

SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRIGO UTILIZANDO O MODELO CERES-WHEAT NA REGIÃO DE CAMPINAS, SP¹

FÁBIO CÉSAR DA SILVA²
CECÍLIA M. TOJO SOLER³
ANTONIO E. BOARETTO⁴
EDUARDO S. SPOLIDORIO⁵
JOSÉ GUILHERME DE FREITAS⁶

RESUMO

Avaliou-se a eficácia do modelo Ceres-Wheat na estimativa da produtividade e datas de florescimento e de maturidade fisiológica de trigo, cultivar IAC 24. Para comparar os valores estimados pelo modelo Ceres, utilizou-se de dados observados em ensaio de campo com trigo irrigado e adubado com diversas doses de N-fertilizante: 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N no primeiro ano e 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N no 2º ano. O modelo simulou satisfatoriamente a fenologia, os componentes do rendimento e o rendimento do trigo, inclusive o efeito da adubação nitrogenada. As estimativas das datas de florescimento e maturidade fisiológica apresentaram pequenos desvios em relação às datas observadas a campo, que deveu-se à ocorrência de temperaturas médias diárias maiores do que a média histórica e conseqüentemente um encurtamento do ciclo da cultivar. Embora haja necessidade de refinamento na estimativa de alguns processos, os resultados indicam que o modelo CERES-Wheat é adequado para estimativas da fenologia e rendimento da cultivar de trigo IAC-24 para previsão de resposta à adubação N.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem; agrometeorologia; cereais.

¹ Parte de Circular Embrapa: <http://www.cnptia.embrapa.br/modules/tinycontent3/content/2002/circtec2.pdf>

² Eng. Agr^o, Dr. Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, C. Postal = 6041, Cidade Universitária Zeferino Vaz, 13.083-970, Campinas SP. Professor do CESET / UNICAMP.

³ Eng. Agron. Doutoranda em Irrigação e Drenagem, ESALQ-USP, Piracicaba SP.

⁴ Eng. Agro., Dr., Pesquisador do CENA-USP, Piracicaba SP.

⁵ Eng. Agro., Dr., SN- Centro de Pesquisa e Prom. de Sulfato de Amonio, Piracicaba SP.

⁶ Dr., Pesquisador do IAC- Centro de Plantas Graníferas, Campinas SP.

SIMULATION OF THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE WHEAT USING MODEL CERES-WHEAT IN THE CAMPINAS REGION (SP)

ABSTRACT

The effectiveness of the Ceres-Wheat model was evaluated for estimation of productivity and dates of flowering and physiological maturity of the wheat, cultivar IAC 24. Simulation results were compared with observed data from field experiments of wheat under irrigation and fertilization with different doses of N: 0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹ of N in first year and 0, 45, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹ of N in 2nd year. The model simulated satisfactorily the phenology, yield components and productivity, including the effect of the N fertilization. The estimates of the dates of flowering and physiological maturity presented deviations from field data, which was attributed to occurrence of higher daily temperature during the crop cycle as compared with historical data, resulting shortening of the cycle of cultivating. Although there is necessity of refinement of some processes, the results indicate that the CERES-Wheat model is adjusted for estimates of the phenology and yield of wheat and also its response to N fertilization.

KEYWORDS: modeling; agro-meteorology; cereals.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm-se gerado vários tipos de modelos de simulação para uso em agricultura com diferentes níveis de complexidade. Pela sua importância, destacam-se os modelos do IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer), que foi um projeto internacional com sede na Universidade de Havaí, criado para desenvolver um sistema para suporte à decisão e transferência de tecnologia agrícola. Esse sistema, nomeado DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) consta de grande base de dados, modelos de simulação de produção de cultivos como trigo, cevada, milho, arroz, girassol, sorgo, soja, feijão, amendoim e batata, além de ferramentas de análises biofísicas e econômicas (Baethgen, 1995). Tais modelos de simulação do sistema DSSAT são baseados no enfoque de sistemas, isto é, tratam de compreender as interações dos componentes do sistema agrícola.

No caso particular dos modelos de simulação de culturas, consiste em: a) simular as interações do genótipo com o ambiente e com o manejo e b) prever o funcionamento de um sistema de produção em resposta aos fatores que influenciam, como o clima e práticas de manejo. Além da estimativa do rendimento, o conjunto de programas do sistema DSSAT

permite avaliar o uso do recurso natural e estimar o risco associado com diferentes práticas de manejo. Através de uma interface visual, o sistema possibilita: a) introduzir, organizar e armazenar dados das culturas, de solos e de clima b) recuperar, analisar e apresentar dados, c) calibrar e validar modelos de diferentes culturas e d) testar diferentes práticas de manejo num dado local (Jones, 1993). O modelo simula o crescimento e desenvolvimento de uma cultura numa localidade, análises mais complexas da resposta da cultura podem ser conduzidas para diferentes tipos de solo, cultivares, épocas de semeadura, população de plantas e estratégias de irrigação e adubação, com a finalidade de encontrar práticas que sejam mais favoráveis e que envolvam menor nível de risco (Jones, 1993; Jame & Curtforth, 1996).

A utilização de modelo de simulação para a cultura de trigo nas condições brasileiras foi iniciada em 2001, foi modificando a partir do modelo CERES, pela equipe da Embrapa Trigo, em conjunto com a Universidade de Passo Fundo, em desenvolvimento foi denominado de SimTrigo e escrito na linguagem JAVA usando os princípios de programação orientada para objetos (POO). O modelo SimTrigo está sendo estruturado para simular o rendimento de trigo, a acumulação de biomassa, a duração da área foliar, a fenologia, a absorção de água em resposta a quantidade de água no solo e também os efeitos de pragas e doenças sob a planta, mas não introduziu-se a dinâmica de nitrogênio (Fernandes et al., 1999).

Este artigo tem como objetivos apresentar de forma sucinta o funcionamento do modelo CERES-Wheat inserido na plataforma do programa DSSAT3.5, assim como apresentar os resultados obtidos das simulações realizadas com o modelo e os observados em experimento de campo, em especial a sua capacidade de detectar os efeitos da aplicação de N sob a fenologia e produtividade de grãos do trigo sob irrigação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O CERES-Wheat constitui um modelo mecanístico e determinístico que simula, entre vários parâmetros, a duração dos estágios vegetativos e reprodutivos, o acúmulo de biomassa e a produção de grãos em função de diferentes tipos de solo, condições climáticas e práticas de manejo da cultura. Para tanto foram utilizados como inputs ou entradas do modelo CERES-Wheat dados obtidos de dois experimentos de campo com o genótipo IAC-24, considerando-se as práticas de manejo cultural, como a alteração da população de plantas, as fertilizações, as irrigações; as datas fenológicas como semeadura, emergência, florescimento, antese, maturidade fisiológica, colheita e os dados dos componentes de produção, número de

grãos por metro quadrado e peso de mil grãos. Nesses experimentos, a cultivar IAC-24 foi submetida a diferentes doses de fertilizante: 0, 30, 60, 90 e 120 kg.ha⁻¹ de N no primeiro ano e 0, 45, 90, 135 e 180 kg.ha⁻¹ de N no segundo ano, parcelados em 1/3 na semeadura e 2/3 em cobertura (cultura em estágio Zadocks-30). A fonte de N utilizados em ambos experimentos foi uréia. O regime hídrico foi mantido através do sistema de irrigação por aspersão.

Os dados diários das variáveis de clima requeridas para a implementação dos arquivos necessários para o funcionamento do modelo CERES-Wheat foram obtidas da micro-estação climatológica do IAC, Fazenda Santa Elisa, considerados como inputs as temperatura máxima e mínima, precipitação e horas de sol. Já os dados de solo do local através de análise de solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro mesotrófico, nos 2 anos em que foram realizados os experimentos. As principais características do solo consideradas como entradas para cada camada do perfil são: textura, conteúdo de matéria orgânica, densidade aparente, pH, índice de drenagem, número da curva de escoamento superficial (numero capa) e albedo do solo.

A partir dos resultados obtidos em ensaios de campo, o modelo CERES-Wheat foi calibrado e testado. A calibração do modelo consistiu no ajuste dos coeficientes genéticos para a cultivar IAC-24, de tal forma que os valores simulados de produção de grãos e as datas de florescimento e maturidade fisiológica fossem próximas ou coincidissem com os valores experimentais observado no ano 1. Já o teste do modelo consistiu na comparação dos dados simulados com aqueles observados experimentalmente na cultivar IAC-24 no ano 2, que se houvesse um ajuste perfeito dessa reta entre os dados observados e simulados, formar-se-ia um ângulo de 45° entre a reta e o eixo x. Um exemplo de arquivo padrão com dados de solo para uso nos modelos incluídos no DSSAT 3.5 é apresentado a seguir na Tabela 1 (TSUJI et al., 1996).

Tabela 1. Arquivo e tela padrão com dados de solo para uso nos modelos incluídos no software DSSAT (TSUJI et al., 1996).

*EBMZ850001 SCS 120 LATOSSOLO VERMELHO AMARELLO															
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY															
CPAC	BRASIL	-15.59	-47.70	CLAYEY,	OXIDIC,	ISOTHERMIC	ANIONIC	ACRUSTOX							
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE															
	RY	0.14	7.1	0.50	76.0	1.00	1.00	IB001	IB001	IB001					
@	SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLCF	SLNI	SLHW	SLHB
SCEC SADC															
15	0.00	0.191	0.349	0.389	1.000	-9.0	0.93	1.81	-99	-99	-99	-99	5.9	-99	-99
							0.00								
30	0.00	0.237	0.339	0.367	0.200	-9.0	1.03	1.45	-99	-99	-99	-99	5.3	-99	-99
							0.00								
45	0.00	0.250	0.329	0.371	0.200	-9.0	1.01	1.20	-99	-99	-99	-99	5.2	-99	-99
							0.00								
60	0.40	0.256	0.329	0.385	0.200	-9.0	0.95	1.03	-99	-99	-99	-99	4.8	-99	-99
							0.40								
75	0.80	0.263	0.327	0.389	0.200	-9.0	0.93	0.81	-99	-99	-99	-99	4.5	-99	-99
							0.80								
90	1.00	0.266	0.320	0.394	0.200	-9.0	0.91	0.76	-99	-99	-99	-99	4.7	-99	-99
							1.00								
105	1.20	0.271	0.323	0.394	0.020	-9.0	0.91	0.69	-99	-99	-99	-99	4.8	-99	-99
							-99	1.20							
120	1.60	0.275	0.328	0.394	0.010	-9.0	0.91	0.63	-99	-99	-99	-99	4.9	-99	-99
							-99	1.60							

Legenda:

Linha 1 – nome do arquivo, classe de solo.

Linha 2 – local, país, latitude, longitude, família do solo. SSITE = local; SCOUNT = país; LAT = latitude com sinal negativo para quem estiver no hemisfério sul, graus decimais; LONG = longitude, graus decimais; SCS FAMILY = classe de solo.

Linha 3 – cor, albedo, evaporação, drenagem, escoamento superficial, mineralização, fotossíntese, pH, fósforo e potássio. SCOM = cor do solo úmido, matiz da escala da Munsell; SALB = albedo, fração; SLU1= limite de evaporação, mm; SLDR = taxa de drenagem, fração dia⁻¹; SLRO = curva número para escoamento superficial do Serviço de Conservação de Solo dos USA; SLNF = fator de mineralização, escala de 0 a 1; SLPF = fator de fotossíntese, fator de 0 a 1; SMHB = método de determinação do pH em solução tampão, código; SMPX = método de determinação de fósforo, código; SMKE = método de determinação de potássio, código;

Linha 4 – profundidade da base da camada, horizonte, limite inferior, limite superior de água disponível, umidade de saturação, fator de crescimento de raiz, condutividade hidráulica saturada, densidade global úmida, carbono orgânico, argila, silte, fração grosseira, nitrogênio, pH em água, pH em solução tampão e capacidade de troca de cátions SLB = profundidade da base da camada, cm; SLMH= horizonte do solo; SLLL = limite inferior de água disponível ou ponto de murcha permanente, cm³ cm⁻³; SDUL= limite superior de água disponível ou capacidade de campo, cm³ cm⁻³; SSAT = umidade de saturação, cm³ cm⁻³; SRGF = fator de crescimento de raiz, 0.0 a 1.0; SSKS = condutividade hidráulica saturada, cm h⁻¹; SBDM =densidade global do solo úmido, g cm⁻³; SLOC = carbono orgânico, %; SLCL= argila, %; SLSI= silte, %; SLCF= cascalho, fração maior que 2 mm, %; SLNI = nitrogênio total, %; SLHW= pH em água; SLHB = pH em solução tampão; SCEC = capacidade de troca de cátions, CTC, cmol kg⁻¹. O valor -99 é o padrão usado para um dado desconhecido ou perdido.

Os coeficientes genéticos são determinados na fase de calibração do modelo mediante comparação de resultados simulados e observados no campo. Com esses coeficientes, são descritas as características de um determinado genótipo. A ocorrência das diferentes fases fenológicas descritas no modelo CERES-Wheat representam intervalos de crescimento da planta delimitada por diferentes eventos fisiológicos. Um exemplo, de práticas de manejo considerado pelo modelo CERES-Wheat destaca-se as fertilizações realizadas (tipo de fertilizante, data de aplicação, quantidade aplicado) e as irrigações (quantidade de água aplicada, data de aplicação, tipo de equipamento de irrigação).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados e simulados das datas de florescimento e de maturidade fisiológica são apresentados na Figura 1 para os anos 1 e 2. Os dados observados em dias após a semeadura (DAS) são representados no eixo das abscissas, enquanto que os resultados simulados são representados no eixo das ordenadas. Os DAS observados até o florescimento no ano 1 foram de 61 dias enquanto que o modelo simulou 64 dias. Para o ano 2, o modelo simulou 69 DAP e foram observados 70 DAS até a data de florescimento do trigo. Já os DAS observados até a maturidade fisiológica no ano 1 foram 84, porém o modelo simulou 90 dias. Para o ano 2, o modelo simulou 95 DAS e foi observado 104 DAS até a data de maturidade fisiológica .

A lógica do desenvolvimento do trigo foi parcialmente controlado principalmente pela temperatura. No período de desenvolvimento da cultura de trigo no ano 1, registrou-se a ocorrência de temperaturas médias diárias maiores do que a média histórica e conseqüentemente um encurtamento do ciclo da cultivar. Portanto, o uso do conceito de graus-dias, permitiria integrar as unidades térmicas às quais as plantas estão expostas, a cada dia. Para tal, são necessário estabelecer relações quantitativas entre temperatura e desenvolvimento da planta de trigo. Essa soma térmica emergência até maturidade fisiológica apresentou diferenças evidentes nos dois anos estudados (184 graus dia), o que poderia explicar em parte as diferenças entre dados observados e simulados pelo modelo.

Outro aspecto que merece estudo durante o ciclo de desenvolvimento da planta de trigo, são as mudanças em sua morfologia externa, o que pode auxiliar na caracterização dos respectivos estádios de desenvolvimento da planta, considerados críticos na formação do rendimento de grãos (Fernandes et al., 1999).

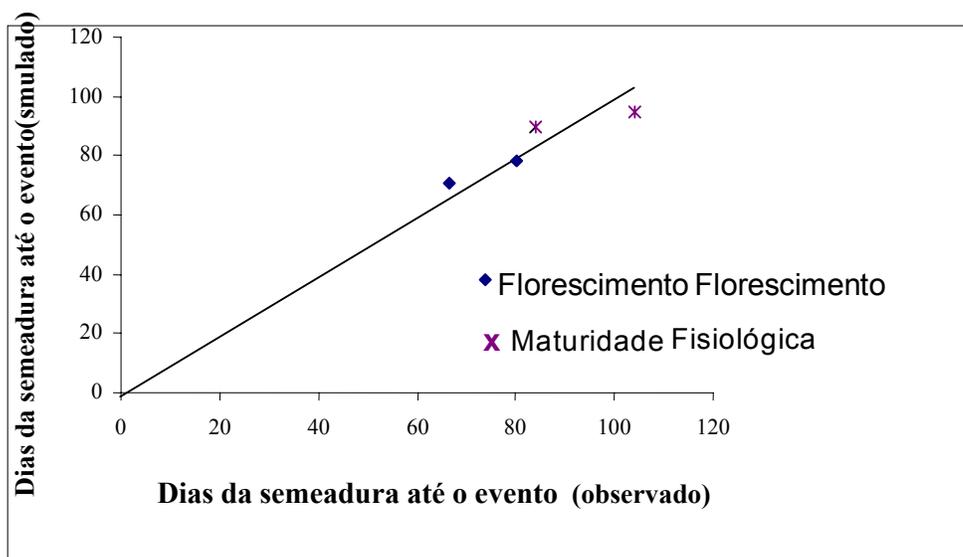


Figura 1. Comparação entre as datas de florescimento e de maturidade fisiológica (DAS) observada e estimada pelo modelo CERES-Wheat para o primeiro e segundo anos.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de rendimento de grãos para os tratamentos 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N no ano 1. Para o tratamento que não recebeu N na adubação, o valor estimado de rendimento de grão foi de 3.349 kg ha⁻¹, e o observado experimentalmente foi de 3.150 kg ha⁻¹. No ano 1, observou-se que o tratamento que recebeu a dose de 90 kg ha⁻¹ de N foi o que resultou em maior rendimento de grãos com 4.026 kg ha⁻¹. Nesse ano, constatou-se uma redução do ciclo fenológico como consequência das altas temperaturas médias diárias, e isso afetou a produção final de grãos. A comparação do rendimento de grãos (kg ha⁻¹) simulado pelo modelo CERES-Wheat e o observado experimentalmente para os 5 tratamentos com N, sendo o coeficiente de correlação entre as variáveis de 0,9705 **. Uma explicação para o trigo, por ser uma planta C3 e originária de regiões de clima temperado, intensifica a fotorrespiração acima de 28°C, principalmente no estágio de enchimento de grãos (no caso, foi no mês de Agosto), o que leva a este cereal a consumir mais do que armazenar fotoassimilados nos grãos (Evans et al., 1975). Dessa forma, o conhecimento eventos fisiológicos, a exemplo de fotorrespiração deve ter correspondência em mudanças morfológicas que estão sendo determinados em cada período, tornam-se

imprescindíveis para melhor adequação no tempo e no espaço de práticas de manejo para potencializar o rendimento de grãos (Fernandes et al., 1999).

Tabela 2. Rendimento simulado e observado para a cultivar IAC-24 nos anos 1 e 2 sob 5 doses de nitrogênio.

Dose de N	Rendimento Simulado (kg.ha⁻¹)	Rendimento Observado (kg.ha⁻¹)
Ano 1		
0 N	3.349	3.150
30 N	3.862	3.769
60 N	4.026	3.748
90 N	4.061	4.026
120 N	4.081	3.915
Ano 2		
0 N	4.444	4.637
45 N	4.637	4.871
90 N	4.635	4.792
135 N	4.622	4.721
180 N	4.622	4.763

No ano 2 o rendimento médio observado foi maior que no ano 1 não foram registradas altas temperaturas médias diárias e conseqüentemente não foi evidenciado um encurtamento no ciclo fenológico da cultura, que foi evidenciado na altura e desenvolvimento da planta, o que poderia explicar os maiores rendimentos nesse ano. A dose de 45 kg ha⁻¹ de N foi a que resultou no maior rendimento, sendo de 4.871 kg ha⁻¹. Observou-se que os resultados simulados pelo modelo foram menores aos resultados observados experimentalmente. As diferenças encontradas quando se comparam os valores simulados e os observados devem-se em parte aos processos não considerados pelo modelo, tais como a ocorrência de doenças e pragas. Outra fonte de erro pode ser atribuída à variabilidade nos dados experimentais. O número de grãos por metro quadrado estimado pelo modelo CERES-Wheat e medido experimentalmente para os diferentes tratamentos de fertilização nitrogenada no ano 1, sendo o coeficiente de correlação entre as variáveis de 0,765 **.

4. CONCLUSÕES

O modelo CERES-Wheat simulou satisfatoriamente a fenologia, os componentes do rendimento e o rendimento do trigo, inclusive o efeito da adubação nitrogenada. As estimativas

das datas de florescimento e maturidade fisiológica apresentaram pequenos desvios em relação às datas observadas a campo, que deve-se a ocorrência de temperaturas médias diárias maiores do que a media histórica e conseqüentemente um encurtamento do ciclo da cultivar. Embora haja necessidade de refinamento na estimativa de alguns processos, os resultados indicam que o modelo CERES-Wheat é adequado para estimativas da fenologia e rendimento da cultivar de trigo IAC-24 para previsão de resposta à adubação N. A exemplo dos modelos CROPGRO para soja no Estado do Paraná ou do SimTrigo para Trigo no Rio Grande do Sul, esse calibração do modelo CERES possibilita no futuro a utilização deste modelo para outro tipo de estudos como por exemplo zoneamento do risco climático e viabilidade técnica e econômica da cultura do trigo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAETHGEN, W. Uso de modelos de simulación en manejo y fertilidad de suelos. In: **II Curso de actualización técnica manejo y fertilidad de suelos**. INIA La Estanzuela. Uruguay. 1995.

EVANS, L.T.; WARLAN, I.F.; FISCHER, R.A. Wheat. In: Evans, L.T. Crop physiology. London: Cambridge University Press, 1975. p.101-149.

FERNANDES, J.M.C & PICININI, E.C. Sistema de auxílio à tomada de decisão para a otimização do uso de fungicidas na cultura do trigo. *Fitopatologia Brasileira* 24:9-17, 1999.

JAME, Y. W & CURTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**. p.9-19.1996. JAME, Y. W.; CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**. p.9-19.1996.

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: Penning de Vries F.W.T, Teng PS, Metselaar K (eds.). Systems approaches for agricultural development. Kluwer Academic Press, Boston. 459-471.1993.

INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER: A system approach to research and decision making. Ed. TSUJI, G; HOOGENBOOM, G AND THORNTON, P. Submitted for publication: Kluwer Academic Press, Systems approaches for sustainable development series. 1996.