

MODELO DE CRESCIMENTO PARA A CULTURA DO MILHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PLANTIO NAS CONDIÇÕES DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

LUCIANA S. B. SOUZA¹, MAGNA S. B. MOURA², THIERES G. F. SILVA³,
JOSÉ M. SOARES², WEIDSON S. SANTOS⁴

¹Graduanda de Biologia, Bolsista do CNPq/Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina - PE, Fone: (87) 3862-1711. E-mail: luciana.souza@cpatsa.embrapa.br

²Eng. Agrônomo (a), Pesq. Dr (a). Embrapa Semi-Árido. E-mail: magna@cpatsa.embrapa.br, monteiro@cpatsa.embrapa.br

³Eng. Agrônomo, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. E-mail: thieresfreire@vicosa.ufv.br

⁴Graduando, Matemática, Bolsista FUNCAMP, Embrapa Semi-Árido. E-mail: weidson.souza@cpatsa.embrapa.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia
02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Modelos mecanísticos de simulação de crescimento de plantas, como o modelo expolinear, têm sido utilizado para avaliar o desempenho das plantas submetidas a diferentes condições de cultivo. O objetivo desse trabalho foi ajustar o modelo de crescimento expolinear utilizando duas variáveis independentes (graus-dia acumulados; dias após a semeadura) e analisar o crescimento da cultura do milho submetida aos sistemas de plantio exclusivo (PE) e em consórcio com a cultura do feijão-caupi, nas condições climáticas do semi-árido do nordeste brasileiro. O modelo expolinear apresentou altos valores do coeficiente de determinação ($R^2 > 0,9849$), para ambos os sistemas de cultivo. Os valores de graus-dia acumulados permitiram os maiores ajustes. De acordo com os valores dos parâmetros biológicos (taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo e “tempo perdido”) obtidos pelo modelo expolinear constatou-se que as plantas de milho cultivadas no sistema PE apresentaram eficiência morfofisiológica e permanência no período de enchimento de grãos maior do que aquelas submetidas ao sistema PC.

PALAVRAS-CHAVE: análise de crescimento, graus-dia, *Zea mays*

ABSTRACT: Mechanistic models of simulation of crop growth, like the expolinear model, has been used to evaluate the performance of the plants submitted to different cropping systems. The objective of this work was to adjust the expolinear model using two independent variables (accumulated degree-days; days after sowing) and to analyze the growth of the corn crop as sole erajs (SC) and intercropped cowpea (IC), in the climatic conditions of the semi-arid of the northeast Brazil. The expolinear model presented high values of the determination coefficient ($R^2 > 0,9849$), for both cropping system. The values of a allowed larger adjustments. According to the values of the biological parameters (absolute growth rate, relative growth rate and "lost time") obtained by the expolinear model, it was verified that corn plants cultivated in the system presented efficiency and the duration of the grain-filling period great than that plants submitted to the system.

KEY WORDS: growth analysis, degree-days, *Zea mays*

INTRODUÇÃO: O milho é um dos principais cereais produzidos no mundo e o mais cultivado no Brasil, no entanto, apresenta enorme contraste de produtividade entre as diferentes regiões do país (LOZADA & ANGELOCCI, 1999), o que está associado às diferentes condições climáticas e de cultivo as quais a cultura é submetida. Modelos mecanísticos de simulação de crescimento de plantas, por exemplo, o modelo expolinear proposto por GOUDRIAAN & MONTEITH (1990), são usados para avaliar a resposta das plantas a diferentes sistemas de cultivo. O modelo expolinear considera parâmetros biológicos

das plantas, como taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo e “tempo perdido”, que se refere ao tempo gasto pela planta para passar da fase de crescimento exponencial e entrar na fase de crescimento linear. AIKMAN & SCAIFE (1993) utilizaram o modelo expolinear para avaliar o crescimento das culturas de alface e couve-flor. LYRA et al (2003) utilizaram modelos empíricos (gompertz, logístico) e mecanístico (expolinear) para simular o crescimento de plantas de três variedades de alface sob condições de cultivo hidropônico em casa-de-vegetação. A cultura do milho, plantada em consórcio com o caupi ou de forma exclusiva, é a base da agricultura familiar no semi-árido nordestino. Nos atuais cenários, é importante saber como as culturas respondem aos fatores climáticos e, o uso de modelos, é uma importante ferramenta para esses estudos. Assim, o objetivo desse trabalho foi ajustar o modelo de crescimento expolinear utilizando duas variáveis independentes e analisar o crescimento da cultura do milho submetida aos sistemas de plantio exclusivo e em consórcio com a cultura do feijão-caupi, nas condições climáticas do semi-árido nordestino.

MATERIAIS E MÉTODOS: Foram conduzidos dois experimentos no Campo Experimental de Bebedouro (09°09'S; 40°22'W) da Embrapa Semi-Árido, Petrolina – PE. O clima local é tipo BSw^h, ou seja, clima semi-árido, com estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e abril (HARGREAVES, 1974). O solo da área experimental é classificado como Podzólico Amarelo eutrófico latossólico com fragipã, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano, moderadamente drenado, com lençol freático a 1,80m de profundidade. Esse trabalho foi realizado com a cultivar de milho catingueiro superprecoce (*Zea mays*) e a cultivar Guaribas, referente a cultura do feijão (*Vigna unguiculada* L.). O experimento foi realizado sob condições de irrigação por gotejamento, em dois tratamentos, sendo um com o milho em cultivo exclusivo (PE) e o outro em consórcio com a cultura do feijão (PC). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo cada parcela constituída por três fileiras. A semeadura do milho foi realizada no dia 20/10/2006 em ambos os tratamentos. O milho do tratamento exclusivo foi plantado no espaçamento de 0,70m entre fileiras por 0,35 m entre plantas, resultando em uma densidade de plantio de 40.816 plantas ha⁻¹. No caso do consórcio, o espaçamento entre as fileiras de milho e de feijão foi de 1,00 m, sendo a densidade de plantas na ordem de 20000 plantas e 25000 por hectare, respectivamente, para o milho e feijão. Durante o experimento foram realizadas seis amostragens em ambos os tratamentos, utilizando-se uma planta por repetição. As plantas coletadas foram levadas ao laboratório para determinação da matéria seca acumulada (MSA) do caule, folha e espiga. As amostragens foram colocadas numa estufa com aeração forçada, onde permaneceram por 72 horas à temperatura de 70°C. Os dados de MSA foram utilizados para avaliar o crescimento da cultura do milho submetida aos dois sistemas de plantio (exclusivo e consórcio) mediante o modelo expolinear, que na sua forma logarítmica (TEI et al., 1996), pode ser expressa por:

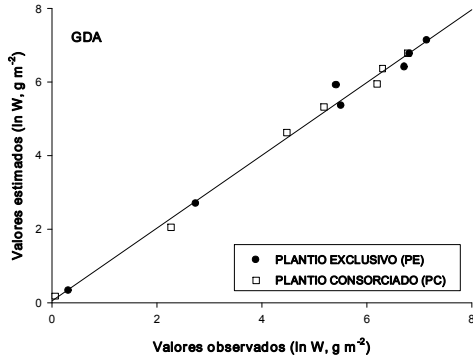
$$\ln (W) = \ln \left(\frac{c_m}{r_m} \right) + \ln \left[\ln \left(1 + \exp \left(r_m (x - t_p) \right) \right) \right] \dots \dots \dots (1)$$

onde, w = matéria seca da planta (caules, folhas e espigas), excluindo-se as raízes (g.m⁻²), ln = logaritmo neperiano, c_m = taxa de crescimento absoluto (g.m⁻².dia⁻¹), r_m (taxa de crescimento relativo, g.g⁻¹.dia⁻¹), t_p (“tempo perdido”, dias) e x = tempo de crescimento. Os valores de x utilizados foram dias após a semeadura (DAS) e graus-dia acumulados (GDA). O cálculo dos valores de GDA foi realizado com os valores de temperatura máxima (t_x) e mínima (t_n) do ar, obtidos por meio de uma estação meteorológica automática, localizada a 100 metros da área experimental. Para o cálculo dos graus-dia acumulados (GDA) foi utilizada a seguinte expressão:

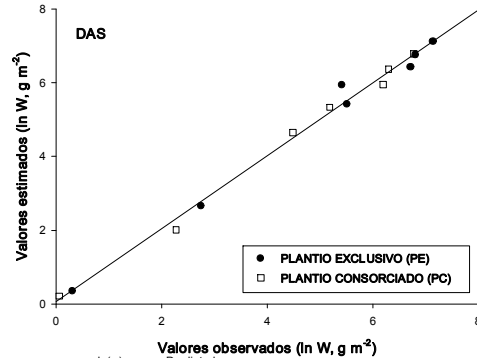
$$GDA = \sum (t_m - t_b) \dots \dots \dots (2)$$

Onde t_b é a temperatura base da cultura. Para o milho, utilizou-se o valor de t_b igual a 10°C (LOZADA & ANGELOCCI, 1999). A partir da utilização dos valores de w e dos respectivos valores de DAS e GDA de cada uma das amostragens, como dados de entrada do modelo, foram obtidos os valores de c_m , r_m e t_b .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O modelo expolinear apresentou altos valores do coeficiente de determinação (R^2), tanto para a cultura do milho cultivada no sistema PE quanto em sistema PC. Na Figura 1, podem ser observados os valores de matéria seca estimados pelo modelo em função das observações realizadas nos dois sistemas de plantio e das variáveis independentes (DAS e GDA), evidenciando com isso os ótimos ajustes e aplicabilidade do modelo. Resultados semelhantes foram obtidos por LEE et al. (2003) em que o modelo expolinear permitiu quantificar e comparar com elevada precisão ($> 0,98$) os parâmetros de crescimento da cultura do crisântemo sob diferentes condições de densidade (32, 48, 64 e 80 plantas m^{-2}) e épocas de plantio (janeiro, maio-junho e setembro) e regime de luz natural (66 e 43%) e suplementar (40-48 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Quando comparados com os resultados do R^2 obtidos pelo modelo utilizando DAS, os valores de GDA obtiveram melhores ajustes (Figuras 2 e 3). Esses resultados sugerem que o modelo expolinear consegue descrever a dependência dos processos biológicos das plantas em relação à temperatura do ar (LYRA et al., 2003) melhor do que com o número de dias após a semeadura. Para o sistema PE (Figura 2), o modelo obteve valores de R^2 iguais a 0,9849 e 0,9856 quando se utilizou as variáveis independentes DAS e GDA, respectivamente. No sistema PC (Figura 3), o valor do R^2 foi igual a 0,9930 quando se utilizou os valores de GDA como variável independente e 0,9915 quando se utilizou os valores de DAS. LYRA et al. (2003) utilizando a equação expolinear para simular o crescimento de plantas das variedades Grand Rapids, Regina e Great Lakes de alface sob condições de cultivo hidropônico em casa-de-vegetação, encontraram valores de R^2 iguais a 0,9970, 0,9925 e 0,9974 com os dias após o transplantio (DAT) como variável independente e 0,9981, 0,9934 e 0,9970, utilizando os valores de GDA, respectivamente. Em relação aos parâmetros biológicos (c_m , r_m e t_p) obtidos a partir do modelo expolinear, observou-se que a cultura do milho no sistema PE apresentou valores superiores aos obtidos sob condições de PC (Figuras 2 e 3). Para as plantas do sistema PC e PE os valores de c_m foram iguais a 14,2718 e 17,9092 $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, respectivamente. Devido à matéria seca acumulada ser diferente na mesma unidade de área e tempo (103 dias), ou seja, em função das densidades de cultivo de ambos os sistemas serem distintas (PE: 4,0 g m^{-2} e PC: 2,0 g m^{-2}), somente os valores de c_m não são bons indicadores do efeito do sistema de produção sobre a cultura do milho. Assim, deve-se levar em consideração a matéria seca acumulada pela planta, a qual pode ser avaliada utilizando os valores de r_m . Para a cultura do milho no sistema PE e PC os valores de r_m foram iguais, respectivamente, a 0,1985 e 0,1527 $\text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$. O valor de t_p foi 33,8463 dias para as plantas do sistema PE e 41,2767 dias para as plantas do sistema PC. Esses resultados sugerem que o sistema PE proporcionou maior eficiência morfofisiológica e uma maior permanência das plantas de milho no sistema PE no período de enchimento de grãos, quando comparado às plantas submetidas ao sistema PC.

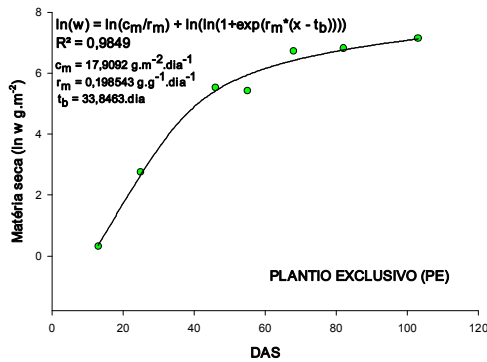


(a)

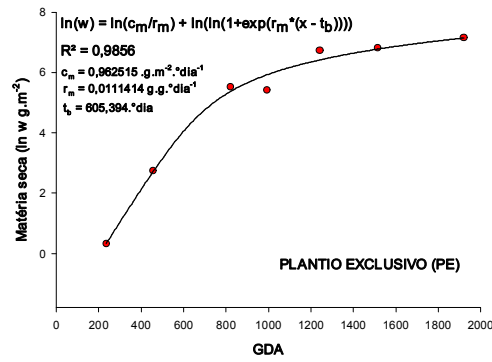


(b)

Figura 1. Matéria seca acumulada (W) observada e estimada pelo modelo expolinear, utilizando graus-dia acumulados - GDA (a) e dias após a semeadura - DAS (b) como variáveis independentes, para a cultura do milho, nas condições do semi-árido nordestino.

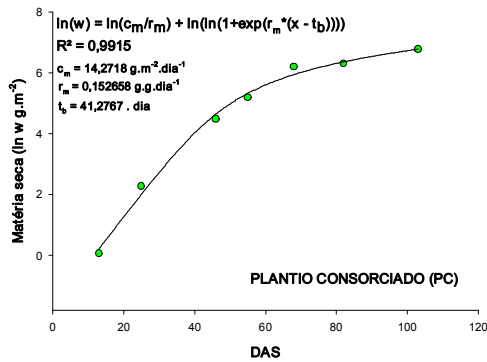


(a)

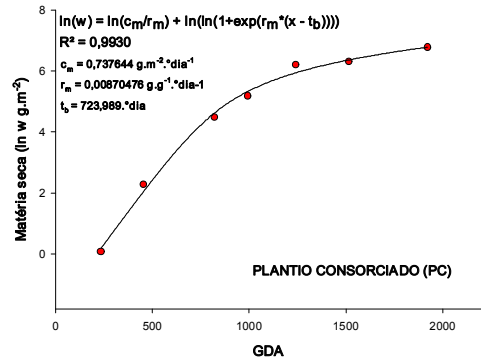


(b)

Figura 2. Curvas de ajuste da matéria seca (W) e parâmetros biológicos (c_m , r_m e t_b) obtidos mediante o uso do modelo de crescimento expolinear, utilizando os dias após a semeadura - DAS (a) e graus-dia acumulados - GDA (b) como variáveis independentes, para a cultura do milho, em sistema de plantio exclusivo (PE), nas condições do semi-árido nordestino.



(a)



(b)

Figura 3. Curvas de ajuste e parâmetros biológicos (c_m , r_m ; e t_b) obtidos mediante o uso do modelo de crescimento expolinear e utilização dos dias após a semeadura - DAS (a) e graus-dia acumulados - GDA (b) como variáveis independentes, para a cultura do milho, em sistema de plantio consorciado (PC), nas condições do semi-árido nordestino.

CONCLUSÃO: Utilizando-se o modelo expolinear para a cultura do milho sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado nas condições climáticas do semi-árido nordestino, conclui-se que: a) os modelos obtidos podem ser usados para simular o crescimento das plantas com elevado grau de precisão; b) os valores dos graus-dia acumulados representam melhor as respostas das plantas do que o número de dias após a semeadura; c) o sistema de plantio exclusivo proporcionou maior desempenho morfofisiológico das plantas quando comparado com o sistema em consórcio com o feijão-caupi; d) os modelos gerados podem ser acoplados, na forma de sub-modelos, a outros modelos que simulem os impactos das mudanças climáticas sobre o crescimento das plantas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao MDA, à Embrapa pelo apoio financeiro e ao CNPq pela concessão de bolsa de PIBIC (Processo 117410/2006-3), junto ao projeto componente “Desenvolvimento de métodos de estimativa de riscos climáticos para culturas consorciadas” do projeto “Zoneamento de Riscos Climáticos: abordagem para agricultura familiar, bioenergia e pastagens”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKMAN, D.P.; SCAIFE, A. Modelling plant growth under varying environmental conditions in a uniform canopy. **Annals of Botany**, v.72, p.485-492, 1993.

AIKMAN, D.P.; SCAIFE, A. Modelling plant growth under varying environmental conditions in a uniform canopy. **Annals of Botany**, v.72, p.485-492, 1993.

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

HARGREAVES, G.H. **Climate zonings for agricultural production in Northeast, Brazil**. Longan: Utah State University, 1974. 6p.

LEE, J. H.; GROUDRIAAN, A.; CHALLA, H. Using the expolinear growth equation for modeling crop growth in year-round cut chrysanthemum. **Annals of Botany**, v.92, p.697-708, 2003.

LOZADA, B., ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 31-36, 1999.

LYRA, G.B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L.C. da; 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.

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. 645-652, 1996.