

## MODELAGEM DO BALANÇO HÍDRICO DO SOLO, USO DA ÁGUA E RENDIMENTO DA SOJA EM CONDIÇÕES SUBTROPICAIS ÚMIDAS

**GUILHERME ALEX HÜNEMEIER<sup>1</sup>, MIRTA TERESINHA PETRY<sup>2</sup>, LEONARDO CHECHI<sup>3</sup>, JULIANO DALCIN MARTINS<sup>4</sup>, ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA<sup>5</sup>, ANDRESSA FUZER<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Aluno de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 996779656, e-mail: guialex129@gmail.com.

<sup>2</sup>Prof. Dr., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFSM, Santa Maria- RS. e-mail: mirta.petry@gmail.com

<sup>3</sup>Eng. Agr. MSc. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da UFSM, Santa Maria- RS. e-mail: leonardochechi@gmail.com

<sup>4</sup>Eng. Agr. Dr. Departamento de Engenharia Rural, da UFSM, Santa Maria- RS. e-mail: julianodalcinmartins@gmail.com

<sup>5</sup>Prof. Dr., Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maira, Campi de Cachoeira do SUL, RS. e-mail: zanandraboff@gmail.com

<sup>6</sup> Aluno de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. e-mail: dessa.fuzer@hotmail.com

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** As funções empíricas de água-produção são fundamentais para estimar possíveis impactos negativos déficit hídrico no rendimento de grãos das culturas agrícolas, como também para o desenvolvimento do planejamento das irrigações em função das condições meteorológicas e da disponibilidade de água. Assim, o objetivo desse trabalho foi simular o balanço hídrico do solo, o consumo de água e avaliar a resposta da soja à água em condições subtropicais úmidas no Sul do Brasil. O trabalho foi conduzido durante a safra 2018/19, com a cultura da soja, irrigada e de sequeiro. O conteúdo de água no solo, parâmetros da cultura e condições meteorológicas foram monitorados durante o ciclo da cultura. O modelo SIMDualKc foi utilizado para simular o balanço hídrico do solo, particionando a transpiração da cultura ( $T_c$ ) e a evaporação do solo ( $E_s$ ). O modelo SIMDualKc foi combinado com o modelo de duas fases de Stewart, S1 e S2, para prever o rendimento da soja, com base nos dados de  $T_c$  obtidos na simulação do balanço hídrico. Os modelos foram adequados para prever o rendimento de grãos, o que pode ser verificado pelos bons indicadores estatísticos, no entanto, o modelo S2 foi um pouco melhor.

**PALAVRAS-CHAVE:** SIMDualKc. Balanço hídrico. Transpiração da cultura.

### DETERMINATION OF THE WATER BALANCE AND SOYBEAN YIELD IN CACHOEIRA DO SUL IN FUNCTION OF THE WATER BALANCE

**ABSTRACT:** The empirical water-production functions are fundamental to estimate possible negative impacts of the soil water stress on grain yield of agricultural crops, as well as for the development of irrigation scheduling according to weather conditions and water availability. Thus, the aim of this study was to simulate the soil water balance and water use to assess the soybean response to water in humid subtropical conditions in southern Brazil. The work was carried out during the 2018/19 crop growing season using irrigated and rainfed soybean crop. Soil water content, harvest parameters, and meteorological conditions were monitored during the whole crop growing season. The SIMDualKc model was used to simulate the soil water balance, which partitioning crop transpiration ( $T_c$ ) and soil evaporation ( $E_s$ ). The SIMDualKc model was combined with Stewart's two phases model, S1 and S2, to predict the soybean

yield, based on the  $T_c$  data obtained from the water balance simulation. The models were suitable to predict the grain yield, which can be verified by the good statistical indicators, however, the S2 model was slightly better.

**KEYWORDS:** SIMDualKc. Hydric balance. Perspiration of culture.

**INTRODUÇÃO:** Quantificar o requerimento hídrico de água de forma mais exata significa melhorar as metodologias existentes e procurar novas alternativas, que permitam avaliações mais precisas (CARLESSO et al., 2009). A solução mais lógica para minimizar o consumo de água e realizar uma programação da irrigação mais ajustada, e ampliar o conhecimento a respeito da  $ET_c$ , o que implica necessariamente na obtenção de coeficientes de cultura ( $K_c$ ) mais precisos, para as principais culturas de expressão econômica no Sul do Brasil.

Uma variedade de estratégias e ferramentas tem sido recomendadas para melhorar a eficiência de uso da água, incluindo o uso da água armazenada no solo, a água da chuva e irrigações, em nível de propriedade. A acurácia na estimativa da evapotranspiração ( $ET_c$ ) ou do consumo de água pelas plantas reside nas observações do balanço hídrico (BH), que pode ser feito por meio da modelação (PAREDES et al., 2014). O monitoramento do requerimento hídrico das culturas pode ser obtido através da combinação de modelos de BH e informações meteorológicas (CALERA et al., 2017). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o consumo de água via modelação do balanço hídrico do solo, através da decomposição da evaporação do solo ( $E_s$ ) e transpiração atual das culturas ( $T_c$ ), e sua relação com o rendimento da soja no Rio Grande do Sul.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área de estudo localiza-se na região Central do Rio Grande do Sul, com latitude de 29°52'27"S e longitude 53°00'54"O e altitude de 101 m. Utilizou-se uma área irrigada e de sequeiro, nas safras de 2018/19, O manejo da irrigação foi realizado pelo Sistema Irriga®, um serviço de manejo e monitoramento da irrigação, criado e desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria, RS.

As variáveis monitoradas durante o ciclo da cultura foram: altura de plantas, identificação dos principais estádios fenológicos, índice de área foliar (IAF), fração de cobertura ( $f_c$ ), conteúdo de água no solo, rendimento e componentes do rendimento da cultura. A caracterização físico-hídrico do solo da área foi feita no laboratório de solos do Sistema Irriga®, antes da implantação dos experimentos.

Para o monitoramento do conteúdo de água no solo foram instalados sensores a campo, nas profundidades de 0,00 – 0,30 e 0,30 a 0,60 m, do tipo CS-616 (Campbell Scientific, EUA) e com o auxílio de um Datalogger (CR10X, Campbell Scientific, EUA), conectado por cabos seriais. O conteúdo de água no solo foi medido na área irrigada e de sequeiro. A água disponível no solo (ASW, mm), armazenada na profundidade do sistema radicular das plantas ( $Z_r$ ), foi integrada pela média do  $\theta$  das camadas, subtraído da média ponderada do ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), conforme a equação:  $ASW = 1000(\theta - \theta_{PMP}) * Z_r$ .

Os dados meteorológicos utilizados no presente estudo foram coletados de uma estação automática modelo Vantage Pro2 (Davis Instruments, CA, USA).

A área foliar e a  $f_c$  foram determinados a partir de imagens coletadas de duas linhas em três diferentes pontos próximos a os sensores instalados, adicionando uma marcação no solo de 0,20 m para servir como escala. A partir desta escala, calculou-se a área total da imagem, e por diferença de cor espectral, a área correspondente ao dossel da cultura e a superfície do solo, utilizando o software ImageJ® (National Institute of Health, EUA). O IAF foi determinado pela relação entre a área foliar e superfície ocupada pela planta. Para a determinação do rendimento de grãos, para cada ponto de avaliação, uma área útil composta de 3 linhas de 2 m de plantas foi colhida. Determinou-se o rendimento de grãos (ajustado a 13% de umidade).

O modelo SIMDualKc estima o balanço hídrico em escala diária, contabilizando as entradas e saídas de água, conforme a equação 1:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} + P_i - RO_i - I_i - CR_i - ET_{c,i} - DP_i \quad \text{Eq.1}$$

Onde:  $D_{r,i}$ , e  $D_{r,i-1}$ , correspondem a depleção de água (mm) na zona radicular, no dia  $i$  e dia  $i-1$ , respectivamente.  $P_i$  é a precipitação,  $RO_i$ , o escoamento superficial,  $I_i$  a irrigação,  $CR_i$  a ascensão capilar,  $ET_{c,i}$  a evapotranspiração da cultura, e  $DP_i$  a percolação profunda, referentes ao dia  $i$ , em mm.

Os dados de entrada utilizados no modelo SIMDualKc foram: (i) dados meteorológicos diários referentes à precipitação (mm), umidade relativa mínima do ar (%), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e  $ET_o$  ( $\text{mm dia}^{-1}$ ); (ii) dados de solo para o cálculo da TAW e RAW, bem como TEW, REW,  $Z_e$  e *mulch*; (iii) dados agrônômicos observados sobre as datas de início dos estádios de crescimento das culturas,  $Z_r$  (m),  $h$  (m) e IAF ao longo do ciclo das culturas e dados não observados ou *standard*, como:  $K_{cb}$  e  $p$  e, portanto, objeto de calibração; (v) dados para a estimativa da DP, os quais requerem calibração; (vi) dados para a estimativa do escoamento (RO); (vi) dados das irrigações referentes à lâmina líquida aplicada (mm), sistema de irrigação e datas das irrigações. O modelo foi calibrado com a área irrigada e validada de sequeiro de 2018/19.

Para simulação do rendimento da soja em função da disponibilidade hídrica, aplicouse os modelos SIMDualKc-Stewart modelo S1 (a) e modelo S2 (b), os quais foram propostos por Stewart et al. (1977), e modificados por Paredes et al. (2014). O modelo S1 assume uma dependência linear entre o rendimento e a transpiração da cultura, considerando um coeficiente de proporcionalidade ( $K_y$ ) como fator de resposta de produtividade, o modelo S2 por sua vez considera o tempo em que o déficit hídrico ocorreu sendo descrito por Stewart (1977).

Os indicadores estatísticos utilizados foram: coeficiente linear de regressão ( $b_0$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e porcentagem de viés (P-bias).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 1 é apresentado a variação diária da água disponível no solo (ASW) simulada ( $ASW_{sim}$ ) e observada ( $ASW_{obs}$ ) para o cultivo de soja irrigada e sequeiro. Bem como, apresenta-se as precipitações, irrigações e os valores de TAW e RAW. É possível observar que o modelo foi eficiente em acompanhar os valores de  $ASW_{obs}$  tanto para os dados de calibração (irrigado) bem como para os dados de validação (sequeiro).

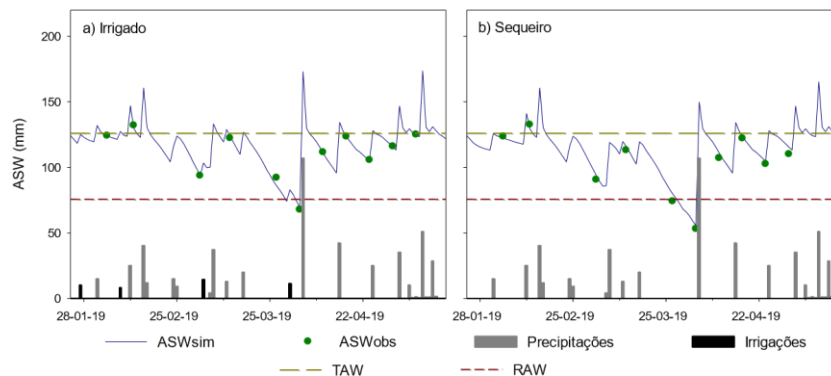


Figura 1. Variação diária da água disponível no solo simulada ( $ASW_{sim}$ ) e observada ( $ASW_{obs}$ ) para o cultivo de soja irrigada (a - calibração) e sequeiro (b - validação) na área 1. Linhas horizontais representam o total de água disponível (TAW) e a água facilmente disponível (RAW) e barras verticais representam as precipitações e irrigações

Na Tabela 1 é apresentado o rendimento e o déficit de rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e os valores da  $E_s$  e a  $T_c$ , para o ciclo total da cultura. O déficit de rendimento é a diferença entre o rendimento obtido na área irrigada e a área de sequeiro e observa-se que o rendimento na área irrigada foi superior ao rendimento da área de sequeiro.

Tabela 1: Rendimento e déficit de rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para a área de estudo e  $E_s$  e a  $T_c$ , na safra 2018/19, no Rio Grande do Sul.

Cultivo	$E_s$ (mm)	$T_c$ (mm)	Rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Déficit de rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
Irrigado	39	277	3386,71	
Sequeiro	32	273	3072,27	314,44

A Figura 2 apresenta a relação entre os valores de rendimento de grãos da soja observados e simulados pela abordagem SIMDualKc-Stewart modelo S1 (a) e modelo S2 (b). Os modelos se apresentam adequados para a predição do rendimento, o que pode ser verificado pelos bons indicadores estatísticos, sendo o modelo S2 levemente superior.

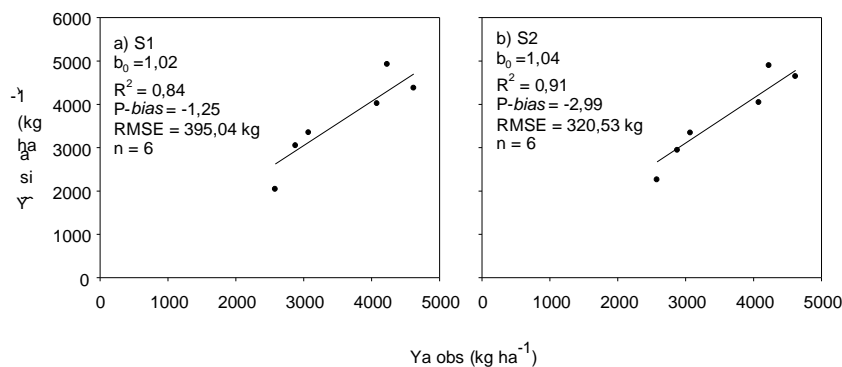


Figura 2: Relação entre os valores de rendimento de grãos da soja observados e simulados pela abordagem SIMDualKc-Stewart modelo S1 (a) e modelo S2 (b). Os indicadores estatísticos apresentados são, o coeficiente linear (b) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a porcentagem de viés ( $P\text{-bias}$ ), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e o número de observações (n).

**CONCLUSÕES:** O rendimento da soja apresentou relação linear com o aumento da transpiração, com um  $R^2$  baixo (0,43), sendo este estimado como um coeficiente que expressa a quantidade da variância dos dados que é explicada pelo modelo linear, variando de (0 a 1). Para estimativa do rendimento, a fase S2 do modelo SIMDualKc-Stewart se mostrou mais acurada para a cultura da soja, com RMSE de 8,27%.

#### REFERÊNCIAS:

- CALERA, A., et al. Remote Sensing for Crop Water Management: From ET Modelling to Services for the End Users. **Sensors**, v.17, p.1104-1129, 2017.
- CARLESSO, R. et al. The use of a meteorological station network to provide crop water requirement information for irrigation management. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v.293, p.19-27, 2009.
- PAREDES, P. et al. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. **Agricultural Water Management**, v.135, p.27-39, 2014.
- STEWART, J. I. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Logan: Utah Water Research Laboratory, 1977, 191p (Report Paper 67).