

AVALIAÇÃO DO MODELO ORYZA-APSIM NA SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS BRS-PRIMAVERA NO BRASIL

ROGÉRIO LORENÇONI¹, SIMONE TONI RUIZ CORRÊA², FABIO VALE SCARPARE³, DURVAL DOURADO NETO⁴, ALEXANDRE BRYAN HEINEMANN⁵, MARCELO ABRITTA³, LEONARDO CIRILO SOARES², KARLA VILAÇA MARTINS²

¹ Engenheiro Agrônomo, Pós-Graduando PPG Fitotecnia – Depto. de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, ESALQ/USP, Piracicaba – SP. Fone: (019) 3429-4458, rogeriolorenconi@usp.br.

² Engenheiro Agrônomo, Pós-Graduando PPG Fitotecnia – ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

³ Engenheiro Agrônomo, Pós-Graduando PPG Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

⁴ Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

⁵ Pesquisador Doutor da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAP/EMBRAPA, Santo Antônio de Goiás – GO.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a simulação do desenvolvimento fenológico gerada pelo modelo ORYZA-APSIM para a cultivar de arroz de terras altas BRS-Primavera em função dos elementos meteorológicos de quatro regiões produtoras no Brasil - Santo Antônio de Goiás-GO, Sorriso-MT, Gurupi-TO e Teresina-PI -) entre as safras de 2005/2006 e 2008/2009. O modelo foi calibrado com dados de dois experimentos realizados no município de Santo Antônio de Goiás-GO em duas datas de semeadura durante a safra 2008/2009. As seguintes variáveis foram definidas na calibração: (i) unidades de calor efetivo diário e (ii) taxas de desenvolvimento fenológico para cada estágio de desenvolvimento. Na avaliação da simulação foi realizada a comparação entre os valores observados e simulados para o número de dias entre a emergência e o florescimento da cultura. O modelo apresentou bom desempenho nas simulações do desenvolvimento fenológico para as regiões de maior latitude e insatisfatório para a região de menor latitude.

PALAVRAS-CHAVE: arroz de terras altas; modelagem; elementos meteorológicos

ORYZA-APSIM MODEL EVALUATION BY UPLAND RICE DEVELOPMENT STAGE SIMULATION IN BRAZIL

ABSTRACT: The objective of this study was to simulate the phenological development of upland rice BRS-Primavera variety by APSIM-ORYZA model in function of the weather elements. Seventeen experiments were conducted in four regions (Santo Antônio de Goiás-GO, Sorriso-MT, Gurupi-TO and Teresina-PI) between 2005/2006 and 2008/2009 years. The model was calibrated using data from two experiments carried out in Santo Antonio de Goiás-GO using two sowing dates during 2008/2009 season. The following variables were defined in the calibration: (i) actual daily heat units and (ii) rates of phenological development for each developmental stage. In assessing the evaluation the day numbers from emergence to flowing simulated by the model and observed in the field were used. The model showed good performance of phenological development simulations for the regions of higher latitude and unsatisfactory to the region of lower latitude.

KEYWORDS: upland rice; modeling; meteorological elements

INTRODUÇÃO: Atualmente existe um grande interesse na melhoria do sistema de produção do arroz de terras altas no Brasil, devido principalmente às restrições sócio-ambientais que recaem sobre o sistema de produção do arroz irrigado, cuja produtividade é significativamente superior. Essa diferença dá-se principalmente pela grande variabilidade de solos e climas existentes entre e dentro das regiões produtoras. A otimização no uso dos recursos climáticos nos diferentes ambientes inseridos no sistema de produção de arroz de terras altas pode contribuir para minimizar a variabilidade temporal e espacial da produtividade. Nesse sentido, a utilização de modelos de simulação de culturas é uma ferramenta útil para integrar os conhecimentos dos processos biofísicos que regem o sistema solo-planta-atmosfera, permitindo identificar e avaliar as incertezas na produção, associadas às diferentes opções de manejo (HEINEMANN et al., 2000). Um desses modelos é o ORYZA2000, desenvolvido pela Universidade de Wageningen e o Instituto Internacional de Pesquisa em Arroz (IRRI) para o arroz irrigado. Recentemente, o modelo ORYZA2000 foi incorporado ao sistema de suporte de decisão APSIM (*Agricultural Production Systems Simulator*), objetivando a simulação de sistemas agrícolas complexos e de seus respectivos manejos, possibilitando o uso do modelo para o sistema de cultivo do arroz de terras altas. O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar as simulações do desenvolvimento fenológico geradas pelo modelo ORYZA-APSIM para a cultivar BRS-Primavera.

MATERIAL E MÉTODOS: O modelo ORYZA-APSIM considera a temperatura e o fotoperíodo nos cálculos do desenvolvimento fenológico. Para realizar a quantificação da sensibilidade fotoperiódica da cultivar, foram utilizados dados de dez experimentos de valores de cultivo (VCU), realizados pela EMBRAPA *Arroz e Feijão* no município de Santo Antônio de Goiás-GO entre os anos de 2004 a 2009. Esta variável, por sua vez, foi determinada através de regressão linear entre o número de dias observados entre a emergência e a floração e suas respectivas datas de semeadura (Figura 1). O valor do coeficiente angular determinado para a variedade em questão foi comparado com valores estabelecidos por Fukai (1999), e seu desenvolvimento fenológico foi calibrado utilizando-se dados de dois experimentos de VCU, realizados pela EMBRAPA *Arroz e Feijão* em Santo Antônio de Goiás-GO durante a safra 2008/2009. Foram determinadas as unidades de calor efetivo diário HU ($^{\circ}\text{C d.d}^{-1}$) e as taxas de desenvolvimento de cada um dos seus respectivos estádios fenológicos (DVR). Para minimizar o efeito de possíveis erros experimentais, foram utilizados os valores médios dos dados observados nos dois experimentos (Tabela 1). As unidades de calor efetivo HUH ($^{\circ}\text{C d.h}^{-1}$) foram determinadas em função das temperaturas cardinais, fixadas pelo modelo ($T_b = 8^{\circ}\text{C}$; $T_o = 30^{\circ}\text{C}$; $T_M = 42^{\circ}\text{C}$), e pela temperatura horária, obtida pelas seguintes equações:

$$T_d = \frac{T_m - T_M}{2} + \frac{(T_m - T_M)}{2} \cos[0,2618 (h - 14)] \quad (1)$$

em que h é o período do dia, T_m é a temperatura média e T_M a máxima, em $^{\circ}\text{C}$.

$$HUH = 0 \text{ (se } T_d \leq T_b \text{ ou } T_d \geq T_M) \quad (2)$$

$$HUH = \frac{T_d - T_b}{24} \text{ (se } T_b < T_d < T_M) \quad (3)$$

$$HUH = \frac{1}{24} \left[T_o - (T_d - T_o) \frac{T_o - T_b}{T_H - T_o} - T_b \right] \text{ (se } T_o < T_d < T_M) \quad (4)$$

$$HU = \sum_{h=1}^{24} HUH_h \quad (5)$$

O *DVR* foi determinado de acordo com Kropff et al. (1994), baseado nas taxas constantes dos estádios fenológicos e suas unidades de calor efetivo diário (*HU*; °C d.d⁻¹) ocorridas no estádio. Abaixo, as equações de obtenção do *HU* (°C d.d⁻¹), *DVR* e *DVS*.

$$DVR = \frac{DVS}{HII} \text{ (ou } DVS = DVR \cdot HU) \quad (6)$$

Os estádios fenológicos básicos de desenvolvimento assumidos no modelo foram assim definidos: fase 1 (vegetativa), da emergência à iniciação da panícula (*DVS*) = 0 à 0,65; fase 2 (reprodutiva), da iniciação da panícula ao florescimento (*DVS* = 0,65 à 1); fase 3 (maturação fisiológica), do florescimento à maturidade fisiológica (*DVS* = 1 à 2).

O número de dias, o somatório das unidades de calor efetivo (*HUH*) e as taxas de desenvolvimento (*DVR*) de cada uma das fases da cultura utilizadas na calibração do modelo são apresentados abaixo.

Tabela 1 - Valores das variáveis utilizadas na calibração do modelo para as duas datas de emergência dos experimentos.

Data de emergência	DAE (dia)	HUH (°C d.h ⁻¹)	DVR (°C.d ⁻¹)
	<i>DVS</i> (0 a 0,65) (fase 1)		
17/11/2008	0-46	750	0,000869
29/12/2008	0-46	748	0,000864
Média	46*	749*	0,000867*
	<i>DVS</i> ¹ (0,65 a 1) (fase 2)		
17/11/2008	46-75	461	0,000744
29/12/2008	46-74	470	0,000864
Média	16-75*	465*	0,000867*
	<i>DVS</i> ¹ (1 a 2) (fase 3)		
17/11/2008	75-105	460	0,002284
29/12/2008	74-104	438	0,002064
Média	75-105*	449*	0,002174*

DAE: dias após emergência (d⁻¹); *HUH*: unidades de calor efetivo (°C d.d⁻¹); *DVS*: estágio de desenvolvimento; *DVR*: taxa de desenvolvimento (°C.d⁻¹). * valor médio utilizado na calibração do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na determinação da sensibilidade fotoperiódica, o coeficiente angular da regressão linear obtido para a variedade cultivada BRS-Primavera foi de 0,0115, alinhado com observações de Fukai (1999) e caracterizado como insensível (figura 1A).. Streck et al. (2006) afirmam que essa relação é apropriada para regiões tropicais, onde a temperatura do ar não é limitante para o crescimento e desenvolvimento do arroz. Bueno et al. (1981) mencionam que as variedades cultivadas geralmente utilizadas na região central do Brasil são insensíveis ao fotoperíodo. Steinmetz e Meireles (1999), ao observarem a época de semeadura recomendada na maioria das regiões produtoras de arroz de terras altas, determinaram que o fotoperíodo não é um fator limitante ao desenvolvimento das plantas, uma vez que as variedades cultivadas são melhoradas e selecionadas para compatibilizar com o fotoperíodo das regiões. Swain et al. (2007) determinaram que essas fases representam bem o desenvolvimento fenológico do arroz insensível ao fotoperíodo.

Na avaliação do desenvolvimento fenológico, as diferenças entre o número de dias simulados e observados para as quatro regiões são apresentadas na Figura 1B.

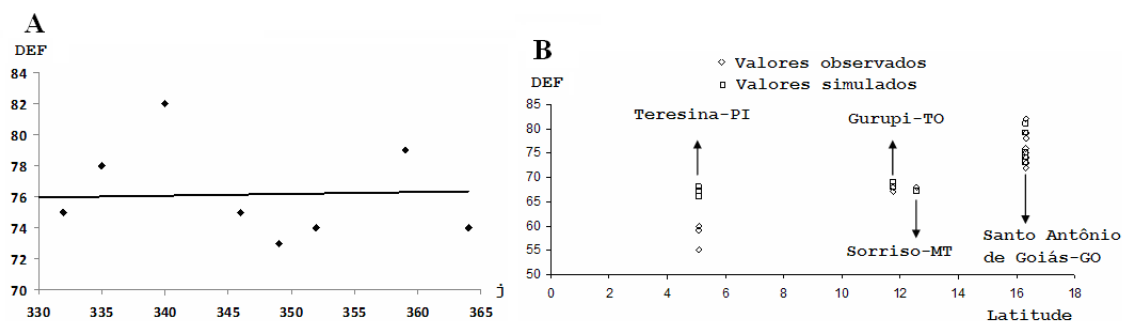


Figura 1: (A) - Regressão linear para a caracterização da sensibilidade fotoperiódica da variedade cultivada de arroz de terras altas BRS-Primavera ($DEF=0,0115.j + 72,136$; $R^2 = 0,1691$ - DEF: dias entre emergência e florescimento e j: número de ordem do dia do ano); (B) - Avaliação da duração das fases 1 e 2 (emergência ao florescimento). Comparação entre os números de dias simulados e observados entre a emergência e o florescimento (DEF, dia) da variedade cultivada de terras altas BRS-Primavera em Teresina-PI, Gurupi-TO, Sorriso-MT e Santo Antônio de Goiás-GO.

O aumento do número de dias das fases 1 e 2 foi ocasionado por penalizações do modelo, que assume um decréscimo linear das unidades de calor efetivo (HUH) quando a T_d atinge valores intermediários entre a T_O e a T_M . A penalização é aumentada à medida que a T_d se aproxima da T_M . A partir do momento em que a T_d se iguala ou ultrapassa a T_M , o HUH é considerado zero e o desenvolvimento fenológico é paralisado. Uma representação gráfica desse comportamento é demonstrada na Figura 1A. Esse comportamento pode ser atribuído a menor latitude da região de Teresina-PI, pois isso promoveria uma elevação da temperatura média diária em comparação as das demais regiões. Tonietto e Mandelli (2003) afirmam que a diminuição da latitude ocasiona o aumento da temperatura média do ar, conforme se aproxima da linha do equador. Resultados similares foram encontrados por Buriol et al. (1973) para o Estado do Rio Grande do Sul e Buriol et al. (1974) para o Estado de Santa Catarina.

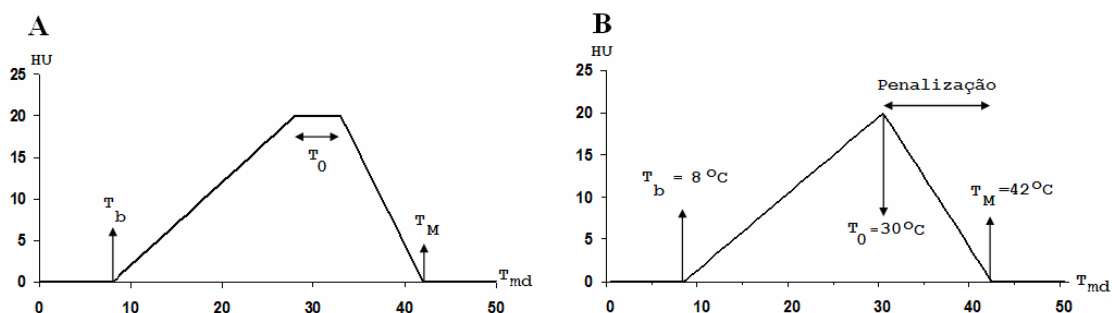


Figura 2: (A) - Unidades de calor efetivo diário (HU , $^{\circ}C.d.d^{-1}$) em função da temperatura média (T_{md} , $^{\circ}C$) com temperatura máxima de $42^{\circ}C$ (T_M , $^{\circ}C$) (T_b : temperatura basal - $8^{\circ}C$, T_O : temperatura ótima - $30^{\circ}C$) (valores adotados no modelo ORYZA-APSIM); (B) - Unidades de calor efetivo diário (HU , $^{\circ}C.d.d^{-1}$) em função da temperatura média (T_{md} , $^{\circ}C$) (T_b : temperatura basal - $8^{\circ}C$ e T_M : temperatura máxima - $42^{\circ}C$) com a adição de uma faixa de variação para a temperatura ótima (T_O , $^{\circ}C$).

A incorporação de cálculos no modelo, que considerem uma faixa de temperatura ótima durante o desenvolvimento da cultura, pode diminuir essas penalizações, melhorar as simulações do desenvolvimento fenológico e permitir a comparação do genótipo entre o local para onde foi calibrado e localidades com grandes variações de latitudes. Uma representação gráfica desse comportamento é demonstrada na Figura 2B.

CONCLUSÕES: Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo utilizado apresentou desempenho satisfatório nas simulações do desenvolvimento fenológico nas regiões de maiores latitudes, porém, não apresentou bom desempenho nas simulações nas regiões de menores latitudes. Apesar das limitações, o modelo ORYZA-APSIM representou satisfatoriamente o desenvolvimento da variedade cultivada BRS-Primavera em função das variáveis climáticas dos locais de produção avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HEINEMANN, A.B.; HOOGENBOOM, G.; GEORGIEV, G.A.; FARIA, R.T.; FRIZZONE, J.A. Center pivot irrigation management optimization of dry beans in humid areas. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.43, n.6, p.1507-1516, 2000.

FUKAI, S. Phenology in rainfed lowland rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.64, n.1, p.51-60, 1999.

BUENO, L.G.; ROLIM, R.B.; MONTEIRO, P.M.F.O.; NEIVA, L.C.S, STEINDORFF, A.P. **Estudos de fotoperiodismo em arroz e soja**. Goiânia: ENGOPA, 1981. 84p. (ENGOPA. Boletim Técnico, 9)

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M.; PINTO, H.S. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.3, p.131-150, 1973.

BURIOL, G.A.; FERREIRA, M.; ESTEFANEL, V.; PIGNATARO, I.A.B. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.4, p.81-102, 1974.

STEINMETZ, S.; MEIRELES, E.J.L.M. Clima. In: VIEIRA, N.R.S.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1999. 633p.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; MICHELON, S.; WALTER, L.C.; MARCOLIN, E. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1086-1093, 2006.

KROPFF, M.J.; VAN LAAR, H.H.; MATTHEWS, R.B. ORYZA-1: An ecophysiological model for irrigated rice production. In: SARP RESEARCH, 1994. Los Baños. **Proceedings...** Wageningen: International Rice Research Institute, 1994. 110p.