

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO, NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

RICARDO BARBOSA GOMES DE MORAIS¹, GUILHERME BASTOS LYRA¹,
LEKSON RODRIGUES SANTOS¹, CONSTATINO ANTÔNIO CAVALCANTE JÚNIOR¹,
ANDRÉ LUIZ DE CARVALHO¹, GUSTAVO BASTOS LYRA² e JOSÉ LEONALDO DE SOUZA¹

¹*Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, BR 104, Km 85, s/n, 57.100-000, Rio Largo, Alagoas, Brasil. ricardobgm@hotmail.com, gbastoslyra@gmail.com, lkrsantos@hotmail.com, constantinocavalcante@hotmail.com, del.andre2@hotmail.com, leonaldojs@yahoo.com.br*

²*Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rodovia BR 465, Km 7, Campus Universitário, 23851-970, Seropédica, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. gblyra@gmail.com*

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.16, n.1, p. 109-119, 2017

RESUMO – Identificar a época ideal para o cultivo do milho é essencial quando se almeja alta produtividade. Porém, monitorar o crescimento e desenvolvimento da cultura requer práticas que exigem tempo e que são muitas vezes destrutivas. A modelagem de crescimento é uma técnica que fornece dados precisos mais rapidamente a respeito da resposta da cultivar ao ambiente. Objetivou-se analisar os modelos logístico e pico-log normal para a estimativa da altura das plantas e índice de área foliar, respectivamente, e determinar a melhor época de semeadura para a cultura do milho, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Foi utilizada a cultivar AL Bandeirante, semeada em blocos casualizados, em diferentes épocas: 28/06 (E₁), 08/07 (E₂), 18/07 (E₃) e 28/07 de 2013 (E₄). Ambos os modelos apresentaram ajustes significativos ($p < 0,01$), gerando coeficientes de determinação máximos superiores a 0,912. O coeficiente de concordância de Willmott indicou elevada aproximação (0,999) entre os valores estimados e os observados. O período que proporcionou o melhor rendimento agrícola para a cultura do milho foi em 8 de julho. Os modelos mostraram-se eficientes em representar o crescimento da cultura em função dos graus-dias acumulados.

Palavras-chave: graus-dia, modelagem, *Zea mays* L.

MAIZE GROWTH AND YIELD OVER DIFFERENT PLANTING PERIODS IN COASTAL PLAINS OF ALAGOAS, BRAZIL

ABSTRACT – Identify the ideal time for growing maize is essential when the objective is high productivity. But monitoring the culture growth and development requires practices that demand time and are often destructive. The growth modeling is a technique that provide accurate data more quickly about the response of the plant variety to the environment. The objective of the present work was analyze the logistic models and normal peak-log to estimate plant height and leaf area index, respectively, and determine the best time to sow maize in the region of the costal plains of Alagoas, Brazil. It was used the cultivar AL Bandeirante planted in randomized blocks at different times: 28/06 (E₁), 08/07 (E₂), 18/07 (E₃) and 28/07 2013 (E₄). Both models showed significant adjustments ($p < 0.01$), generating maximum correlation coefficients greater than 0.912. The Willmott coefficient of agreement indicated high approximation (0.999) between the estimated and observed. The period that provided the best crop yield for corn was on 8 July. The models were effective in representing the growth of culture on the basis of accumulated degree-days.

Keywords: degree-days, modeling, *Zea mays* L.

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é uma das mais importantes para agropecuária e economia mundial, por se tratar do grão mais produzido no mundo, com produção de 968,9 milhões de Mg na safra 2015/16 e estimativa de 1.011,1 de Mg para a safra 2016/17 (USDA, 2016). Na safra 2015/2016, a produtividade média brasileira do grão foi de 4,38 Mg ha⁻¹. O Estado de Alagoas produziu 28,1 mil toneladas do grão, com produtividade média de apenas 0,497 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2016). A baixa produtividade no estado se dá pelo fato de o milho ser cultivado, em sua grande maioria (88% da produção), no sistema de agricultura de subsistência (França et al., 2009).

Contribuem também para a baixa produtividade do milho em Alagoas a ocorrência do período chuvoso no inverno e, assim, menor disponibilidade de energia (radiação solar), que nesse período varia de 2,5 a 23 MJ m⁻² (Santos et al., 2009), e coincide com o período de cultivo do milho de sequeiro (Lyra et al., 2010a), e o potencial risco climático associado à ocorrência de veranicos (Carvalho et al., 2013).

A escolha do período adequado à semeadura da cultura é de elevada importância, pois quando supridas suas necessidades nutricionais e fitossanitárias, a radiação solar, a disponibilidade hídrica e temperatura do ar são as condições que mais influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas, e a disponibilidade destes fatores ambientais sofre variação temporal ao longo do ano (Cantarelli et al., 2015).

Informações úteis ao manejo da cultura podem ser obtidas por meio de análises de crescimento, que quando correlacionadas a outros fatores de produção fornecem resultados relevantes a respeito da melhor técnica de manejo a se utilizar. Para reduzir o tempo com análises de campo, podem ser utilizados modelos de crescimento capazes de fornecer informações estimadas e exatas a respeito do

crescimento da cultura durante todo o seu ciclo (Lyra et al., 2008).

Entre os modelos de crescimento utilizados destacam-se como principais o de Gompertz, de Richards, expolinear, logístico, pico-log normal entre outros, nos quais são utilizados como variáveis independentes, tempo cronológico (dias) ou térmico (temperatura do ar – graus dias) para realizar o ajuste desses modelos (Rocha, 2012). Esse ajuste permitirá a avaliação das respostas da cultivar, tanto às variações ambientais e meteorológicas como a práticas culturais ou sistemas de produção vegetal, que afetarão o crescimento das plantas (Tei et al., 1996).

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar modelos empíricos que visam a estimativa de crescimento das plantas de milho, além de determinar a melhor época de plantio para a cultura do milho, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), Campus Delza Gitaí, localizado em Rio Largo-AL (09°28' 02" S; 35°49' 43" W; 127m), na região dos Tabuleiros Costeiros.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1995), é quente e úmido (B1) megatérmico (A'), com deficiência de água moderada no verão (s) e grande excesso de água no inverno (w2). A precipitação pluviométrica média da região é de 1.800 mm por ano. O período chuvoso se estende da primeira quinzena de abril à segunda quinzena de agosto, cuja chuva corresponde a 70% do total anual, e o período de menor incidência de chuvas vai de meados de outubro até a segunda quinzena de fevereiro (Souza et al., 2004). O solo foi classificado

como Latossolo Amarelo coeso argiloso, com textura média/argilosa e declividade inferior a 2%.

A implantação do experimento foi realizada por meio do sistema de cultivo mínimo, em uma área de 0,269 ha. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram composta por 20 linhas de 7 m de comprimento, com entrelinhas espaçadas em 0,8 m, constando das quatro épocas de semeadura, E_1 - 28/06, E_2 - 08/07, E_3 - 18/07 e E_4 - 28/07 de 2013.

As subparcelas foram compostas pelas densidades de semeadura, D_1 - 37.500, D_2 - 50.000, D_3 - 87.500 e D_4 - 125.000 plantas ha^{-1} , formadas por cinco linhas cada. A densidade de plantio analisada neste trabalho foi de 50.000 plantas ha^{-1} , pois, comparada às demais, foi a que apresentou os melhores resultados quanto ao crescimento e rendimento agrícola da cultura. Para a semeadura utilizou-se a variedade AL Bandeirante, de ciclo semiprecoce, desenvolvida pelo Departamento de Sementes, Mudas e Matrizes da CATI, sendo plantadas três sementes por cova a cada 0,25 m.

O controle das plantas daninhas foi realizado antes e após a semeadura, por meio de herbicida (400 mL Atrazina 500 scNortox® + 100 mL de Aminamar (2,4 D) para calda de 20 L) e capinas manuais. As adubações de fundação ocorreram nas mesmas datas das semeaduras, e constaram da aplicação da dose recomendada 30-60-80 kg de N, P_2O_5 e K_2O ha^{-1} , respectivamente, de acordo com a análise química do solo (Tabela 1).

A adubação de cobertura aconteceu quinze dias após a emergência das plântulas, sendo aplicados 150 kg de N ha^{-1} , tendo como fonte ureia. Na ocasião também fez-se o desbaste das plantas, deixando a cada espaçamento apenas a planta que apresentou o maior vigor entre as três emergidas. A cada dez dias, até que as plantas chegassem ao florescimento, foi aplicado o inseticida Capataz BR® (Clopirifós) 0,5 L ha^{-1} para uma calda de 20 L, para controlar a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Também foram aplicados micronutrientes (Zn, Cu, B e Mo), sendo as aplicações divididas em duas etapas, segundo as recomendações do fabricante: a primeira quando as plantas atingiram o estágio fenológico V_4 (quarta folha expandida), aplicando-se 0,4 L ha^{-1} de CHELAL Zn + 1,0 L ha^{-1} de LANDAMINE BMo, e a segunda etapa quando as plantas atingiram o estágio fenológico V_7 (sétima folha expandida), utilizando 0,6 L ha^{-1} de CHELAL Zn + 1,0 L ha^{-1} de LANDAMINE BMo + 0,1 L ha^{-1} de CHELAL Cu e mais 1,0 kg ha^{-1} KAPPA V (N, P, K, B e Fe quelatado).

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento superficial, composto de fitas gotejadoras de 16 mm, espaçadas de 0,8 m com gotejadores espaçados a cada 0,2 m, e vazão nominal de 1,6 L h^{-1} . O manejo da irrigação foi iniciado a partir do dia 19 de setembro de 2013, e, com base na evapotranspiração de referência (ET_o), ela foi dimensionada a lâminas de irrigação de 20 mm e turno de rega de dois dias.

As variáveis meteorológicas utilizadas foram: precipitação pluvial, temperatura do ar máxima e mínima diária e evapotranspiração de referência (ET_o),

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental.

pH	P	K	Na	Ca+Mg	H+Al	SB	T	V
H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%
6,28	16,1	85	16	5	2	5,29	7,29	72,55

estimada pelo método Penman-Monteith-FAO-56 (Allen et al., 1998), foram oriundos da estação agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias (CECA/UFAL) e cedidas pelo Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar da Universidade Federal de Alagoas (LARAS - UFAL).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada pelo método do coeficiente de cultura único (K_c), que foi ajustado às condições edafoclimáticas locais e da cultura (K_c inicial – 0,95; intermediária – 1,2; final – 0,6), proposto pelo boletim FAO-56 (Allen et al., 1998). O monitoramento do armazenamento de água no solo (ARM, mm) foi calculado diariamente utilizando o balanço hídrico sequencial do solo, sugerido por Thornthwaite e Mather (1995) e adaptado por Lyra et al. (2010b) para culturas agrícolas. A capacidade de água disponível (CAD, mm) foi determinada para cada fase de desenvolvimento da cultura em função da profundidade efetiva do sistema radicular [CAD = 1000 × (θ_{cc} - θ_{pmp}) × z]. θ_{cc} (0,255 m³ m⁻³) e θ_{pmp} (0,153 m³ m⁻³), são os valores da umidade volumétrica na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente, determinados em laboratório, pela curva de retenção de água no solo (Carvalho, 2003); e z (m) representa a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, que varia de 0,10 a 0,60 m da emergência até a senescência da planta. A água facilmente disponível (AFD, mm) foi calculada por AFD = CAD × f, em que f (0,55) representa o fator de disponibilidade de água (Allen et al., 1998).

Para determinar o acúmulo de graus-dias (ΣGD, °C dia) necessários à cultura do milho, utilizou-se a seguinte Equação:

$$\Sigma GD = \sum_{i=1}^n (T_{m,i} - T_b) \quad (1)$$

em que: T_m (°C) é a temperatura do ar média do dia i, com i variando de 1 (data da semeadura) a n dias (dias considerados); e T_b (°C) é a temperatura basal, para qual se adotou 10 °C (Villa Nova et al., 1972). T_m foi determinada pela média dos extremos de temperatura do ar diária, por meio da relação T_m = (T_x+T_n)/2, na qual T_x e T_n (°C) representam, respectivamente, a temperatura máxima e mínima diária do ar.

As análises de crescimento foram realizadas semanalmente, com início quando as plantas de cada época atingiram o estágio de desenvolvimento V₄, sendo selecionadas três plantas por parcela, das quais obtiveram-se altura de planta, comprimento e largura foliar e o número de folhas verdes expandidas.

Para determinar o índice de área foliar (IAF), primeiramente foi calculada a área foliar (AF), dada por AF = {(C × L × 0,75) × (n + 2)}/10.000, em que: AF é a área foliar média das plantas analisadas (m²); C e L são o comprimento e a largura da folha +3 (m), respectivamente; 0,75 é o fator de ajuste para o cálculo da AF da cultura do milho, determinado por Montgomery (1911); e n é o número de folhas verdes completamente expandidas.

O IAF foi calculado, sendo: IAF = (AF × N)/E, onde: N é o número de plantas em 1 m de sulco; e E representa o espaçamento das entrelinhas de plantio (m).

O modelo logístico foi ajustado à altura de planta em função dos graus-dias acumulados (ΣGD), Equação 2:

$$w = \frac{W_f}{\{1 + \left(\frac{W_f}{W_o} - 1\right) \exp(-TCR \Sigma GD)\}} \quad (2)$$

em que: W (cm) é a variável de crescimento; W_o e W_f (cm) correspondem, ao crescimento inicial e final do ciclo da cultura, respectivamente, e TCR (cm cm⁻¹

dia⁻¹) é a taxa máxima de crescimento relativo.

Para a estimar os valores da variável IAF, ajustou-se o modelo pico-log normal, de acordo com a Equação 3.

$$IAF = a \exp \left[-0,5 \left\{ \ln \frac{\left(\frac{\sum GD}{X_0} \right)}{b} \right\}^2 \right] \quad (3)$$

em que: a, b e X_0 são coeficientes de ajuste da equação.

O ajuste dos modelos logístico e pico-log normal foi avaliado pelo coeficiente de determinação da regressão (R^2). Para análise das estimativas dos modelos, foi utilizado o erro padrão de estimativa (EPE), que fornece o desvio médio entre os valores observados e os estimados. Com o objetivo de determinar a aproximação dos dados estimados aos observados, aplicou-se o coeficiente de concordância de Willmott (d), variando de 0 (nulidade) a 1 (perfeita exatidão), Willmott (1981). As estimativas dos modelos também foram avaliadas pelo teste estatístico de Student (t) e pela análise de regressão linear simples, entre os valores observados e estimados, sendo as hipóteses testadas $H_0: \beta_1 = 1$ e $H_1: \beta_1 \neq 1$, para $Y = \beta_1 X$, em que: Y é o valor observado e X o valor estimado.

Resultados e Discussão

Durante a condução do experimento, observou-se aumento da temperatura do ar e da amplitude térmica a partir da segunda quinzena de setembro, por causa da mudança de estação de inverno para primavera. Nos quatro tratamentos, a temperatura do ar média esteve na faixa ideal para o crescimento das plantas de milho, que, de acordo com Muchow (1990), vai de 21 a 30 °C. Os totais de precipitação pluvial acumulados foram superiores à necessidade hídrica da cultura, sendo entre 551 e 847 mm, respectivamente, em E_4 e

E_1 . A necessidade hídrica ocorrida no final do ciclo da cultura nas quatro épocas, por causa da má distribuição das chuvas, foi suprida pela irrigação. Doorenbos e Kassam (1994) citam que para se obter máxima produtividade do milho são necessários 500 a 800 mm de água distribuídos homoganeamente durante seu ciclo. Com isso, foi mantida a irrigação até que o último tratamento atingisse a fase de secagem dos grãos, para evitar que o estresse hídrico prejudicasse a cultura durante a floração e o enchimento de grãos, nas quais há necessidade de adequada distribuição hídrica, com no mínimo 562 mm (Veloso et al., 2009). Nos quatro tratamentos, houve déficit hídrico em determinados momentos, que pode ser observado quando o armazenamento de água no solo (ARM) esteve abaixo da água facilmente disponível (AFD).

A temperatura do ar média diária durante o ciclo da cultura na primeira época de semeadura (E_1) foi 23,9 °C, apresentando extremos médios de 20,3 e 27,6 °C. A precipitação pluvial total acumulou 847 mm, distribuídos em 81% dos dias do período avaliado, com intensidade média por evento de 6,8 mm d⁻¹. O tratamento E_1 sofreu redução do ARM no início da fase de crescimento (271 \sum GD) e no início do florescimento (935 a 963 \sum GD), sendo afetado pelo déficit hídrico em 3% do ciclo da cultura (Figura 1).

Na segunda época, a temperatura do ar variou de 20,3 a 27,8 °C, e a média aumentou para 24,1 °C. As chuvas ocorreram em 78% dos dias, acumulando 679 mm e intensidade média de 5,6 mm dia⁻¹. As plantas sofreram estresse hídrico durante 6% de seu ciclo, também na fase inicial (314 a 327 \sum GD) e durante o pendramento (799 a 828 \sum GD).

Durante a terceira época, os extremos de temperatura do ar diária foram 20,3 e 27,9 °C, e a temperatura do ar média no ciclo agrícola do milho foi 24,1 °C. Os totais de precipitação (636 mm) diminuiram

em relação às épocas anteriores, sendo distribuídos em 76% dos dias do período, e, assim, intensidade média por evento de 5,4 mm d⁻¹. Em E₃, o déficit hídrico atingiu 10% do ciclo da cultura, sendo observado na fase de crescimento (178 a 191 Σ GD e de 623 a 720 Σ GD), e isso influenciou no crescimento em altura e IAF das plantas. O estresse hídrico por volta do estágio fenológico V₁₀ (décima folha completamente expandida, contando-se de baixo para cima) afeta a taxa de crescimento da cultura, o que prejudica seu desenvolvimento (Magalhães & Durães, 2002).

A quarta época de semeadura apresentou as maiores temperaturas do ar entre os tratamentos, com extremos médios diários de 20,4 e 28,0 °C, e média de 24,2 °C durante o ciclo da cultura. E₄ obteve o menor acumulado de precipitação entre os tratamentos (551 mm), distribuído em 74% do ciclo do período avaliado, com intensidade média de 4,8 mm d⁻¹. E₄ foi o tratamento que sofreu estresse hídrico por um período mais prolongado, o que afetou 11% do ciclo de culti-

vo, durante o crescimento vegetativo das plantas (427 a 592 Σ GD).

A diferença máxima entre as alturas observada foi de 17%. E₄ apresentou a maior altura de planta (225,5 cm), aos 1.151 Σ GD, enquanto a menor altura máxima foi observada em E₃ (187,3 cm), aos 937 Σ GD (Figura 2). Na variável IAF houve diferença máxima de 14% entre as épocas de semeadura estudadas. Os quatro tratamentos alcançaram IAF máximo entre 820 e 850 Σ GD. O maior IAF observado foi 3,7, em E₂, enquanto que o menor foi 3,19, obtido por E₃, que foi prejudicado pelo estresse hídrico. Os IAFs máximos observados foram próximos aos obtidos por Tohidi et al. (2012), que avaliaram a influência de doses de nitrogênio em milho híbrido, e encontraram IAFs máximos entre 2,95 e 4,20.

O IAF máximo foi alcançado próximo do florescimento, e a partir de então se iniciou a sua diminuição gradual, em razão da senescência das folhas (Figueredo Júnior et al., 2005; Machado et al., 1982).

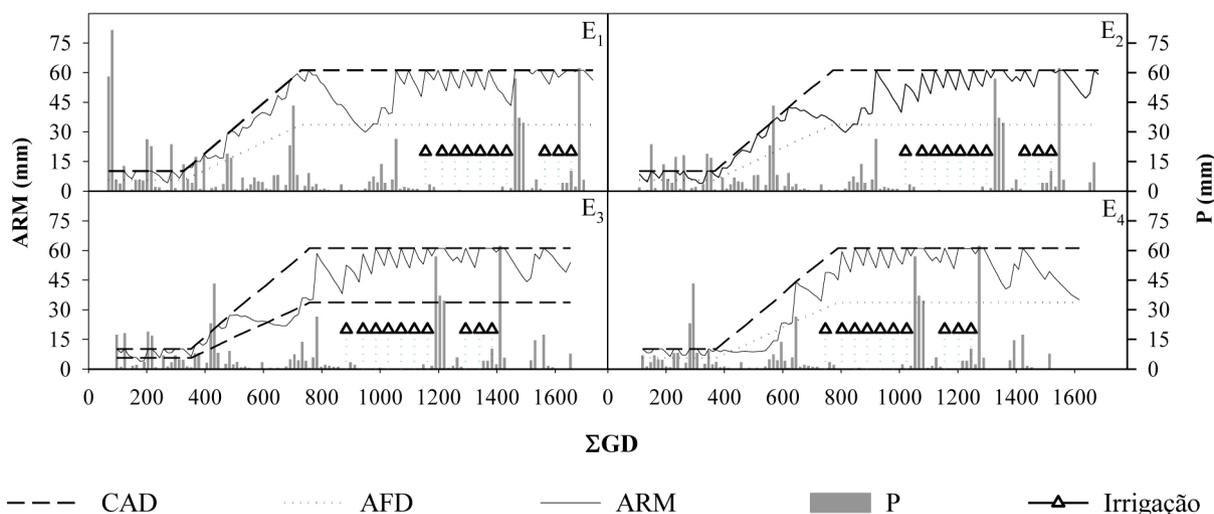


Figura 1. Capacidade de água disponível (CAD), água facilmente disponível (AFD) e variação do armazenamento de água no solo (ARM), chuva (P) e irrigação durante o ciclo da cultura do milho nas quatro épocas de semeadura (E₁ - 28/06, E₂ - 08/07, E₃ - 18/07 e E₄ - 28/07 de 2013), em função dos graus-dias acumulados (Σ GD).

O modelo pico-log normal, ajustado para a variável IAF, obteve ajuste estatístico significativo pelo teste t ($p < 0,01$) para os seus parâmetros (a , b e X_0). O modelo foi capaz de explicar a maior parte da variação do IAF na cultura do milho, obtendo coeficiente R^2 da regressão variando de 0,923 a 0,932, valores próximos aos encontrados por Rocha et al. (2011), que, avaliando a influência de doses de nitrogênio na cultura do milho, encontraram R^2 de 0,83 a 0,99. Foram estimados pelo modelo IAFs máximos de 3,1 (E_4) a 3,7 (E_2), com diferença máxima inferior a 9% em relação aos resultados observados.

De acordo com o teste t de Student, as alturas de planta estimadas pelo modelo não diferiram estatisticamente ($p < 0,01$) (Tabela 4). O índice de Willmott indicou alta concordância entre as alturas observadas e as estimadas, com $d = 0,999$ nos quatro tratamentos avaliados.

O coeficiente angular da regressão mostra que as alturas estimadas pelo modelo subestimaram as observadas. O EPE variou entre $\pm 0,720$ (E_4) e $\pm 1,536$ (E_1).

Os IAFs estimados não diferiram estatisticamente pelo teste t ($p < 0,01$) dos observados. Analogamente à altura das plantas, o índice de Willmott indicou elevada concordância entre os IAFs estimados e os observados.

O coeficiente angular da regressão indicou que os resultados estimados pelo modelo pico-log normal subestimaram os observados em campo. Para a variável IAF, o EPE variou entre 0,012 e 0,053.

Quanto ao rendimento agrícola da cultura, houve diferença máxima de 12% entre as épocas de plantio. As maiores produtividades, 6,4 e 6,2 $Mg\ ha^{-1}$, foram obtidas em E_2 e E_3 , respectivamente (Figura 3). A quarta época foi o tratamento mais afetado pelo estresse hídrico, que prejudicou o seu rendimento, sendo de apenas 5,7 $Mg\ ha^{-1}$.

Na primeira época de semeadura, o déficit hídrico na fase de pendoamento e florescimento reduziu a produtividade da cultura. Em E_4 , o déficit ocorrido na fase de crescimento acarretou a diminuição do armazenamento de açúcares no colmo das plantas, refletindo no rendimento da cultura (Magalhães et al., 1998).

Tabela 3. Valores do índice de concordância de Willmott (d), coeficiente angular da regressão (β_1) e erro padrão de estimativa (EPE), para a altura das plantas estimadas pelo modelo logístico, e o índice de área foliar estimado pelo modelo pico-log normal, em função dos graus-dias acumulados.

Parâmetros	Tratamentos			
	E_1	E_2	E_3	E_4
Modelo Logístico				
d	0,999	0,999	0,999	0,999
β_1	0,996 ^{ns}	0,996 ^{ns}	0,997 ^{ns}	0,997 ^{ns}
EPE	$\pm 1,536$	$\pm 1,060$	$\pm 1,080$	$\pm 0,720$
Modelo Pico-Log Normal				
d	0,999	0,999	0,999	0,999
β_1	0,982 ^{ns}	0,984 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,979 ^{ns}
EPE	$\pm 0,012$	$\pm 0,053$	$\pm 0,050$	$\pm 0,020$

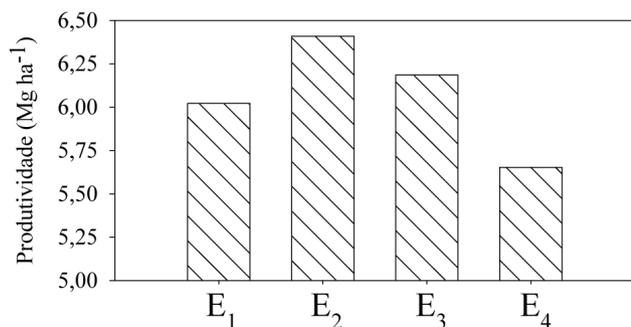


Figura 3. Produtividade agrícola do milho (Mg ha⁻¹), nas épocas E₁ - 28/06, E₂ - 08/07, E₃ - 18/07 e E₄ - 28/07 de 2013.

Conclusão

Por causa da melhor disponibilidade e distribuição hídrica durante o ciclo do milho, a semeadura no início de julho (E₂) proporciona maior crescimento e produtividade para a cultura do milho, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Os modelos representam com precisão e exatidão o crescimento em altura e índice de área foliar do milho durante o ciclo da cultura nas quatro épocas de semeadura em função dos graus-dias acumulados, o que demonstra que as funções matemáticas são formas eficientes de representar o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Alagoas – FAPEAL, pela concessão de apoio financeiro e bolsa de iniciação científica para a realização desse trabalho.

Referências

ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop**

requirements. Roma: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

CANTARELLI, A. L. D.; SILVA, S.; SANTOS, L. R.; COSTA, C. T. S.; SANTOS, M. L. Produtividade do milho sob diferentes disponibilidades hídricas e térmicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO, 2., 2015, Quixadá, CE. **Anais...** Quixadá: UFC, 2015.

CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 173-180, 2013. DOI: [10.1590/S0102-77862013000200006](https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000200006).

CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2015/16: décimo levantamento**. Brasília, DF, 2016. 179 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_07_07_14_37_20_boletim_graos_julho_2016.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Milho. In: DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. p. 154-159. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2005. DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v4n1p8-13](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n1p8-13).

FRANÇA, C. G.; GROSSI, M. E. D.; MARQUES, V. P. M. A. **O censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2009.

- LYRA, G. B.; ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, n. 4, p. 578-586, jul./ago. 2014.
[DOI: 10.1590/0034-737X201461040019](https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040019).
- LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 173, 2010a.
[DOI: 10.15809/irriga.2010v15n2p173](https://doi.org/10.15809/irriga.2010v15n2p173).
- LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SANTOS, M. A. Balanço sequencial de água no solo para o manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade na cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 28, n. 4, p. 22-25, 2010b.
- LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; MOURA FILHO, G. Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho BR 106, em três épocas de plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 3, p. 211-230, 2008.
[DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v7n3p211-230](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v7n3p211-230).
- MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; SILVA, W. J.; TEIXEIRA, J. P. F. Análise quantitativa do crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 6, p. 825-833, 1982.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 23 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 22).
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, A. C. de. Efeitos do quebraamento do colmo no rendimento de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 279-289, jul./set. 1998.
- MONTGOMERY, E. G. Correlation studies of corn. **Annual report Nebraska Agricultural Experiment Station**, Lincoln, v. 24, p. 108-159, 1911.
- MUCHOW, R. C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 23, p. 145-158, 1990.
- ROCHA, A. E. Q. **Crescimento e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio nos tabuleiros costeiros de Alagoas**. 2012. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.
- ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.; MEDEIROS, R. P.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SÁ, L. A.; MOURA, A. B. Crescimento do milho em função dos graus-dia acumulados em quatro épocas de plantio na região de Arapiraca-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros: anais**. Guarapari: Incaper, 2011. 1 CD-ROM.
- SANTOS, M. A.; LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SEDIYAMA, G. C. Coeficiente da cultura no estágio inicial de desenvolvimento para cana-de-açúcar em diferentes datas de plantio na região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **STAB**, Piracicaba, v. 27, p. 30-33, 2009.
- SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIM, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 131-141, 2004.
- 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.
[DOI: 10.1006/anbo.1996.0172](https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0172).
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1995. 104 p.
- TOHIDI, M.; NADERY, A.; SIADAT, S. A.; LAK, S. Variables productivity of light interception in grain maize

hybrids at various amount of nitrogen. **World Applied Sciences Journal**, v. 16, n. 1, p. 86-93, 2012.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Grain**: world markets and trade: South America corn exports soar. Washington, 2016. 58 p. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain-corn-coarsegrains.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E. C.; PEREIRA, C. R. Teor de nitrogênio, índice de área foliar e de colheita, no milho, em função

da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 13-25, 2009. DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v8n1p13-25](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n1p13-25).

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciências da Terra, 30).

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Delaware, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.