

Épocas de plantio e dose econômica de nitrogênio para o milho cultivado nos Tabuleiros Costeiros Alagoanos¹

Planting dates and economic nitrogen rate for maize cultivated in Coastal Plains of Alagoas State, Brazil

Samuel Silva^{2*}, Cícero Teixeira Silva Costa³, Ronaldo do Nascimento⁴, Iêdo Teodoro⁵, Arthur Luan Dias Cantarelli⁶, Marcelo Augusto da Silva Soares⁷

Resumo: Objetivou-se, com este trabalho, determinar a dose econômica de adubação nitrogenada para o milho em quatro épocas de cultivo. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro épocas de plantio (E1: 28/05, E2: 11/06, E3: 25/06 e E4: 22/07) e nas subparcelas foram aleatorizadas quatro doses de N (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹). A cultivar de milho foi a AG7088, sendo a produtividade medida na fase de grão farináceo. A produtividade agrícola foi de 8,0; 7,5; 5,9 e 6,3 t ha⁻¹ em E1, E2, E3 e E4, respectivamente. A resposta do milho ao N foi significativa, em que a dose de 225 kg ha⁻¹ de N proporcionou média de 4,0 t ha⁻¹ a mais quando comparada ao cultivo sem adubação nitrogenada. Para o valor médio da saca de milho igual a R\$ 30,00, a dose máxima econômica é 174, 163, 215 e 52 kg ha⁻¹ de N para o plantio em 28/05, 11/06, 25/06 e 11/07 de 2014, respectivamente, e a dose econômica média é 151 kg ha⁻¹.

Palavras-chave: Graus dia. Precipitação pluvial. Produtividade de grãos.

Abstract: The objective of this study was to determine the economic rate of nitrogen fertilizer for maize in four planting dates. The experiment was conducted on a randomized block design with split-plots, and four replications. The plots were composed by four planting dates (E1: 28/05, E2: 11/06, E3: 25/06 and E4: 22/07) and the subplots by four different N rates (0, 75, 150 and 225 kg ha⁻¹). The maize cultivar adopted was AG7088, and productivity measured in the dough stage. The agricultural yield was 8.0, 7.5, 5.9 and 6.3 t ha⁻¹ in E1, E2, E3 and E4, respectively. The response of maize to nitrogen was significant, and the dose 225 kg ha⁻¹ of N resulted in an average yield of 4.0 t ha⁻¹ when compared to the control. For the average price of maize bag equal to R\$ 30.00, the maximum economic rate is 174, 163, 215 and 52 kg ha⁻¹ of N for planting in 28/05, 11/06, 25/06 and 11/07, respectively, and the average economic rate is 151 kg ha⁻¹.

Key words: Heating degree day. Rainfall. Grain yield.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 09/05/2016 e aprovado em 18/05/2016

¹Artigo derivado de projeto de pesquisa do CNPq

²Professor EBTT, IFAL, Piranhas, AL, Brasil, sam_capela@hotmail.com

³Eng.º Agrônomo, Pesquisador Dr. do IFGO, Rio Verde, GO, Brasil, ctsc2007@hotmail.com

⁴Prof. Adjunto, UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, ronaldon453@gmail.com

⁵Prof. Adjunto, UFAL, Rio Largo, AL, Brasil, iedoteodoro@ig.com.br

⁶Graduando em Agronomia, UFAL, Rio Largo, AL, Brasil, aldcantarelli@hotmail.com

⁷Graduando em Agronomia, UFAL, Rio Largo, AL, Brasil, marcelocico_@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais consumidos na região Nordeste do Brasil, como produto industrializado ou na forma *in natura*, devido à sua utilização na alimentação humana e animal, além de desempenhar importante papel socioeconômico para a região. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, os estados nordestinos que mais produzem milho são: Bahia (3,18 milhões de Mg e 4,0 Mg ha⁻¹), Maranhão (1,73 milhões de Mg e 2,9 Mg ha⁻¹) e Sergipe (1,06 milhões de Mg e 4,7 Mg ha⁻¹). Alagoas ocupa o oitavo lugar, com produção anual de 27,5 mil megagramas e rendimento médio de aproximadamente 0,90 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2014). Esse baixo rendimento agrícola na cultura do milho ocorre principalmente devido à má distribuição da precipitação pluvial e do manejo incorreto dos fertilizantes nitrogenados.

No estado de Alagoas, a produtividade é fortemente prejudicada pela ocorrência de veranicos durante a época chuvosa, que se inicia em abril e termina em outubro, na região de Rio Largo (CARVALHO *et al.*, 2013). Conforme Brito *et al.* (2013), a ocorrência de déficit hídrico durante o pendoamento e o enchimento dos grãos causam perdas na produtividade agrícola, pois nessa fase ocorre a síntese de componentes do rendimento. Shaw (1977) analisou resultados de diversos pesquisadores e concluiu que o consumo médio de água pelo milho varia de 410 a 610 mm. Para Fancelli e Dourado Neto (2004), há exigência mínima de 300 a 350 mm de água para uma produção satisfatória sem o uso de irrigação. Entretanto, essa quantidade pode variar, sobretudo, conforme a região, a cultivar, a época de plantio e deve ser bem distribuída durante o ciclo da cultura.

Além da precipitação pluvial, a temperatura do ar também é determinante no crescimento, desenvolvimento e duração do ciclo da cultura. Grossi *et al.* (2011) observaram que temperaturas máximas de 30 °C durante o dia não afetam a produtividade do milho, mas altas temperaturas à noite causam redução no rendimento, o que pode ser explicado, em parte, pelo aumento das taxas de respiração de manutenção. Em temperaturas abaixo de 10 °C, o desenvolvimento do milho é quase nulo. Assim sendo, a temperatura durante o ciclo do milho deve variar entre 10 e 30 °C. Maldaner *et al.* (2014) encontraram que a temperatura ideal está em torno de 21 °C.

A relação entre o desenvolvimento da cultura e sua necessidade térmica pode ser monitorada pela soma de graus-dia (GD), que é definido como a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura mínima (temperatura base) exigida por uma espécie ou cultivar (SCHONS *et al.*, 2009). De acordo com Fancelli *et al.* (2000), a quantidade de GDA até a planta atingir a polinização é utilizada para classificar as cultivares de milho em super-precoces (780 a 830 GDA), precoces (831 a 890 GDA) e tardias (891 a 1.200 GDA).

Assim como a escolha da época de plantio está de acordo com as melhores condições climáticas, o planejamento da adubação também é responsável por garantir resultados satisfatórios ao produtor. Para Veloso *et al.* (2009), o nitrogênio (N) é o nutriente mais absorvido e exportado, como também o de maior custo e o que mais tem influência na produtividade do milho. Cruz *et al.* (2008) estudaram cinco variedades de milho submetidas a níveis de adubação nitrogenada em plantio direto e observaram incremento significativos no rendimento de grãos. Arf *et al.* (2007) afirmam que o fornecimento adequado de N é de grande importância para o incremento da produtividade. Assim, objetivou-se, com este trabalho, determinar a dose econômica de adubação nitrogenada para o milho em quatro épocas de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), Rio Largo-AL (09° 28' 02" S; 35° 49' 43" W; 127 m de altitude). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso argissólico de classe textural franco argilosa com densidade volumétrica (ds) de 1,5 Mg m⁻³, porosidade total (P) de 0,423 m³ m⁻³, velocidade de infiltração básica (VIB) de 52 mm h⁻¹ e declividade média menor que 2%. Quando na capacidade de campo (CC) a umidade é 0,2445 m³ m⁻³ e no ponto de murcha permanente (PMP) o teor de água é 0,1475 m³ m⁻³ (CARVALHO, 2003).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. O campo experimental foi composto por quatro épocas de plantio (E1: 28/05, E2: 11/06, E3: 25/06 e E4: 22/07), todas no ano de 2014, constituindo as parcelas; e quatro doses de nitrogênio (N) (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) nas subparcelas. A cultivar de milho AG7088 foi plantada no espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,25 m entre plantas.

A adubação de fundação ocorreu em função de uma produtividade esperada de 10 t ha⁻¹, composta de 115 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 192 kg ha⁻¹ de K₂O (COELHO, 2006). A adubação nitrogenada foi realizada por cobertura em uma só vez (15 dias após o plantio), em que as doses de N foram aplicadas utilizando uréia como fonte, a qual foi incorporada ao solo. O controle das plantas daninhas foi efetuado via capinas manuais e com herbicidas, aplicados logo após o plantio. A colheita do milho ocorreu aos 147, 146, 153 e 142 DAP para as épocas E1, E2, E3 e E4, respectivamente, em 9 metros lineares das três linhas centrais da parcela.

Os dados agrometeorológicos utilizados para o cálculo das médias diárias de chuva, temperatura e evapotranspiração de referência (ET₀) foram cedidos pelo Laboratório de Agrometeorologia e Radiação Solar (LARAS), que mantém uma estação automática de aquisição de dados (Micrologger-21X Campbell Scientific) ao lado do experimento. A ET₀

foi calculada pelo método de Penman Monteith (ALLEN *et al.*, 2005), e a evapotranspiração real da cultura foi obtida através do cálculo do balanço hídrico adaptado por Lyra *et al.* (2010) para culturas agrícolas. A necessidade térmica da cultura foi determinada através dos graus-dia acumulados (GDA) em cada época de cultivo (GILMORE; ROGERS, 1958), sendo analisada entre o plantio e o estágio de florescimento. Assim, o período analisado foi de 96; 89; 90 e 100 DAP para E1, E2, E3 e E4, respectivamente.

Os dados de produtividade agrícola da cultura avaliada em cada época de cultivo e em função das doses de N foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo obtida, posteriormente, a função de resposta da cultura aos tratamentos quantitativos por meio de equações de regressão. A função de resposta da cultura às doses de N foi obtida por curvas de regressão quadrática de acordo com a Equação 1:

$$Y = b_0 + b_1x - b_2x^2 \quad (1)$$

em que:

Y – é a produtividade agrícola (kg ha⁻¹);

x – é a dose de nitrogênio aplicada em cobertura (kg ha⁻¹);

b₀, b₁ e b₂ – são os coeficientes da equação.

A equação utilizada para estimar a dose de nitrogênio que proporciona a produtividade máxima foi deduzida igualando-se a zero a primeira derivada da função de produção, conforme as Equações 2 e 3:

$$Y' = b_1 - 2b_2x \therefore b_1 - 2b_2x = 0 \therefore -2b_2x = -b_1 \quad (2)$$

$$X_{\text{máx}} = -\frac{b_1}{2b_2} \quad (3)$$

em que:

X_{máx.} – é a dose de N que proporciona máxima produtividade agrícola (kg ha⁻¹). Posteriormente, a produtividade máxima (Y_{máx.}, em kg ha⁻¹) foi estimada substituindo-se x por X_{máx.} na Equação 1.

Para a análise econômica da produção foram utilizados o custo do kg de N e o preço de venda do produto (Tabelas 1 e 2). Os preços de venda do milho usados para o cálculo

Tabela 1 - Preços dos fertilizantes utilizados na adubação nitrogenada do milho

Table 1 - Prices of fertilizers used in nitrogen fertilization of corn

Adubo	R\$ t ⁻¹ de adubo	R\$ kg ⁻¹ de N
S. de amônio	680,00	4,30
Uréia	1.371,00	3,00
Média	1.025,50	3,65

Fonte: Usifértil (Consulta em 10/04/2015).

Source: Usifértil (Query at 2015.10.04).

Tabela 2 - Valores da saca (60 kg) e do kg de milho utilizados na análise econômica

Table 2 - Prices of bag (60 kg) and kg of maize used in the economic analysis

R\$ saca ⁻¹	R\$ kg ⁻¹
15,0	0,25
30,0	0,50
45,0	0,75

de remuneração foram três valores padronizados devido à variação de câmbio durante as safras, podendo ser usados como comparativos em tomadas de decisões administrativas.

A dose de N de máxima eficiência econômica foi estimada pela Equação 4:

$$X_{ec} = \frac{P_x - P_y b_1}{2P_y b_2} \quad (4)$$

em que:

X_{ec} - é a dose de N que proporciona a produtividade ótima econômica (kg ha⁻¹);

P_x - é o custo médio do kg de N (R\$ kg⁻¹);

P_y - é o preço de venda do kg de milho (R\$ kg⁻¹);

b₁ e b₂ - são os coeficientes da função de produção;

Posteriormente, a produtividade de máxima eficiência econômica (Y_{ec}, em kg ha⁻¹) foi estimada substituindo-se x por X_{ec} na Equação 1.

A análise de variância e as funções de produção foram ajustadas no software Sisvar 5.4, e os gráficos foram gerados nos softwares Microcal Origin 6.0 e SigmaPlot 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média no período do experimento (28 de maio a 31 de outubro de 2014) variou de 20,8 °C (09/08/14) a 25,7 °C (28/10/14), com média geral de 24 °C. Na Figura 1, observa-se que a temperatura média das épocas E1, E2, E3 e E4 foram de 23,7 °C, 23,6 °C, 23,5 °C e 23,7 °C, respectivamente, estando próximas da considerada ideal (21°C) por Maldaner *et al.* (2014) para a produção de milho.

A ET₀ e a precipitação pluvial também apresentaram variação como consequência das características atmosféricas de cada período de cultivo. A precipitação pluvial total para cada época de cultivo foi 457, 476, 478 e 583 mm para E1, E2, E3 e E4, respectivamente, estando acima da faixa mínima de demanda hídrica observada por Fancelli e Dourado Neto (2004), que é de 300 a 350 mm. Na E1 não houve período sem chuvas suficiente para comprometer a produtividade agrícola do milho. Na E2, a cultura passou por um período de 14 dias (22/08/14 a 04/09/14) sem chuvas na fase de grão leitoso. A E3 foi a segunda época com maior precipitação total, mas, apesar de ter melhor

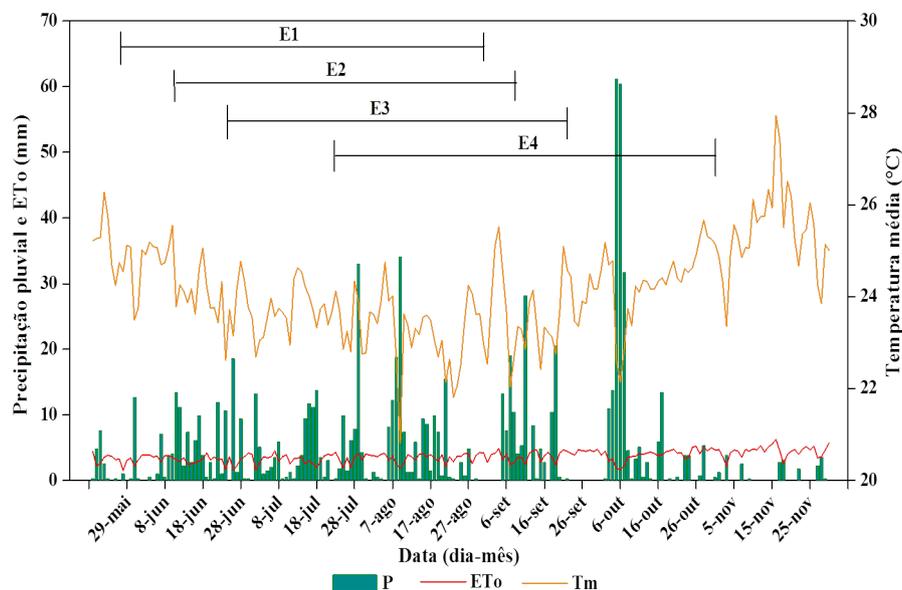


Figura 1 - Precipitação pluvial (P), evapotranspiração de referência (ET₀), temperatura média do ar (T_m) durante as épocas de cultivo do milho (E1 a E4), no período de 28 de maio a 31 de outubro de 2014, em Rio Largo - AL.

Figure 1 - Rainfall (P), reference evapotranspiration (ET₀), average air temperature (T_m) during maize growing seasons (E1 to E4), from May 28 to October 31, 2014, in Rio Largo - AL.

distribuição da chuva no decorrer das fases vegetativas, não houve chuva durante o pendoamento até o início da fase de grão leitoso (22/08/14 a 04/09/14). Na E4, apesar de ter o maior total de precipitação pluvial, 31% (182 mm) de chuva aconteceu em seis dias (03 a 08/10/14), gerando grande excedente hídrico (149 mm). Além disso, na fase de floração do milho as plantas passaram por um veranico de 13 dias (20/09/14 a 02/10/14).

O milho é relativamente tolerante ao estresse hídrico durante a fase vegetativa, mas a ocorrência de deficiência hídrica antes da emissão dos estigmas pode causar decréscimo de 25% na produtividade (WAGNER, 2009; MALDANER *et al.*, 2014). Porém, essa redução pode chegar a 50% se o estresse ocorrer na fase de florescimento e enchimento de grãos, devido à extrema sensibilidade à falta de água durante esse período. A ocorrência de déficit hídrico durante a antese e logo após a fertilização causa abortamento das flores de milho, reduzindo a produção, mesmo que ocorra a polinização, pois o número de grãos por espiga no milho depende das condições fisiológicas da planta no florescimento (BRITO *et al.*, 2013). As condições hídricas do solo durante o período de enchimento de grãos podem afetar a produção e a alocação de fotoassimilados para a formação dos grãos. O período mais sensível ao déficit hídrico ocorre entre duas semanas antes e duas a três semanas após a antese. Porém, Tollenaar *et al.* (1992) observaram que o período mais crítico para a formação de grãos do milho é durante o florescimento.

Os valores de precipitação pluvial não são suficientes para explicar a produtividade agrícola da cultura, sendo necessário correlacionar a disponibilidade hídrica e a necessidade térmica do milho com a produtividade agrícola em cada período de cultivo. Na Tabela 3, observa-se que

Tabela 3 - Resumo da análise de variância da produtividade de grãos do milho submetido a diferentes épocas de semeadura e doses de adubação nitrogenada, em Rio Largo - AL

Table 3 - Summary of the analysis of variance of the maize grain yield under different sowing times and nitrogen fertilization rates, in Rio Largo, Alagoas

Fontes de variação	Gl	Quadrados médios
Blocos	3	1,037
Épocas	3	13,088**
Resíduo 1	9	1,445
NITROGÊNIO	3	39,434**
ÉPOCAS x NITROGÊNIO	9	7,116**
Resíduo 2	36	0,388
CV 1 (%) =		17,3
CV 2 (%) =		8,9
Média geral =		6,9

o rendimento da cultura variou significativamente entre as épocas de cultivo, e a Figura 2 apresenta os resultados de produtividade agrícola, evapotranspiração real total e graus-dia acumulados nas quatro épocas de cultivo. Observa-se que na E1 (28/05/14 a 01/09/14) a produtividade agrícola foi maior (8,0 Mg ha⁻¹) devido à alta disponibilidade hídrica (chuva total de 457 mm e ET_r de 300 mm) e ao grande acúmulo calórico (922 °C de GDA).

Na E2 (11/06/14 a 08/09/14), apesar da boa disponibilidade hídrica (chuva total de 477 mm e ET_r de 295 mm), a produtividade agrícola diminuiu (7,5 Mg ha⁻¹), pois o total de graus-dia foi menor que na E1 (888 °C), e a cultura passou por um período de 14 dias sem chuva na fase de grão leitoso (Figura 1).

Na E3, de 25/06/14 a 23/09/14, a chuva foi melhor distribuída ao longo do ciclo de cultivo (em 45% dos dias),

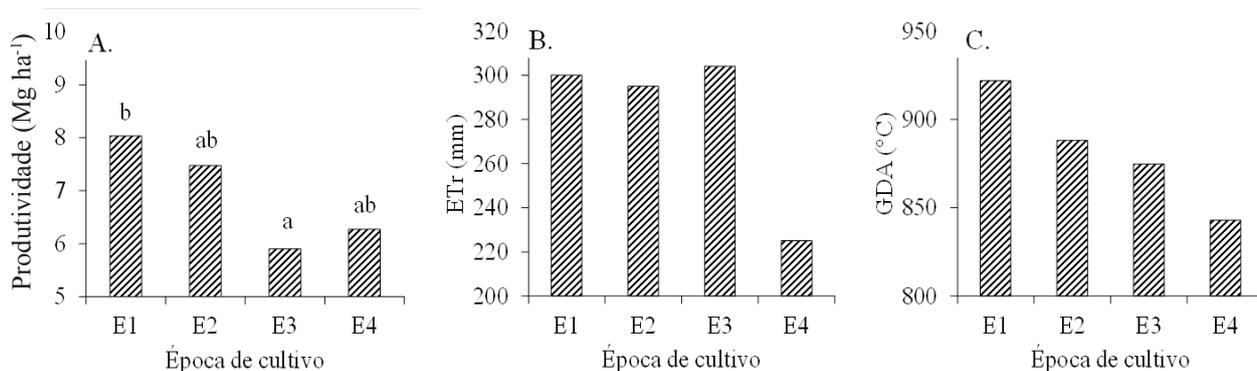


Figura 2 - Produtividade de grãos (A), Evapotranspiração real-ET_r (B) e Graus Dia Acumulados °C-GDA (C), em quatro épocas de semeadura do milho, em Rio Largo - AL. Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figure 2 - Grain yield (A), real evapotranspiration- ETr (B) and Accumulated Degrees Day °C-GDA (C), in four maize sowing dates, in Rio Largo, Alagoas. Means with different letters differ by Tukey test at 5% probability.

resultando em maior disponibilidade de água no solo (chuva total de 478 mm e ET_r de 304 mm). Porém, como nessa época houve 14 dias sem chuva no período do pendramento até a fase de grão leitoso, e também menor acúmulo térmico (875 °C de GDA), foi registrada a menor produtividade agrícola (5,9 Mg ha⁻¹).

Na E4, de 23/07/14 a 31/10/14, houve maior precipitação pluvial total (584 mm) em relação às demais épocas. No entanto, devido à distribuição irregular das chuvas durante o ciclo, a ET_r somou apenas 225 mm. O acúmulo calórico foi de 843 °C, mas, como os dias sem chuva na fase de floração foram seguidos de grandes precipitações pluviais, a produtividade agrícola (6,3 Mg ha⁻¹) foi um pouco maior que a da E3, apesar de não diferir significativamente. Assim, quando há alta disponibilidade hídrica e térmica, o potencial de produção de milho em determinada época de cultivo é maior. Porém, esse potencial decresce quando um destes fatores é limitado ou reduzido. De acordo com a faixa de necessidade térmica estabelecida por Fancelli *et al.* (2000), o milho cultivado nas quatro épocas classificou-se como precoce com GDA médio de 882 °C. Esse valor está abaixo do que foi observado por Lyra *et al.* (2014), os quais cultivaram um milho híbrido no período de 25/06 a

28/10/2009, na região de Rio Largo-AL, e mediram GDA de 1.256 até à fase de grãos pastosos.

As funções de produção apresentaram ajuste significativo com o coeficiente de determinação (R²) igual a 97, 96, 99 e 99% em E1, E2, E3 e E4, respectivamente (Figura 3).

Os valores de rendimento medidos nas épocas 1, 2 e 3 não apresentaram ponto de máximo seguido de decréscimo no intervalo estudado nesse trabalho, mas o estudo da função de segundo grau se tornou confiável devido ao comportamento de menores acréscimos (menor produto marginal físico) próximo ao ponto com a maior dose de N testada.

A escolha da equação de regressão adequada deve ser feita pelas propriedades matemáticas da função em representar o comportamento usual da cultura e não apenas pelo maior coeficiente de determinação. Conforme alguns autores (LYRA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2008; ALBUQUERQUE Filho *et al.*, 2009; ALENCAR *et al.*, 2009; SANTANA *et al.*, 2009; LIMA JÚNIOR *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2011), o polinômio de segundo grau é uma das equações matemáticas mais utilizadas como função de produção; no entanto, as funções de produção devem, em geral, ser usadas em intervalos convenientes, isto é, sem exceder níveis do insumo economicamente razoáveis. Além disso, para a

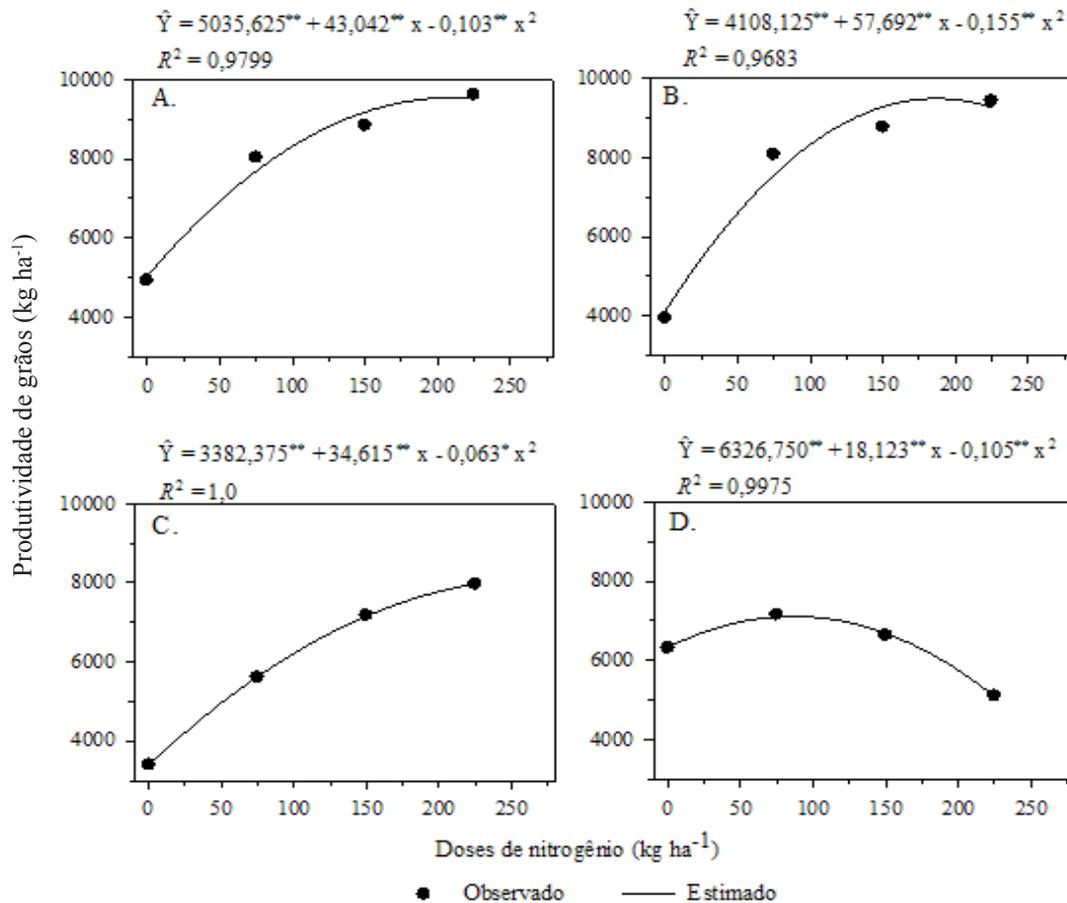


Figura 3 - Produtividade de grãos do milho em função de doses de nitrogênio para quatro épocas de semeadura, E1 (28/05/14), E2 (11/06/14), E3 (25/06/14) e E4 (23/07/14), em Rio Largo-AL. * e ** = significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo.

Figure 3 - Maize Grain yield due to the nitrogen rates in four sowing dates, E1 (2014.05.28), E2 (2014.06.11), E3 (2014.06.25) and E4 (2014.07.23), in Rio Largo-AL. * and ** = significant at 5% and 1% probability by F test, respectively; ns = not significant.

análise econômica, deve-se atentar para o fato de que a dose máxima econômica depende da relação de preços do kg de N (P_x) e do kg de milho (P_y) e não propriamente dos preços, ou seja, a dose econômica decresce quando o kg de N se torna mais caro em relação ao kg de milho.

A produtividade agrícola entre as doses testadas variou de 4.920 a 9.630 kg ha⁻¹, de 3.940 a 9.440 kg ha⁻¹, de 3.390 a 7.960 kg ha⁻¹ e de 5.100 a 7.150 kg ha⁻¹, em E1, E2, E3 e E4, respectivamente. A diferença de produtividade entre o tratamento sem N e o de maior produtividade foi de 4.710, 5.500, 4.570 e 840 kg ha⁻¹, correspondente a 96, 140, 135 e 13% da dose 0 nas épocas E1, E2, E3 e E4, respectivamente.

A resposta do milho ao N foi maior no tratamento com menores quantidades de N. Por exemplo, nas 1^a, 2^a, 3^a e 4^a épocas, entre as doses 0 e 75 kg ha⁻¹, a cultura produziu em média 41, 55, 30 e 11 kg de grãos por kg de N, enquanto

entre as doses 150 e 225 kg ha⁻¹, a resposta foi de 11, 9, 11 e -20 kg de grãos por kg de N, respectivamente. Conforme a lei dos rendimentos decrescentes, a qual corresponde à análise de resposta pelo princípio agrônomo conhecido como “a lei do mínimo”, formulada por Von Liebig (1840), “a produtividade de qualquer cultura é governada por qualquer mudança na quantidade e qualidade do fator escasso, chamado de fator mínimo. E, à medida que o fator mínimo é aumentado, a produtividade também aumenta na proporção da oferta daquele fator até outro fator se tornar mínimo”. Essa lei se aplica a todos os seres vivos; portanto, nesse caso, como a quantidade de N do solo nos tratamentos com maiores doses deixou de ser o fator limitante do crescimento das plantas, a produtividade da cultura só aumentaria sob ótimas condições de nutrientes, temperatura do ar, luz, CO₂ e outros fatores de produção vegetal.

O baixo incremento no rendimento observado na 4ª época de plantio ao se elevar as doses de N pode ter ocorrido porque no início do florescimento, fase crítica para o milho, houve déficit hídrico de aproximadamente dez dias, o que pode ter reduzido a absorção do N pelas plantas na solução do solo. Malavolta *et al.* (2002) e Pavinato *et al.* (2008) relatam que a partir dos 30 DAP ocorre aumento na absorção de N até atingir taxas superiores a 4,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ entre o florescimento e o início da formação dos grãos, desde que exista umidade no solo.

A produtividade física máxima da cultura, estimada pela função de produção foi 9.543; 9.494; 8.107 e 7.111 kg ha⁻¹, obtida com dose de N de 209, 187, 275 e 86 kg ha⁻¹, em E1, E2, E3 e E4, respectivamente. Para produtividades acima desses valores, ou seja, com a cultura em condições ótimas de N disponível no solo, é preciso recorrer a outras práticas agrícolas como irrigação, controle de pragas e doenças, dentre outras.

A produtividade agrícola de máxima eficiência econômica foi calculada em função do custo do kg de N e do preço da saca de milho. Assim, em E1 a produtividade de máxima eficiência econômica, com o preço da saca de milho de R\$ 15,00, foi 9.026 kg ha⁻¹, obtidos com 138 kg ha⁻¹ de N. Para o preço médio da saca de milho de R\$ 30,00, a produtividade de máxima eficiência econômica foi 9.413 kg ha⁻¹, obtida com 174 kg ha⁻¹ de N. Com o preço da saca de milho igual a R\$ 45,00, a dose máxima econômica foi 186 kg ha⁻¹ de N, gerando rendimento de grãos de 9.485 kg ha⁻¹.

Na segunda época de cultivo, com a saca de milho igual a R\$ 15,00, o máximo rendimento econômico foi de 9.149 kg ha⁻¹, obtido com 139 kg ha⁻¹ de N. Com a remuneração do milho igual a R\$ 30,00 por saca, a dose máxima econômica foi de 163 kg ha⁻¹ de N, resultando em produtividade de grãos de 9.408 kg ha⁻¹. Com o preço da saca de milho de R\$ 45,00, o rendimento máximo econômico foi de 9.456 kg ha⁻¹, obtido com 171 kg ha⁻¹ de N.

Na E3, para os preços da saca de milho de R\$ 15,00; R\$ 30,00 e R\$ 45,00, a produtividade de máxima eficiência econômica foi igual a 7.269; 7.897 e 8.014 kg ha⁻¹, obtidas com 158, 215 e 234 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Na E4, com os preços da saca de milho de R\$ 15,00; R\$ 30,00 e R\$ 45,00, o rendimento máximo econômico foi de 6.605; 6.885 e 7.055 kg ha⁻¹, obtidos com 17; 52 e 63 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Observa-se que, em cada época de cultivo estudada houve maior proximidade entre as doses econômicas geradas com as duas maiores remunerações do milho devido

à resposta da cultura ser não linear, pois quanto maior o preço da saca de milho mais N é possível ser aplicado; no entanto, a partir de certo ponto, há redução na taxa de grãos produzidos por kg de N acrescentado.

Da Ros *et al.* (2003), estudando a disponibilidade de nitrogênio e produtividade das culturas do milho e do trigo, por diferentes métodos de adubação, em sistema de plantio direto, verificaram que apesar de não haver diferença significativa entre as épocas para a mesma dose de N, observou-se uma tendência de aumento da produção de matéria seca e acúmulo de N com a aplicação das doses totais em cobertura.

O cálculo dos custos de insumos na agricultura para se ter o máximo retorno de capital envolve diversos fatores que nem sempre podem ser controlados. Portanto, trabalhos como esse servem para ser tomados como base em decisões administrativas, desde que as condições sejam semelhantes às do local onde foi realizada a pesquisa. Além disso, questões econômicas, como preços de insumos e *commodities* agrícolas, estão sujeitas a alterações diariamente, ficando a critério do administrador buscar a melhor solução e escolher a alternativa mais compensatória para o uso de determinado insumo.

CONCLUSÕES

A produtividade física máxima em E1, E2, E3 e E4 seria obtida com a dose de N igual a 209, 187, 275 e 86 kg ha⁻¹, respectivamente;

A dose de N econômica no intervalo de 0 a 225 kg ha⁻¹ é diretamente proporcional ao aumento do preço da saca de milho, com valor médio de R\$ 30,00;

A dose de máxima eficiência econômica é de 174, 163, 215 e 52 kg ha⁻¹ de N para o milho plantado em 28/05, 11/06, 25/06 e 11/07 de 2014, respectivamente, e a dose econômica média é de 151 kg ha⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEAL/CNPq pela concessão de bolsas; ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA/UFAL) pelo apoio na implantação e condução do experimento; e à empresa Semear pela doação das sementes.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

- ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; SILVA JÚNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.671-679, 2009.
- ALENCAR, C. A. B.; OLIVEIRA, R. A.; CÔSER, A. C.; MARTINS, C. E.; CUNHA, F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A. Produção de capins cultivados sob pastejo em diferentes lâminas de irrigação e estações anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.680-686, 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, n.1, p.1-13, 2005.
- ARF, O.; FERNANDES, R. N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. **Acta Science Agronomic**, v.29, n.2, p.211-217, 2007.
- BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, v.29, n.5, p.1244-1254, 2013.
- CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SILVA, E. C. Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño – Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.192-198, 2013.
- CARVALHO, O. M: **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular técnica, 78).
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.1 - Safra 2013/14, n.6 - Sexto Levantamento, Brasília, p.1-83, mar, 2014.
- CRUZ, S. C. S; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.1, p.62-68, 2008.
- DA ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.5, p.799-804, 2003.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- GILMORE, E.; ROGERS, J. S. Heat units in a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, p.611-615, 1958.
- GROSSI, M. C.; SILVA, R. F.; ANDRADE, C. L. T.; JUSTINO, F. **Influência da radiação solar e da temperatura do ar na produtividade potencial simulada do milho (*Zea mays*) em Sete Lagoas, MG**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17, Guarapari. 2011.
- LIMA JÚNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOFF, L. O.; COSTA, G. G.; VILAS BOAS, R. C.; YURI, J. E. Efeito da irrigação sobre o rendimento produtivo da alface americana, em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.797-803, 2010.
- 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**, v.61, n.4, p.578-586, 2014.
- 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**, v.28, p.22-25, 2010.
- LYRA, G. B.; PONCIANO, N. J.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DAHER, R. F.; PEREIRA, M. G.; MARINHO, A. B. Estimativa dos níveis ótimos e econômicos de irrigação no mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivar Golden nas condições do norte do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v.30, n.02, p.390-395, 2008.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 200 p. 2002.

MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.03, p.13-23, 2014.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. A.; SILVA, W. G.; REZENDE, F. C.; GOMES, L. A. A.; JESUS, M. C. N. Análise produtiva e econômica do pepino japonês submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.07, p.702-708, 2011.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v.38, n.02, p. 358-364, 2008.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.532-538, 2009.

SCHONS, A.; STRECK, N. A.; STORCK, L. *et al.* Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, v.68, n.01, p.155-167, 2009.

SHAW, R. H. Climate requirement. In: SPRAGUE, G.F. Corn and corn improvement. Madison: American Society of Agronomy, 1977. p.599-617.

SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. S. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1266-1271, 2008.

TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, v.32, p.432-428, 1992.

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**, v.08, n.01, p.13-25, 2009.

VON LIEBIG, J. **Die chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie**. Veinegn: Braunschweig, 1840, 342 p.