início do estágio intermédio, início da senescência/maturação e colheita), profundidade do sistema radicular, altura de plantas, índice de área foliar (IAF), frações de cobertura do solo pela vegetação, que foram determinadas a campo, além das frações do solo molhadas pela chuva e irrigação.

Parâmetros considerados padrão, como os coeficientes de cultura basal (K_{cb}), para cada estágio, e fração de esgotamento de água no solo para não ocorrência de déficit hídrico ($RAW=TAW.p$), foram objetos da calibração.

c) Dados meteorológicos: temperatura mínima e máxima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), velocidade do vento a 2 m de altura (m/s), radiação solar, umidade relativa diária do ar (%), precipitação (mm), evapotranspiração de referência (ET_o), a qual foi obtida pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

d) Dados relativos à irrigação: dados referentes à lâmina irrigada e respectivas datas das irrigações.

e) Dados de observação dos resíduos culturais, que consistem na fração cobertura do solo e densidade de cobertura, bem como o percentual de redução da evaporação do solo em relação à percentagem de superfície do solo coberto pelo resíduo vegetal.

4.3 Observações e avaliações

Observações do desenvolvimento fenológico foi realizado duas vezes por semana, conforme escala fenológica de

Fehr e Caviness (1977). A fração de cobertura do solo, altura das plantas e o índice de área foliar (IAF) foram determinados semanalmente até o pleno florescimento. A Profundidade máxima do sistema radicular foi determinada em pleno florescimento da cultura, com abertura de trincheira. Sempre que possível, as observações de campo foram relacionadas às fases de desenvolvimento utilizadas pelo modelo, com os estádios fenológicos da cultura, assim definidos: período inicial (semeadura a V3); rápido crescimento (V3 a V7); período intermediário (R1 a R6) e período final (R7 a colheita). A fração de cobertura dos resíduos vegetais, datas de ocorrência dos estádios de desenvolvimento da cultura foram realizados conforme Martins et al. (2013).

Um conjunto de sondas FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência) foi instalado para determinar a umidade do solo. As leituras foram realizadas a cada hora, coletando 24 registros por dia. As determinações da umidade volumétrica foram realizadas por 16 sensores na camada de 0-30 cm e 4 sensores na camada de 30-60 cm em diferentes parcelas experimentais, irrigadas e de sequeiro.

Os dados meteorológicos são provenientes de uma estação automática do INMET, instalada cerca de 100 metros do local de condução do experimento. A ETo foi determinada com base nas informações climáticas coletadas na estação meteorológica, sendo utilizado o método de Penman-Monteith da FAO para quantificação (ALLEN et al., 1998).

4.4 Calibração e validação

Nos procedimentos de calibração do SIMDualKc, foram ajustados os parâmetros não observados. Buscou-se minimizar a diferença entre o conteúdo de água do solo simulado com o modelo e observado pelos sensores a campo (GIMÉNEZ; PAREDES; PEREIRA, 2017; ROSA et al., 2012). A

calibração e validação de modelos devem utilizar conjuntos independentes de dados. Neste caso, para cada cultivar, utilizou-se o sistema irrigado para calibração, e validou-se o modelo para a condição de sequeiro.

A calibração e validação do modelo foram avaliadas com os indicadores utilizados por Rosa et al. (2012), Martins et al. (2013) e Paredes et al. (2014): Coeficiente linear de regressão (b_0), coeficiente de determinação (R^2), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (AAE), erro relativo médio (ARE) e eficiência da modelagem (EF).

O coeficiente de regressão linear (b_0) e o coeficiente de determinação (R^2) foram determinados com as seguintes equações:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - P_i}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (2)$$

A estimativa dos erros residuais foi determinada através da raiz quadrada do erro médio (RMSE) (Equação 3) e do erro médio absoluto (AAE) (Equação 4), que expressam a variância dos erros e o tamanho médio dos erros estimados, segundo a metodologia descrita por Martins et al. (2013). Também foi utilizado o erro relativo médio (ARE) (Equação 5), para indicar o tamanho médio dos erros estimados conforme equações:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (3)$$

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (4)$$

$$ARE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (5)$$

Além disso, foi utilizado outro indicador para avaliar a qualidade da modelagem, sendo ele o modelo de eficiência (EF), que é usado para determinar a magnitude relativa da variância residual em comparação à variância dos dados medidos, definida pela razão entre o erro quadrado médio e a variância nos dados observados. Quando o valor de EF é próximo à zero ou negativo, significa que a média dos valores observados é tão boa ou melhor do que aqueles simulados pelo modelo de acordo com a equação 6:

$$EF = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ano agrícola 2018/2019 apresentou uma distribuição adequada de precipitação no estado do Rio Grande do Sul, diminuindo os riscos de ocorrência de déficit hídrico. A precipitação efetiva durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi de 640 mm (Figura 1), com um total precipitado de 852,9 mm. O volume precipitado foi superior à normal climatológica para o período (SILVA, 2013; INMET, 2022). Com as elevadas precipitações, a necessidade de irrigação complementar foi reduzida. Foram realizadas 4 irrigações, totalizando 44 mm de lâmina líquida irrigada (Figura 1).

A calibração e validação do SIMDualKc demonstram através dos

parâmetros estatísticos avaliados, Coeficiente linear de regressão (b0), coeficiente de determinação (R²), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (AAE), erro relativo médio (ARE) e eficiência da modelagem (EF), que a simulação realizada pelo modelo representou bem as observações realizadas em nível de campo. A média dos valores de b0 foi de 0,93, com um R² variando de 0,90 a 0,94, para todas as cultivares, demonstrando um bom desempenho do modelo em simular o conteúdo de água no solo (MARTINS et al., 2013; ÁVILA, 2016). O RMSE médio foi de 8,92 mm, o que representa cerca de 10% do total de água disponível na camada radicular. O erro médio absoluto (AAE) foi de 7,96 mm, e o erro relativo médio (ARE) de 12,93% com uma eficiência da modelagem (EF) de 0,70.

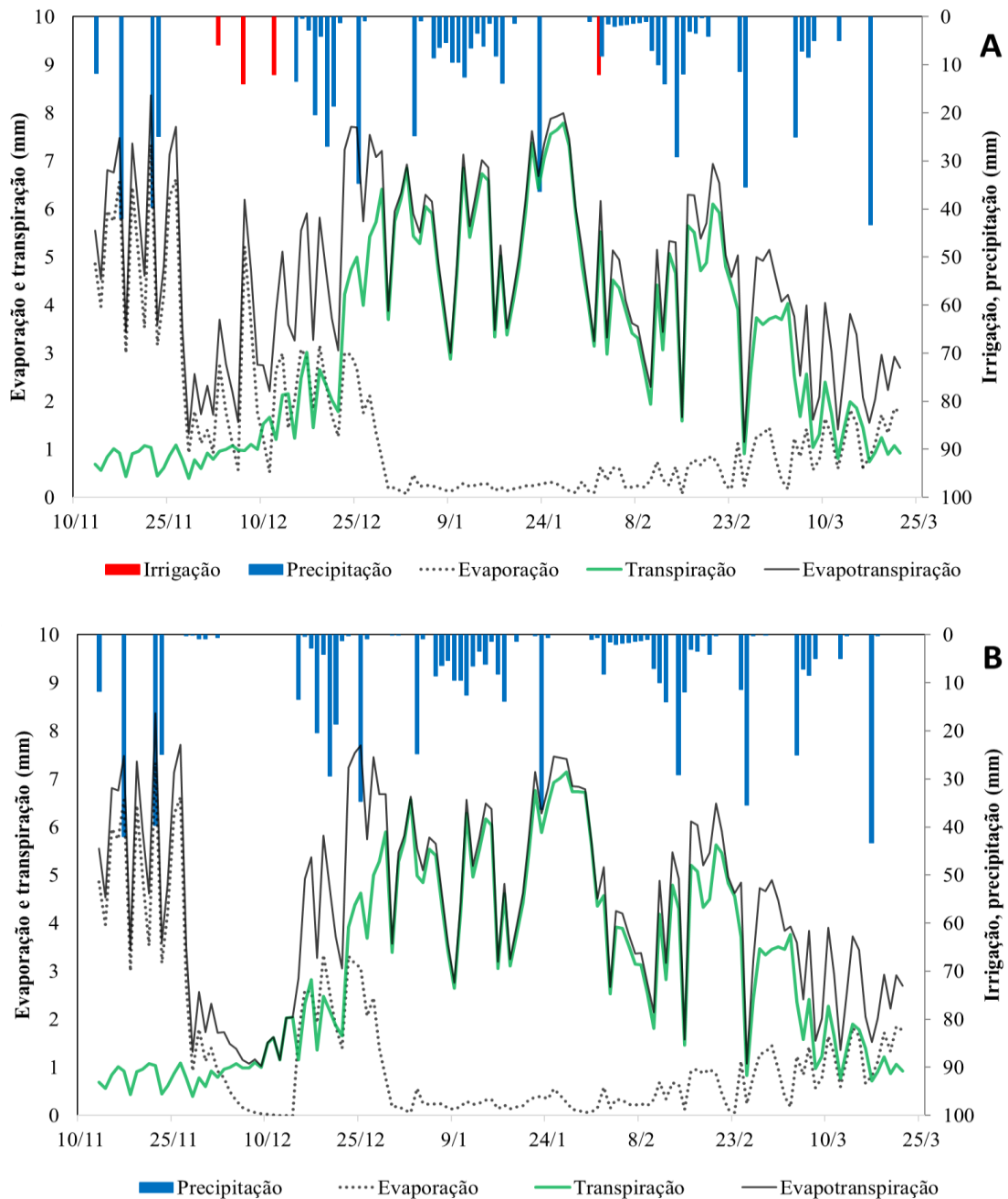
A faixa de valores encontradas para os parâmetros estatísticos são considerados adequados, uma vez que, outros trabalhos que utilizaram SIMDualKc, encontraram valores estatísticos similares ao verificado neste trabalho (ÁVILA, 2016; MARTINS et al., 2013; PETRY et al., 2020). Devidamente calibrados, modelos de simulação de água são ferramentas valiosas que podem ser utilizadas para calcular as necessidades de irrigação das culturas, apoiar práticas de gestão de irrigação e avaliar os impactos do estresse hídrico sobre o rendimento das culturas (MARTINS et al., 2013).

Os bons resultados alcançados em termos de ajuste de modelo e estimativa de evapotranspiração garantirão que a partição da evapotranspiração da cultura, usando a abordagem do coeficiente de cultura dupla no SIMDualKc, seja apropriada (WEI et al., 2015). Após sua calibração e validação, o modelo SIMDualKc permite a análise da evaporação do solo (Es, mm) e transpiração da planta (Tc, mm) com maior precisão. Possibilita verificar os impactos da variação da disponibilidade hídrica do solo, com abordagem da variabilidade diária de

volume de água disponível às plantas, de acordo com a evapotranspiração (PAÇO et al., 2012; ZHAO et al., 2012). Os resultados para os respectivos valores

diários de evaporação e transpiração para a cultivar com GMR 5.0, irrigado e sequeiro estão apresentados na figura 1 A e 1 B.

Figura 1. Variação diária da evapotranspiração da cultura (mm), evaporação do solo (mm), transpiração da cultura (mm), precipitação efetiva (mm) e irrigações (mm) para a cultivar com GMR 5.0, (Raio 50I52RSF IPRO) irrigado (A), e sem irrigação (B).



Observa-se que Es foi maior do que Tc durante a fase inicial da cultura, que compreende o período entre a semeadura até V3 ou segunda folha trifoliolada completamente expandida (13/11 a 10/12), representando 85% da evapotranspiração que ocorre neste período. Esta maior Es, é em função do elevado conteúdo de água na camada evaporativa do solo, da frequência de precipitações e reduzida fração de solo sombreada pelo dossel da cultura e reduzida palhada na superfície do solo. Resíduos vegetais, bem como o sobreamento da cultura reduzem a energia solar disponível para a evaporação na superfície do solo (ALLEN et al., 2005). A evaporação da água do solo é influenciada por vários fatores que influenciam as condições da superfície do solo, práticas de plantio direto, cobertura, principalmente resíduos de colheita, sobreamento do solo pela cultura, densidade de plantio e altura da cultura, umidade da superfície do solo e frequência de molhamento (ALLEN; PEREIRA, 2009).

Após a fase inicial da cultura, ocorre uma redução progressiva da Es e aumento da Tc, devido ao crescimento e desenvolvimento da cultura, com incremento de área foliar e altura do dossel. Depois da cobertura total da superfície do solo pelo dossel, a Es permaneceu muito pequena. Os efeitos dos eventos de umedecimento do solo na Es também são visíveis, principalmente durante o período inicial e final de desenvolvimento da cultura, apresentando picos de evaporação após a ocorrência de precipitações (13/11, 17/11, 22/11 e 23/11) e irrigações (3/12, 17/12 e 12/12).

Durante o período de desenvolvimento intermediário, entre o início do florescimento (R1) até a granação completa (R6), a fração de solo úmido exposto à radiação solar foi reduzida, devido à cobertura da superfície do solo pelo dossel das plantas, com fração de cobertura de 100%. Assim, a Es durante este período foi praticamente nula, sendo a transpiração a fração responsável pela evapotranspiração.

Estes comportamentos da Es e Tc ao longo do desenvolvimento da cultura estão de acordo com trabalhos de Silva et al. (2022) no Brasil, Giménez; Paredes e Pereira (2017) no Uruguai e Paredes et al. (2014), na China, onde a Es também obteve dados praticamente nulos para o intervalo de tempo compreendido entre os estádios fenológicos de R1 a R6.

As estimativas da participação da evaporação do solo na evapotranspiração da cultura (Es/ETc) foram de 31,5% para a média de todos os tratamentos (Tabela 1). Considerando os tratamentos irrigados, a relação foi de 32,6% superior à condição sem irrigação, que apresentou relação de 30,4%, o que torna representativo pelo volume total de água evaporada nesta situação durante o transcorrer do ciclo de desenvolvimento da cultura. A evaporação de água no solo foi elevada devido ao elevado número de precipitação durante o ciclo da cultura, tendo a palhada contribuído para a manutenção da umidade no solo. A Es foi maior para a condição irrigada, devido a maior frequência de umedecimento do solo, mantendo-o úmido por mais tempo.

Tabela 1. Evaporação de água do solo (Es, mm) e transpiração da cultura (Tc, mm) para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

	Período Inicial*		Rápido Crescimento		Período Intermediário		Período Final		Ciclo total	
	Es	Tc	Es	Tc	Es	Tc	Es	Tc	Es	Tc
	Irrigado									
GMR5.0	98,33	22,84	43,39	100,46	9,93	186,23	35,84	112,99	187,48	422,52
GMR5.5	102,13	16,29	50,53	83,62	15,63	183,40	41,24	145,73	209,59	429,04
GMR5.8	102,16	16,31	49,34	87,47	13,05	183,41	42,13	160,15	206,69	447,34
GMR6.8	125,61	20,50	47,91	67,8	14,09	191,52	37,62	134,80	225,24	414,62
Sequeiro										
GMR5.0	83,45	22,84	35,86	93,18	9,67	177,04	37,05	106,29	166,05	399,35
GMR5.5	85,76	16,32	40,09	87,47	12,56	174,62	42,04	159,78	180,44	438,19
GMR5.8	85,73	16,30	41,24	83,62	15,05	175,22	41,15	145,41	183,17	420,55
GMR6.8	98,18	20,49	47,91	67,80	13,60	182,30	37,54	134,30	197,24	405,29

*Período inicial = (semeadura a V3); rápido crescimento = (V3 a V7); período intermediário = (R1 a R6) e período final = (R7 a colheita). Escala fenológica de Fehr e Caviness (1977). GMR 5.0 = (Cultivar Raio 50I52RSF IPRO); GMR 5.5 = (Cultivar Elite 58I55RSF IPRO); GMR 5.8 = (Cultivar Lança 58I60 RSF IPRO); GMR 6.8 = (Cultivar Ícone 68I70 RSF IPRO).

Os valores da relação (Es/ETc) encontrados no presente trabalho são similares com os relatados por Petry et al. (2020), que verificaram Es/ETc de 22 a 35% na região da depressão central do Rio Grande do Sul. Entretanto, Ávila (2016), para a mesma região apresenta uma relação de Es/ETc de 23%. Barbieri et al. (2020) referiram que a Es/ETc possui uma variação de 33 a 39%, dependendo da quantidade de resíduos culturais na superfície do solo. Wei et al. (2015) apresentam valores de Es/ETc de 28 a 26% para o Norte da China.

Valores distintos de ETc em função do ciclo de desenvolvimento da cultura e de seu GMR foram observados. A ETc acumulada foi de 610 mm e 565 mm, para a cultivar com GMR de 5.0, em condição irrigada e de sequeiro, respectivamente (Tabela 1). Para a cultivar com GMR de 6.8, observou-se valores de 640 mm e 603 mm para condição irrigada e de sequeiro, respectivamente. Entretanto, a cultivar com GMR de 5.8 apresentou valores de ETc, Es, e Tc muito semelhante a cultivar com GMR de 6.8. Os resultados indicam que a necessidade hídrica de uma cultivar depende principalmente da duração de cada subperíodo de desenvolvimento e não

somente da duração total do ciclo de desenvolvimento. Para GMR 5.5, os valores ficaram entre 654,02 mm e 618,635 mm, em condição irrigada e de sequeiro. Por fim, para a cultivar com GMR 6.0, valores entre 639 mm (irrigado) e 604 mm (sequeiro) foram encontrados.

Para uma cultivar de GMR 6.0 cultivada em São Paulo, Silva et al. (2022) apresentaram uma ETc de 629 a 983 mm. Alfonso et al. (2020), para uma cultivar de GMR 3.8, encontraram ETc de 445 a 467 mm, para a região do Pampa Argentino. Anapalli et al. (2022), para uma cultivar de GMR 4.0 no Mississippi, demonstraram uma ETc de 539 a 562 mm. Matzenauer, Barni e Maluf (1999), consideram que os valores médios de evapotranspiração total no ciclo da cultura variam de 664 mm em dezembro para o Planalto Médio do Rio Grande do Sul Cruz, a 930 mm em outubro. Ávila (2016) verificou valores variando entre 244,2 mm a 351,4 mm para a região da depressão central do Rio Grande do Sul.

O particionamento da ETc de forma acurada permitiu melhorar a gestão da irrigação e as práticas de manejo, pois determinou os momentos em que devem ser levados em consideração a Es como fator

principal da ETc e também os momentos em que Tc passa a ser fator principal, sendo possível assim, estabelecer estratégias agronômicas que visem um melhor uso da água armazenada no solo.

A evapotranspiração média diária, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (Tabela 2) para as condições irrigadas, foi de 4,69 mm dia⁻¹ (GMR 5.0), 4,15 mm dia⁻¹ (GMR 5.5), 4,24 mm dia⁻¹ (GMR 5.8) e 4,14 mm dia⁻¹ (GMR 6.8). Em condição de sequeiro observou-se valores de evapotranspiração média diária de 4,34 mm dia⁻¹ (GMR 5.0), 3,94 mm dia⁻¹ (GMR 5.5), 3,95 mm dia⁻¹ (GMR 5.8) e 3,95 mm dia⁻¹ (GMR 6.8).

A evapotranspiração diária média encontrada para soja está de acordo com os observados por Moreira et al. (2013), para o planalto médio do Rio Grande do Sul, os quais encontraram ETc média de 3,20 mm

dia⁻¹, no sistema plantio direto, usando medições com *eddy covariance*. Na depressão central do Rio Grande do Sul, Ávila (2016) verificou evapotranspiração média diária do mesmo cultivo de 2,85 mm dia⁻¹. Entretanto, a evapotranspiração média em cada estágio de desenvolvimento é variada.

O estágio R2 (florescimento pleno) é o momento em que a cultura apresentou a maior demanda, com média entre os tratamentos de 6,84 mm dia⁻¹, com valores máximos de 7,47 mm dia⁻¹. Posteriormente, os estádios R3 (início da formação de legumes) e R1 (início do florescimento), apresentaram demandas de 6,30 mm dia⁻¹ e 5,95 mm dia⁻¹ respectivamente (Tabela 2). Este comportamento foi observado em todas as cultivares, independentemente de seu GMR.

Tabela 2. Variação da ETc (mm dia⁻¹) nos diferentes estádios fenológicos considerando a duração dos mesmos, condição irrigada (irr.) e sequeiro (seq.) para cultivares com diferentes grupos de maturação relativa (GMR).

	GMR 5.0		GMR 5.5		GMR 5.8		GMR 6.8	
	Irr.	Seq.	Irr.	Seq.	Irr.	Seq.	Irr.	Seq.
Semeadura-VC	3,22	3,15	2,79	2,79	2,79	2,79	2,80	3,03
V1-V3	3,22	1,28	3,71	3,71	3,72	3,72	3,61	1,02
V4-V6	5,31	4,43	5,45	5,45	5,52	5,52	5,37	4,85
V7	6,10	6,06	5,15	5,15	5,3	5,3	4,87	4,87
R1	5,99	5,56	5,50	5,50	6,29	6,29	6,85	5,61
R2	6,94	6,39	7,19	7,19	6,03	6,03	7,47	7,47
R3	6,71	6,63	5,78	5,78	7,47	7,47	5,80	4,73
R4	5,09	4,65	5,04	5,04	5,80	5,80	4,94	4,75
R5	4,77	4,56	5,01	5,01	4,88	4,88	4,33	4,32
R6	4,08	3,90	3,55	3,55	3,70	3,7	4,13	4,12
R7	3,75	3,70	2,86	2,86	3,03	3,03	2,86	2,86
R8	2,75	2,72	2,24	2,24	2,43	2,43	2,12	2,12
Média	4,69	4,34	4,14	4,14	4,24	4,24	4,15	3,91

Escala fenológica de Fehr e Caviness (1977). GMR 5.0=(Cultivar Raio 50I52RSF IPRO); GMR 5.5=(Cultivar Elite 58I55RSF IPRO); GMR 5.8=(Cultivar Lança 58I60 RSF IPRO); GMR 6.8=(Cultivar Ícone 68I70 RSF IPRO)

Conforme Tagliapietra et al. (2022), a maior demanda hídrica para a cultura da

soja ocorre entre R1 e R5 (início floração e enchimento de grão), com

evapotranspiração de 6,9 mm dia⁻¹. Souza et al. (2016) encontraram valores médios de ETc entre 4,1 e 4,5 mm dia⁻¹ no estado do Pará, com picos máximos na fase de enchimento de grãos (R3 a R5). A partir da fase de enchimento pleno do grão (R6) ocorreu rápido declínio na evapotranspiração, atingindo valores abaixo de 1 mm dia⁻¹, próximo da colheita. Báez et al. (2020) observaram que a necessidade de água aumenta com o desenvolvimento da cultura da soja, atingindo a exigência máxima na fase de florescimento e enchimento de grãos, com valores entre 6 e 7 mm dia⁻¹.

Na condição irrigada ou sequeiro, a ETc apresentou valores elevados nos estádios compreendidos entre o início do florescimento até o enchimento de grãos (R1-R5). Entretanto, destaca-se a ETc no intervalo entre a semeadura e o estádio cotiledonar (VC), apesar de ser uma fase curta, considerando o tempo em dias, esse período irá determinar o estabelecimento inicial e a distribuição e a densidade de plantas na lavoura, um dos principais componentes de produtividade da cultura (WINCK et al., 2020). Durante a germinação, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura.

Através dos resultados encontrados no presente trabalho, fica evidente que a cultura da soja possui períodos de desenvolvimento em que a necessidade hídrica é maior que o restante do ciclo, sendo eles: florescimento pleno e enchimento de grãos. Salinas et al. (1989) e Licht, Wright e Lenssen (2013) corroboram que a soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água: da semeadura à emergência e no enchimento dos grãos.

Separar o ciclo de desenvolvimento da soja em fases de acordo com a fenologia da cultura é útil para avaliar os métodos de determinação da ETc, particularmente para entender a influência da variação diária na

ET em relação nestas fases (SILVA et al., 2022).

6 CONCLUSÃO

A evaporação do solo (Es) representou 32% da evapotranspiração da cultura (ETc) durante todo o ciclo de desenvolvimento da soja. Na fase inicial de desenvolvimento a contribuição da Es representou 85% da ETc.

Independentemente do grupo de maturidade relativa da cultivar e da condição de disponibilidade hídrica, o estádio R2 (florescimento pleno) se apresentou como o momento fenológico em que a cultura indicou a maior demanda, com ETc de 6,84 mm dia⁻¹. Posteriormente, os estádios fenológicos R3 (início da formação de legumes) e R1 (início do florescimento), ETc 6,30 mm dia⁻¹ e 5,95 mm dia⁻¹ respectivamente.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS).

Ao Laboratório de Irrigação e Engenharia Agrícola do IFRS – Campus Ibirubá.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

8 REFERÊNCIAS

ALFONSO, C.; BARBIERI, P. A.; HERNÁNDEZ, M. D.; LEWCZUK, N. A.; MARTÍNEZ, J. P.; ECHARTE, M. M.; ECHARTE, L. Water productivity in soybean following a cover crop in a humid environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 232,

- p.106045, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377419309345>. Acesso em: 1 dez. 2022.
- ALLEN, R. G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, n. 1/2, p. 27-41, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00194-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00194-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169499001948>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, Berlin, v. 28, p. 17-34, 2009. DOI: [10.1007/s00271-009-0182-z](https://doi.org/10.1007/s00271-009-0182-z). Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00271-009-0182-z.pdf?pdf=button>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 131, p. 2-13, 2005. DOI: [0.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(2\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(2)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282005%29131%3A1%282%29>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage paper, 56).
- ANAPALLI, S. S.; PINNAMANENI, S. R.; REDDY, K. N.; SUI, R.; SINGH, G. Investigating soybean (*Glycine max L.*) responses to irrigation on a large-scale farm in the humid climate of the Mississippi Delta region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 262, p. 107432, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107432>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421007095>. Acesso em: 4 dez. 2022.
- ÁVILA, V. S. **Balanço hídrico do solo e partição da evapotranspiração da Soja, Milho, e Feijão, submetidos à irrigação deficitária no sul do Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- BÁEZ, M. S. A.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. C.; ROCHA, M. R.; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, Asunción, v. 22, n. 1, p. 3-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.03-12>. Disponível em: <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ri/article/view/504/433>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- BARBIERI, J. D.; FREITAS, P. S. L.; DALLACORT, R.; REZENDE, R.; SILVA, A. L. B. R.; FENNER, W.; CARVALHO, M. A. C. Influence of Soil Coverage on Evapotranspiration and Dual Crop Coefficients on Soybean. **Journal of Experimental Agriculture International**, Reston, v. 42, n. 6, p. 111-125, 2020. DOI: [10.9734/JEAI/2020/v42i630546](https://doi.org/10.9734/JEAI/2020/v42i630546). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343392588_Influence_of_Soil_Coverage_on_Evapotranspiration_and_Dual_Crop_Coeff

ficients_on_Soybean. Acesso em: 5 dez. 2022.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; BASSO, C. J. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 83, p. 1-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030116302155>. Acesso em: 5 dez. 2022.

BOOTE, K. J.; IBRAHIM, A. M. H.; LAFITTE, R.; MCCULLEY, R.; MESSINA, C.; MURRAY, S. C.; SPECHT, J. E.; TAYLOR, S.; WESTGATE, M. E.; GLASENER, K.; BIJL, C. G.; GIESE, J. H. Position Statement on Crop Adaptation to Climate Change. **Crop Science**, Madson, v. 51, p. 2337-2343, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.07.0369>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci2011.07.0369>. Acesso em: 5 dez. 2022.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942.

FERNANDES, J. F.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2003. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2003v8n2p132-141>. Disponível em: <https://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3129/1921>. Acesso em: 4 dez. 2022.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. (Special Report, 80).

GIMÉNEZ, L.; PAREDES, P.; PEREIRA, L. S. Water Use and Yield of Soybean under Various Irrigation Regimes and Severe Water Stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc Models. **Water**, Basel, v. 9, n. 6, p. 1-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9060393>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/6/393>. Acesso em: 5 dez. 2022.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. (1991/2020). Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 19 jul. 2022.

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BENGAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 184, p. 56-70, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016819231300230X>. Acesso em: 5 dez. 2022.

LICHT, M. A.; WRIGHT, D.; LENNSEN, A. W. **Soybean response to drought**. Ames: Iowa State University, 2013.

MARTINS, J. D.; RODRIGUES, G. C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; PEREIRA, L. S. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 113, n. 3, p. 291-310, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.03.016>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511013000627>. Acesso em: 4 dez. 2022.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275, 1998.

MONTOYA, F.; GARCIA, C.; PINTOS, F.; OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 193, p. 30-45, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377417302573>. Acesso em: 4 dez. 2022.

MOREIRA, V. S.; ROBERTI, D. R.; TIMM, A.; WEBLER, G.; DEGRAZIA, G. A. Análise da evapotranspiração e índice de área foliar numa cultura de soja sob dois sistemas de manejo. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 35, n. edição especial, p. 432-435, 2013.

PAÇO, T. A.; FERREIRA, M. I.; ROSA, R. D.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G. C.; CONCEIÇÃO, N.; PACHECO, C. A.; PEREIRA, L. S. The dual crop coefficient approach using a density factor to simulate the evapotranspiration of a peach orchard: SIMDualKc model vs. eddy covariance measurements. **Irrigation Science**, Berlin, v. 30, n. 2, p. 115-126, 2012. DOI: 10.1007/s00271-011-0267-3. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00271-011-0267-3.pdf?pdf=button>. Acesso em: 5 dez. 2022.

PAREDES, P.; RODRIGUES, G. C.; ALVES, I.; PEREIRA, L. S. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 135, p. 27-39, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377413003521>. Acesso em: 4 dez. 2022.

PETRY, M. T.; BASSO, L. J.; CARLESSO, R.; ARMOA, M. S.; HENKES, J. R. Modeling yield, soil water balance, and economic return of soybean under different water deficit levels. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 4, p. 526-535, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n4p526-535/2020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/JQZ96jWH8PqMNyK4RQqzyBJ/?lang=en>. Acesso em: 5 dez. 2022.

ROSA, R. D.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G. C.; ALVES, I.; FERNANDO, R. M.; PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software: 2. Model testing. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 103, p. 8-24, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377411002903>. Acesso em: 4 dez. 2022.

SALINAS, A. R.; SANTOS, D. S. B.; SANTOS, F. O.; MELLO, V. D. C.; ZONTA, E. P. Comportamiento de genotipos de soja, hasta el estadio de plantulas, en diferentes niveles de humedad. *In*: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989,

Buenos Aires. **Anais** [...]. Buenos Aires: Universidade Cornell, 1989. v. 4. p. 376-382.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_2015/2015_JAgriculture_1-18_SoybeanYieldGap.pdf. Acesso em: 5 dez. 2022.

SILVA, R. R. **Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências/Meio Ambiente, Paisagem e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SILVA, E. H. F. M.; HOOGENBOOM, G.; BOOTE, K. J.; GONÇALVES, A. O.; MARIN, F. R. Predicting soybean evapotranspiration and crop water productivity for a tropical environment using the CSM-CROPGRO-Soybean model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 323, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109075>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192322002635>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SOUZA, P. J. O. P.; FARIAS, S. O.; ROCHA, E. J. P.; SOUSA, A. M. L.; SOUZA, E. B. Consumo hídrico da soja no nordeste paraense. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 218-231, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p>

218-231. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1879/1529>. Acesso em: 4 dez. 2022.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Pallotti, 2008.

TAGLIAPIETRA, E. L.; ZANON, A. Z.; STRECK, N. A.; BALEST, D. S.; ROSA, S. L.; BEXAIRA, K. P.; RICHTER, G. L.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 113, n. 2, p. 1882-1894, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20586>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20586>. Acesso em: 5 dez. 2022.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; SABEL LAGO, I.; SANTOS, P. M.; MACIEL, L. R.; GUEDES, J. V. C.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0043>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/K4nQRyVDfqvys83YWKn6XLv/?lang=pt>. Acesso em: 4 dez. 2022.

WEI, Z.; PAREDES, P.; LIU, Y.; CHI, W. W.; PEREIRA, L. S. Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soybean in North China Plain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 147, p. 43-53, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.004>

. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377414001450>. Acesso em: 4 dez. 2022.

WINCK, J. E. M.; MARTIN, T. N.; PINTO, M. A. B.; BRUNING, L. A.; ARISMENDI, G. A. Spatial arrangement of plants on leaf growth and development and the yield potential of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 14, n. 6, p. 913-922, 2020. DOI: 10.21475/ajcs.20.14.06.p1721. Disponível em: https://www.cropj.com/martin1721_14_6_2

020_913_922.pdf. Acesso em: 5 dez. 2022.

ZHAO, N. N.; LIU, Y.; CAI, J. B.; ROSA, R.; PAREDES, P.; PEREIRA, L. S. Dual crop coefficient modelling applied to the winter wheat-summer maize crop sequence in North China Plain: basal crop coefficients and soil evaporation component. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 117, p. 93-105, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377412003010>. Acesso em: 4 dez. 2022.