

**DESEMPENHO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO TRIGO NA MESORREGIÃO CENTRO ORIENTAL DO PARANÁ.**

ROSA, S.L.K.<sup>1</sup>; SOUZA J.L.M.<sup>2</sup>; SANTOS, A.A.<sup>1</sup>; TSUKAHARA, R.Y.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduação em Ciência do Solo em Ciência do Solo, UFPR; <sup>2</sup>Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br; <sup>3</sup>Fundação ABC;

**RESUMO**

Teve-se por objetivo no presente trabalho validar o modelo AquaCrop para duas cultivares de trigo no município de Castro, na mesorregião Centro Oriental do Paraná. As cultivares Quartzo e Supera foram previamente calibradas em um estudo anterior na região. A validação foi realizada para um período de 8 anos de dados de clima e cultura, variando somente a faixa de intervalos de valores obtidos para os parâmetros mais sensíveis do modelo, mantendo os demais fixos. A acurácia do modelo foi avaliada usando os parâmetros estatísticos, como erros absolutos ( $Ea$ ) e relativos ( $Er$ ), raiz quadrada do erro médio ( $RMSE$ ), coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e correlação de Pearson ( $r$ ), índice de concordância “ $d$ ” e desempenho “ $c$ ”. O maior erro absoluto ( $Ea$ ) foi observado para a cultivar Quartzo e o maior erro relativo ( $Er$ ) para Supera. Considerando os bons ajustes obtidos no processo de validação, é possível afirmar que o modelo AquaCrop é válido para simular a produtividade de trigo no município de Castro, Estado do Paraná.

**Palavras-chave:** Simulação, validação, *Triticum aestivum*.

## INTRODUÇÃO

No atual cenário as variedades de trigo de alto rendimento tornaram-se uma importante questão econômica. No entanto, a produção intensiva de trigo representa um desafio para a conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental (Sacchi et al., 2019). No Estado do Paraná, o trigo é a cultura de inverno mais importante, atingindo cerca de 1,081 milhão de hectares de área plantada na safra 2015/2016 (CONAB, 2017).

O entendimento de cultivos agrícolas, como o trigo, pode ser facilitado por meio de modelos de simulação de rendimento. O AquaCrop é uma ferramenta de suporte à decisão para elaboração de estratégias de gerenciamento de culturas (Pareek et al., 2017), visando o entendimento do comportamento das culturas nas condições edafoclimáticas as quais estão inseridas. Para que o AquaCrop seja aplicável, é necessário ser testado em diferentes locais, com diferentes tipos de solos, culturas, práticas agrônômicas e condições climáticas.

O AquaCrop é um modelo de simulação que descreve a interação entre o solo e as plantas, buscando alcançar equilíbrio entre precisão, simplicidade e robustez, podendo ser aplicável em diversos sistemas agrícolas ao redor do mundo (Raes, 2018b).

A aplicabilidade de um modelo só é confirmada com o processo de validação. A validação é uma etapa importante da verificação do modelo, a qual envolve uma comparação entre medições de campo e dados de saída criados pelo modelo (Andarzian et al., 2011). Uma vez validado, o AquaCrop pode ser usado como ferramenta de apoio à decisão para otimizar o uso de recursos e maximizar o rendimento das culturas (Zekele e Nendel, 2019).

Considerando a aplicabilidade do modelo AquaCrop, teve-se como objetivo no presente trabalho validar o modelo para duas cultivares de trigo na mesorregião Centro Oriental do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição da área de estudo e dados de entrada inseridos no modelo AquaCrop

O presente trabalho foi realizado no município de Castro, no Estado do Paraná, considerando duas cultivares de trigo, Supera e Quartzo. A área avaliada pertencente ao Setor de Agrometeorologia da Fundação ABC Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário. O solo da região é classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico, e o clima segundo Köppen-Geiger (Alvarez et al., 2013) é *Cfa* (subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente).

O modelo utilizado foi o AquaCrop Versão 6.0 (FAO, 2018). A calibração do modelo foi previamente realizada para os parâmetros mais sensíveis, em um trabalho anteriormente realizado na região (Rosa et al., 2019), sendo eles: *i*) Máxima cobertura do dossel ( $CC_x$ ; %); *ii*) Coeficiente de declínio do dossel ( $CDC$ ; %  $\text{dia}^{-1}$ ); *iii*) Coeficiente da cultura com completa expansão do dossel ( $K_{CTR,x}$ ; adimensional); *iv*) Produtividade da água normalizada para  $ET_0$  e  $CO_2$  ( $WP^*$ ;  $\text{g m}^{-2}$ ); e, *v*) Índice de colheita de referência ( $HI_o$ ; %).

A validação foi realizada para um período de 8 anos de dados de clima e cultura (referente às safras de 2007 a 2014), considerando os intervalos de valores obtidos para os parâmetros mais sensíveis na calibração (Tabela 1; Rosa et al., 2019).

Tabela 1 – Intervalos de valores dos parâmetros mais sensíveis do modelo AquaCrop, utilizados no processo de validação das cultivares Quartzo e Supera, no município de Castro-PR.

Parâmetro	----- Cultivares -----	
	Supera	Quartzo
$CC_x$ (%)	80 a 92	86 a 93
$CDC$ (% dia <sup>-1</sup> )	7,2 a 8,4	7,1 a 8,3
$K_{CTR,x}$ (adimensional)	1,05 a 1,4	1,25 a 1,35
$WP^*$ (g m <sup>-2</sup> )	16 a 20	17 a 19
$HI_o$ (%)	46 a 70	48 a 65

<sup>(1)</sup> Conservativo geralmente aplicável; <sup>(2)</sup> Dependente do ambiente e/ou manejo; <sup>(3)</sup> Cultivar específica. Fonte: Rosa et al. (2019).

Os dados diários de clima inseridos no AquaCrop foram provenientes do banco de dados da Fundação ABC, sendo: precipitação ( $P$ ; mm dia<sup>-1</sup>); temperatura máxima ( $T_x$ ; °C), mínima ( $T_n$ ; °C) e média ( $T$ ; °C) diárias do ar; radiação solar incidente ( $R_s$ ; MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); umidade relativa do ar ( $UR$ ; %); e, velocidade do vento ( $u_2$ ; m s<sup>-1</sup>). Os valores de concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera (ppm) estão disponíveis internamente no AquaCrop (Raes et al., 2018b), e a demanda diária evaporativa da atmosfera ( $ET_o$ ; mm dia<sup>-1</sup>) é calculada automaticamente no modelo com o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Os dados de cultura foram: população de plantas (número de plantas ha<sup>-1</sup>); data de plantio; número de dias para ocorrência da emergência, máxima cobertura do dossel, início e duração do florescimento, senescência e maturidade fisiológica. As datas referentes aos estádios fenológicos foram determinadas pela Fundação ABC no acompanhamento das safras.

Os dados de solo foram inseridos conforme Tabela 2, provenientes do estudo de Piekarski et al. (2017).

Tabela 2 – Atributos físico-hídricos do solo inseridos no AquaCrop para validação da cultura do Trigo.

Localidade	Camada (m)	Textura	Conteúdo de água no solo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			$K_{sat}$ (mm dia <sup>-1</sup> )
			$\theta_{PMP}$ <sup>(1)</sup>	$\theta_{CC}$ <sup>(2)</sup>	$\theta_{sat}$ <sup>(3)</sup>	
Castro	0,00 – 0,10	Argilosa	0,36	0,50	0,63	418,32
Castro	0,10 – 0,25	Argilosa	0,33	0,47	0,60	368,23
Castro	0,25 – 0,40	Muito argilosa	0,32	0,45	0,62	325,74

<sup>(1)</sup> Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente; <sup>(2)</sup> Umidade volumétrica na capacidade de campo; <sup>(3)</sup> Umidade volumétrica na saturação. Fonte: Piekarski et al. (2017).

Em relação ao manejo do solo, o nível de fertilidade foi admitido como não limitante ao desenvolvimento da cultura, e a cobertura vegetal mantida em 75% de resíduo proveniente da safra anterior. Para as práticas conservacionistas de superfície, foi considerado ausência de plantas infestantes, e que as práticas de manejo adotado na área não afetam o escoamento superficial. A irrigação não foi considerada e o conteúdo inicial de água no solo foi considerado igual a 50% da água compreendida entre a capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ; m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e o ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ; m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>).

Os demais parâmetros exigidos pelo modelo seguiram a recomendação de Raes et al. (2018a) para a cultura do trigo (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores utilizados para os demais parâmetros de entrada do modelo, para validação do AquaCrop para a cultura do trigo em Castro-PR.

Símbolo	Descrição	Valores
----- Fenologia da Cultura -----		
<i>CDC</i> *	Desenvolvimento da cobertura do dossel	
	– Coeficiente de declínio do dossel (% dia <sup>-1</sup> )	8,0
<i>Z<sub>min</sub></i> <i>Z<sub>máx</sub></i>	Desenvolvimento da zona radicular	
	– Profundidade mínima efetiva do sistema radicular (m)	0,1
	– Profundidade máxima efetiva do sistema radicular (m)	0,3
	– Fator descrevendo a expansão da zona radicular	1,5
----- Transpiração da Cultura -----		
<i>Ke</i>	Coeficiente de declínio da cultura como resultado da idade, deficiência de nitrogênio, entre outros (% dia <sup>-1</sup> )	0,15
	– Efeito da cobertura do dossel na redução da evaporação do solo no último estágio da cultura (%)	50,0
----- Produção de Biomassa -----		
	Produtividade de água da cultura	
	– Produtividade de água normalizada para <i>ET<sub>o</sub></i> e CO <sub>2</sub> durante a formação de rendimento (%)	100
----- Formação de Rendimento -----		
	Índice de colheita	
	– Possível incremento no <i>HI</i> devido ao estresse hídrico antes do florescimento	Pequeno
	– Excesso de frutos potenciais (%)	Médio
	– Coeficiente descrevendo o impacto positivo da restrição do crescimento vegetativo durante a formação de rendimento no <i>HI</i>	Pequeno
	– Coeficiente descrevendo o impacto negativo do fechamento estomático durante a formação de rendimento no <i>HI</i>	Moderado
	– Máximo aumento permitido do <i>HI</i> especificado	15,0
----- Estresse -----		
	Estresse hídrico do solo	
<i>p<sub>exp,upper</sub></i>	– Limite superior de depleção da água no solo para expansão do dossel	0,65
<i>p<sub>exp,lower</sub></i>	– Limite inferior de depleção da água no solo para expansão do dossel	0,20
	– Fator do coeficiente de estresse hídrico para a expansão do dossel	5,0
<i>p<sub>sit</sub></i>	– Limite superior de depleção da água no solo para controle estomático	0,65
	– Fator do coeficiente de estresse hídrico para controle estomático	2,5
<i>p<sub>sen</sub></i>	– Limite superior de depleção da água no solo para senescência do dossel	0,70
	– Fator do coeficiente de estresse hídrico para a senescência do dossel	2,5
<i>p<sub>pot</sub></i>	– Limite superior de depleção de água no solo para falhar a polinização	0,85
	– Fator do coeficiente de estresse hídrico para a senescência do dossel	2,5
	– Volume (%) no ponto anaerobiótico (com referência para saturação)	5,0
	Estresse pela temperatura do ar	
	– Mínima temperatura do ar abaixo da qual o começo da polinização começa a falhar (estresse pelo frio) (°C)	5,0
	– Máxima temperatura do ar acima da qual o começo da polinização começa a falhar (estresse pelo calor) (°C)	35,0
	– Mínimo em graus requerido para completa produção de biomassa (°C dia <sup>-1</sup> )	15,0

Fonte: Raes et al. (2018a).

A validação foi realizada variando somente a faixa de valores dos parâmetros mais sensíveis do modelo (Tabela 1), mantendo os demais fixos (Tabela 3).

## Análises estatísticas

As produtividades simuladas com o modelo AquaCrop ( $Ys$ ; kg ha<sup>-1</sup>) foram comparadas com as produtividades reais observadas a campo ( $Yr$ ; kg ha<sup>-1</sup>) em análises de regressão linear. A acurácia do modelo foi avaliada usando os parâmetros estatísticos: erros absolutos ( $Ea$ ) e relativos ( $Er$ ); raiz quadrada do erro médio ( $RMSE$ ; Jacovides e Kontoyiannis, 1995); coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e correlação de Pearson ( $r$ ); e, índice de concordância “ $d$ ” (Willmott, 1982), que considera a distância com que os pontos  $Y_{real}$  vs  $Y_{simulada}$  estão afastados da reta 1:1. O processo de validação do modelo teve seu desempenho calculado com o índice “ $c$ ” de Camargo e Sentelhas (1997).

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^n |Yr_i - Ys_i|}{n}$$

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^n |Yr_i - Ys_i|}{\sum_{i=1}^n Ys_i} \cdot 100$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Yr_i - Ys_i)^2}{n}}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Yr_i - \bar{Yr}) \cdot (Ys_i - \bar{Ys})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Yr_i - \bar{Yr})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Ys_i - \bar{Ys})^2}}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Ys_i - Yr_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ys_i - \bar{Yr}| + |Yr_i - \bar{Yr}|)^2}$$

$$c = d \cdot r$$

Sendo:  $Ea$  – erro absoluto médio (kg ha<sup>-1</sup>);  $Er$  – erro relativo (%);  $RMSE$  – raiz quadrada do erro médio (kg ha<sup>-1</sup>);  $r$  – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional);  $d$  – índice “ $d$ ” (kg ha<sup>-1</sup>);  $Yr_i$  – valores reais médios de produtividade observados no  $i$ -ésimo experimento (kg ha<sup>-1</sup>);  $\bar{Yr}$  – média dos valores reais de todas as cultivares (kg ha<sup>-1</sup>);  $Ys_i$  – valor estimado de produtividade no  $i$ -ésimo experimento (kg ha<sup>-1</sup>);  $\bar{Ys}$  – média dos valores de produtividade estimada nos experimentos (kg ha<sup>-1</sup>);  $n$  – número de safras nas localidades (adimensional);  $c$  – índice “ $c$ ” (adimensional).

O desempenho do modelo validado foi classificado com o valor obtido para o índice “ $c$ ”, variando entre: “ótimo” (“ $c$ ” > 0,85); “muito bom” (0,76 ≤ “ $c$ ” ≤ 0,85); “bom” (0,66 ≤ “ $c$ ” ≤ 0,75); “mediano” (0,61 ≤ “ $c$ ” ≤ 0,65); “sofrível” (0,51 ≤ “ $c$ ” ≤ 0,60); “mau” (0,41 ≤ “ $c$ ” ≤ 0,50); ou, “péssimo” (“ $c$ ” ≤ 0,40).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior erro absoluto ( $Ea$ ) foi observado para a cultivar Quartzo, devido ao maior número de safras disponíveis para análise. Já o maior  $RMSE$  ocorreu para a cultivar Supera, devido a discrepância de valor observado entre a produtividade real ( $Yr$ ) e simulada ( $Ys$ ) nesta safra. Não houve estresse hídrico justificável nos dados de saída do programa que pudesse justificar os elevados erros ( $Ea = 1348,71 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $Er = 39,76\%$ ) encontrados para esta cultivar. Foram observadas boas condições climáticas de simulação, o que resultou em  $Ys$  normal quando comparada as demais safras. A  $Yr$  observada a campo foi baixa, o que acarretou aumento dos erros observados nas análises. Considerando os valores do intervalo de calibração que resultaram na menor produtividade simulada no programa ( $3392 \text{ kg ha}^{-1}$ ), no período que compreende esta safra, a produtividade observada a campo foi  $2043 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 4). Acredita-se que ocorreram problemas relacionados a pragas, doença ou plantas infestantes para a cultivar Supera na safra 2009.

Tabela 4 – Produtividades reais ( $Yr$ ) e simuladas ( $Ys$ ), erros absoluto ( $Ea$ ) e relativo ( $Er$ ), e raiz quadrada do erro médio ( $RMSE$ ) obtidos no processo de validação do modelo AquaCrop, para as cultivares de trigo Supera e Quartzo, em Castro, Estado do Paraná.

Localidade	Cultivar	Safra	$Yr$	$Ys$	$Ea$	$Er$	$RMSE$	$n^{(1)}$
			(kg ha <sup>-1</sup> )			(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	
----- Cultivar de trigo Supera, cultivada em Castro - PR -----								
Castro	Supera	2007	3132	3131	0,94	0,03		
Castro	Supera	2009	3319	3317	1,85	0,06		
Castro	Supera	2009	3371	3369	2,28	0,07		
Castro	Supera	2009	2043	3392	1348,71	39,76		
Castro	Supera	2011	4324	4323	1,47	0,03		
Castro	Supera	2011	4186	4194	8,38	0,20	426,52	10
Castro	Supera	2011	5187	5192	5,08	0,10		
Castro	Supera	2013	3942	3944	2,50	0,06		
Castro	Supera	2013	5186	5193	7,10	0,14		
Castro	Supera	2013	5880	5881	0,51	0,01		
Média	—	—	4057	4194	137,88	4,05		
----- Cultivar de trigo Quartzo, cultivada em Castro - PR -----								
Castro	Quartzo	2010	5029	5035	5,80	0,12		
Castro	Quartzo	2010	5290	5289	1,11	0,02		
Castro	Quartzo	2010	3104	3222	118,27	3,67		
Castro	Quartzo	2011	6206	5272	933,73	17,71		
Castro	Quartzo	2011	5110	4933	176,84	3,58		
Castro	Quartzo	2011	4903	4909	6,15	0,13		
Castro	Quartzo	2011	4860	3752	1107,58	29,52		
Castro	Quartzo	2011	5787	5787	0,43	0,01	378,07	15
Castro	Quartzo	2012	4220	4219	1,10	0,03		
Castro	Quartzo	2012	4404	4403	0,70	0,02		
Castro	Quartzo	2013	4343	4338	5,20	0,12		
Castro	Quartzo	2013	4396	4398	2,11	0,05		
Castro	Quartzo	2013	5329	5322	7,30	0,14		
Castro	Quartzo	2013	4818	4822	3,60	0,07		
Castro	Quartzo	2014	4533	4537	4,00	0,09		
Média	—	—	4822	4683	158,26	3,68		

<sup>(1)</sup> Número de safras usadas para validação.

Raes et al. (2018a) comentam que em temperaturas do ar abaixo de 5 °C a polinização começa a falhar devido o estresse pelo frio. Os autores ainda comentam que 0,85 é o limite superior de depleção de água no solo para falhar a polinização (Tabela 3). O valor 0,85 reflete moderada condição para que haja falha por estresse hídrico durante o período de floração. Para a cultivar Quartzo, na safra 2011 ( $Ea = 933,73 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $Er = 17,71\%$ ), foram observados nos protocolos da Fundação ABC 25 dias de temperatura abaixo de 5 °C que antecederiam o florescimento, justificando o estresse por temperatura que o programa indicou. O mesmo ocorreu na safra 2011, que resultou nos maiores erros observados para esta cultivar ( $Ea = 1107,58 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $Er = 29,52\%$ ; Tabela 4). Na safra 2011 ocorreram 18 dias de temperatura abaixo de 5 °C antes do florescimento. Acredita-se que os erros foram maiores nesta safra, pois, além dos dias que a cultura esteve em baixas temperaturas, o volume total de precipitação ao longo do ciclo foi de 830 mm, o que pode ter interferido no balanço hídrico realizado pelo AquaCrop, devido ao alto conteúdo de água.

O desempenho obtido nas simulações de cada cultivar foi “ótimo” para Supera e “muito bom” para Quartzo, com coeficientes de correlação de  $r = 0,94$  e  $r = 0,87$ , respectivamente (Figura 1a e Figura 1b), indicando que o ajuste dos parâmetros obtidos no processo de calibração (Rosa et al., 2019) foi adequado para as cultivares na região. O coeficiente de correlação  $r$  obtido para a cultivar Supera é o mesmo observado por Pareek et al. (2017) na validação do trigo de inverno no norte da Índia, e o índice “ $d$ ” = 0,95 é semelhante ao obtido por Kumar et al. (2014) na Índia (“ $d$ ” = 0,96), para rendimento final em grãos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Andarzian et al. (2011) na validação com o trigo irrigado no Irã ( $r = 0,95$  e “ $d$ ” = 0,97).

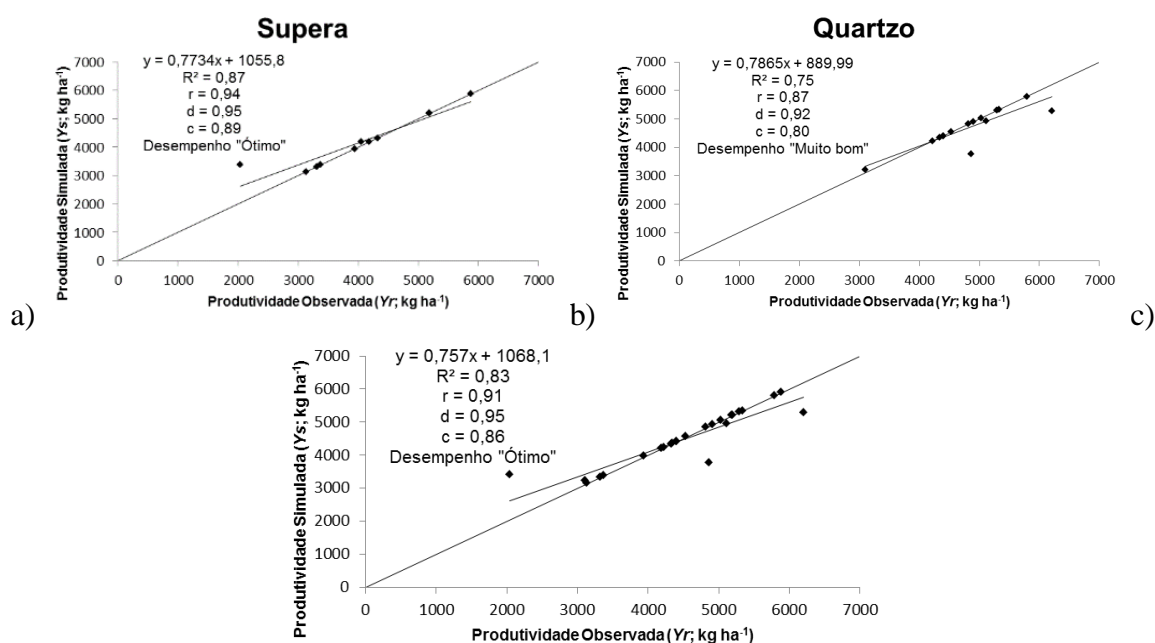


Figura 1 – Análise de regressão linear e seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), correlação ( $r$ ) e índices “ $d$ ”, obtidos entre a produtividade simulada e observada no processo de validação do AquaCrop no município de Castro, Estado do Paraná, para as cultivares: a) Supera; b) Quartzo e; c) Supera e Quarto juntas.



Considerando as duas cultivares juntas, o processo de validação resultou em desempenho “ótimo” (Figura 1c). Os resultados obtidos se assemelham aos resultados de Kale (2016), que validou o trigo com AquaCrop considerando os valores de parâmetros sugeridos por Raes et al. (2009b), obtendo índice “*d*” = 0,83. A validação de Iqbal et al. (2014) com o trigo na China também apresentou resultados próximos, com índice “*d*” = 0,92.

Baseado nas análises obtidas no presente estudo de validação, é possível afirmar que o modelo AquaCrop se ajustou adequadamente ao conjunto de dados reais observados a campo, sendo considerado válido para simular a produtividade de trigo no município de Castro, na mesorregião Centro Oriental do Paraná.

## CONCLUSÕES

- Os desempenhos observados na validação das cultivares Quartzo e Supera foram muito satisfatórios, variando entre “muito bom” e “ótimo”;
- O modelo AquaCrop pode ser utilizado como ferramenta de suporte à decisão no gerenciamento de lavouras de trigo para o município de Castro;

## LITERATURA CITADA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper, 56**, Rome: FAO, 1998. 300 p.
- ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDARZIAN, B., BANNAYAN, M., STEDUTO, P., MAZRAEH, H., BARATI, M. E., BARATI, M. A., RAHNAMA, A. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. **Agricultural Water Management**, v. 100, p. 1–8, 2011.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97, 1997.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. A cultura do trigo. Brasília: Conab, 2017. 218p.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Land & Water**. Aquacrop version 6.0. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/Aquacrop/en/>> Acesso em 03 mar. 2018.
- IQBAL, M. A.; SHEN, Y.; STRICEVIC, R.; PEI, H.; SUN, H.; AMIRI, E.; PENAS, A.; del RIO, S. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. **Agricultural Water Management**, v. 135, p. 61–72, 2014.



JACOVIDES, C. P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, v. 27, p. 365-371, 1995.

KALE, S. Assessment of Aquacrop model in the simulation of wheat growth under different water regimes. **Scientific Papers. Series A. Agronomy**, v. LIX, p. 308-314, 2016.

ZELEKE, K.; NENDEL, C. Testing and Application of the AquaCrop Model for Wheat Production Under Different Field Management Conditions in South-Eastern Australia. **Agricultural Research**, 2019. Disponível em DOI: <https://doi.org/10.1007/s40003-019-00438-2>.

KUMAR, P.; SARANGI, A.; SINGH, D. K.; PARIHAR, S.S. Evaluation of Aquacrop model in predicting wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. **Irrigation and Drainage**, v. 63, p. 474-487, 2014.

PAREEK, N.; ROY, S.; SAHA, S.; NAIN, A. Calibration & validation of Aquacrop model for wheat crop in *Tarai* region of Uttarakhand. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 5, p. 1442-1445, 2017.

PIEKARSKI, K. R.; SOUZA, J. L. M.; TSUKAHARA, R. Y.; ROSA, S. L. K.; OLIVEIRA, C. T. Estimativa da produtividade da cultura da soja considerando a influência dos atributos físico-hídricos do solo na Região dos Campos Gerais. **Convibra Congresses Conferences**, 2017.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. Crop Water Productivity. Calculation Procedures and Calibration Guidance. Aquacrop Version 3.0. Rome, FAO, 2009b.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. **Reference Manual of Aquacrop: Annexes**. Rome, Italy. FAO, 2018a. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-br244e.pdf>>. Acesso em 21 fev. 2018.

RAES, D. STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. **Reference Manual: Chapter 1: FAO crop-water productivity model to simulate yield response to water**. Version 6.0 - 6.1. Rome, Italy. FAO, 2018b, 19p.

ROSA; S. L. K.; SOUZA, J. L. M.; TSUKAHARA, R. Y.; CRUZ, J. B. C.; JERSZURKI, D. Calibração do modelo AquaCrop para a cultura do trigo em Castro-PR. **Convibra Congresses Conferences**, 2019.

SACCHI, G.; BELLETTI, G.; BIANCALANI, M. LOMBARDI, G. V.; STEFANI, G. The valorisation of wheat production through locally-based bread chains: Experiences from Tuscany. **Journal of Rural Studies**, v. 71, p. 23-35, 2019.

WILLMOTT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 63, n.11, p. 1309-1313, 1982.