

Calibração e avaliação do modelo CSM-CERES-Maize para simulação do manejo da fertilização mineral e com dejetos de suínos em milho

Denise de Freitas Silva¹; Camilo L. T. Andrade²; Tales Antonio Amaral³, Lília Aparecida de Castro⁴, Maria Emília Borges Alves⁵, Celina Cândida F. Rodrigues⁶, Daniela A. Bastos Fonseca⁷, Talita Coutinho Teixeira⁸ e Jessica Sousa Paixão⁹

^{1,2}Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, ¹Bolsista PNPd/CNPq - denise@cnpmms.embrapa.br ²Pesquisador-camilo@cnpmms.embrapa.br, ³UFPEL, Pelotas, RS, Doutorando - tales_aamaral@yahoo.com.br; ⁵Confederação Nacional da Agricultura, Brasília, DF, mebalves@hotmail.com; ^{4,6,7,8}Acadêmicas da UNIFEMM, Sete Lagoas, MG, ⁴lilia_acastro@yahoo.com.br; ⁶Estagiária/FUNARBE - candidacelina@hotmail.com; ⁷Bolsista CNPq - dani_di_almeida@hotmail.com; ⁸Bolsista CNPq - talita.engamb@hotmail.com ⁹Acadêmica da UFSJ- Sete Lagoas, MG, Bolsista/FUNARBE - jessicaufsjsj@hotmail.com;

RESUMO – O uso de dejetos de suínos como fonte alternativa de fertilização na cultura do milho pode contribuir para redução de custos e para a destinação correta de um potencial contaminante. A modelagem pode ser uma ferramenta na análise integrada deste tipo de sistema de produção. Objetivou-se com esse trabalho calibrar e avaliar a capacidade do modelo CSM-CERES-Maize para simular a produção de milho utilizando duas fontes de fertilizantes em regime de sequeiro e irrigado. Dados de quatro ensaios, conduzidos em uma granja de produção de suínos, foram empregados para calibrar os coeficientes do híbrido DKB 390YG e para avaliar, de forma independente, a capacidade preditiva do modelo. O modelo CSM-CERES-Maize foi capaz de simular com média acurácia a fenologia e a produção de fitomassa seca e de grãos de milho cultivado em sistemas de produção de sequeiro e irrigado e com a utilização de fertilização mineral convencional e dejetos líquidos de suínos.

Palavras-chave: DSSAT, modelagem de cultura, dejetos animais, *Zea mays* L..

Introdução

A limitação na abertura de novas áreas tem estimulado o aumento da produtividade de milho, via intensificação da agricultura com o emprego de tecnologias de produção que incluem, entre outras, o uso de cultivares transgênicas e a aplicação de doses elevadas de fertilizantes e, em alguns casos, o uso da irrigação, aumentando sobremaneira a pressão sobre o ambiente. Além do mais, os investimentos envolvidos neste tipo de sistema de produção de alta tecnologia estão cada vez mais elevados, o que associado às questões ambientais, está exigindo do agricultor cautela na tomada de decisões. A utilização de resíduos produzidos na própria fazenda, entre os quais os dejetos de animais, é considerada uma alternativa interessante pois possibilita a redução dos custos de produção e também a destinação correta de um potencial contaminante do solo, água, ar e produtos agrícolas.

Entre os dejetos de animais disponíveis em grandes volumes e com alto potencial contaminante, destacam-se a cama de frango e os dejetos líquidos de suínos, cujos sistemas de produção são confinados. Segundo o IBGE o número de cabeças de suínos no Brasil em 2010

era de 38,9 milhões. Santa Catarina apresentava a maior participação, com 20,1% do total, Uberlândia, MG, com 1,0 milhão de cabeças, Rio Verde, GO, com 718,0 mil, e Toledo, PR, com 490,8 mil (IBGE, 2010). Segundo a resolução número 003/2008 do CONSEMA (2008) esta é uma atividade degradadora e com grande potencial poluidor para fins de licenciamento ambiental.

Os dejetos suínos podem constituir fertilizantes eficientes na produção de grãos e de forragens, desde que adequadamente estabilizados antes de sua utilização (Konzen, 2003). Embora a modelagem possa ser uma ferramenta interessante neste tipo de pesquisas, são escassos os trabalhos nesta linha. Hoffman e Ritchie (1993) acoplaram um modelo ao CERES-Maize para simular produção de milho utilizando dejetos de animais. Shayya et al. (1993) desenvolveram um Programa de Gestão de Resíduos para avaliar a aplicação econômica e ambiental de dejetos animais na agricultura. Há, portanto, uma necessidade de pesquisa em modelagem como uma ferramenta para tomada de decisão na gestão dejetos animais na produção de milho.

Os modelos de crescimento de culturas, entre os quais o DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (HOOGENBOOM et al., 2009), possibilitam a análise de cenários diversos, envolvendo o manejo da fertilização nitrogenada, a dinâmica de água e de nutrientes e a rentabilidade das explorações, baseado em quatro variáveis de entrada: solo, clima, manejo do cultivo e genótipos (SOLER et al., 2007). Apesar do avanço no desenvolvimento dos modelos em descrever a produção e a biomassa da planta e a sua fenologia, estes requerem a calibração dos coeficientes genéticos da cultura para que descrevam corretamente os processos relacionados ao crescimento, desenvolvimento e produção de grãos (JONES et al., 2003).

O presente trabalho teve como objetivo calibrar e avaliar o modelo CSM-CERES-Maize para a estimativa do crescimento, desenvolvimento e da produtividade do milho fertilizado com dejetos suínos e com fertilizante mineral convencional.

Materiais e Métodos

Dados de quatro ensaios de campo foram utilizados para calibrar e avaliar o modelo CSM-CERES-Maize do sistema DSSAT, versão 4.5 (HOOGENBOOM et al., 2009). Os experimentos, semeados em diferentes datas e anos, foram conduzidos na Fazenda Junco Agropastoril Ltda., localizada em Papagaios, MG, (latitude 19° 27' 17" S, longitude 44° 10' 19" W e altitude 731 m), região próxima a Sete Lagoas, MG. A propriedade se dedica à produção de suínos e cultiva milho empregando fertilização com dejetos líquidos de suínos

(DLS) e com fertilizantes minerais convencionais, em regime de sequeiro e irrigado com pivô central. O solo dos locais dos ensaios irrigados e de sequeiro, ambos com aplicação de dejetos suínos, foi classificado como Latossolo Vermelho, distrófico, textura muito argilosa. No sistema sequeiro, com a utilização exclusiva de fertilizantes minerais, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho, distrófico, textura argilosa. Assumiu-se que o clima da localidade é parecido com o de Sete Lagoas, que é classificado, segundo Köppen (OMETTO, 1981), como Cwa. Desta forma, dados históricos diários de clima (temperatura máxima e mínima, insolação e precipitação), obtidos da estação climatológica do INMET, localizada na área da Embrapa Milho e Sorgo, foram utilizados, juntamente com os dados experimentais, para calibrar e avaliar o modelo de simulação. Glebas de áreas de produção comercial da propriedade foram selecionadas para a condução dos ensaios. A condução da lavoura ficou a cargo do proprietário, não havendo interferência da pesquisa no manejo da cultura.

Em 2009, em uma área de 90 ha, sob pivô central (IDc), com oito anos de histórico de uso de DLS na lavoura, o proprietário semeou o híbrido simples de milho transgênico DKB 390YG. A adubação desta lavoura consistiu de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLS, distribuído a lanço, antes do plantio, 350 kg ha^{-1} da fórmula 9-33-12 (N-P-K) no sulco de semeadura e 200 kg ha^{-1} de uréia em cobertura, parcelados aos 12 e aos 25 DAS. A população final de plantas foi de 62 mil plantas por hectare. A cultura recebeu irrigação suplementar às chuvas através do pivô central. Marcaram-se parcelas nesta gleba, com seis repetições, para amostragem de plantas ao longo do ciclo, para a determinação da fitomassa seca da parte aérea e do índice de área foliar (IAF). Os dados deste ensaio, conduzido com o mínimo de estresses biótico e abiótico, foram utilizados para calibração dos coeficientes genéticos da cultivar DKB 390YG, de forma a minimizar a estatística, o d-Stat e o RMSE.

Dados de outros três ensaios independentes foram utilizados para avaliar a capacidade preditiva do modelo, após a sua calibração. Um destes experimentos foi conduzido no ano agrícola 2008/2009 (ID), na mesma área de 90 ha, sob pivô central, utilizada para calibração do modelo. A adubação foi idêntica ao IDc e a população de plantas observada no final do ciclo foi de 60 mil plantas por hectare. Em uma gleba contígua ao pivô central, na safra 2009/2010, instalou-se outro ensaio na lavoura comercial, conduzida em regime de sequeiro (SD), com a fertilização com DLS, complementada com adubação convencional. A adubação no SD consistiu de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLS e a adubação mineral convencional foi idêntica ao ID. A população final de plantas foi de 62 mil plantas por hectare.

Um terceiro ensaio foi instalado em lavoura comercial da fazenda, o qual utilizou apenas adubação mineral convencional, em regime de sequeiro (FC). A fertilização consistiu

de 350 kg ha⁻¹ da fórmula 9-33-12 (N-P-K) no sulco de semeadura e 100 kg ha⁻¹ de uréia, em cobertura aos 10 e 20 DAS, respectivamente. A população final de plantas, neste ensaio, foi 62 mil plantas por hectare.

Organizaram-se os dados de solo e de manejo da cultura, como população de plantas, adubação, irrigação aplicada e produtividade de grãos, em arquivos de entrada do modelo DSSAT. Na comparação entre valores simulados e observados, tanto para calibração do modelo, quanto para avaliação do mesmo, empregaram-se as estatísticas índice de concordância de Wilmott, d-Stat (WILLMOTT et al., 1985) e o erro quadrático médio, RMSE (LOAGUE e GREEN, 1991). Quanto maior o d-stat e menor o RMSE, melhor a exatidão do modelo em relação aos dados observados.

Dados simulados e observados de produtividade, fitomassa seca aérea e índice de área foliar foram plotados para alguns períodos do ciclo da cultura, permitindo-se uma avaliação adicional do modelo.

Resultados e Discussão

A produtividade média de 8.108 kg ha⁻¹ (Figura 1C), expressa em matéria seca de grãos (9.111 kg ha⁻¹ com 13% de umidade), obtida para a cultivar DKB 390 YG no ensaio de calibração, está dentro da faixa esperada para plantios na região de Sete Lagoas, MG.

Valores da estatística d-Stat, empregada para avaliar a qualidade da calibração, foram de 0,95; 0,98, 0,97 e 0,98 para produtividade de grãos, fitomassa aérea total, índice de área foliar e número de folhas, respectivamente, indicando alta concordância entre dados simulados e observados. A variabilidade nos dados observados, expressa pelas barras verticais do erro padrão da média, foi pequena considerando que foram coletadas plantas em locais diferentes a cada amostragem, estando o ensaio sujeito à típica variabilidade espacial que ocorre em condições pouco controladas de campo. Excelente concordância entre valores simulados e observados foram também reportados por Amaral et al. (2010), trabalhando com o manejo da cama de frango em milho.

Nos ensaios de avaliação do modelo (ID, SD e FC), a produtividade de grãos, expressa em matéria seca (0% de umidade), foi de 9.365, 6.827 e 6.682 kg ha⁻¹ (10.817, 7.072 e 6.850 kg ha⁻¹ com 13% de umidade), respectivamente, para o ID, SD e FC, valores estes próximos da produtividade média do híbrido DKB 390YG que, segundo a Dekalb, varia de 8.659 a 8.414 kg ha⁻¹ (DEKALB, 2012). Em estudos realizados por Konzen e Alvarenga (2002), a produtividade de milho em função da adubação com dejetos de suínos ficou entre 5.200 e 7.600 kg ha⁻¹.

A diferença entre a data da antese simulada e observada foi de 1, 1 e 4 dias, respectivamente (Tabela 1). De uma forma geral, percebe-se que o modelo está simulando razoavelmente bem a data da antese para a maioria dos ensaios, apresentando um RMSE de 2,29 dias. No caso da data da maturidade fisiológica (MF), o modelo tendeu a ser menos exato, apresentando diferenças entre valores simulados e observados ligeiramente maiores que aquelas observadas para data da antese. O valor do RMSE foi de 4,18 dias. Considerando que se utilizaram dados de clima de Sete Lagoas, distante cerca de 80 Km da fazenda e também as dificuldades nas avaliações em campo, decorrentes da distância, pode-se considerar que a simulação da fenologia da cultura está adequada para fins de aplicação prática do modelo.

Analisando-se o IAF ao longo do ciclo de cultura (Figura 1A), observa-se excelente concordância entre dados simulados e medidos com valores da estatística d-Stat de 0,85; 0,94 e 0,90, respectivamente para os ensaios ID, SD e FC. Nota-se também que o modelo simulou muito bem a emissão de folhas ao longo do ciclo da cultura (Figura 1B), nos três ensaios, com valores do d-Stat 0,92; 0,97 e 0,98, para os ensaios ID, SD FC, respectivamente.

Valores da estatística d-Stat foram 0,87; 0,94 e 0,93, para a produtividade de grãos nos ensaios de validação ID, SD e FC, respectivamente, indicando que o modelo foi capaz de simular com média acurácia o rendimento da cultura.

O modelo também simulou bem a fitomassa aérea total nos ensaios do ID, com valor d-Stat de 0,94. Já nos ensaios do SD e FC a fitomassa aérea total tendeu a ser superestimada (Tabela 2), embora com boa concordância entre valores simulados e observados (d-Stat de 0,96 em ambos os ensaios).

Conclusões

O modelo CSM-CERES-Maize foi capaz de simular com média acurácia a fenologia, a produção de fitomassa seca e o rendimento de grãos do híbrido DKB 390YG, cultivado em sistemas de produção de sequeiro e irrigado e com a utilização de fertilização mineral exclusiva e combinada com dejetos líquidos de suínos.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo suporte financeiro via projetos, nº 559065/2008-6 e nº 476169/2008-9. A FAPEMIG pelo apoio financeiro. Aos empregados de apoio da Embrapa Milho e Sorgo, pelo auxílio na coleta e análise de dados. Ao Sr. Antônio Gonzaga, proprietário da Fazenda Junco Agroindustrial Ltda., pela concessão da área de estudo.

Literatura Citada

AMARAL, T. A., ANDRADE, C. T., SILVA, D. F., NOCE, M. A., SANTANA, C. B., MOURA, B. F. Capacidade preditiva do modelo CSM-Ceres-Maize para simular a utilização de cama de frango na cultura do milho. **In:** XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010, Goiânia. Potencialidades, Desafios e Sustentabilidade. , 2010.

CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente, 2008. **Resolução CONSEMA nº 003, de 21 de novembro de 2008.** Acesso em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/consema.php>>. Disponível em: 25 maio 2012.

DEKALB. Semente Híbrida de Milho Safrinha 2011 DKB 390. Disponível em: <http://www.dekalb.com.br/produto_milho_safrinha.aspx?id=34>. Acesso em: 26/05/2012.

HOFFMANN, F.; RITCHIE, J. T. Model for slurry and manure in CERES and similar models. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 170, n. 5, p. 330- 340, 1993.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; HUNT, L. A.; BOOTE, K. J.; SINGH, U.; URYSEV, O.; LIZASO, J. I.; WHITE, J. W.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; BATCHELOR, W. D.; TSUJI, G. Y. Decision Support System for Agrotechnology Transfer: version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2009. 1 CD-ROM.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE. **Estatística da agropecuária.** Dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201012.pdf>. Acesso em: 20 de maio. 2012.

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. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, Oxford, v. 18, n. 3/4, p. 235-265, 2003.

KONZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 3 p. (Embrapa Milho e Sorgo. C,T., 31).

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Monitoramento ambiental do uso de dejetos líquidos de suínos como insumo na agricultura: Efeito de doses na produtividade de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* , n. 2, p. 123-131, 2002.

LOAGUE, K. e GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**. v.7, p. 51–73, 1991.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 400 p.

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**, v. 27, p. 165-177, 2007.

SHAYYA, W. H.; BERNUTH, R. D.; RITCHIE, J. T.; PERSON, H. L. A simulation model for land application of animal manure. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1993. 26 p. ASAE Paper n. 93-2012.

WALLACH, D.; MAKOWSKI, D.; JONES, J. W. **Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2006. 449 p.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Soc.** v. 63, n.11, p.1309• 1313, 1982.

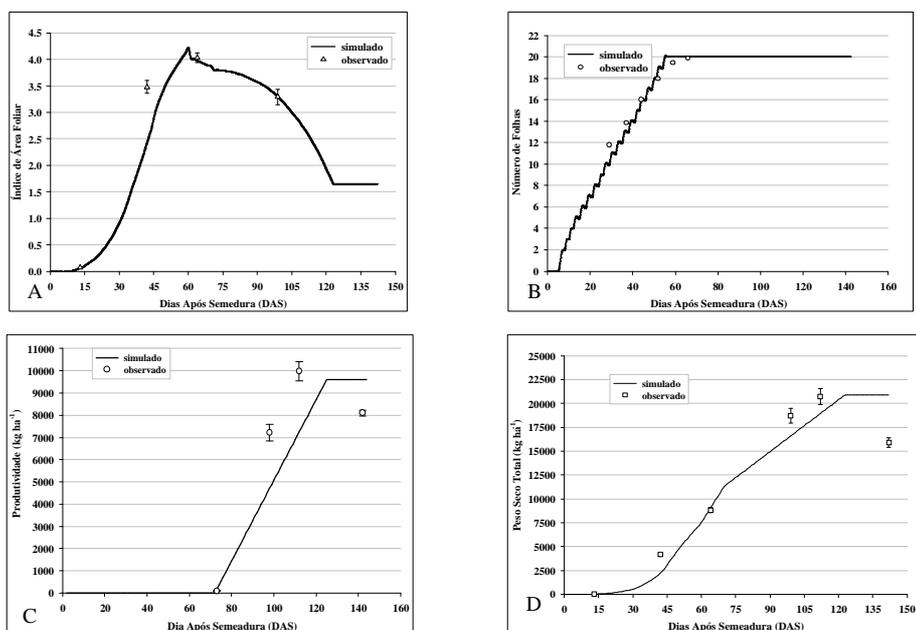


Figura 1. Índice de Área Foliar ao longo do ciclo da cultura simulado e avaliado (A), Número de folhas simulado e observado (B), Produtividade de grãos simulada e observada (C) e Fitomassa seca aérea simulada e observada (D). As barras verticais referem-se ao erro padrão acima e abaixo da média.

Tabela 1. Número de dias para atingir o embonecamento (EB) e a maturidade fisiológica (MF), simulado (S) e observado (O), para os diferentes ensaios.

Ensaio*	Data do EB - S	Data do EB - O	Data da MF - S	Data da MF - O
	Dias Após Semeadura (DAS)			
ID_c	61	61	127	127
ID	62	61	130	133
SD	61	62	126	132
FC	64	60	128	123

*Parametrização – Ensaio para calibração e validação do modelo, ID_c Irrigado com dejetos usado na calibração (2009/2010), ID – Irrigado com dejetos (2008/2009), SD – Sequeiro com dejetos(2009/2010) e FC – Sequeiro com Fertilizante convencional (2009/2010).

Tabela 2. Comparação da Fitomassa aérea (FT) e produtividade simulada (S) e observada (O), para os diferentes ensaios.

Ensaio*	FT - S	FT - O	P - S	P - O
	(kg ha ⁻¹)			
ID_c	20915	15558	9612	8108
ID	16535	17954	7580	8916
SD	18281	12754	7666	6827
FC	15023	12989	7013	6682

*Parametrização – Ensaio para calibração e validação do modelo, ID_c Irrigado com dejetos usado na calibração (2009/2010), ID – Irrigado com dejetos (2008/2009), SD – Sequeiro com dejetos (2009/2010) e FC – Sequeiro com Fertilizante convencional (2009/2010).