

AJUSTE DO MODELO DE CRESCIMENTO EXPOLINEAR PARA O FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO NO VALE DO SÃO FRANCISCO

ALAN DA CUNHA HONORATO¹, MÁRCIO SAMPAIO PIMENTEL², JÚLIO CESAR F. DE MELO JUNIOR³, EVANDO SANTOS ARAÚJO⁴, DANIEL AMORIM VIEIRA²

¹ Graduando em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE, (87) 2101-4833, alan_honorato18@hotmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE

³ Engenheiro Agrícola, Dr., Professor Associado, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE

⁴ Matemático, Mestre, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Modelos que simulam o crescimento têm sido utilizados no acompanhamento do desenvolvimento das plantas. Especificamente, o modelo expolinear apresenta em seus parâmetros, explicações biofísicas, sendo essas utilizadas para a indicação de taxas máximas de crescimento absoluto (c_m) e relativo (r_m), e do tempo necessário para o fechamento do dossel (t_p). Neste sentido objetivou-se ajustar o modelo expolinear utilizando como variável independente os graus-dia para a caracterização do crescimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculada* L.), variedade BRS Pujante, cultivado no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF. O experimento foi conduzido entre janeiro a maio de 2012, em um Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média e moderadamente drenado. A irrigação foi utilizada para atender as necessidades hídricas da cultura, e a adubação realizada foi à orgânica. Foram coletadas amostras de plantas aos 18, 28, 38, 48, 58, 73 e 88 dias após a semeadura para obtenção da biomassa seca acumulada. Os graus-dia foram obtidos de uma estação meteorológica convencional do INMET. O resultado do ajuste apresentou um R^2_{aj} igual a 0,9654, bem como valores de c_m , r_m e t_p , respectivamente, iguais a $1,0719 \text{ g m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $0,0121 \text{ g g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $520,67 \text{ }^\circ\text{C}$. Concluir-se que este modelo pode ser utilizado com elevada precisão nas condições trabalhas.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculada* L., biofísicos, graus-dia.

EXPOLINEAR GROWTH MODEL ADJUSTMENT FOR BEAN-COWPEA CULTIVATED IN THE SÃO FRANCISCO VALLEY

ABSTRACT: Models that simulate the growth have been used for monitoring of plant development. Specifically, expolinear model has its parameters, biophysical explanations, these being used for indicating maximum growth rates of absolute (c_m) and relative (r_m), and the time required for canopy closure (t_p). In this sense it was aimed to adjust just the expolinear model using as independent variable degree days to characterize the growth of bean-cowpea (*Vigna unguiculata* L.), variety BRS Pujante cultivated Campus of Agricultural Sciences UNIVASF. The experiment was conducted during January-May 2012, on soil classified as Argissolo Amarelo Distrófico típico, medium texture and moderately drained. The irrigation was used to meet the crop water requirements, and the organic fertilization was performed. Plant samples were collected at 18, 28, 38, 48, 58, 73 and 88 days after sowing to obtain dry biomass accumulation. Degree days were obtained from a conventional weather station INMET. The adjustment result presented a R^2_{aj} equal to 0.9654 and values of c_m , r_m and t_p , respectively, equal to $1.0719 \text{ g m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $0.0121 \text{ g g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ and $520.67 \text{ }^\circ\text{C}$. Be concluded that this model can be used with high accuracy under the conditions you work.

KEYWORDS: *Vigna unguiculada* L., biophysical, degree days.

INTRODUÇÃO: No Brasil, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) possui uma expressiva importância econômica e social, sendo uma cultura geralmente produzida pela agricultura familiar e que possui uma elevada fonte de proteína vegetal para a população da região Norte, Nordeste e Centro-oeste. Sob ótimas condições de disponibilidade de água e nutrientes no solo, o crescimento e o desenvolvimento das culturas são influenciados com expressão pelos elementos meteorológicos, e pelas interações entre o genótipo e práticas de manejo (MOURA et al., 2011; SOUZA et al., 2007). Nesse contexto, a modelagem do crescimento e desenvolvimento vegetal tem sido realizada com o intuito de fazer uma síntese dos mecanismos físicos e bioquímicos entre planta e o ambiente, representando-os por meio de funções matemáticas conhecidas como modelos de simulação de crescimento. Assim, os modelos empíricos, semi-empíricos e mecanísticos de crescimento podem ser utilizados, de acordo com suas habilidades, para avaliar a resposta de acúmulo de fitomassa seca das plantas durante fases do período de crescimento ou ao longo do ciclo da cultura, para diferentes climas e sistemas de cultivo. Em particular a função expolinear proposta por GOUDRIAAN & MONTEITH (1990) para a modelagem do crescimento de plantas em um dossel uniforme, incorpora parâmetros que permitem a interpretação biológica (RICHARD, 1959). Considerada semi-empírica, baseia-se na existência de uma relação exponencial no início do ciclo e, posteriormente, linear, entre o acúmulo de matéria seca total e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel. Em face do exposto, objetivou-se ajustar o modelo expolinear utilizando como variável independente os graus-dia para a caracterização do crescimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), variedade BRS Pujante, cultivado na região do Vale do São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido entre os meses de janeiro a maio de 2012, em solo classificado como Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média, relevo plano, moderadamente drenado, no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) em Petrolina-PE, situada nas coordenadas geográficas: 9°23' S, 40°30' O e 376 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo BSh', seco de estepe muito quente. Os valores anuais dos elementos climatológicos: temperatura média do ar, precipitação total, umidade relativa média do ar e insolação total são, respectivamente, iguais a 26,3 °C, 609,8 mm, 58,0 % e 2845 h (INMET, 1992). A área cultivada possuiu a dimensão de 16 m x 20 m, totalizando 320 m². A cultura foi implantada com espaçamento de 0,6 m entre plantas e 0,5 m entre linhas, utilizando duas plantas por cova, resultando em uma densidade de 70.000 plantas ha⁻¹. A irrigação foi realizada diariamente, atendendo a necessidade hídrica da cultura, utilizando um sistema localizado por gotejamento com tubos gotejadores instalados por linha de plantio e emissores espaçados a cada 0,3 m. A semeadura do feijão-caupi, cultivar BRS Pujante, foi realizada no dia 12 de janeiro de 2012, sendo cultivada em um sistema de produção orgânica, tendo as linhas do plantio recebido uma única adubação, utilizando 10 t ha⁻¹ sobrescrito de esterco bovino e uma dose média de 18 t ha⁻¹ de coco verde triturado, antes da semeadura. Ademais, foi realizada uma única aplicação de óleo de alho e de neem (100 ml do óleo para 10 l de água) para o controle de pragas e doenças que surgiram durante o ciclo da cultura. Para a obtenção da fitomassa seca acumulada (FSA) foi amostrada oito plantas de feijão-caupi aos 18, 28, 38, 48, 58, 73 e 88 dias após a semeadura (DAS). A fitomassa da parte aérea e radicular das plantas foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada a temperatura de 65 °C por 72 horas e determinado suas respectivas massas em balança com precisão de ± 0,001 g. Os dados de temperatura do ar foram obtidos por meio da estação meteorológica convencional do INMET (82983), localizada nas coordenadas 09°22,8'S, 40°28,8'W e altitude de 370,5 m, no município de Petrolina-PE. A utilização dos graus-dia acumulados (GDA) ao invés de DAS para ajustes de modelos de simulação do crescimento de plantas, vem sendo amplamente utilizado e preferido por diversos autores (LIZASO et al., 2003; ROLIM et al., 2001; SOLER et al., 2007). Essa opção é devido ao fato de que sob condições ótimas de radiação solar, a temperatura do ar, expressa na forma de unidades térmicas de calor, é o principal fator que controla a taxa de crescimento fenológico das plantas (SLACK et al., 1994; YANG et al., 1995). Para a determinação dos GDA foi utilizado o método do menor desvio padrão conforme SCAIFE et al. (1987). Para a temperatura basal inferior utilizou-se o valor de 10 °C segundo a proposta para o feijoeiro realizada por WUTKE et al. (2000). Os dados de FSA e GDA foram utilizados na determinação dos parâmetros do modelo de simulação de crescimento expolinear (GOUDRIAAN & MONTEITH, 1990) (Eq. 1) aplicado à cultura do feijão-caupi.

$$FSA = \frac{c_m}{r_m} \ln \left\{ 1 + e^{[r_m (GDA - GDA_p)]} \right\} \quad (\text{Eq. 1})$$

Na equação, FSA = Fitomassa seca acumulada, g m⁻²; c_m = taxa máxima de crescimento absoluto, g m⁻² °C⁻¹; r_m = taxa máxima de crescimento relativo, g g⁻¹ °C⁻¹; GDA = graus-dia acumulados, °C⁻¹; e GDA_p = tempo térmico perdido necessário para o fechamento do dossel, °C⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O modelo de simulação do crescimento expolinear apresentou um bom ajuste para as variáveis de FSA e GDA, com R²_{ajs} igual a 0,9654. MOURA et al. (2011) ajustaram o modelo de crescimento expolinear aos dados de biomassa seca da parte aérea do feijão-caupi, cultivar Guaribas, para dois sistemas de cultivo, com densidades de plantio de 50.000 plantas ha⁻¹ e 25.000 plantas ha⁻¹ em consórcio com 20.000 plantas de milho ha⁻¹, em relação a variável independente GDA. Os autores observaram coeficientes de determinação ajustados iguais a 0,9967 e 0,9808, respectivamente, para o cultivo exclusivo e em consórcio. TEI et al. (1996a) utilizando o modelo expolinear para simular o crescimento de plantas de alface, cebola e beterraba obtiveram valores de R² iguais a 0,993, 0,997 e 0,996, quando consideraram os GDA. LYRA et al. (2003) com o objetivo de ajustar modelos de simulação de crescimento para a cultura da alface obtiveram para o ajuste do modelo expolinear aplicado às cultivares Grand Rapids, Regina e Great Lakes valores de R² iguais a 0,9985, 0,9941 e 0,9981, onde também se considerou os GDA. Na Figura 1 estão apresentados os valores de FSA ao longo do ciclo da cultura do feijão-caupi, bem como o modelo expolinear ajustado e a primeira e segunda derivada da equação que representam, respectivamente, as taxas de crescimento absoluto e relativo ao longo do ciclo. O ajuste apresentou valores de c_m, r_m e GDA_p, respectivamente, iguais a 1,0719±0,0435** g m⁻² °C⁻¹, 0,0121±0,0061* g g⁻¹ °C⁻¹ e 520,67±30,58** °C. Com os parâmetros ajustados observou-se que após 520,67 °C acumulados, que ocorreu em 28 dias após a semeadura (DAS), o dossel da cultura se fechou e essa passou a interceptar a máxima radiação fotossinteticamente ativa (RFA) o que proporcionou após essa fase, uma tendência à taxa máxima de crescimento absoluto da cultura. O maior crescimento relativo foi observado durante o término do tempo perdido, onde a cultura apresentou o maior desempenho morfofisiológico, acumulou um maior valor de massa para cada unidade de massa de planta e a taxa de crescimento absoluto atingiu a metade do valor da máxima ajustada. LYRA et al. (2003) para as cultivares de alface Grand Rapids, Regina e Great Lakes, obtiveram para c_m, respectivamente, valores iguais a 0,5787, 0,631 e 0,6088 g m⁻² °C⁻¹, para r_m, respectivamente, ajustes iguais a 0,0231, 0,0241 e 0,0235 g g⁻¹ °C⁻¹ e para GDA_p, iguais a 205,4, 211,5 e 195,3 °C, respectivamente. MOURA et al. (2011) para o feijão-caupi, cultivar Guaribas, obtiveram valores de c_m, r_m e GDA_p, iguais a 0,5555 g m⁻² °C⁻¹, 0,008 g g⁻¹ °C⁻¹ e 727,48 °C, respectivamente. A diferença observada entre as taxas de crescimento absoluto e relativo, bem como o tempo perdido, podem ter sido ocasionados por diversos fatores. Primeiro, devido ao sistema de cultivo ter proporcionado à cultivar BRS Pujante uma ótima condição de disponibilidade de água e nutrientes no solo para o seu pleno crescimento e desenvolvimento. Segundo, pelo fato da cultivar Guaribas não ter apresentado o mesmo desempenho da BRS Pujante, observado pela diferença entre a r_m. Outro fator que pode ter ocasionado essa diferença é a velocidade do vento observada para os diferentes períodos de cultivo. Possivelmente, esta variável pode ter provocado uma elevada demanda de vapor d'água pela atmosfera devido ao efeito da advecção do ar. Consequentemente, uma deficiência hídrica para cultura é gerada (Moura et al., 2011). Um quarto fator pode estar associado à densidade de plantio praticada, caracterizada como 1,4 vezes superior à utilizada por MOURA et al. (2011)). Outro seria a consideração da parte aérea e radicular para a composição da FSA, em comparação com MOURA et al. (2011) que utilizou apenas a parte aérea.

CONCLUSÕES: Com os resultados obtidos pode-se concluir que o modelo de crescimento expolinear pode ser utilizado com elevada precisão, tendo sido verificado pelo seu ajuste que seus parâmetros possuem expressão biológica para simular o crescimento da cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Pujante, cultivada em um sistema de produção orgânica, com espaçamento de 0,5 m x 0,6 m com duas plantas por cova.

REFERÊNCIAS

GOUDRIAAN, J.; MONTEITH, J. L. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany, London*, v. 66, p. 695-701, 1990.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas 1961 a 1990. INMET, Brasília, 1992. 84p.

LIZASO J. I.; BATCHELOR, W. D.; WESTGATE, M. E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Research, Amsterdam*, v. 80, p.1-17, 2003.

LYRA, G.B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L.C.; SEDIYAMA, G.C.; SEDIYAMA, M.A.N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v.11, n.1, p.69-77, 2003.

MOURA, M.S.B.; SOUZA, L.S.B.; SILVA, T.G.F.; SOARES, J.M.; CARMO, J.F.A.; BRANDÃO, E.O. Modelos de crescimento para o feijão-caupi e o milho, sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado, no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.16, n.3, p.275-284, 2011.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany, London*, v.10, p.290-300, 1959.

ROLIM, G. de S.; SENTELHAS, P. C.; UNGARO, M. R. G. Análise de risco climático para a cultura de girassol, em algumas localidades de São Paulo e do Paraná, usando os modelos DSSAT/OILCROP-SUN e FAO. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 11, n. 1, p. 69-77, 2001.

SLACK, D.C.; FOX, F. A.; MARTIN JUNIOR, E. C.; CLARK, L.J. Growing-degree-days based crop coefficients for irrigation management. In: CONGRESO NACIONAL ASOCIACION MEXICANA DE INGENIERIA AGRICOLA, 4., 1994, Cuautitlán Ízcali. Anais... Cuautitlán Ízcali: Asociacion Mexicana de Ingenieria Agricola, 1994. p. 7-13.

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

SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; SILVA, T.G.F.; SOARES, J.M.; SANTOS, W.S. Ajuste do modelo de crescimento expolinear para o feijão-caupi no semiárido brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15., 2007. Aracaju, SE. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros/Universidade Tiradentes, 2007. CD Rom.

TEI, F.; AIKMAN, D.P.; SCAIFE, A. Growth of lettuce, onion and red beet. 2. Growth Modeling. *Annals of botany, London*, v. 78, n. 5, p. 645652, 1996 a.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree-days. *Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam*, v. 74, n. 1/2, p. 61-74, 1995.

WUTKE, E. B.; BRUNINI, O.; BARBANO, M. T. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 8, n. 1, p. 55-61, 2000.

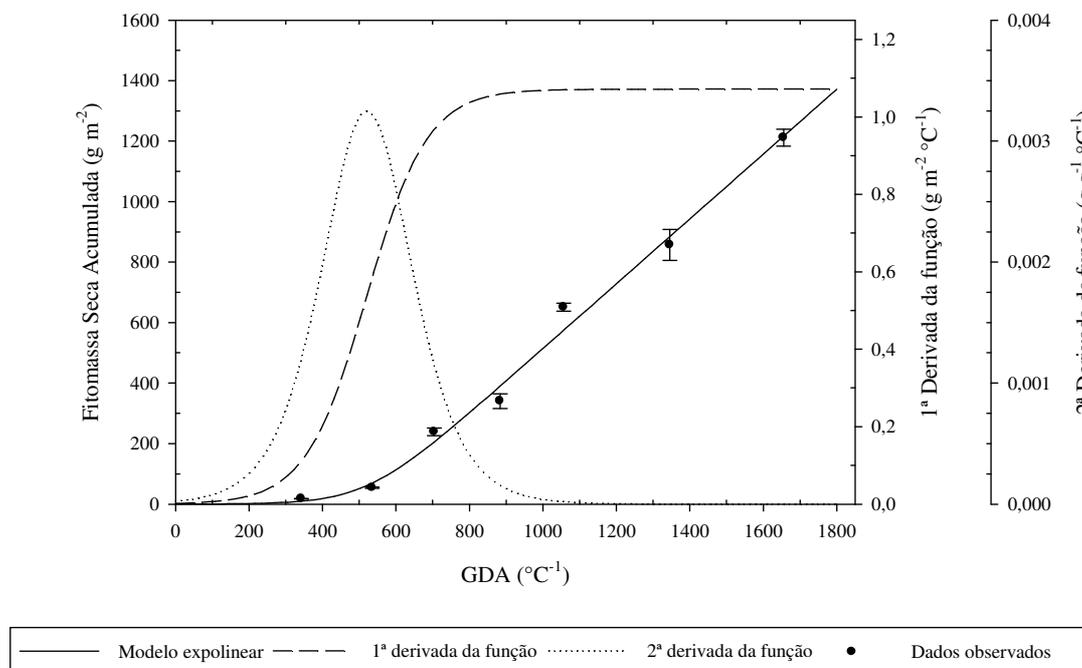


Figura 1. Fitomassa seca acumulada em relação aos graus-dia acumulados (GDA), bem como modelo expolinear ajustado e taxas de crescimento absoluto (1ª derivada) e relativo (2ª derivada).