

Simulação da produtividade de milho sob diferentes sistemas de irrigação em anos de El Niño-La Niña

Charles Patrick de Oliveira de Freitas⁽¹⁾; Nereu Augusto Streck⁽²⁾; Stefanía Dalmolin da Silva⁽³⁾; Angélica Durigon⁽⁴⁾

⁽¹⁾Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS; (charlespatrick2010@hotmail.com); ⁽²⁾Orientador, Professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; ⁽³⁾Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGA, Depto de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; ⁽⁴⁾Professora, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS;

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do modelo CSM-Ceres-Maize em simular a produtividade de cultivares crioulas e melhoradas de milho, em sistema irrigado e não irrigado, em um ano de La Niña e um ano de El Niño. O modelo utilizado neste trabalho foi o modelo CSM-Ceres-Maize, que já foi calibrado e testado para as condições de Santa Maria. Foram utilizadas neste trabalho duas cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de Ouro’ e duas cultivares melhoradas de milho, ‘BRS Missões’ (VPA) e um híbrido simples ‘AS 1573PRO’. Foram escolhidos dois anos agrícolas, o ano 2011/2012 (La Niña), e o ano 2015/2016 (El Niño). A data de semeadura foi 15 de outubro, para os dois anos. Essa data foi escolhida porque, para o município de Santa Maria, está fora do período recomendado o cultivo da cultura do milho, uma vez que há grande risco de na fase crítica do milho ocorrer déficit hídrico. A fim de simular na condição com e sem irrigação, foi selecionado no modelo a condição “rainfed” para sem irrigação, e para o sistema irrigado foi selecionado a opção de “irrigação automática”, que faz irrigações conforme a necessidade da cultura durante a estação de crescimento, na simulação. O modelo CSM-Ceres-Maize é capaz de simular a tendência de produtividade em anos diferentes, com efeito do El Niño e La Niña. Também conclui-se que, a cultivar crioula ‘Cinquentinha’ se mostrou mais tolerante ao déficit hídrico do que as outras cultivares.

Termos de indexação: modelagem agrícola, deficiência hídrica, rendimento.

INTRODUÇÃO

Milho é o terceiro cereal cultivado e tem importância econômica no mundo devido à sua versatilidade de uso, que vai desde a alimentação

humana, alimentação animal e na indústria tecnológica, principalmente na fabricação de etanol (USDA, 2016).

No Rio Grande do Sul (RS), o milho é em sua maior parte cultivada em condições de sequeiro ou em terras altas, ou seja, toda a demanda hídrica da cultura é fornecida pela precipitação pluvial. O regime pluviométrico do RS é uniforme ao longo do ano, com totais entre 1250 e 2000 milímetros, sem uma estação chuvosa definida (Buriol et al, 1977; Oliveira, 1986). A precipitação no Estado é fortemente influenciada por fenômenos, como o ENOS (El Niño Oscilação Sul). O ENOS apresenta duas fases, uma fase quente chamada El Niño, onde ocorre precipitação acima da normal climatológica no estado, e uma fase de fria conhecida como La Niña, onde a precipitação apresenta padrões abaixo da normal climatológica no estado, e essa influência na precipitação no RS ocorre principalmente na primavera (setembro outubro-novembro) (Grimm et al, 1998; Cera & Ferraz, 2010; Flach & Grimm, 2010).

Assim, sendo o milho uma cultura sensível ao estresse hídrico, a variabilidade na precipitação pode causar algum dano à planta, como redução na área foliar e conseqüentemente, na fotossíntese, com potencial de comprometer consideravelmente a produtividade desta cultura (Bergamaschi & Matzenauer, 2014). Nos últimos 10 anos, houve duas grandes quebras de safra de milho no RS, nos anos agrícolas 2004/2005 e 2011/2012, quando a redução de produtividade foi de aproximadamente 50% em relação à produtividade em anos normais e sem deficiência hídrica (CONAB, 2016). A causa destas duas quedas na produtividade foi a deficiência hídrica no solo.

As cultivares crioulas de milho, por serem rústicas e apresentarem alta variabilidade genética, poderiam ser uma alternativa de cultivo em épocas e anos com deficiência hídrica do solo. No entanto,

esta alternativa ainda é pouco frequente na agricultura do RS.

A modelagem das culturas agrícolas é uma ferramenta que, através de equações matemáticas, é capaz de descrever o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. Quando o modelo de interesse está devidamente calibrado e testado para as condições locais de estudo, os modelos agrícolas auxiliam na tomada de decisão de práticas de manejo (Streck et al., 2003,a,b), em estudos da resposta das culturas à variabilidade climática e mudança climática (Streck & Alberto, 2006; Streck et al., 2008; Streck et al., 2011) e atualmente tem sido utilizado na previsão e acompanhamento de safras (Shin et al., 2006; Streck et al., 2013). Entre os modelos de simulação da cultura do milho, o modelo CSM-Ceres-Maize é um dos mais conhecidos e usados em estudos numéricos.

O modelo CSM-Ceres-Maize é um modelo ecofisiológico dinâmico, baseado em processos (*process-based models*) capaz de simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas, em diferentes manejos de irrigação e nutrição (Jones & Kiniry, 1986).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do modelo CSM-Ceres-Maize em simular a produtividade de cultivares crioulas e melhoradas de milho, em sistema irrigado e não irrigado, em um ano de La Niña e um ano de El Niño.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo numérico foi realizado em Santa Maria, RS, Brasil (29°43'S, 53°43'W, e 95m altitude). Segundo climatologia de Köppen, o clima da região é Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, com temperatura média anual de 18,8°C e precipitação anual média de 1.686,1mm. O solo do local é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Alissolo Hipocrômico Argilúvico típico) (Streck, E. V., et al., 2008).

As cultivares utilizadas neste trabalho foram, duas cultivares crioulas de milho ['Cinquentinha' – ciclo precoce; e 'Bico de Ouro' – ciclo tardio], e duas cultivares melhoradas [uma variedade de polinização aberta 'BRS Missões' – ciclo precoce; e um híbrido simples 'AS 1573PRO' – ciclo precoce].

O modelo utilizado neste trabalho foi o modelo CSM-Ceres-Maize que está acoplado a plataforma DSSAT v4.6 (Hoogenboom et al., 2012), em que seus coeficientes genéticos já foram calibrados e testados para as condições de Santa Maria, para as cultivares citadas acima (**Tabela 1**). O modelo foi

rodado no modo experimental.

Foram escolhidos dois anos agrícolas, o ano 2011/2012 classificado como ano sob influência do fenômeno La Niña, e o ano 2015/2016 classificado como ano sob influência do fenômeno El Niño. A data de semeadura, para ambos os anos agrícolas, foi no dia 15 de outubro, esta data foi escolhida, pois para o município de Santa Maria, encontra-se fora do período recomendado da cultura do milho, pois há grande risco da fase de enchimento de grãos, período crítico da cultura do milho, venha a ocorrer no período de deficiência hídrica no estado. O espaçamento de plantas foi de 0,9 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, totalizando uma população de plantas de 5,5 pl m⁻². O modelo foi rodado sem estresse nutricional.

A fim de simular na condição com e sem irrigação, foi selecionado no modelo a condição “rainfed” para sem irrigação, e para o sistema irrigado foi selecionado a opção de “irrigação automática”, que fará irrigações conforme a necessidade da cultura durante a estação de crescimento, na simulação.

Os dados meteorológicos utilizados como entrada do modelo foram coletados da estação meteorológica automática do INMET. Os dados necessários são temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar e precipitação, todos em um passo de tempo diário, que foram obtidos para os anos 2011/2012 e 2015/2016.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Figura 1** estão os dados meteorológicos durante o período de crescimento do milho. O ano de 2011/2012, caracterizado como ano de La Niña, durante a estação de crescimento da cultura do milho, apresentou temperatura máxima absoluta de 38,7° (**Figura 1a**) e precipitação acumulada aproximada de 440,2 mm (**Figura 1b**), sendo que durante o período de enchimento de grãos (fim de dezembro – fim de janeiro) a precipitação acumulada foi aproximadamente de 81,4 mm (**Figura 1b**). Já no ano de 2015/2016, caracterizado como Ano de El Niño, a temperatura máxima absoluta foi de 36,6°C (**Figura 1c**) e precipitação acumulada aproximadamente de 891,0 mm (**Figura 1d**), sendo aproximadamente 381,6 mm durante o período de enchimento de grãos (**Figura 1d**).

A **Figura 2** mostra a produtividade de grãos para o sistema irrigado e não irrigado, para o ano agrícola 2011/2012 e 2015/2016. Nota-se que a ordem de perda de produtividade no ano 2011/2012 segue: 'Bico de Ouro', 'AS1573PRO', 'Cinquentinha' e 'BRS Missões', com porcentagem de perda de 34,9, 33,3, 28,8 e 23,5%. No sistema irrigado, para que não houvessem perdas, foi irrigado um total de

234,1 e 232,7 mm para as cultivares crioulas 'Bico de Ouro' e 'Cinquentinha', respectivamente, e para as cultivares melhoradas, o montante irrigado durante o ciclo de crescimento foi de 239,8 e 237,4 mm para 'BRS Missões' e 'AS 1573PRO', respectivamente.

No ano agrícola 2015/16 não houve diferença entre irrigado e não irrigado, pois por ser um ano de El Niño, a demanda da planta foi suprida pela precipitação pluvial durante o período de desenvolvimento da cultura.

Entre cultivares, a cultivar crioula 'Cinquentinha' e a variedade de polinização aberta 'BRS Missões', mostraram-se mais tolerantes ao déficit hídrico do que a cultivar crioula 'Bico de Ouro' e o híbrido 'AS 1573PRO' (Figura 1a).

CONCLUSÕES

O modelo CSM-Ceres-Maize foi capaz de simular a tendência de produtividade em anos diferentes, com efeito do El Niño e La Niña. Também conclui-se que, a cultivar crioula 'Cinquentinha' se mostrou mais tolerante ao déficit hídrico do que as outras cultivares, incluindo o híbrido.

REFERÊNCIAS

- BERGAMASCHI, H., MATZENAUER, R. **O Milho e o Clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84p.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M. Cartas mensais e anual das chuvas do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.7, p.55-82, 1977.
- CERA, J. C., FERRAZ, S. E. T. Variações Climáticas na Precipitação do Rio Grande do Sul. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém, PA. **Anais...Belém**: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/340_80886.pdf>.
- CONAB - Companhia nacional de abastecimento. Safra 2007/2008. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em 28 de junho de 2016.
- FLACH, R.; GRIMM, A. M. Eventos extremos e totais mensais de precipitação na América do Sul durante ENOS e condições normais no clima presente e em cenários futuros. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém, **Anais...Belém**: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.
- HOOGENBOOM, G., J.W. JONES, P.W. WILKENS, C.H. PORTER, K.J. BOOTE, L.A. HUNT, U. SINGH, J.I. LIZASO, J.W. WHITE, O. URYASEV, R. OGOSHI, J. KOO, V. SHELIA, AND G.Y. TSUJI. 2015. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (<http://dssat.net>). DSSAT Foundation, Prosser, Washington.
- JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **Ceres-Maize: A simulation model of maize growth and development**. Texas A&M University Press, College Station, Texas, 1986. 94p.
- OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.
- SHIN, D.W.; BELLOW, J.G.; LAROW, T.E.; COCKE, S.; O'BRIEN, J.J. The role of an Advanced Land Model in Seasonal Dynamical Downscaling for Crop Model Application. **Journal Applied Meteorology and Climatology**, v.45, p.686-701, 2006.
- STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, S. Incorporating a chronology response into prediction of leaf appearance rate in winter wheat, **Annals of Botany**, v. 92, p. 181-190, 2003a.
- STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 115, p. 139-150, 2003b.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 424-433, 2006.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio**



Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126 p.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a non-linear model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.449-455, 2008.

STRECK., N.A.; SILVA, S.D.; LAGNER, J.A. Assessing the response of maize phenology under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 1-12, 2011.

STRECK, N.A.; SILVA, M.R.; ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; BENEDETTI, R.P.; CARLI, C.; CHARÃO, A.S.; MARCOLIN, E.; FERRAZ, S.E.T.; MARCHESAN, E. Acompanhamento da safra 2012/2013 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul por modelagem numérica. **Ciência e Natura**, Edição Especial, p. 368-372, 2013.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes genéticos do modelo CSM-Ceres-Maize para duas cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de Ouro’, e duas cultivares melhoradas, uma do tipo polinização aberta, ‘BRS Missões’, e um híbrido simples ‘AS 1573PRO’.

Coeficientes Genéticos							
Cultivar	P1*	P2	P5	G2	G3	PHINT	RUE
‘Cinquentinha’	225,0	0,800	896,0	500,0	8,0	45,45	4,00
‘Bico de Ouro’	360,0	0,000	824,0	400,0	10,0	43,47	3,70
‘BRS Missões’	300,0	0,000	639,6	700,0	17,0	41,66	3,00
‘AS 1573PRO’	290,0	0,500	773,8	900,0	21,0	45,45	2,89

*P1:Graus-dia da emergência até o fim do estágio juvenil ($T_b=8^{\circ}\text{C}$); P2:Coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo; P5:Graus-dia do florescimento feminino até a maturidade fisiológica ($T_b=8^{\circ}\text{C}$); G2: Número potencial de grãos por planta; G3: Taxa potencial de enchimento de grãos ($\text{mg grão}^{-1} \text{dia}^{-1}$); PHINT: Filocrono ($^{\circ}\text{C dia}$).

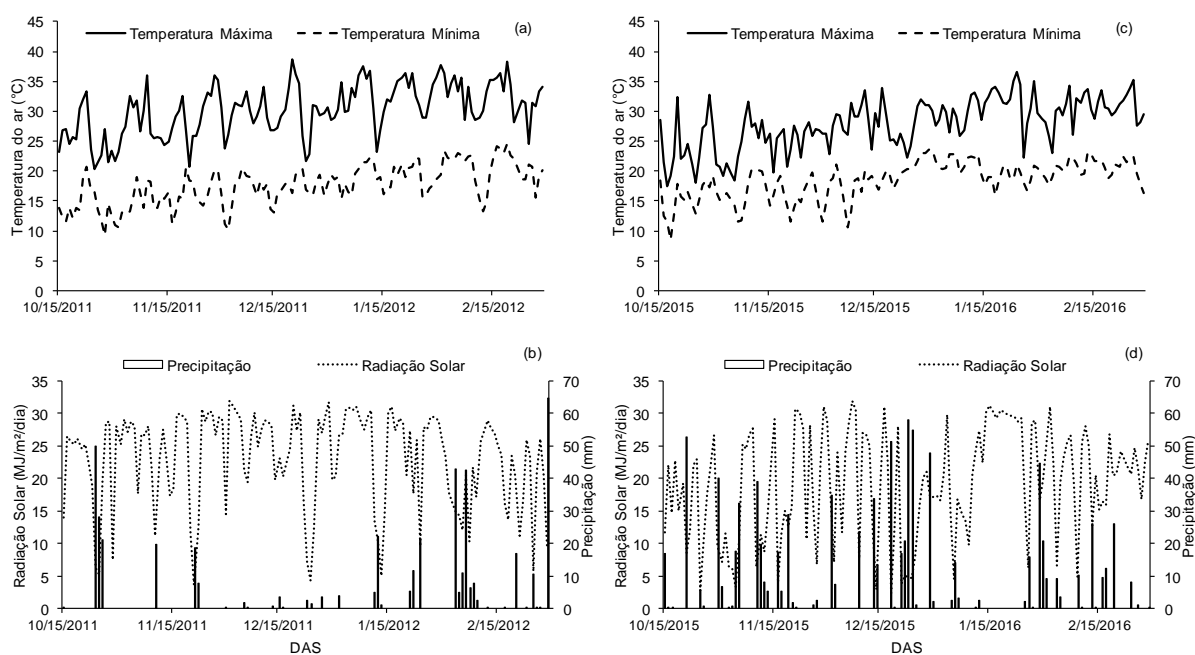


Figura 1. Temperatura máxima e mínima, radiação solar e precipitação durante o ciclo de desenvolvimento no ano 2011/12 (a) e (b), e durante o ano 2015/16 (c) e (d), respectivamente.

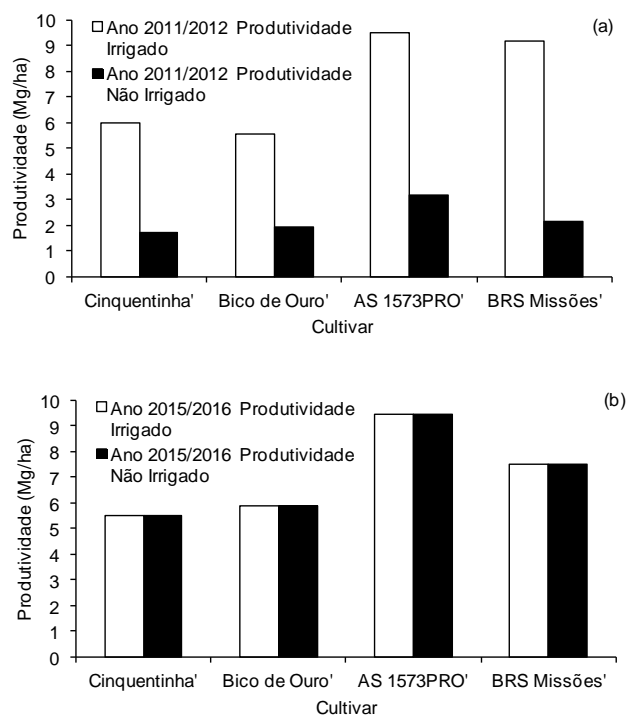


Figura 2. Produtividade (Mg ha^{-1}) para duas cultivares crioulas, 'Cinquentinha' e 'Bico de Ouro', e duas cultivares melhoradas, 'BRS Missões' e 'AS 1573PRO', em sistema irrigado e não irrigado, durante o ano agrícola 2011/12 (a) e 2015/16 (b).