

## **SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MILHO UTILIZANDO O MODELO AQUACROP**

PIEKARSKI K.R.<sup>1</sup>; SOUZA J.L.M.<sup>2</sup>; TSUKAHARA R.Y.<sup>3</sup>; OLIVEIRA C.T.<sup>1</sup>; ROSA S.L.K.<sup>1</sup>

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

### **RESUMO**

Teve-se por objetivo no presente trabalho verificar o desempenho do modelo AquaCrop para simular a produtividade de milho na região dos Campos Gerais, em três diferentes tipos de solo. As análises foram realizadas com dados de 21 experimentos para a cultura do milho, realizados na Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, dos anos safra entre 2006 e 2014, nas estações experimentais de Castro, Socavão e Ponta Grossa no Estado do Paraná. Os dados de entrada (clima, solo, cultura e manejo) necessários, coletados nas estações experimentais, foram inseridos no AquaCrop gerando-se as produtividades estimadas. As produtividades real e estimada foram ajustadas em análises de regressão linear simples e comparadas considerando os erros absoluto e relativo, índice “*d*” de concordância e índice “*c*” de desempenho. As análises realizadas indicaram que o AquaCrop respondeu positivamente às expectativas quanto a simulação das produtividades de milho na região dos Campos Gerais, tendo desempenho “muito bom” considerando o conjunto das localidades estudadas. O tipo de solo interferiu nos resultados das análises do AquaCrop, sendo que os Latossolos apresentaram melhor desempenho e maiores correlações comparado aos demais solos estudados. O AquaCrop demonstrou potencial em ser validado para a cultura do milho na região dos Campos Gerais, porém se faz necessário a calibração dos parâmetros do modelo para as condições específicas do local de estudo, com o objetivo de atingir resultados mais eficientes do modelo.

**Palavras-chave:** modelos de produção; culturas agrícolas; estimativa de produção.

## INTRODUÇÃO

Os modelos computacionais que simulam o desenvolvimento e produtividade de culturas agrícolas ganharam importância e são cada vez mais utilizados nos países que possuem agricultura tecnificada, contribuindo para a realização de estudos e aumento da produtividade de diversas culturas (WHISLER et al., 1986).

A vantagem da simulação da produtividade de culturas agrícolas está na possibilidade de previsão do desenvolvimento da cultura no decorrer da safra, ou antes mesmo de implantá-la. Com isso, pode-se planejar a época correta de aplicação de insumos e uso de técnicas mais adequadas. A maioria dos modelos de produção simulam o balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, aliado ao uso de bancos de dados climáticos, existem modelos capazes de estimar o aporte e perda de água e nutrientes do sistema, no decorrer do tempo e, com isso, estimar a produtividade de diversas culturas agrícolas (SENTELHAS et al., 2001; TOJO-SOLER et al., 2001; MELLO e CAIMI, 2008).

Além disso, os modelos que simulam a produtividade de culturas agrícolas são importantes para a pesquisa, possibilitando o teste em cenários distintos, como variações de clima, solos, insumos e técnicas de manejo. Logo, inúmeros experimentos podem ser simulados sem que haja custos de implantação, manutenção e mão-de-obra, além do tempo reduzido (WHISLER et al., 1986; TOJO-SOLER et al., 2001; MELLO e CAIMI, 2008).

Com o objetivo de aumentar a aplicabilidade e uso de modelos de simulação de produção, pesquisadores vinculados à *Food and Agriculture Organisation* (FAO) desenvolveram o *software* AquaCrop. O programa computacional foi realizado utilizando equacionamento e simplificações que reduziram a quantidade de dados necessários, além de requerer, como entrada, dados de mais fácil obtenção. O *software* possui um banco de dados interno, contendo informações de diversos locais e culturas previamente validadas. Além disso, conta com *layout* simplificado e bem explicativo (RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009).

A literatura apresenta diversos exemplos de validação e simulações com o modelo AquaCrop, que obtiveram resultados satisfatórios (GEERTS et al., 2009; ABEDINPOUR et al., 2012; MKHABELA e BULLOCK, 2012; IQBAL et al., 2014). Logo, o AquaCrop foi aplicado em diversas culturas e países, o que evidenciou sua robustez e abrangência, porém são poucos os estudos visando a sua utilização em cenários brasileiros.

Tendo em vista as contribuições do AquaCrop na gestão de lavouras e pesquisa, e o pouco conhecimento sobre sua eficácia em estudos no Brasil, teve-se por objetivo no presente estudo verificar o desempenho do modelo AquaCrop para simular a produtividade de milho na região dos Campos Gerais, em diferentes tipos de solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA/UFPR). As análises foram realizadas para as localidades de Castro, Ponta Grossa e Socavão (distrito de Castro) (TABELA 1), pertencentes à região dos Campos Gerais-PR. Os dados utilizados foram disponibilizados pela Fundação ABC, a partir de experimentos realizados nas estações experimentais, nas safras de 2006/07 a 2013/2014. O relevo local é considerado plano a suave ondulado, em sistema de plantio direto com rotação

de culturas (soja e milho no verão; trigo e aveia preta no inverno). A textura do solo foi determinada conforme EMBRAPA (1997).

TABELA 1. Caracterização quanto à localização, solo, clima, coordenadas geográficas e altitudes das estações experimentais da Fundação ABC.

Município	Solo	Textura	Clima	Latitude ----- (graus)	Longitude -----	Altitude (m)
Castro	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico	Argiloso/ Muito argiloso	Cfb	24,85° S	49,93° W	1001
Ponta Grossa	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	Argilo-arenoso	Cfb	25,01° S	50,15° W	1000
Socavão	ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico	Argiloso/ Muito argiloso	Cfb	24,68° S	49,75° W	1026

As variáveis de entrada necessárias para a utilização do modelo foram: temperatura máxima e mínima do ar ( $T$ , °C); precipitação pluviométrica diária ( $P$ , mm dia<sup>-1</sup>), evapotranspiração de referência ( $ET_o$ , mm dia<sup>-1</sup>), concentração anual média de CO<sub>2</sub> na atmosfera ( $C_{CO_2}$ , ppm), conteúdo volumétrico de água na saturação ( $\theta_{SAT}$ , m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), umidade na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ , m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ , m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{SAT}$ , mm dia<sup>-1</sup>), conteúdo volumétrico de água no solo no plantio ( $\theta_i$ , m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), data de semeadura e colheita, duração dos estádios fenológicos da cultura (emergência, máxima cobertura do dossel e enraizamento, florescimento, duração do florescimento, senescência e maturidade; dia), população de plantas (plantas ha<sup>-1</sup>), comprimento mínimo e máximo de raiz (m), ausência de irrigação, fertilidade próxima ao ideal e presença de cobertura orgânica cobrindo 70% do solo.

Os dados de temperatura e precipitação são de uma série histórica de 10 anos (setembro/2006 a abril/2016), medidos nas estações agrometeorológicas instaladas nas estações experimentais da Fundação ABC. A evapotranspiração de referência foi estimada com o método de Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998) para a mesma série histórica de 10 anos. A concentração média anual de CO<sub>2</sub> na atmosfera está disponibilizada na aba clima do modelo AquaCrop, de onde foi obtida a partir do observatório de Mauna Loa, Havai (RAES et al., 2009).

Para o solo, o modelo distingue até cinco camadas ou horizontes, sendo que no presente trabalho foram consideradas apenas três camadas (0-0,1 m; 0,10-0,25 m e 0,25-0,40 m). Ao todo, foram retiradas cinco amostras indeformadas de solo por parcela experimental (100 m x 50 m) e por profundidade, totalizando 45 amostras. A umidade na capacidade de campo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e a condutividade hidráulica saturada (mm dia<sup>-1</sup>) foram determinadas conforme EMBRAPA (1997). A umidade na capacidade de campo foi determinada em mesa de tensão, com 0,01 MPa. A condutividade hidráulica saturada foi determinada em permeâmetro de carga constante. A umidade no ponto de murcha permanente (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) foi estimada considerando tensão de 1,5 MPa na curva de retenção de água no solo, gerada a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten (1980). O conteúdo de água no momento do plantio (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) foi estimado a partir do balanço hídrico do solo, em planilha desenvolvida para esta finalidade.

As produtividades reais (kg ha<sup>-1</sup>) e simuladas (kg ha<sup>-1</sup>) com AquaCrop foram ajustadas em análises de regressão linear simples e comparadas considerando o erro absoluto

(EA) e índice “*d*” de concordância de Willmott et al. (1982). O desempenho do modelo foi obtido conforme o índice “*c*” de Camargo e Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores erros absoluto e relativo de estimativa da produtividade da cultura do milho ocorreram no distrito de Socavão (TABELA 2 e FIGURA 1b), em dois experimentos da safra 2012/13, com erro absoluto de 973,7 kg ha<sup>-1</sup> (7,74%) e 1692 kg ha<sup>-1</sup> (13,7%). Hsiao (2009) afirma que erros absolutos acima de 1000 kg ha<sup>-1</sup>, para a cultura do milho, são considerados além dos limites de confiança.

TABELA 2. Produtividades reais médias observadas ( $Y_{ri}$ ) e simulada ( $Y_{si}$ ) no AquaCrop para a cultura do milho, e erros absoluto ( $Ea$ ) e relativo ( $Er$ ) obtidos em cada experimento instalado na região dos Campos Gerais.

Local	Solo	Safra	$Y_{ri}$	$Y_{si}$	$Ea$	$Er$
			----- (kg ha <sup>-1</sup> ) -----			(%)
Castro	CXbd	2013/14	13554	13002	-551,70	4,24
Castro	CXbd	2013/14	13078	13188	109,95	0,83
Castro	CXbd	2013/14	14681	13456	-1225,28	9,11
Castro	CXbd	2013/14	12987	13085	98,15	0,75
Castro	CXbd	2012/13	12453	13021	568,38	4,37
Socavão	OYs	2013/14	13110	12998	-111,59	0,86
Socavão	OYs	2013/14	13661	13406	-254,56	1,90
Socavão	OYs	2013/14	13674	13398	-275,86	2,06
Socavão	OYs	2013/14	13970	13466	-504,01	3,74
Socavão	OYs	2013/14	13002	12855	-147,22	1,15
Socavão	OYs	2012/13	10659	12352	1692,53	13,70
Socavão	OYs	2012/13	13341	13221	-120,35	0,91
Socavão	OYs	2012/13	12945	12745	-200,19	1,57
Socavão	OYs	2012/13	13155	13020	-134,79	1,04
Socavão	OYs	2012/13	11606	12580	973,70	7,74
Socavão	OYs	2011/12	13513	13056	-456,97	3,50
Socavão	OYs	2011/12	11981	12456	474,69	3,81
Socavão	OYs	2011/12	13713	13388	-324,64	2,42
Ponta Grossa	LVAAd	2013/14	10233	10112	-120,75	1,19
Ponta Grossa	LVAAd	2013/14	10262	10500	238,17	2,27
Ponta Grossa	LVAAd	2012/13	12239	11851	-388,06	3,27

A safra 2012/13 registrou períodos que caracterizam estresse hídrico considerável entre a floração e o enchimento de grãos, com precipitação de apenas 3,2 mm entre 20/12/2012 e 13/01/2013 na região de Socavão. Segundo Matzenauer et al. (1995), no período da floração e enchimento de grãos, a cultura de milho é mais sensível ao déficit hídrico. Magalhães (2006), considerou que no período de enchimento de grãos ocorre o maior aporte de carboidrato nos grãos de milho. O processo está intimamente relacionado com a fotossíntese e apresenta demanda hídrica acentuada. Portanto, as ocorrências de estresses

hídricos nos dois estádios relatados resultaram em menor peso dos grãos e produtividade. O resultado evidencia que o AquaCrop provavelmente superestimou a intensidade com que o déficit hídrico atuou sobre os processos fotossintéticos na cultura do milho. Nas demais safras em Socavão (2013/14 e 2011/12), o AquaCrop subestimou a produtividade. O solo do local tem alto conteúdo de matéria orgânica (Organossolo). Segundo Gregorich et al. (1994), a matéria orgânica do solo atua significativamente na retenção de água do solo e, conseqüentemente, no balanço hídrico. Nestas condições, os erros podem estar ligados à falta de recursos do próprio modelo em simular o efeito da matéria orgânica do solo sobre suas relações hídricas.

Castro também apresentou resultados heterogêneos (TABELA 2 e FIGURA 1a), com erro absoluto e relativo pequeno 98,15 kg ha<sup>-1</sup> (0,75%) e grande 1225 kg ha<sup>-1</sup> (9,11%), conforme considerações de Hsiao (2009) (> 1000 kg ha<sup>-1</sup>). Como o maior erro em Castro ocorreu na safra de maior produtividade (14681,3 kg ha<sup>-1</sup>), acredita-se que o AquaCrop tenha maior dificuldade para simular as produtividades que se afastam da média. No entanto, os resultados são bem aleatórios, dificultando as interpretações, a exemplo do que ocorreu nos experimentos conduzidos em Ponta Grossa, em que baixas e altas produtividades reais não proporcionaram maiores erros de estimativa com o modelo (*Er* < 3,27%) (TABELA 2 e FIGURA 1c).

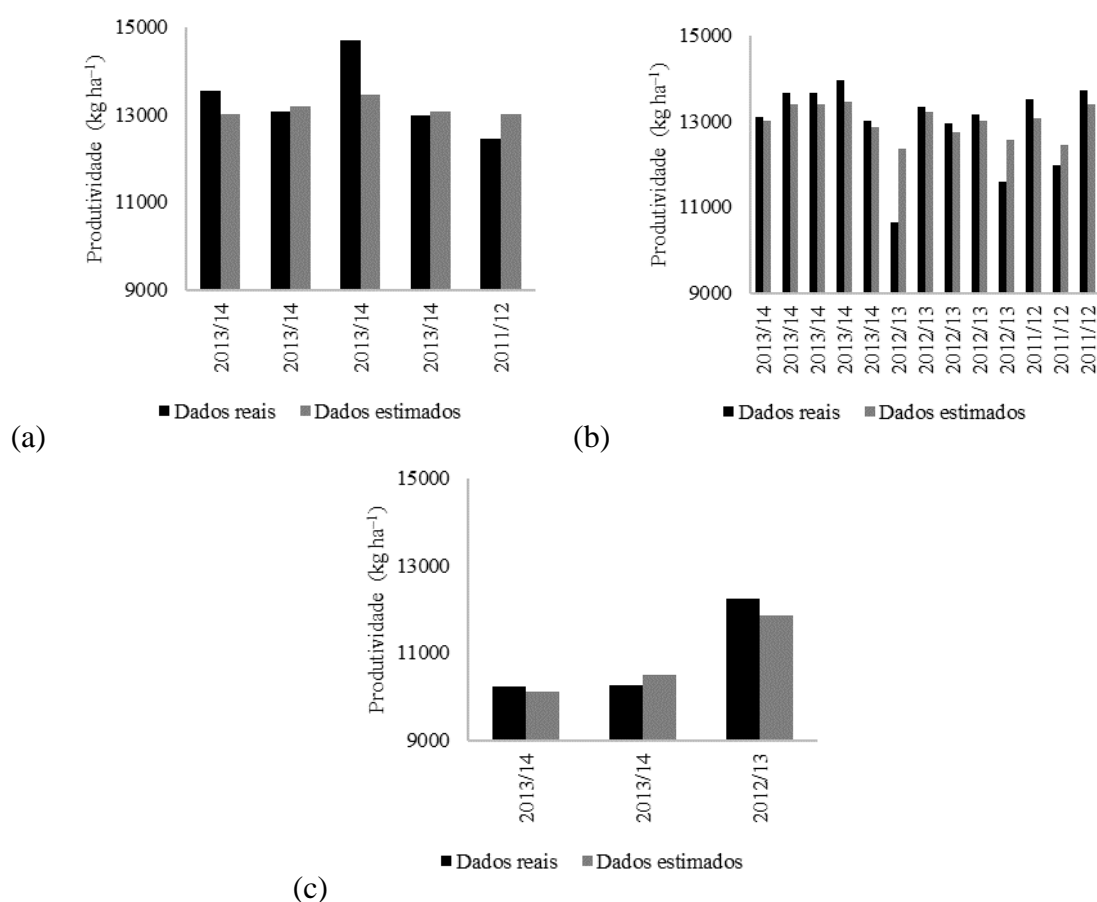


FIGURA 1 – Produtividade média real e estimada com o AquaCrop para cultura do milho, nos municípios de: (a) Castro-PR; (b) Socavão-PR; e, (c) Ponta Grossa-PR.

Os menores erros de estimativa da produtividade para a cultura do milho ocorreram no município de Ponta Grossa, mas foi possível levantar apenas três experimentos com milho para o município. Por isso, não se pode afirmar a existência de alguma tendência. A menor variabilidade nas estimativas para Ponta Grossa provavelmente está relacionada com os atributos do solo, pois os demais fatores são similares entre os municípios. Logo, os resultados indicam que o AquaCrop se mostrou mais eficiente nas simulações em Latossolos, comparado aos demais solos estudados.

Apesar dos erros absoluto e relativo nas estimativas de produtividade para o milho com o AquaCrop e do menor número de safras experimentais disponíveis (TABELA 2), os coeficientes de determinação das relações  $Y_r$  vs  $Y_s$  ainda foram superiores a 0,65 (FIGURA 2). A associação conjunta entre  $Y_r$  vs  $Y_s$  dos 21 experimentos na região dos Campos Gerais (Castro, Socavão e Ponta Grossa) resultou em  $R^2 = 0,79$  (FIGURA 2d). Os resultados evidenciaram que o modelo, após ajustes, também tem potencial para ser calibrado e validado para a cultura do milho na região dos Campos Gerais.

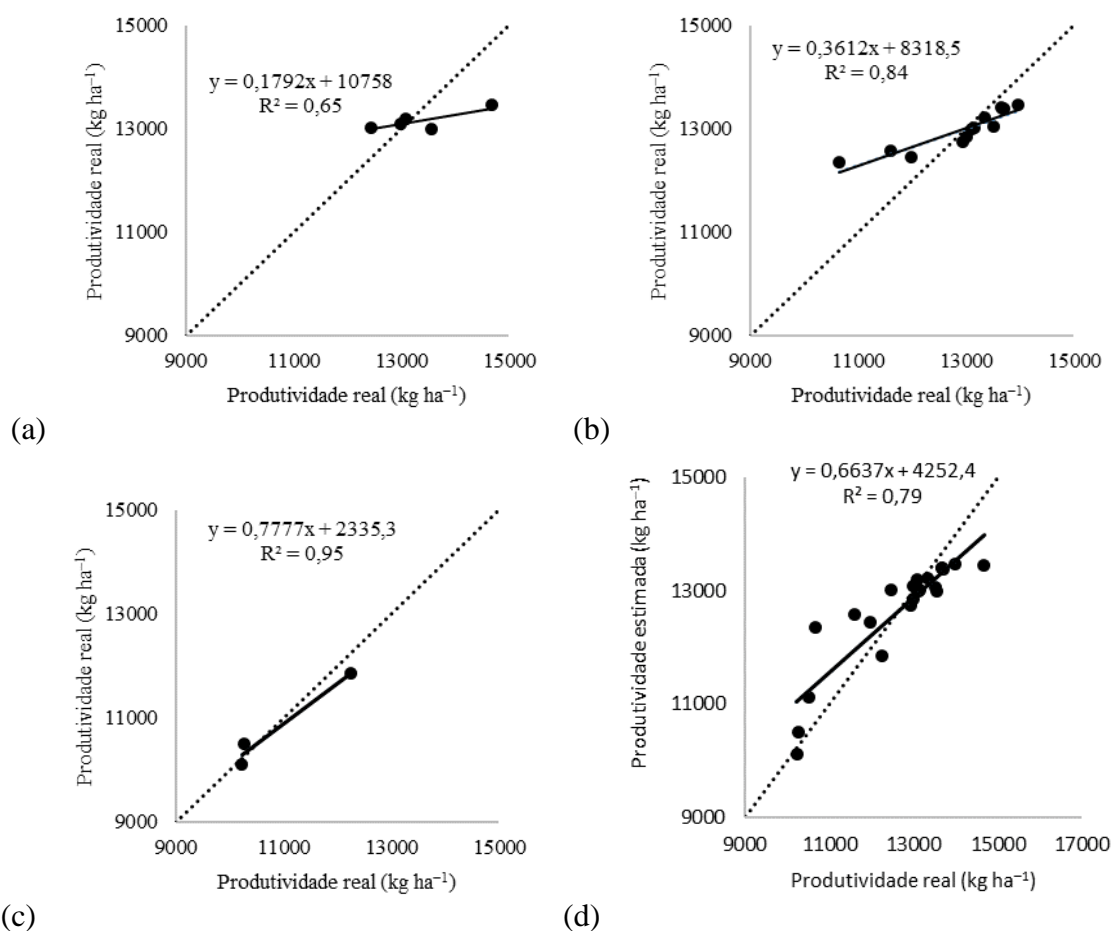


FIGURA 2 – Análise de regressão linear e respectivo coeficiente de determinação entre a produtividade média real e estimada com o AquaCrop, para a cultura de milho, nos municípios de: (a) Castro-PR; (b) Socavão-PR; (c) Ponta Grossa-PR; e, (d) Castro, Socavão e Ponta Grossa juntos (21 experimentos).

As análises das relações entre  $Y_r$  vs  $Y_s$  indicaram desempenho entre “mau” e “ótimo” para a cultura do milho na região dos Campos Gerais (TABELA 3). De forma geral, os coeficientes de correlação ( $r$ ) obtidos indicaram boa associação entre os valores  $Y_r$  vs  $Y_s$  para a cultura do milho ( $r > 0,81$ ). Logo, os desempenhos poderiam ter sido melhores se o índice de concordância (índice “ $d$ ”) fossem maiores. O índice “ $d$ ” é uma medida da distância em que os pontos da associação  $Y_r$  vs  $Y_s$  estão da reta de  $45^\circ$ , estando mais ligado ao processo de calibração do modelo. Logo, acredita-se que esse aspecto pode ser bastante melhorado em futuros trabalhos realizados com o AquaCrop na região dos Campos Gerais.

TABELA 3. Erros absoluto ( $Ea$ ) e relativo ( $Er$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), índices “ $d$ ” de Willmott (1982), “ $c$ ” de Camargo e Sentelhas (1997) e desempenho entre as produtividades reais médias observadas ( $Y_r$ ) e simulada no AquaCrop ( $Y_s$ ), para a cultura do milho, obtidos para cada experimento instalado na região dos Campos Gerais.

Cultura	Local	$Ea$ (kg ha <sup>-1</sup> )	$Er$ (%)	$R$ ---- (adimensional) ----	“ $d$ ”	“ $c$ ”	Desempenho
Milho	Castro	511	0,777	0,811	0,518	0,420	"Mau"
Milho	Socavão	436	0,258	0,921	0,769	0,708	"Bom"
Milho	Ponta Grossa	249	0,767	0,980	0,974	0,954	"Ótimo"
Milho	Campos Gerais <sup>(1)</sup>	427	0,187	0,877	0,914	0,802	"Muito Bom"

<sup>(1)</sup> Considerando todos os experimentos com a cultura do milho em Castro, Ponta Grossa e Socavão;

O melhor desempenho do AquaCrop ocorreu no município de Ponta Grossa (TABELA 3). Os resultados ocorreram nas estações experimentais cujo solo possui classificação Latossolo Vermelho Distrófico típico e os desempenhos obtidos nas simulações classificaram-se como “ótimo”.

O pior desempenho para a cultura do milho ocorreu em Castro (“Mau”) (TABELA 3). Assim, embora Socavão e Ponta Grossa tenham ficado com desempenho “bom” e “ótimo”, respectivamente, considera-se que as análises com a cultura do milho precisam ser melhor avaliadas, aguardando inclusive um número maior de safras para permitir a obtenção de resultados mais conclusivos. É interessante observar também, que os resultados foram obtidos em três tipos de solos, classificados como Cambissolo Háplico Distrófico típico (Castro), Latossolo Vermelho Distrófico típico (Ponta Grossa) e Organossolo Mésico Sápico típico (Socavão). Logo, baseando-se inclusive na literatura, considera-se que os resultados obtidos representam um avanço para a estimativa da produtividade da cultura do milho na região.

Outro aspecto interessante a ser observado refere-se ao desempenho “muito bom” obtido das análises conjuntas de  $Y_r$  vs  $Y_s$  do milho para região dos Campos Gerais.

## CONCLUSÕES

O *software* AquaCrop respondeu positivamente às expectativas quanto a simulação das produtividades de milho na região dos Campos Gerais, tendo desempenho “muito bom” considerando o conjunto das localidades.

Verificou-se que o tipo de solo interferiu nos resultados das análises do AquaCrop, sendo que os Latossolos apresentaram melhor desempenho e maiores correlações comparado aos demais solos estudados.

O AquaCrop demonstrou potencial em ser validado para a cultura do milho na região dos Campos Gerais, porém se faz necessário a calibração dos parâmetros do modelo para as condições específicas do local de estudo, com o objetivo de atingir resultados mais eficientes do modelo.

#### LITERATURA CITADA

ABEDINPOUR, M.; SARANGI, A.; RAJPUT, T. B. S.; SINGH, M.; PATHAK, H.; AHMAD, T. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in semi-arid environment. **Agricultural Water Management**. v. 110, p. 55-66, 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper n.56. Roma, FAO, 1998.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 5, p. 89-97, 1997.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1997.

GEERTS, S.; RAES, D.; GARCIA, M.; MIRANDA, R.; CUSICANQUI, J. A.; TABOADA, C.; MENDOZA, J.; HUANCA, R.; MAMANI, A.; CONDORI, O.; MAMANI, J.; MORALES, B.; OSCO, V.; STEDUTO, P. Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. **Agronomy Journal**. v. 101, p. 498-508, 2009.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**. p. 367-375, 1994.

HSIAO, T. C.; HENG, L.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERS, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parametrization and testing for maize. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 448-459, 2009.

IQBAL, M. A.; SHEN, Y.; STRICEVIC, R.; PEI, H.; SUN, H.; AMIRI, E.; PENAS, A.; 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.

MAGALHÃES, P. C. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2006.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLA, T. O.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 1, p. 225-241, 1995.

MELLO, A. CAIMI, L. L. Simulação na validação de sistemas computacionais para agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, p. 666-675, 2008.



MKHABELA, M. S; BULLOCK, P. R. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. **Agricultural Water Management**, v. 110, p. 16-24, 2012.

RAES, D; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. **AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water**: chapter 1. Roma, FAO, 2009.

SENTELHAS, P. C.; FARIA, R. T.; CHAVES, M. O.; HOOGENBOOM, G. Avaliação dos geradores de dados meteorológicos WGEN e SIMMETEO, nas condições tropicais e subtropicais brasileiras, usando modelos de simulação de culturas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 9, p. 357-376, 2001.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**. v. 101, p. 426-437, 2009.

TOJO-SOLER, C.; FOLEGATTI, M. V.; FARIA, R. T. Uso do modelo CERES-Maize para identificação de características genéticas desejáveis e de práticas adequadas de manejo em milho “safrinha” e determinação de práticas adequadas de manejo em condições de risco climático. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 339-346, 2001.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

WHISLER, F. D.; ACOCK, B.; BAKER, D. N.; FYE, R. E.; HODGES, H. F.; LAMBERT, J. R.; LEMMON, H. E.; MCKINION, J. M.; REDDY, V. R. Crop simulation models in agronomic systems. **Advanced Agronomy**, v. 40, p.141-208, 1986.

Willmott, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**. v. 63, p. 1309-1313, 1982.