

PARAMETRIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CSM-CERES-MAIZE PARA CUL-TIVARES DE MILHO RECOMENDADAS PARA A MICRORREGIÃO DE PELOTAS, RS

TALES ANTÔNIO AMARAL¹, ANA CLÁUDIA RODRIGUES DE LIMA², CAMILO DE LELIS TEIXEIRA DE ANDRADE³ e SÉRGIO DELMAR DOS ANJOS E SILVA⁴

¹*Sistemas de Produção Agrícola Familiar, SPAF, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, RS, Brasil - tales_aamaral@yahoo.com.br*

²*Departamento de Solos, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, RS, Brasil - anaclima@hotmail.com*

³*Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil - camilo.andrade@embrapa.br*

⁴*Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil - sergio.anjos@cpact.embrapa.br*

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.14, n.3, p. 371-391, 2015

RESUMO – Os objetivos deste trabalho foram parametrizar o modelo CSM-CERES-Maize para diferentes cultivares e avaliar o desempenho das simulações do modelo. Para a parametrização do modelo, foi conduzido ensaio irrigado, na estação experimental da Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Pelotas, RS, onde foram utilizadas as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122. Um segundo ensaio, em regime de sequeiro, com as cultivares Amarelão e AL 30, foi conduzido para se avaliar a capacidade preditiva do modelo em Canguçu, RS. A qualidade das simulações foi avaliada estatisticamente empregando-se o índice “d” de concordância e o quadrado médio do erro, RMSE. Valores de RMSE e de “d” indicaram simulações de boa qualidade e adequado índice de concordância para a simulação da produtividade de grãos nos ensaios de parametrização e avaliação do modelo. Os melhores valores de RMSE e de “d” para a fitomassa seca da parte aérea foram observados para a cultivar AG 5011 no ensaio de parametrização e para a variedade AL 30 no ensaio de avaliação do modelo. Nos ensaios, para todas as cultivares, as simulações do número de folhas foram consideradas excelentes.

Palavras-chave: agricultura familiar, modelagem, DSSAT, *Zea mays* L.

PARAMETERIZATION AND EVALUATION OF THE CSM-CERES-MAIZE MODEL FOR MAIZE CULTIVARS RECOMMENDED FOR THE MICRO-REGION OF PELOTAS, RS

ABSTRACT - The objectives of this study were to parameterize the CSM-CERES-Maize model for different cultivars, and evaluate the performance of the model's simulations. To parameterize the model, an irrigated trial was conducted at the experimental station of the Embrapa Temperate Climate, located in the city of Pelotas, RS, Brazil, using the cultivars Amarelão, AL 30, AG 5011 and AG 122. A second trial was conducted under rainfed conditions with the cultivars Amarelão and AL 30 in order to evaluate the predictive capability of the model in Canguçu, RS, Brazil. The quality of the simulations was evaluated using the statistics index of agreement (d), and mean square error, RMSE. The values of RMSE and “d” indicated good quality of simulations and appropriate level of agreement, for simulation of yield in the trials of parameterization and evaluation of the model. The best values of RMSE and “d” for the aboveground biomass were observed for the cultivar AG 5011 at the parameterization trial, and for the variety AL 30 at the evaluation trial of the model. The simulation of leaf number were considered excellent for all cultivars.

Keywords: family-farming, modeling, DSSAT, *Zea mays* L.

O milho tem importância socioeconômica significativa no estado do Rio Grande do Sul (RS) por ser uma cultura de pequena propriedade e pela extensa área de cultivo. Segundo o Censo Agropecuário de 2006, a agricultura familiar no Rio Grande do Sul conta com 226.311 estabelecimentos produtores de milho, com uma área colhida de 908.615 ha, sendo a quantidade produzida de 3.480.534.741 kg, perfazendo um valor total da produção de R\$ 902.496.773 (IBGE, 2006).

A produtividade média anual de milho entre os anos de 2003 e 2012, para o estado do Rio Grande do Sul e para o município de Pelotas, foi de 3.607 e 2.952 kg ha⁻¹, respectivamente. Ambas estão abaixo da média da produtividade nacional, no mesmo período, que foi de 3.881 kg ha⁻¹ para a primeira safra (IBGE, 2014).

A resposta da cultura do milho, em termos de produção de fitomassa e produtividade de grãos, depende de vários fatores que interagem entre si, sendo que alguns destes fatores são dinâmicos, como por exemplo as condições climáticas. O uso da modelagem pode ser útil para avaliar este tipo de problema, pois, além de possibilitar a simulação de diversos cenários de manejo dos fatores de produção, permite o entendimento da dinâmica dos processos envolvidos no sistema e também o isolamento do efeito de alguns fatores na produtividade das culturas.

No que diz respeito à pesquisa científica voltada para a agricultura familiar, há amplas possibilidades de aplicação de modelos de simulação da cultura do milho, principalmente nas áreas de avaliação de interações genótipo x ambiente, caracterização de ambientes para instalação de ensaios, caracterização de seca, manejos de nitrogênio e de água, épocas de semeadura, avaliação de efeitos de mudanças climáticas no desempenho das culturas, entre outras (An-

drade et al., 2009). Portanto, modelos são ferramentas úteis quando os efeitos nas culturas dependem de interações complexas com o solo, com o clima e com outras decisões relacionadas ao próprio manejo do agroecossistema.

O modelo de crescimento de culturas DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (Jones et al., 2003) apresenta potencial de uso para responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente, como também nas decisões de práticas culturais antes e durante o período da cultura no campo, como aplicações de fertilizantes e irrigação (Boote et al., 1996).

Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência do modelo DSSAT no auxílio à tomada de decisões de manejo. Em um estudo realizado na Nigéria, diferentes densidades de semeadura de milho de sequeiro foram simuladas com o modelo CERES-Maize (Jagtap et al., 1998). As melhores datas de semeadura de milho de sequeiro e irrigado em um sistema de sucessão com grão-de-bico na Índia foram definidas empregando resultados de simulação (Singh & Srinivas, 2007). Para Sete Lagoas, MG, empregaram-se resultados de simulações, realizadas com o modelo CERES-Maize, para o desenvolvimento de uma metodologia para auxiliar na tomada de decisão quanto ao período de semeadura de milho (Amaral et al., 2009). Este mesmo modelo foi empregado para avaliar o desempenho da cultura do milho em regime de sequeiro e sob irrigação em Sete Lagoas, MG (Andrade et al., 2009a, 2009b). Soler et al. (2007) avaliaram o efeito de diferentes datas de semeadura de cultivares com diferentes ciclos na região de Piracicaba e Manduri, em São Paulo, utilizando o mesmo modelo sob condições de sequeiro e irrigado. Porter

et al. (2009) fornecem uma visão geral da arquitetura do modelo DSSAT e detalham a capacidade de modelagem da matéria orgânica do solo. Amaral et al. (2011) utilizaram o modelo para definir uma janela de semeadura para a cultura do milho irrigado com base em resultados de simulação realizados para as condições de manejo da Fazenda do Riacho, localizada no município de Matozinhos, MG. No mesmo estudo, Andrade et al. (2011) avaliaram a produtividade da água, simulada pelo modelo, para a cultura do milho irrigado semeado em diferentes datas. Andrade et al. (2012) utilizaram o modelo CSM-CERES-Maize para avaliar a produtividade e a rentabilidade de um sistema de produção de milho de sequeiro para pequenos agricultores, utilizando esterco bovino como fonte de nitrogênio. Silva et al. (2013) utilizaram o modelo CSM-CERES-Maize para avaliar a sustentabilidade do uso a longo prazo de dejetos de suínos para a produção de milho de sequeiro.

Os objetivos deste trabalho foram parametrizar o modelo CSM-CERES-Maize para diferentes cultivares utilizadas por produtores familiares no Rio Grande do Sul e avaliar o desempenho do modelo para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do milho.

Material e Métodos

O ensaio de campo para a obtenção de dados necessários à parametrização do modelo foi conduzido na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado em Pelotas, RS, (31° 42' Sul, 52° 24' Oeste, altitude 57 m). Paralelamente, dados foram coletados em uma lavoura na propriedade de um produtor familiar no município de Canguçu, RS (31° 23' 57,6' Sul, 52° 36' 23,3 Oeste, altitude 314 m). Os resultados dos dois ensaios foram utilizados para a parametrização

e a avaliação do modelo CSM-CERES-Maize do sistema DSSAT, versão 4.5.1.023 (Hoogenboom et al., 2013).

O clima dos locais é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido (Cfa). Esta classificação indica que a temperatura média do mês mais frio situa-se entre 18 e -3 °C, que no mês mais seco a precipitação é maior do que 60 mm (Cf) e que a temperatura média do ar do mês mais quente é superior a 22° (Cfa).

Dados Climáticos: Dados meteorológicos diários, incluindo precipitação, temperaturas mínima e máxima do ar e horas de insolação foram obtidos na Estação Agrometeorológica da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS (31° 42' Sul, 52° 24' Oeste, altitude 57 m), que fica aproximadamente a 50 km da propriedade do agricultor familiar utilizada como estudo de caso. A taxa de radiação solar diária incidente foi estimada a partir de dados de horas de insolação usando a equação de Angström-Prescott (Angström, 1924; Prescott, 1940).

Caracterização dos Solos: O solo representativo do município de Pelotas é um Planossolo, que compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do horizonte A para o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela formação de lençol d'água sobreposto (suspenso), de existência periódica e presença variável durante o ano (Embrapa, 2013).

Em Canguçu, o solo representativo é um Argissolo Típico, que compreende solos constituídos

por material mineral que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa ou alta, conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico,

sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (Embrapa, 2013). Amostras do perfil deste solo foram coletadas e levadas ao laboratório para análises físicas e de fertilidade (Tabelas 1 e 2).

TABELA 1. Características do perfil do solo no experimento de parametrização.

Características	Profundidade (m)					
	0,05	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90
Ponto de murcha ($m^3 m^{-3}$)	0,198	0,180	0,180	0,259	0,352	0,314
Capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$)	0,229	0,228	0,221	0,309	0,368	0,328
Saturação ($m^3 m^{-3}$)	0,366	0,425	0,329	0,388	0,410	0,373
Fator de crescimento de raiz	1,0	1,0	1,0	0,4	0,3	0,2
Densidade ($kg m^{-3}$)	1,72	1,71	1,77	1,64	1,66	1,71
Carbono Orgânico (%)	0,91	0,85	0,63	0,47	0,40	0,33
Argila (%)	14,3	16,0	14,3	21,0	31,7	33,3
Silte (%)	4,0	4,0	4,0	3,3	3,0	3,0
Nitrogênio Total (%)	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03
pH em água	5,7	5,0	4,8	4,7	4,8	4,9

TABELA 2. Características do perfil do solo no experimento de avaliação.

Características	Profundidade (m)					
	0,05	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90
Ponto de murcha ($m^3 m^{-3}$)	0,260	0,216	0,185	0,150	0,335	0,314
Capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$)	0,300	0,242	0,213	0,196	0,344	0,328
Saturação ($m^3 m^{-3}$)	0,380	0,318	0,373	0,326	0,404	0,373
Fator de crescimento de raiz	1,0	1,0	1,0	0,4	0,3	0,2
Densidade ($kg m^{-3}$)	1,50	1,68	1,60	1,72	1,60	1,71
Carbono Orgânico (%)	1,2	1,3	1,0	1,0	1,4	0,33
Argila (%)	16	22	22	25	25	33,3
Silte (%)	16,3	15,1	18,2	13,9	22,2	3,0
Nitrogênio Total (%)	0,13	0,11	0,10	0,09	0,13	0,03
pH em água	5,5	5,2	5,0	4,8	4,8	4,9

Cultivares: Foram selecionadas, junto aos comerciantes locais, as quatro cultivares de milho mais comercializadas entre os produtores familiares da região. O híbrido triplo AG 5011 tem ciclo precoce, requer nível de tecnologia considerado alto, sendo utilizado tanto para grão, quanto para silagem de planta inteira (Cruz et al., 2011); o híbrido duplo AG 122 tem ciclo precoce, requer nível médio de tecnologia e é utilizado para grão e para silagem de planta inteira (Cruz et al., 2011); a variedade AL 30, desenvolvida pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, do estado de São Paulo (CATI, 2014), tem ciclo semiprecoce, requer nível de tecnologia médio, sendo utilizada para grão e silagem de planta inteira (Cruz et al., 2011); a variedade crioula Amarelão requer baixa tecnologia, tem grãos de cor amarelada, excelente empalhamento, com aproximadamente 2 m de altura, é resistente a doenças, tem bom potencial de produção de grãos e silagem e é utilizada por produtores familiares do Sul do Rio Grande do Sul. As duas últimas cultivares são utilizadas há vários anos pelo produtor rural em Canguçu, RS.

Detalhes do Ensaio de Parametrização do Modelo: O primeiro ensaio, para obtenção dos dados necessários ao ajuste dos coeficientes genéticos para as diferentes cultivares, foi instalado na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado em Pelotas, RS (latitude 31° 42' S, longitude 52° 24' O e altitude 57 m). As parcelas experimentais de cada cultivar foram organizadas em um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições.

O ensaio foi conduzido em condições ótimas para o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho, não tendo sido permitida a ocorrência de estresses hídrico e nutricional. Procedeu-se também ao controle de plantas daninhas, de pragas e de doenças. A semeadura manual foi realizada no dia 21 de

novembro de 2012 e a colheita no dia 17 de abril de 2013, aos 147 dias após a semeadura (DAS). O espaçamento entrelinhas foi de 0,8 m e a população de plantas, na colheita, foi de 39, 40, 51 e 52 mil plantas ha⁻¹ para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente. A adubação consistiu em 370 kg ha⁻¹ da fórmula 10-20-20 (N, P₂O₅, K₂O) na semeadura e duas doses de 200 kg ha⁻¹ de ureia, aplicadas aos 26 e aos 50 DAS. A irrigação foi manejada com uma planilha eletrônica que, a partir de dados de precipitação e da evapotranspiração da cultura, calcula o balanço de água no solo e indica o momento da irrigação e a lâmina de água a ser aplicada (Albuquerque & Andrade, 2001). A lâmina de irrigação, aplicada durante o ciclo da cultura, foi de 227 mm e a precipitação, no mesmo período, foi de 594 mm (Figura 1 A).

Detalhes do Ensaio de Validação do Modelo: Paralelamente à coleta de dados para parametrização do modelo, um segundo ensaio foi conduzido com o objetivo de se avaliar a capacidade preditiva do modelo. Assim, foram coletados dados em uma lavoura de milho conduzida em regime de sequeiro em uma propriedade familiar no município de Canguçu, RS. O produtor familiar normalmente semeia as cultivares Amarelão e AL 30. As parcelas para coleta dos dados foram distribuídas ao acaso na lavoura, com quatro repetições.

A semeadura, realizada com plantadeira tração por trator, ocorreu em 17 de dezembro de 2012. Empregou-se um espaçamento entrelinhas de 0,9 m e uma população de plantas de 42 e 55 mil plantas ha⁻¹ para as cultivares Amarelão e AL 30, respectivamente. A adubação consistiu de 150 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20 (N, P₂O₅, K₂O) mais 45 kg ha⁻¹ de ureia, aplicado aos 10 DAS e repetidas aos 18 DAS. A colheita foi realizada no dia 24 de maio de

2013, aos 158 DAS.

Detalhes da Coleta de Dados: As coletas de dados foram semelhantes nos ensaios de parametrização e de avaliação do modelo. Dez plantas foram marcadas, em cada parcela, para monitoramento da data da antese, que foi considerada quando 50% das plantas apresentavam bonecas com 2 cm de cabelo visíveis. Nas mesmas 10 plantas, contaram-se o número de folhas com a ponta aparecendo e o número de folhas com a lígula aparecendo.

Quando a palha da espiga ficou amarelada, iniciou-se a avaliação da maturidade fisiológica, que consistiu na observação do aparecimento da camada preta na base dos grãos; determinou-se também a umidade dos grãos com o medidor de umidade eletrônico. A data de maturidade fisiológica da cultura foi considerada quando 50% das sementes apresentaram a camada preta bem definida, estando o grão com teor de umidade entre 30 e 35%.

Em quatro datas ao longo do ciclo do milho: 20 de dezembro de 2012 (29 DAS); 31 de janeiro de 2013 (71 DAS); 06 de março de 2013 (105 DAS); e 17 de abril de 2013 (147 DAS), no ensaio de parametrização, e em três datas: 30 de janeiro de 2013 (44 DAS); 25 de março de 2013 (98 DAS); e 24 de maio de 2013 (158DAS), no ensaio de avaliação do modelo, foram coletadas amostras para avaliação da fitomassa seca aérea. Cinco plantas representativas de cada parcela foram cortadas rente ao solo e levadas à bancada para separação de folhas + bainha, caule + pendão, espigas, grãos, sabugo e palha. As amostras foram levadas para secar em estufa a 65 °C até peso constante. Os dados foram convertidos em peso de matéria seca por unidade de área. No ensaio de parametrização, a área das folhas de milho foi medida em um medidor de bancada modelo Li-Cor 3000. Determinou-se, posteriormente, o índice de

área foliar (IAF).

Na colheita, que ocorreu em 17 de abril de 2013 para o ensaio de parametrização e em 24 de maio para o de avaliação, foram colhidas três linhas de 4 m em cada parcela, totalizando uma área de 156 m² no ensaio de parametrização e de 81 m² no ensaio para avaliação do modelo. Foram avaliados rendimento de grãos, fitomassa da parte aérea, expressos em matéria seca, grãos m⁻² e peso unitário de grãos, todos determinados para cada uma das quatro repetições nos dois ensaios. Os componentes das plantas foram processados e levados ao laboratório para determinação da massa seca em estufa a 65 °C, sendo convertidos, posteriormente, em peso seco por unidade de área. Todos os dados foram apresentados e discutidos com a umidade do grão a 0%, ou seja, em termos de matéria seca.

Amostras de solo deformado foram colhidas com trado holandês antes da semeadura para determinações do teor inicial de água no solo e das concentrações iniciais de nitrato (N-NO₃) e de amônia (N-NH₄). As profundidades de amostragem foram 0 - 0,05; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,30; 0,30 - 0,50; 0,50 - 0,70; 0,70 - 0,90 m, no ensaio de parametrização, e 0 - 0,05; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,30; 0,30 - 0,50; 0,50 - 0,70 m, no ensaio de avaliação do modelo (Tabela 3). Posteriormente, foram abertas trincheiras nas áreas dos dois ensaios para coleta de amostras de solos deformado e indeformado para determinação de outros atributos necessários à criação do arquivo de perfil de solo do modelo. As amostras de solo foram levadas ao Laboratório de Ciências do Solo da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), onde se determinaram ponto de murcha permanente, capacidade de campo, saturação, densidade, carbono orgânico, argila, silte, nitrogênio total e pH em água (Tabelas 1 e 2).

Parametrização do Modelo: O ajuste dos

TABELA 3. Teor inicial de água no solo e concentrações iniciais de Nitrato (N-NO₃) e Amônio (N-NH₄) nos experimentos de parametrização e avaliação.

Profundidade (m)	Teor de Água no Solo (m ³ m ⁻³)		N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)		N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	
	Parametrização	Avaliação	Parametrização	Avaliação	Parametrização	Avaliação
0,05	0,264	0,268	6,98	22,57	14,19	8,84
0,10	0,250	0,246	7,33	16,17	12,32	3,60
0,30	0,248	0,285	8,83	21,98	5,93	11,16
0,50	0,239	0,293	4,65	33,26	3,49	19,54
0,70	0,304	0,265	6,04	29,65	2,27	16,51
0,90	0,304		6,74		3,84	

coeficientes genéticos do modelo foi realizado separadamente para cada uma das cultivares, seguindo um procedimento de tentativa e erro descrito em Tsuji et al. (1998). Inicialmente, ajustou-se o coeficiente P1 (soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil; temperatura base 8 °C) até que a data da antese simulada coincidissem com a data da antese observada; em seguida, ajustou-se o coeficiente PHINT (intervalo em soma térmica, temperatura base de 8 °C, necessária para a aparição de folhas subsequentes). Na sequência, o coeficiente P5 (soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão; temperatura base 8 °C) foi ajustado para fazer coincidirem as datas das maturidades fisiológicas simulada e observada. Finalmente, os coeficientes G2 (número máximo possível de grãos por planta) e G3 (taxa de enchimento do grão sob condições ótimas de crescimento) foram ajustados até que as produtividades de grãos simuladas e observadas coincidissem.

Avaliação da Capacidade Preditiva do Modelo: A qualidade das simulações foi avaliada empregando-se as estatísticas, índice “d” de concordância (Willmott et al., 1985) e o quadrado médio do erro (RMSE), (Loague & Green, 1991) convertido para

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \right] \text{ descrito nas equações 1 e 2.}$$

Equação 1

onde N é o número de observações, P_i é o valor estimado, O_i é o valor observado, P’_i = P_i - M e O’_i = O_i - M, onde M é o valor médio da variável observada.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} * \frac{100}{M}$$

Equação 2

Para o índice “d”, quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre valores simulados e observados. O RMSE indica a diferença relativa, em %, entre os valores simulados e observados. A simulação é considerada excelente quando RMSE é menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30% (Jamieson et al., 1991).

Resultados e Discussão

Dados Climáticos: Na região de Pelotas, RS, a precipitação é uniforme ao longo dos meses do ano. Entretanto, podem ocorrer veranicos, que consistem em dias consecutivos sem chuvas no meio do período.

do chuvoso de uma determinada região (Couto et al., 1986; Braun et al., 2000; De Assis et al., 2006). A ocorrência desses veranicos pode coincidir com fases críticas para a cultura do milho, causando reduções na produtividade (Morizet & Togola, 1984). Planejamentos adequados de práticas de manejo de irrigação são necessários a fim de reduzir os riscos causados por veranicos. A precipitação total, durante o período de crescimento da cultura do milho, foi de 594 mm, para o ensaio de parametrização do modelo, e de 611 mm, para o ensaio de avaliação (Figura 1 A). As temperaturas mínimas variaram de 4,6 a 24,1 °C, as temperaturas máximas variaram entre 14,5 e 39,7 °C e as temperaturas médias variaram entre 9,7 a 31,9 °C (Figura 1B). Kiniry (1991) considerou como limites extremos para o crescimento e desenvolvimento as temperaturas de 8 °C e 44 °C, sendo que o crescimento máximo ocorre entre 26 e 34 °C. As radiações solares máxima e mínima foram de 31,9 e 4,2 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente (Figura 1C).

Parametrização do Modelo: A produtividade média observada na colheita para o milho crioulo Amarelão foi de 5.435 kg ha⁻¹ (Figura 2). Valores semelhantes foram obtidos por Araújo & Nass (2002) para os municípios de Londrina e Ponta Grossa, PR, que registraram produtividades de 5.193 e 5.406 kg ha⁻¹, respectivamente. A variedade AL 30 e o híbrido AG 5011 apresentaram produtividades médias observadas de 5.950 e 7.897 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2). Essas produtividades ficaram próximas às reportadas por Parfitt (2002) que, em experimento instalado no município de Bagé, RS, sob irrigação, relatou produtividades de 4.627 kg ha⁻¹ para a variedade AL 30, no ano agrícola de 2001/02, e de 7.635 kg ha⁻¹ para o híbrido AG 5011, no ano agrícola de 2000/01. Para o híbrido AG 122, a produtividade média observada na colheita foi 7.892 kg ha⁻¹ (Figura 2).

Vogt et al. (2012), com o objetivo de avaliar cultivares de milho em relação ao rendimento de grãos, obtiveram produtividade de 7.992 kg ha⁻¹ em ensaio no município de Chapecó, SC.

Valores da fitomassa seca da parte aérea, observados no momento da colheita, foram 15.247; 17.725; 18.759; e 18.515 kg ha⁻¹, para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figura 3).

O número observado de folhas totalmente desenvolvidas para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 foi 20,9; 22,9; 23,2 e 24,4, respectivamente (Figura 4). O maior número de folhas totalmente desenvolvidas foi observado para a cultivar AG 122 e o menor para a variedade crioula Amarelão.

O índice de área foliar máximo observado foi de 1,94; 2,39; 3,05 e 2,59 para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figura 5). O menor valor foi observado para a cultivar Amarelão e o maior valor observado para a cultivar AG 5011.

Os valores simulados de produtividade de grãos foram 5.424, 5.957, 7.889 e 7.894 kg ha⁻¹ para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figura 2). Os valores de RMSE, expressos em porcentagem, foram de 14,9, 10,4, 15,6 e 17,8% para as referidas cultivares, respectivamente. Todos os valores ficaram entre 10 e 20%, o que indica que as simulações de produtividade de grãos são consideradas de boa qualidade para todas as cultivares. Além disso, o índice de concordância, “d”, foi 0,86; 0,96 0,88 e 0,83, respectivamente, para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 (Figura 2), valores considerados adequados. A variedade AL 30 apresentou os menores valores de RMSE e valores mais elevados do índice “d”. Soler (2004), ao calibrar e testar o desempenho do modelo CERES-Maize

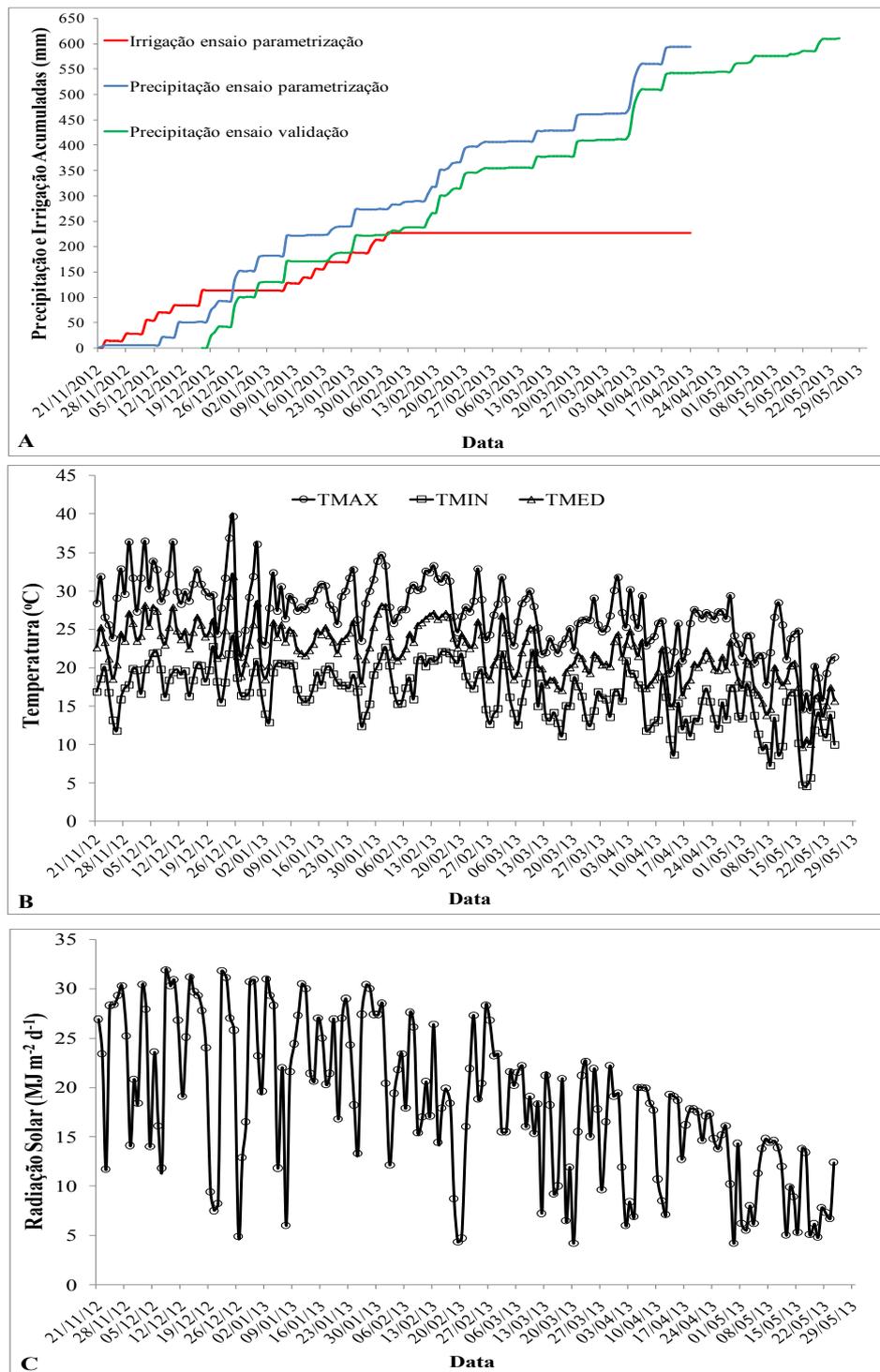


FIGURA 1. Precipitação e irrigação acumuladas (A), temperaturas máxima, mínima e média diárias (B) e radiação solar (C) ao longo do ciclo da cultura das cultivares nos ensaios para parametrização e validação do modelo.

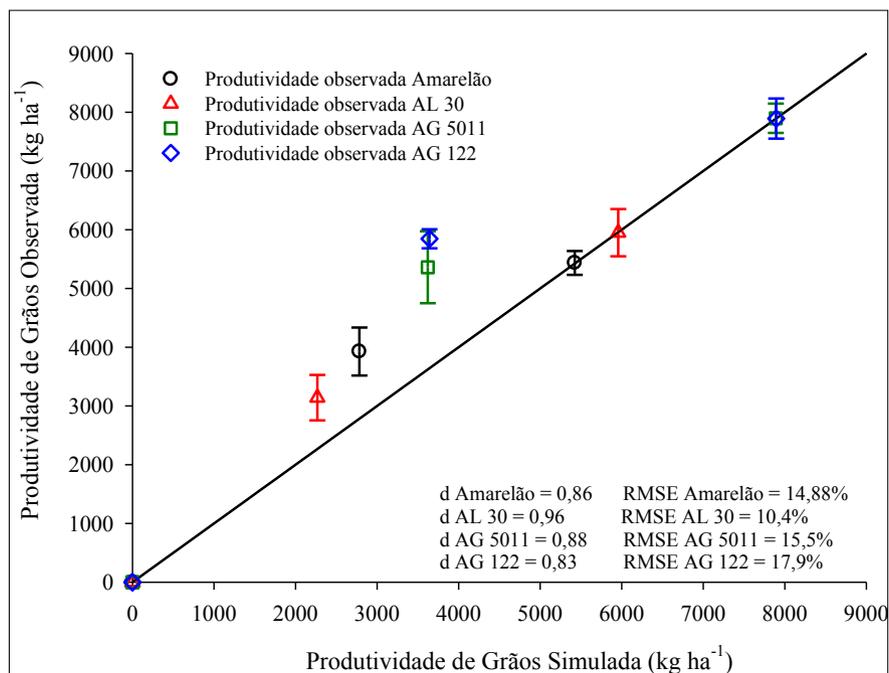


FIGURA 2. Produtividades de grãos simulada e observada para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 após a parametrização do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

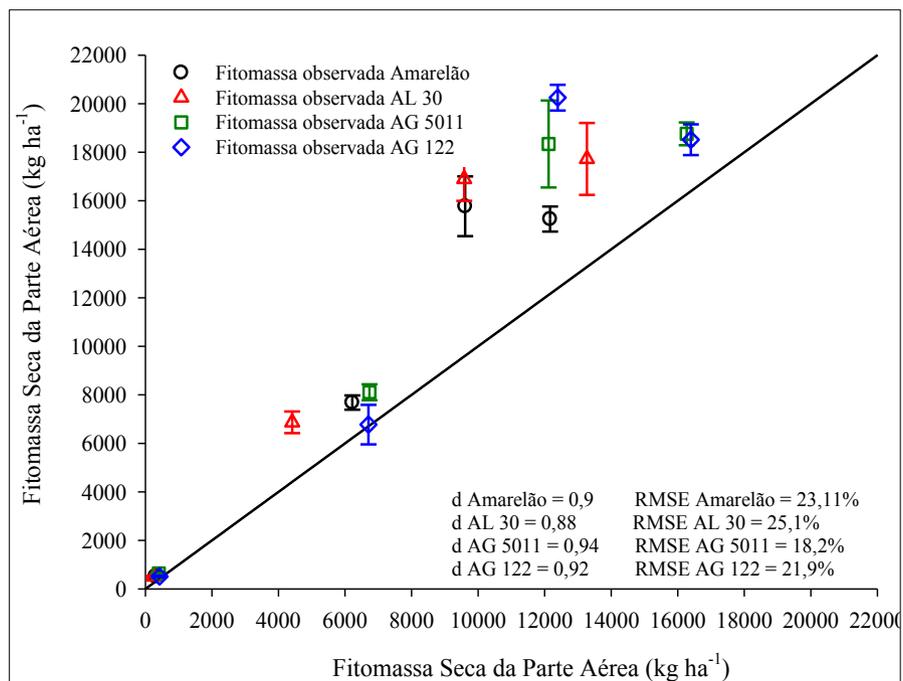


FIGURA 3. Fitomassas secas da parte aérea simulada e observada para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 após a parametrização do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

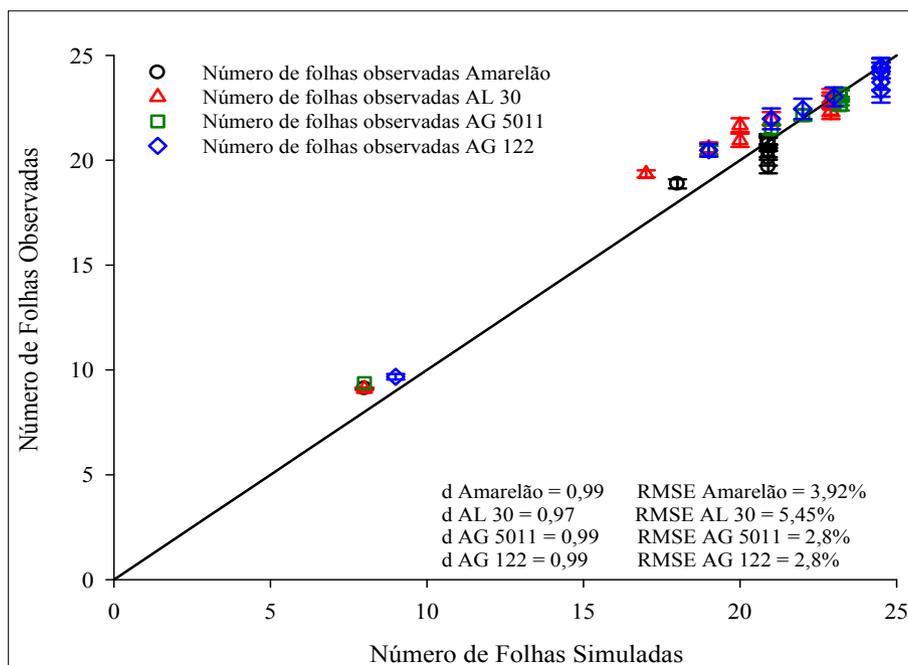


FIGURA 4. Números de folhas simuladas e observadas para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 após a parametrização do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

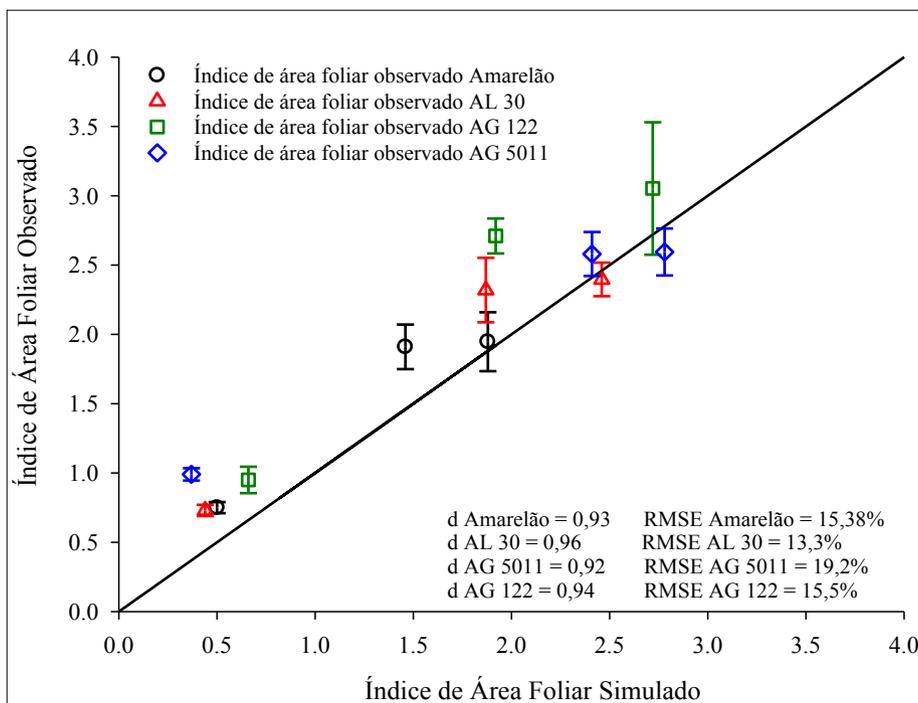


FIGURA 5. Índices de área foliar (IAF) simulado e observado para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 após a parametrização do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

para simular o desenvolvimento e a produtividade do milho “safrinha” para a região de Piracicaba, SP, encontrou valores de RMSE e “d” da ordem de 5,7 e 0,84, respectivamente, para o híbrido AG9010, sendo as simulações consideradas de boa qualidade, o que vem a corroborar os dados encontrados neste estudo.

Observou-se que, mesmo depois da parametrização do modelo CSM-CERES-Maize, este tendeu a subestimar a fitomassa seca da parte aérea na colheita, para todas as cultivares. A fitomassa seca da parte aérea simulada foi 12.162, 13.271, 16.269 e 16.393 kg ha⁻¹ contra 15.247, 17.725, 18.759 e 18.515 kg ha⁻¹, observadas nos ensaios, para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122, respectivamente (Figura 3). Os valores das estatísticas RMSE e “d” foram 18,23% e 0,94, respectivamente, para o híbrido AG 5011, indicando, assim, simulações de boa qualidade, com elevada concordância entre os dados observados e os simulados. As cultivares Amarelão, AL 30 e AG 122 apresentaram valores de RMSE iguais a 23,1%, 25,1% e 21,9%, respectivamente (Figura 3), sendo as simulações consideradas aceitáveis.

Os números de folhas simulados foram 20,9; 22,9; 23,2 e 24,5, respectivamente, para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122 (Figura 4). Os valores de RMSE foram 4%, 5%, 3% e 3%, respectivamente, para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG 122; todos abaixo de 10%, o que é considerado excelente. Os valores do índice de concordância, “d”, foram 0,99; 0,97; 0,99 e 0,99, respectivamente; todos elevados, indicando boa qualidade das simulações. Dados semelhantes foram observados por Amaral et. al. (2014) em ensaio para parametrização da cultivar BRS 1030 para as condições de Sete Lagoas, MG, registrando índice de concordância de 0,96. Silva et. al. (2012), em trabalho para a parametrização da cultivar DKB 390YG no município de Papagaios,

MG, também registraram valores elevados de “d” e baixos valores de RMSE para o número de folhas.

Índices de área foliar (IAF) máximos simulados de 2,8 foram obtidos para os híbridos AG 5011 e AG 122 (Figura 5). O menor valor do IAF máximo simulado, de 1,91, foi determinado para a variedade crioula Amarelão (Figura 5). A qualidade das simulações de IAF foi considerada de boa qualidade, estando todos os valores de RMSE entre 10 e 20%. Os índices de concordância, “d”, apresentaram valores acima de 0,9 (Figura 5).

No ensaio de parametrização do modelo, a anese observada em campo ocorreu aos 66, 74, 69 e 70, para as cultivares Amarelão, AL 30, AG 5011 e AG122, respectivamente, enquanto a maturidade fisiológica ocorreu aos 139, 144, 141 e 140, respectivamente (Tabela 4).

O maior valor de P1, que é a soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil (temperatura base 8°C), foi determinado para a cultivar AL 30 e o menor para a cultivar crioula Amarelão. Os híbridos apresentaram valores de P1 intermediários (Tabela 5). Por outro lado, a variedade crioula Amarelão foi a que apresentou o maior valor do coeficiente P5, que é a soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C), enquanto a cultivar AL 30 foi a que apresentou o menor valor. Da mesma forma, os híbridos apresentaram valores intermediários para este coeficiente (Tabela 5). A cultivar crioula Amarelão apresentou um número de grãos por planta (coeficiente G2) consideravelmente menor que os valores observados para as demais cultivares, embora com taxas de enchimento de grãos maiores (coeficiente G3). O híbrido AG 122 foi o que apresentou o maior número de grãos por planta e com uma taxa de enchimento de grãos de 6,67 mg dia⁻¹, o que lhe conferiu

um maior potencial de produtividade de grãos. A cultivar AL 30 requereu uma maior soma térmica para a emissão subsequente de folhas, em comparação com o híbrido AG 122 (Tabela 5).

Avaliação do Modelo: As produtividades observadas em Canguçu, RS, no momento da colheita, foram de 2.829 e 4.089 kg ha⁻¹ para as cultivares Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 6). Vogt et al.

TABELA 4. Números de dias da sementeira até a antese e até a maturidade fisiológica observados e simulados para o ensaio de parametrização e avaliação do modelo.

Cultivares	Data da Antese (Parametrização)		Data da Maturidade Fisiológica (Parametrização)		Data da Antese (Avaliação)		Data da Maturidade Fisiológica (Avaliação)	
	Simulado	Observado	Simulado	Observado	Simulado	Observado	Simulado	Observado
	Dias Após Sementeira (DAS)							
Amarelão	64	66	139	139	63	73	151	149
AL 30	74	74	144	144	75	79	162	154
AG 5011	69	69	141	141	-	-	-	-
AG 122	70	70	140	140	-	-	-	-

TABELA 5. Coeficientes genéticos para as cultivares estudadas.

Identificação e Descrição dos Coeficientes Genéticos do Modelo	Valores			
	Amarelão	AL 30	AG 5011	AG 122
P1 - soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil (temperatura base 8°C)	236,3	314,5	280,4	298,3
P2 - sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas	0,5	0,5	0,5	0,5
P5 - soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C)	1081	972	1048	999
G2 - número máximo de grãos por planta	293,6	580,9	589	710
G3 - taxa de enchimento do grão sob condições ótimas de crescimento	8,71	6,58	6,64	6,67
PHINT - soma térmica para o aparecimento sucessivo de folhas subsequentes	47,02	50,35	44,75	43,5

(2005) registraram média de produtividade de 3.445 kg ha⁻¹ para a cultivar crioula Amarelão quando cultivada em regime de sequeiro em 14 estabelecimentos agrícolas do município de Anchieta, SC, estando próxima das produtividades encontradas neste estudo. Cruz et al. (2004), em trabalho onde se avaliaram 14 variedades de milho em sistema de produção orgânico para a produção de grãos em regime de sequeiro no município de Sete Lagoas, MG, reportaram produtividade de 4.796 kg ha⁻¹ para a variedade AL 30. Carvalho et al. (2001), em trabalho com o objetivo de conhecer a adaptabilidade e a estabilidade de cultivares de milho em vários locais do Nordeste brasileiro, anotaram produtividades médias para a cultivar AL

30, em regime de sequeiro, da ordem de 4.151 kg ha⁻¹, resultados bem próximos aos obtidos neste trabalho.

As fitomassas secas da parte aérea observadas na data da colheita foram 8.028 e 9.781 kg ha⁻¹, para as cultivares Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 7). Os números de folhas observados foram 20,5 e 21,4, para as cultivares Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 8).

O modelo simulou produtividades de 3.408 e 3.663 kg ha⁻¹, respectivamente, para as cultivares Amarelão e AL 30 (Figura 6). Os valores da estatística RMSE foram 15% e 8%, respectivamente, indicando boa qualidade das simulações. Pereira et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes ao avalia-

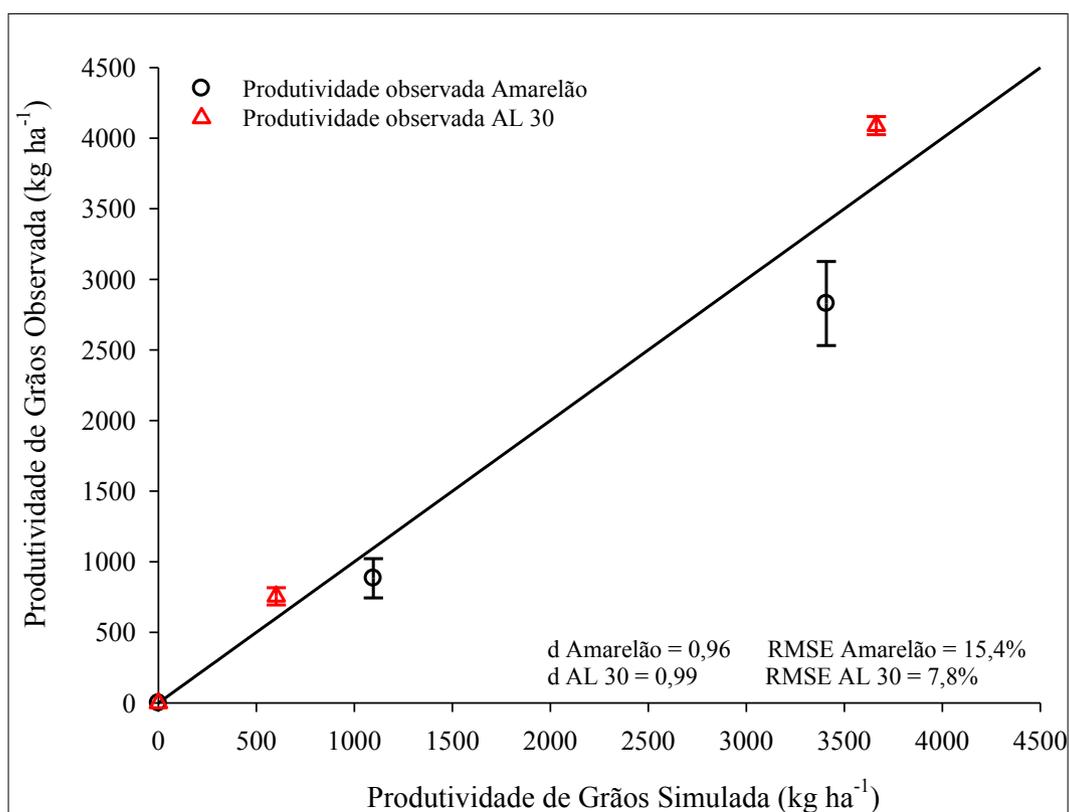


FIGURA 6. Produtividades de grãos simuladas e observadas para as cultivares Amarelão e AL 30 após a validação do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

rem a eficiência do modelo Ceres-Maize na simulação da produtividade de grãos de híbridos de milho em três épocas de cultivo, na região de Lavras, MG, com valores de RMSE entre 3,3 e 15,7%. Os valores da estatística “d” foram 0,96 e 0,99 para as cultivares Amarelão e AL 30, respectivamente (Figura 6), indicando elevado índice de concordância entre os dados simulados e os observados. Esses resultados corroboram com os obtidos por Soler (2004) que, ao avaliar o modelo CERES-Maize na previsão de safra de milho safrinha na região de Piracicaba, SP, encontrou valores do índice de concordância (d) entre 0,84 e 0,99.

O valor simulado de fitomassa seca da parte aérea das plantas, na data da colheita, foi 8.708 kg ha⁻¹

para a variedade AL 30. Valores de RMSE e de “d” foram de 19,7% e 0,93 (Figura 7), indicando simulações de boa qualidade e alto índice de concordância entre os dados simulados e os observados. Para a variedade crioula Amarelão, a fitomassa seca da parte aérea simulada foi 6.470 kg ha⁻¹ e os valores de RMSE e “d” foram 39,7% e 0,8, respectivamente (Figura 7). Valores elevados de RMSE para essa cultivar podem ser explicados pela alta variabilidade genética de variedades crioulas, observada em condições de campo, especialmente quando associadas ao cultivo em regime de sequeiro.

Os números de folhas simulados para as variedades Amarelão e AL 30 foram 21 e 23, respectiva-

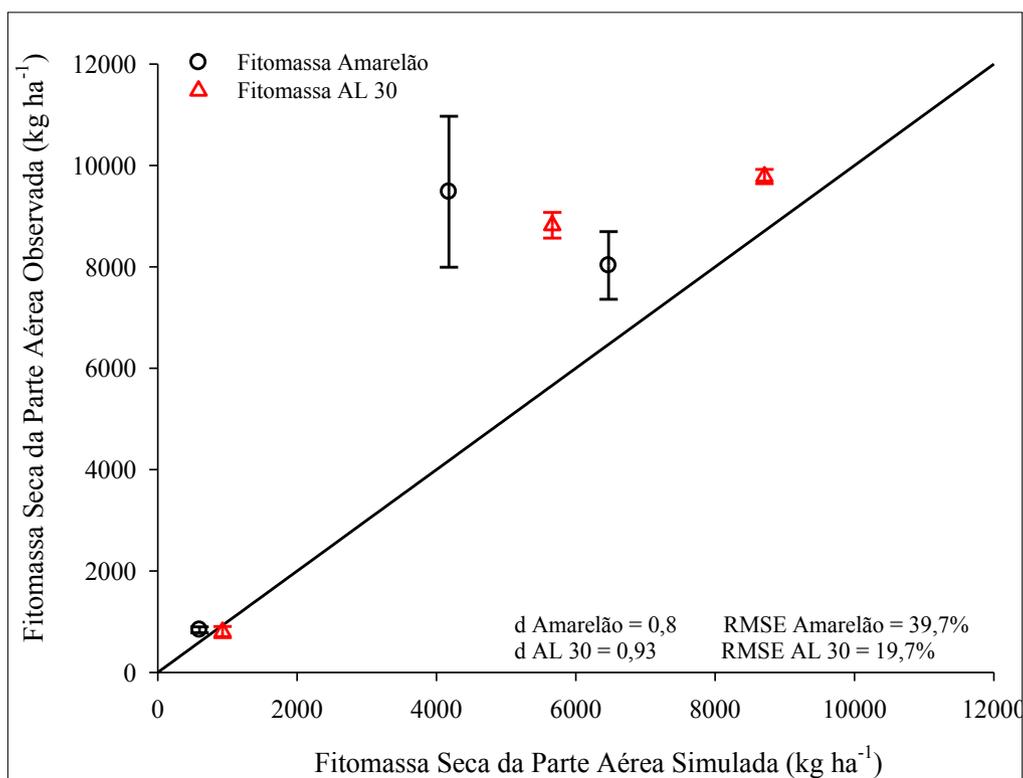


FIGURA 7. Fitomassas secas da parte aérea simuladas e observadas para as cultivares Amarelão e AL 30 após a validação do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

mente (Figura 8). Como no ensaio de parametrização do modelo, se observaram resultados excelentes para as simulações do número de folhas neste ensaio, com altos índices de concordância entre os dados simulados e os observados. Valores de RMSE e de “d” foram 2,6% e 0,99 para a cultivar Amarelão e de 6,3% e 0,98 para a variedade AL 30, respectivamente (Figura 8).

O modelo tendeu a subestimar a data da antese e a superestimar a da maturidade fisiológica para as duas cultivares estudadas (Tabela 4). A antese ocorreu aos 73 e aos 79 DAS, em comparação com 63 e 75 DAS simulados para as cultivares Amarelão e AL 30, respectivamente. Por outro lado, a maturidade fisiológica ocorreu aos 149 e 154 DAS contra 151 e 162 DAS simulados pelo modelo para as duas cultivares, respectivamente. É possível que o modelo não esteja

considerando outros fatores que podem afetar a duração do ciclo de cultivares de milho, como estresse hídrico e mesmo o efeito do fotoperíodo. Outro fator que pode influenciar a comparação de valores observados e simulados de antese e de maturidade fisiológica está relacionado com os critérios utilizados em campo para registro destas fases fenológicas. No presente estudo, consideraram-se a ocorrência da antese associada com boneca com 2 cm de cabelo e a maturidade fisiológica quando o grão apresentou camada totalmente preta na base. Pereira et al. (2010) também reportaram diferenças nas maturidades fisiológicas observada e simulada pelo modelo em trabalho realizado com o objetivo de avaliar a eficiência na simulação do desempenho de híbridos de milho nas condições de Lavras, MG, sendo que, para semeaduras

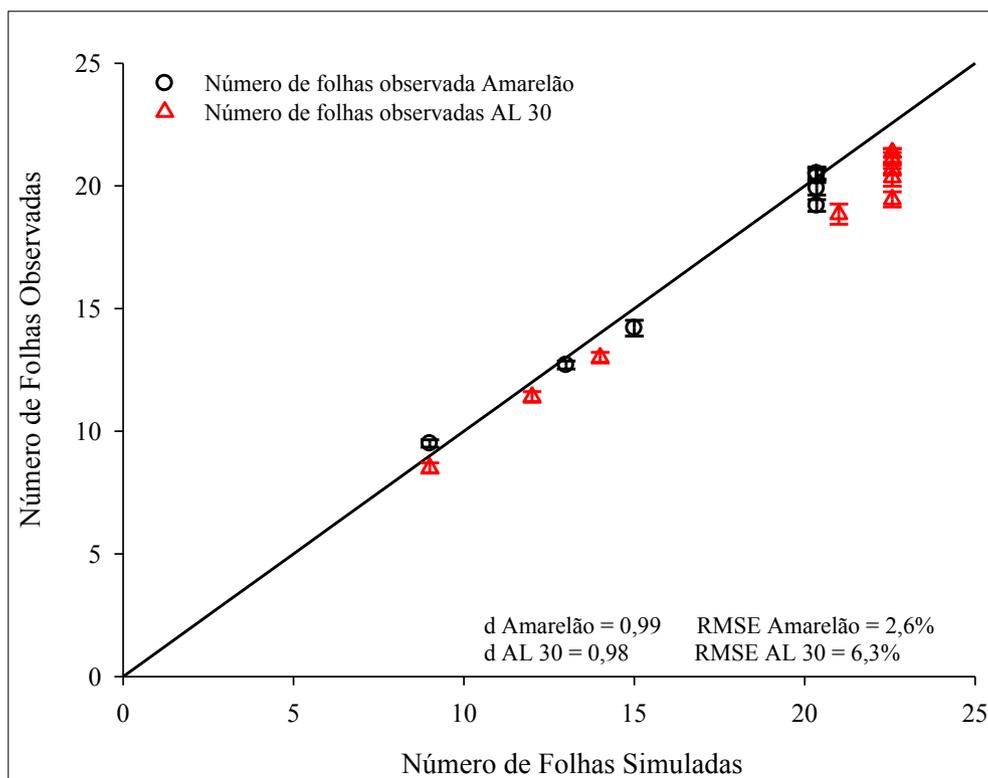


FIGURA 8. Números de folhas simuladas e observadas para as cultivares Amarelão e AL 30 após a validação do modelo. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

realizadas no dia 13 de janeiro de 2007, os números de dias até as maturidades fisiológicas observada e simulada para os híbridos AG7000, AG8060, P30F90, DKB199 e GNZ2004 foram de 125 e 120; 129 e 120; 133 e 118; 134 e 120; e 125 e 120, respectivamente, o que vem a corroborar os dados obtidos neste estudo.

Este trabalho evidencia a importância da realização de novas avaliações do modelo em diferentes situações, em ambientes variados que integrem condições diversificadas como o manejo da irrigação, a fertilidade do solo, as adubações, bem como a utilização de diferentes cultivares, visando a obtenção de estimativas mais confiáveis, de modo que essas possam permitir a generalização dos resultados para uma região mais ampla.

Conclusões

As produtividades de grãos e de fitomassa seca da parte aérea obtidas em nível experimental e na propriedade familiar utilizada como estudo de caso estão consistentes com as informações da literatura, podendo assim serem utilizadas, para parametrização e validação do modelo e, conseqüentemente, para simulações de cenários de manejo que visem a melhoria de sistemas de produção de milho.

O modelo CSM-CERES-Maize simulou satisfatoriamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de diferentes cultivares utilizadas tanto para grão, quanto para a produção de silagem na região de Pelotas e Canguçu, no estado do Rio Grande do Sul.

Agradecimentos

Aos funcionários e aos estagiários da Embrapa Milho e Sorgo e da Embrapa Clima Temperado, pela

ajuda na coleta de dados nos ensaios para parametrização e avaliação do modelo. À família de agricultores, que proporcionou o estudo em sua propriedade. À Capes, pela concessão da bolsa de estudos do primeiro autor.

Referências

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 10).
- AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; ALVES, M. E. B.; SILVA, D. F. Applying CSM-CERES-Maize to define a sowing window for irrigated maize crop The Riacho's Farm case study. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, p. 38-53, 2011.
- AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; HOOGENBOOM, G.; SILVA, D. F.; GARCIA, A. G. Y.; NOCE, M. A. Nitrogen management strategies for maize production systems: experimental data and crop modeling. **International Journal of Plant Production**, v. 9, p. 51-74, 2015.
- AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, D. F.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. **Metodologia para o estabelecimento do período de semeadura de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 13 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 88).
- ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; ALVES, M. E. B.; SILVA, D. F. Temporal variability of the water requirement and productivity for irrigated maize crop. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 54-60, 2011.

- ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F.; HEINEMAN, A. B.; GARCIA, A. G. Y.; TOJO-SOLER, C. M.; SILVA, D. F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. **Modelagem do crescimento de culturas**: aplicações à cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 91).
- ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; SILVA, D. F.; MARTINS, P. C. Simulated yield and net return of a maize crop fertilized with different sources and rates of nitrogen. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, p. 254-267, 2012.
- ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA Y GARCIA, A.; HOOGENBOOM, G.; MAGALHÃES, P. C.; ARAÚJO, S. G. A. Utilização do modelo CERES-Maize como ferramenta na definição de estratégias de semeadura de milho: 1-Sistema de produção de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável**: resumos. Belo Horizonte: SBA; Viçosa: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009a. 1 CD-ROM.
- ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; GARCIA Y GARCIA, A.; HOOGENBOOM, G.; GUIMARÃES, D. P.; OLIVEIRA, A. C.; SANTANA, C. B. Utilização do modelo CERES-Maize como ferramenta na definição de estratégias de semeadura de milho: 2- Sistema de produção irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável**: resumos. Belo Horizonte: SBA; Viçosa: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009b. 1 CD-ROM.
- ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berks, v. 50, p. 121-125, 1924.
- ARAÚJO, P. M.; NASS, L. L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 589-593, 2002.
- ASSIS, S. V. de; FERREIRA, A. T.; SILVA, M. V. da. **Veranicos em Pelotas, RS**: climatologia e causas da ocorrência. 2006. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-9c0452a8989d8ad048e86845895981a0.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2015.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; PICKERING, N. B. Potential uses and limitations of crops models. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 704-716, 1996.
- BRAUN, S.; SILVEIRA, V. P.; HERRMANN, V. I.; NEVES, L. de O. Análise de casos de veranico em várias cidades do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **A meteorologia brasileira além do ano 2000**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. 1 CD-ROM.
- CARVALHO, H. W. L.; LEAL, M. L. S.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, M. X.; CARVALHO, B. C. L.; TABOS, J. N.; LIRA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares e híbridos de milho no Nordeste brasileiro no ano agrícola de 1998. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 637-644, abr. 2001.

- CATI. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Venda de mudas e sementes**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/new/produtosservicos.php?ID=11>>. Acesso em: 01 out. 2014.
- COUTO, L.; COSTA, E. F.; VIANA, R.T. Efeito do veranico sobre a produção de cultivares de milho. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1980-1984**. Sete Lagoas, 1986. p. 77-78.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SILVA, G. H. da. Mais de 170 cultivares transgênicas são disponibilizadas no mercado de sementes do Brasil para a safra 2011/12. **APPS - Associação Paulista dos Produtores de Sementes e Mudas**, São José Rio Preto, 4 nov. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39191/1/mais-170.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2011.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PEREIRA, F. T. F.; ALVARENGA, R. C. Produção orgânica de grãos e silagem de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2.; SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA, 5.; SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA, 6., 2004, Porto Alegre. **Agrobiodiversidade: base para sociedades sustentáveis: anais...** [Brasília, DF]: Embrapa; Porto Alegre: Emater-RS, 2004. 1 CD-ROM.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L. A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. **Decision Support System for Agrotechnology transfer: version 4.5.1.013**. Honolulu: University of Hawaii, 2013. 1 CD-ROM.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 ago. 2013.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática-SIDRA: tabela 839: área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, 1ª e 2ª safras**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=839&z=t&o=11>>. Acesso em: 05 maio 2014.
- JAGTAP, S. S.; ALIBI, R. T.; ADELEYE, O. The influence of maize density on resource use and productivity: an experimental and simulation study. **African Crop Science Journal**, v. 6. n. 3, p. 259-272, 1998.
- JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; WILSON, D. R. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zeland. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, p. 337-350, 1991.
- JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 235-265, 2003.
- KINIRY, J. R. Maize physics development. In: HANKS, J.; RITCHIE, J. T. (Ed.). **Modeling plant and soil systems**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1991. p. 55-71. (Agronomy monographs, 31).
- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application.

- Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 7, p. 51-73, 1991.
- MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effect de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. **Les besoins en eau des cultures**. Paris: INRA, 1984. p. 351-360.
- PARFITT, J. M. B. **Milho, sorgo e soja em área de arroz irrigado, na Região da Campanha do Rio Grande do Sul**: resultados de pesquisa das safras 1999/00, 2000/01 e 2001/02. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 82 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 97).
- PEREIRA, A. M. D. A. R.; VONPINHO, R. G.; PAGLIS, C. M.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; ALTOÉ, T. F. Eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, p. 486-493, 2010.
- PORTER, C. H.; JONES, J. W.; ADIKU, S.; GIJSMAN, A. J.; GARGIULO, O.; NAAB, J. B. Modeling organic carbon and carbon-mediated soil processes in DSSAT v4.5. **Operational Research**, v. 10, p. 274-278, 2009.
- PRESCOTT, J. A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions Royal Society of South Australia**, Adelaide, v. 64, p. 114-118, 1940.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SILVA, D. F.; ANDRADE, C. L. T.; RESENDE, A. V.; GARCIA Y GARCIA, A.; RODRIGUES, C. C. F.; TEIXEIRA, T. C.; AMARAL, T. A.; PAIXAO, J. S. Yield and nitrate leaching in a rainfed maize crop using swine manure and mineral fertilizer as nitrogen sources. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2013, Kansas City. [**Proceedings**]. Kansas City: ASABE, 2013.
- SILVA, D. F.; ANDRADE, C. T.; RESENDE, A. V.; HICKMANN, C.; AMARAL, T. A.; ALVES, M. E. B. Nitrogen dynamics in soils cultivated with maize and fertilized with pig slurry. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, p. 9-23, 2012.
- SINGH, P.; SRINIVAS, K. Crop simulation models as decision-making tools for managing agricultural droughts. In: RAMAKRISHNA, Y. S.; RAO, G. G. S. N.; SASTRY, P. S. N.; RAO, V. U. M. (Ed.). **Agricultural droughts: aspects of micrometeorology: a lecture notes of 4th SERC School**. Hyderabad: CRIDA, 2007.
- SOLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Application of the CSM-CERES - Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 27, p. 165-177, 2007.
- SOLER, C. M. T. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho safrinha**. 2004. 132 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.
- TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer, 1998. 399 p. (Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, 7).

- VOGT, G. A. **A dinâmica do uso e manejo de variedades locais de milho em propriedades agrícolas familiares**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.
- VOGT, G. A.; JÚNIOR, A. A. B.; BACKES, R. L.; HÖFS, A.; DUFLOTH, J. H.; MÁRIO, A. J.; ALMEIDA, E. X. de. Avaliação de cultivares de milho em Santa Catarina: safra 2009/10. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 8., 2011, Chapecó. **Resumos expandidos...**Chapecó:Epagri,2011. 1.CD-ROM
- WILLMOTT, C. J.; AKLESON, G. S.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 90, p. 8995-9005, 1985.