

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE MILHO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA PARA CASTRO – PR

OLIVEIRA C.T.¹; SOUZA J.L.M.²; TSUKAHARA R.Y.³; CRUZ, J.B.C.¹; ROSA, S.L.K.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br; ³Pesquisador da Fundação ABC

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho estimar a produtividade de milho, com o auxílio do modelo AquaCrop em diferentes épocas de semeadura, identificando os períodos mais promissores para o desenvolvimento da cultura em Castro, Estado do Paraná. Os dados experimentais utilizados referentes ao clima, cultura e manejo, nas safras 2013/14 e 2014/2015, foram disponibilizados pela Fundação ABC, levantados na Estação Experimental localizada em Castro. Os valores utilizados referentes aos atributos físico-hídricos do solo são de um trabalho realizado anteriormente na área. O período de semeadura analisado foi estipulado acrescentando um mês anterior e um mês posterior ao recomendado pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura do milho no Estado do Paraná. As produtividades simuladas (Y_s) no período foram comparadas com as produtividades observadas (Y_r) no local de estudo. Os desvios percentuais foram computados para determinação da época de semeadura mais promissora para o milho na região. As épocas mais promissoras para o plantio de milho foram verificadas para a primeira quinzena de dezembro, em decorrência dos menores déficits hídricos nos períodos iniciais da cultura. Porém, recomenda-se que o plantio seja realizado em setembro, para que a cultura possa se desenvolver em época menos propícia ao desenvolvimento de problemas fitossanitários.

Palavras-chave: modelagem; simulação de produção; AquaCrop; Campos Gerais.

INTRODUÇÃO

A variação da produtividade agrícola nas safras é, principalmente, influenciada pelas condições climáticas durante o ciclo da cultura, especialmente quando são cultivadas em condições onde há restrição hídrica (Battisti e Sentelhas, 2014). No entanto, o problema pode ser contornado mediante a adoção de melhores estratégias de gerenciamento da plantação, como, por exemplo, identificando as melhores épocas de semeadura para ajustar o ciclo da cultura em períodos com condições climáticas mais favoráveis ao seu desenvolvimento, o que aumenta, conseqüentemente, a produtividade das culturas cultivadas (Battisti e Sentelhas, 2014; Andarzian et al., 2015; Srivastava et al., 2016).

A utilização de modelos na agricultura serve como auxílio aos experimentos de campo, por sua facilidade, velocidade e redução dos custos de execução (Corrêa et al., 2011). Esses modelos englobam processos biofísicos e bioquímicos (respiração, fotossíntese, transpiração, matéria seca e senescência), considerando os efeitos do solo, água, nutrientes e clima (Abendipour et al., 2012; Wang et al., 2013). Assim, modelos que simulam o crescimento e a produção de culturas são ferramentas que permitem auxiliar na busca por épocas de semeaduras mais promissoras para a cultura, em determinada localidade (Battisti e Sentelhas, 2014).

O AquaCrop é um modelo que possibilita estimar a produtividade das culturas levando em consideração o suprimento de água e manejo agrícola, baseando-se em conceitos fisiológicos da planta e disponibilidade de água no solo. Apesar de mais simplificada em relação a outros modelos, a estrutura do AquaCrop busca manter o equilíbrio entre precisão e robustez em suas simulações (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009).

Vários estudos já utilizaram o AquaCrop como ferramenta de gerenciamento agrícola e comprovaram sua habilidade na simulação da produção para diferentes culturas em diversos ambientes ao redor do mundo (Nyakudya e Stroosnijder, 2014; Stricevic et al., 2015; Haileselassie et al., 2016; Mirsafai et al., 2016; Toumi et al., 2016). Contudo, a utilização do modelo no Brasil ainda não é generalizada, principalmente voltada à previsão dos melhores períodos de plantio para as culturas agrícolas.

Assim, teve-se por objetivo no presente trabalho estimar a produtividade de milho, com o auxílio do modelo AquaCrop em diferentes épocas de semeadura, identificando os períodos mais promissores para o desenvolvimento da cultura em Castro, Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado para o município de Castro, Estado do Paraná, com altitude de 1001 m e coordenadas geográficas de 24,85° S e 49,93° W. O clima na região, conforme a classificação climática de Koppen é Cfb, descrito como subtropical úmido, clima oceânico sem estação seca com verão temperado (Álvares et al., 2013).

Os dados experimentais foram disponibilizados pela Fundação ABC, a partir de Estação Experimental localizada no município em estudo. O solo da área experimental é

classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico. O relevo da região varia de plano a suave ondulado. O sistema de preparo do solo é o plantio direto com cobertura vegetal homogênea, realizando-se rotação de culturas no inverno (trigo e aveia preta) e verão (soja e milho).

O modelo utilizado nas análises de simulação foi o AquaCrop, versão 5.0, disponibilizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2016).

As variáveis de entrada necessárias para utilização do modelo foram: temperaturas máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluviométrica (mm dia^{-1}), evapotranspiração de referência diária (ET_0 ; mm dia^{-1}), concentração média anual de CO_2 (ppm), conteúdo volumétrico de água na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), data de semeadura e colheita, população de plantas (plantas ha^{-1}), produtividade (kg ha^{-1}), duração dos estádios fenológicos da cultura (emergência, florescimento, senescência e maturidade), ausência de irrigação, fertilidade próxima ao ideal e presença de cobertura orgânica cobrindo 100% do solo.

Os dados de temperatura e precipitação (Figura 1), dos anos de 2013 a 2015, foram disponibilizados pela Fundação ABC, medidos nas estações agrometeorológicas instaladas na estação experimental de Castro. A evapotranspiração de referência diária foi estimada com o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), para os mesmos anos. A concentração média anual de CO_2 na atmosfera, disponibilizada na aba clima do modelo AquaCrop, foi obtida a partir do observatório de Mauna Loa, Havai (Raes et al., 2009).

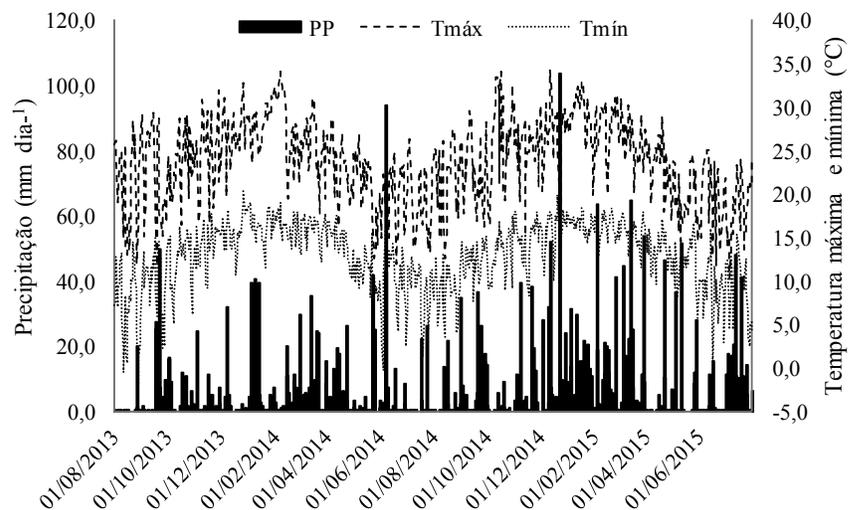


Figura 1 – Temperaturas máximas e mínimas médias diárias ($^{\circ}\text{C}$) do ar e precipitação média (mm dia^{-1}), entre 01/08/2013 a 30/07/2015, medidas na Estação Meteorológica instalada na Estação Experimental da Fundação ABC em Castro – PR.

□ ara 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). Os valores dos atributos físico-hídricos das camadas nas parcelas experimentais de Castro são de um trabalho preliminar desenvolvido por Piekarski (2016).

Os demais dados de entrada referentes à cultura foram disponibilizados pela Fundação ABC, a partir de experimentos realizados entre 2013 e 2015 na Estação Experimental de Castro. As datas de plantio e colheita, população de plantas e produtividade dos genótipos estudados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Datas de plantio e colheita, estande de plantas e produtividade dos genótipos P30F53YH, P30R50YH e AG8041PRO, nas safras 2013/14 e 2014/15, em Castro – Paraná.

Local	Genótipo	Saфра	----- Datas -----		Estande de Plantas (plantas ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
			Plantio	Colheita		
Castro	P30F53YH	2013/14	14/Out.	01/Abr.	74219	14681
	P30R50YH		14/Out.	15/Abr.	71094	13554
	AG8041PRO		14/Out.	15/Abr.	71094	13078
	P30F53YH	2014/15	07/Out.	31/Mar.	69531	14439
	P30R50YH		07/Out.	31/Mar.	75000	14418
	AG8041PRO		07/Out.	07/Abr.	64844	14293

A definição dos períodos de semeadura para análise em Castro baseou-se no Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC (Brasil, 2017), o qual identifica os municípios aptos, bem como os períodos de plantio com menor risco climático para o cultivo de algumas culturas nos municípios brasileiros. A partir dos períodos recomendados no ZARC para a cultura do milho na localidade estudada (Brasil, 2017), foi estipulado o período para as análises, abrangendo um mês anterior ao começo e um mês posterior ao término do zoneamento para Castro.

As simulações foram realizadas para as safras 2013/14 e 2014/15, tendo como início e final o período: 01/08 a 30/01. A partir do dia 01/08, as produtividades foram simuladas em intervalos de sete dias até o último dia do período.

As produtividades simuladas (Y_s) no período analisado foram dispostas em gráficos, e seus desvios percentuais (%) calculados em relação à produtividade observada (Y_r) na safra.

$$D = \frac{(Y_s - Y_r)}{Y_r} \cdot 100$$

Sendo: D – desvio percentual entre as produtividades observada e simulada na safra (%); Y_r – produtividade observada nas safras (kg ha⁻¹); Y_{s_i} – produtividade simulada na safra para o i -ésimo dia de plantio (kg ha⁻¹).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os desvios percentuais da produção estimada de grãos (Y_s) durante o período analisado (01/08 a 30/01), considerando diferentes cultivares (30F53YH, P30R50YH e AG8041PRO) e safras (2013/14 e 2014/15) em Castro, apresentaram oscilações crescentes e decrescentes em relação à Y_r praticamente nos mesmos períodos, evidenciando tendência

entre as safras (Figura 2). Os motivos das oscilações deveram-se ao período de plantio e ciclos de desenvolvimento da planta, que abrangeram diferentes estações do ano, as quais apresentam variações de temperaturas e precipitações entre si.

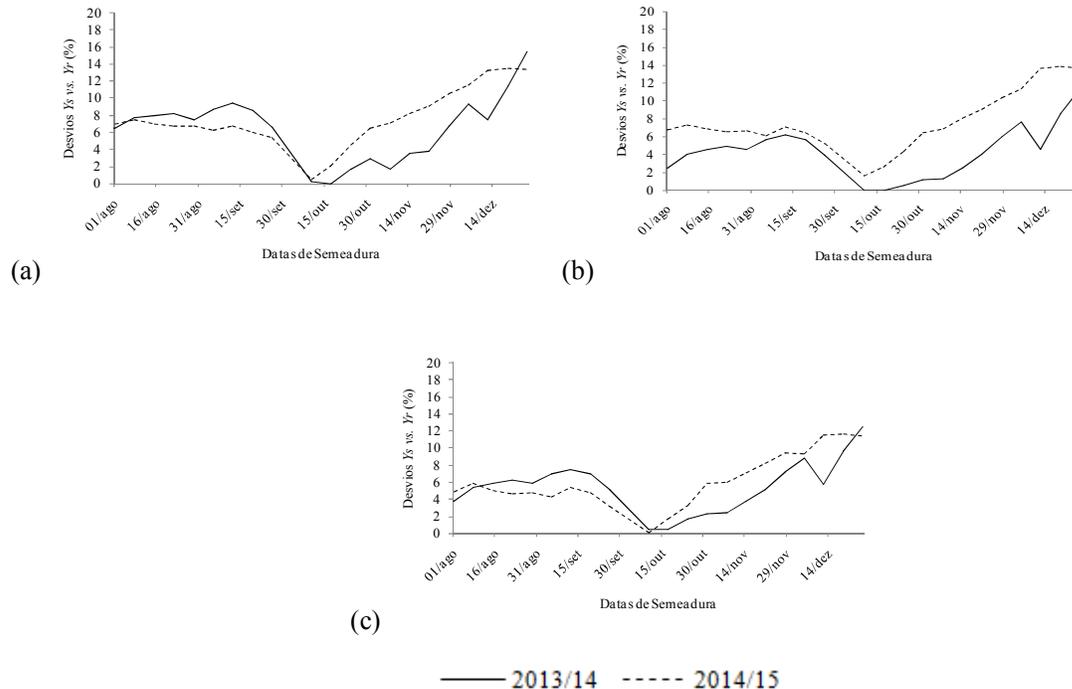


Figura 2 – Desvios percentuais (%) das produtividades estimadas (Y_s) de 01/agosto a 30/janeiro, nas safras 2013/14 e 2014/15, em relação a produtividade observada na safra em questão, considerando as cultivares: a) 30F53YH, b) P30R50YH e c) AG8041PRO.

Observa-se pelos desvios percentuais (Figura 1), que do início do período de semeadura até meados de setembro a produção de grãos cresce, porém decresce até meados de outubro, retomando seu crescimento após esse período. No geral, os desvios foram superiores a Y_r em todo o período de semeadura analisado e, quando próximo ao período de semeadura real (14/10/2013 e 07/10/2014), os desvios foram próximos à zero, indicando que a produção estimada no modelo foi próxima à observada no campo (Y_r).

Analisando os resultados por safra, os desvios das três cultivares (30F53YH, P30R50YH e AG8041PRO) indicaram tendência semelhantes (Figura 2). Na safra 2014/15, as cultivares 30F53YH e AG8041PRO apresentaram desvios superiores a safra 2013/14, após meados de outubro. Na mesma safra, a cultivar P30R50YH apresentou desvios superiores à 2014/15 durante todo o período de semeadura analisado.

Na safra 2013/14, nas semeaduras realizadas entre meados de dezembro e início de janeiro, ocorreram os maiores desvios positivos em relação a Y_r (4,53 a 18,77%; Figura 2). Para a safra 2014/15, os maiores desvios variaram entre 11,03 a 14,09% para semeaduras realizadas entre meados de dezembro ao final de janeiro (Figura 2). Nesse período, foram verificadas as maiores precipitações (Figura 1) e excedentes hídricos durante o ciclo, bem como as menores deficiências e consumo de água pela cultura (Figura 3).

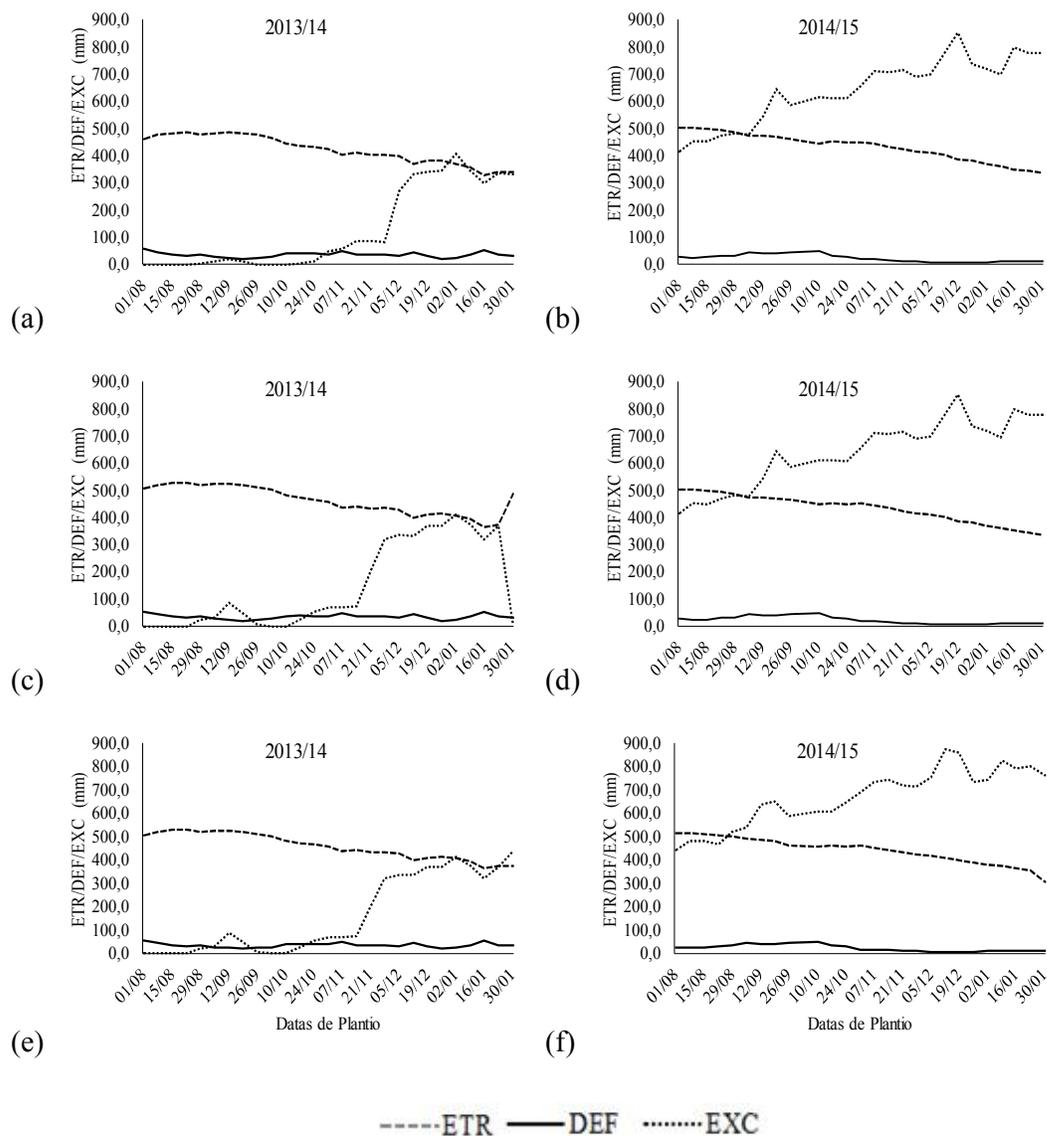


Figura 3. Evapotranspiração real (*ETR*), deficiência hídrica (*DEF*) e excedente hídrico (*EXC*), estimados com o modelo AquaCrop para o município de Castro – PR, entre 01/08 a 30/01, em duas safras (2013/14 e 2014/15), para três cultivares: a) 30F53YH, na safra 2013/14; b) 30F53YH, na safra 2014/15; c) P30R50YH, na safra 2013/14; d) P30R50YH, na safra 2014/15; e) AG8041PRO, na safra 2013/14; e, f) AG8041PRO, na safra 2014/15.

O consumo hídrico (*ETR*) das cultivares estudadas variou entre 300 a 500 mm, ocorrendo decréscimo gradual dos valores com o atraso da data de plantio de 01/08 a 31/01 (Figura 3). Para ocorrer boa condição de desenvolvimento e produção de grãos em seu ciclo, Fancelli e Dourado Neto (1997) relatam que a cultura do milho necessita entre 400 e 600 mm de água, dependendo do cultivar, estágio de desenvolvimento e ciclo da planta, conjuntamente

com fatores ambientais. Bergamaschi et al. (2001) comentam que a produção máxima de grãos de uma cultivar de ciclo médio necessita em torno de 650 mm de água para seu desenvolvimento. Assim, observa-se que os valores obtidos nas análises, envolvendo a variação da data de plantio, estão dentro dos limites dispostos na literatura.

Foram constatadas deficiência hídricas nas fases de emergência e vegetativa em todas as datas de plantio, para as três cultivares e safras analisadas. Porém, as maiores deficiências hídricas foram observadas no período entre o final de setembro e início de novembro, não afetando a fase crítica da cultura do milho. Wrege et al. (1999) consideram que a região dos Campos Gerais apresenta baixo risco de deficiência hídrica até o final de setembro ou após 20 de novembro, com probabilidades de 15 a 20% de ocorrência. Assim, comprova-se o déficit hídrico entre final de setembro a início de novembro.

Na fase de emergência, a deficiência hídrica afeta a germinação das sementes, resultando na diminuição da população de plantas. Na fase vegetativa o déficit causa redução da área foliar, resultando na redução da taxa de crescimento da planta. Como a absorção da radiação solar depende da área foliar, em períodos de estresse hídrico a interceptação da radiação é reduzida em decorrência da redução da área foliar, além de causar murcha e enrolamento das folhas (Fancelli, 2002; Bergamaschi et al., 2006).

O milho é uma planta com rota metabólica C₄, estando no grupo de maior eficiência do uso da radiação solar. Sua fisiologia permite que a planta alcance a máxima produtividade de grãos quando a máxima área foliar ocorre com a interceptação da maior radiação solar disponível, permitindo a maximização da fotossíntese, aumentando a necessidade hídrica da cultura, pois o alto fluxo de energia incidente eleva a evapotranspiração (Bergamaschi et al., 2004).

Mesmo assim, as produtividades das cultivares de milho, nas safras analisadas, foram superiores à média paranaense e nacional (Conab, 2017).

Caramori (2003) ressalta que se deve observar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático ao escolher a data de semeadura, a fim de diminuir os riscos de perda de produção devido à baixa disponibilidade de água às plantas no período de semeadura escolhido. Assim, observa-se que a primeira quinzena de dezembro foi propícia em ambas as safras, contribuindo com as maiores produções de grãos de milho. Wagner et al. (2013) verificaram que o dia 10 de novembro é a data mais recomendada para a semeadura do milho em Guarapuava-PR, por resultar em maior produção de grãos e menor probabilidade de déficit hídrico no período crítico para a cultura (floração a fecundação). Kopp et al. (2015) relataram que a melhor data de semeadura foi 15 de dezembro para os municípios do Rio Grande do Sul, devido a menor deficiência hídrica durante o ciclo de cultivo.

Apesar do AquaCrop estimar as maiores produtividades no período de semeadura compreendido entre novembro e dezembro, vale-se ressaltar que o modelo não leva em conta aspectos como pragas e doenças. O milho semeado no período iria se desenvolver em época de altas temperaturas e precipitações, fatores que podem propiciar a ocorrência de pragas e doenças. Com isso, os produtores da região optam por plantarem o milho preferencialmente em setembro, visto que a cultura exigiria menor controle fitossanitário e conseqüentemente menor gasto com defensivos agrícolas.

CONCLUSÕES

A primeira quinzena de dezembro é o período que proporciona as maiores produtividades simuladas da cultura do milho no AquaCrop, em relação as produtividades observadas em Castro, no mesmo período. A cultura semeada em dezembro irá se desenvolver em condições favoráveis a maior ocorrência de pragas e doenças. Apesar da semeadura do milho em setembro não maximizar a produtividade da cultura em Castro, o período compreende a melhor opção em decorrência da menor exposição da cultura aos fatores favoráveis ao desenvolvimento de problemas fitossanitários.

LITERATURA CITADA

- Abendipour M, Sarangi A, Rajput TBS, Singh M, Pathak H, Ahmad T. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. 2012; 110:55-66.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper n.56. Roma, FAO, 1998.
- Álvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppens's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. 2013; 22:711-728.
- Andarzian B, Hoogenboom G, Bannayan M, Shirali M, Andarzian B. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2015; 14:189-199.
- Battisti R, Sentelhas PC. New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: a case study. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2014; 18:1149-1156.
- Bergamaschi H, Dalmago GA, Bergonci JI, Bianchi CAM, Muller AG, Comiran F, Heckler BMM. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 2004; 39:831-839.
- Bergamaschi H, Dalmago GA, Comiran F, Bergonci JI, Muller AG, França S, Santos AO, Radin B, Bianchi CAM, Pereira PG. Déficit Hídrico e Produtividade na Cultura do Milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2006; 41:243-249.
- Bergamaschi H, Radin B, Rosa LMG, Bergonci JI, Aragonés RS, Santos AO, França S, Langensiepen M. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. Revista Argentina de Agrometeorologia. 2001; 1:23-27.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola [internet]. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2017 [acesso em 13 de março de 2017]. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/safra-vigente/parana>.
- Caramori PH. Zoneamento agrícola no estado do Paraná. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2003.
- Conab. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2015/16 de grãos, 2001 a 2016 de café, 2005/06 a 2016/17 de cana-de-açúcar [internet]. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento; 2017 [acesso em 23 jan 2017]. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos

- Corrêa TRC, Lorençoni R, Dourado Neto D, Sacarpere FV, Vivian R, Ruiz ET. Aplicações e limitações da modelagem na agricultura – revisão. *Revista de Agricultura*. 2011; 86:1-13.
- Fancelli AL, Dourado Neto D. Fenologia do milho. In: Fancelli AL, Dourado Neto D. (Coord.). *Tecnologia da produção de milho*. Piracicaba: Publique; 1997. p.131-140.
- Fancelli AL. O sistema de plantio direto. *Curso de Especialização à Distância: Tecnologia da produção de milho*. Piracicaba-SP; 2002.
- FAO. AquaCrop [internet]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2016 [acesso em 20 nov 2016]. Disponível em: <http://www.fao.org/aquacrop/software/en/>.
- Haileselassie H, Araya A, Habtu S, Meles KG, Gebru G, Kisekka I, Girma A, Hadgu KM, Foster AJ, Exploring optimal farm resources management strategy for *Quncho-teff (Eragrostis tef)* (Zucc.) Trotter) using AquaCrop model. *Agricultural Water Management*. 2016; 178:148-158.
- Kopp LM, Peiter MX, Ben LHB, Nogueira HMCM, Padrón RAR, Robaina AD, Buske TC. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para a cultura do milho em municípios do RS. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 2015; 14:235-246.
- Mirsafi ZS, Sepaskhah AR, Ahmadi SH, Haghghi AAK. Assessment of AquaCrop model for simulating growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*. 2016. 211:343-351.
- Nyakudya IW, Stroosnijder L. Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: modelling with AquaCrop. *Agricultural Water Management*. 2014; 146: 280-296.
- Piekarski KR. Simulação da produtividade de soja e milho com o modelo Aquacrop na região dos Campos Gerais [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2016.
- Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*. 2009; 101:438-447.
- Srivastava AK, Mboh CM, Gaiser T, Webber H, Ewert F. Effect of sowing date distributions on simulation of maize yields at regional scale – a case study in Central Ghana, West Africa. *Agricultural Systems*. 2016; 147:10-23.
- Steduto P, Hsiao TC, Raes D, Fereres E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. 2009; 101:426-437.
- Stricevic R, Dzeletovic Z, Djurovic N, Cosic M. Application of the AquaCrop model to simulate the biomass of *Miscanthus x giganteus* under different nutrient supply conditions. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015; 7:1203-1210.
- Toumi J, Er-Raki S, Ezzahar J, Khabba S, Jarlan L, Chehbouni A. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensif Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. *Agricultural Water Management*. 2016; 163:219-235.
- Wagner MV, Jadoski SO, Maggi MF, Saito LR, Lima AS. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2013; 17:170-179.
- Wang J, Li X, Lu L, Fang F. Parameter sensitivity analysis of crop growth models based on the extended oulier amplitude sensitivity test method. *Environmental Modelling and Software*. 2013; 48:171-182.
- Wrege MS, Gonçalves SL, Caramori PH, Vasconcellos MEC, Oliveira D, Abucarub Neto M, Borrozzino E, Caviglione JH. Risco de deficiência hídrica na cultura do milho no estado do Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 1999; 34:1119-1124.