

**Fertilizações Nitrogenada e Potássica
e Produtividades Técnica e Econômica
de Milho Cultivado no Cerrado da
Região Leste Maranhense**



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
130**

**Fertilizações Nitrogenada e Potássica
e Produtividades Técnica e Econômica
de Milho Cultivado no Cerrado da
Região Leste Maranhense**

*Francisco de Brito Melo
Edson Alves Bastos
Milton José Cardoso
Aderson Soares de Andrade Júnior*

**Embrapa Meio-Norte
Teresina, PI
2021**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte
Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires
Caixa Postal 01
CEP 64008-480, Teresina, PI
Fone: (86) 3198-0500
Fax: (86) 3198-0530
www.embrapa.br/meio-norte]
Serviço de Atendimento ao Cidadão(SAC)
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Rosa Maria Cardoso Mota de Alcantara

Secretário-Executivo
Jeudys Araújo de Oliveira

Membros
*Ligia Maria Rolim Bandeira, Edvaldo Sagrilo,
Orlane da Silva Maia, Luciana Pereira dos Santos
Fernandes, Francisco Jose de Seixas Santos, Paulo
Henrique Soares da Silva, João Avelar Magalhães,
Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira, Alexandre
Kemenes, Ueliton Messias, Marcos Emanuel da
Costa Veloso, Jose Alves da Silva Câmara*

Supervisão editorial
Ligia Maria Rolim Bandeira

Revisão de texto
Francisco de Assis David da Silva

Normalização bibliográfica
Orlane da Silva Maia

Tratamento das ilustrações
Jorimá Marques Ferreira

Editoração eletrônica
Jorimá Marques Ferreira

Foto da capa
Francisco de Brito Melo

1ª edição
1ª impressão (2021): formato digital

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio-Norte

Fertilizações nitrogenada e potássica e produtividades técnica e econômica de milho cultivado no Cerrado da região leste maranhense / Francisco de Brito Melo... [et al.]. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2021. PDF (21 p.) : il. ; 16 cm x 22 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455 ; 130).

1. Nutrição vegetal. 2. Nutriente mineral. 3. Lixiviação. 4. Latossolo Amarelo Distrocoeso. 5. Zea mays. I. Melo, Francisco de Brito. II. Embrapa Meio-Norte. III. Série. CDD 631.8 (21. ed.)

Orlane da Silva Maia (CRB 3/915)

© Embrapa, 2021

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	13
Conclusões	19
Referências	19

Fertilizações Nitrogenada e Potássica e Produtividades Técnica e Econômica de Milho Cultivado no Cerrado da Região Leste Maranhense

Francisco de Brito Melo¹

Edson Alves Bastos²

Milton José Cardoso³

Aderson Soares de Andrade Júnior⁴

Resumo – O nitrogênio e o potássio são os nutrientes requeridos em maior quantidade pela cultura do milho. O objetivo deste trabalho foi avaliar as máximas produtividades técnicas e econômicas decorrentes da aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de potássio. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo fatorial 4 x 4, ou seja, quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) e quatro de potássio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O), com três repetições. Com as doses de N de 145 kg ha⁻¹ e 104 kg ha⁻¹, os maiores rendimentos de grãos foram obtidos, respectivamente, para produtividade técnica (8.311 kg ha⁻¹) e para produtividade econômica de grãos secos de milho (8.051 kg ha⁻¹). O componente de produção que influencia o rendimento de grãos do milho é o rendimento de espigas. O potássio aplicado nos tratamentos é lixiviado para a camada mais profunda do solo de 30-40 cm, levando à falta de resposta ao potássio na produtividade de grãos de milho.

Termos para indexação: *Zea mays*, nutrição mineral, lixiviação de potássio, Latossolo Amarelo Distrocoeso.

¹Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI

³Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI

⁴Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI

Fertilization and Technical and Economic Productivity of Corn Nitrogened and Potassiic Cultivated in the Cerrado of the East Maranhense Region

Abstract – Nitrogen and potassium are the nutrients most required by corn. The objective of this work was to evaluate the maximum technical and economic productivity resulting from the application of increasing doses of nitrogen and potassium. A randomized block design was used, with treatments arranged in a 4 x 4 factorial arrangement, that is, four nitrogen doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of N) and four potassium (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ of K₂O), with three replications. With the N doses of 145 kg ha⁻¹ and 104 kg a⁻¹, the highest grain yields are obtained, respectively, for technical productivity (8,311 kg ha⁻¹) and for economic productivity of dry maize grains (8,051 kg ha⁻¹). The production component that influence corn grain yield is ear yield. The potassium applied in the treatments, leach to the deepest soil layer of 30-40 cm, leading to the lack of response to potassium in the productivity of corn grains.

Index terms: Zea mays, mineral nutrition, potassium leaching, Oxisol Yellow Distrocoeso.

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de grande importância no Brasil e no mundo, pois é uma cultura que se destaca pelo alto potencial produtivo e grande valor socioeconômico. Isso se deve à sua larga utilização tanto na indústria de rações para produção animal, quanto para a alimentação humana, sendo esta última em menor escala.

A cultura é produzida nas mais diversas regiões do País, com destaque para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Essa expansão agrícola se justifica, em parte, pelo melhoramento genético que busca, entre outras características agrônômicas, e adaptações às diferentes condições climáticas (Borém; Miranda, 2013; Vidal, 2015).

Segundo o Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos (2020), a estimativa de milho primeira safra, na temporada 2019/2020, é de 4,23 milhões de hectares, 3,2% maior que a área cultivada na safra 2018/2019, influenciada pelas boas cotações atuais do cereal. A segunda safra de milho teve a semeadura acontecendo de acordo com o avanço da colheita da soja. O estado do Mato Grosso, principal produtor do País, é o mais adiantado no plantio do milho, com mais de 92% semeados até o fim de fevereiro, e expectativa de incremento de 9% na área de milho, tendo em vista a sua rentabilidade atual e as condições climáticas favoráveis ao cultivo.

No Maranhão, a área plantada apresentou acréscimo de 23,5% em relação à safra anterior, saindo de 218,6 mil hectares para 270 mil hectares na safra 2019/2020. Uma das razões desse incremento, além da janela de plantio favorável, foi a migração da área de soja para milho primeira safra ocorrida na região sul do estado. O rendimento médio estimado está previsto para atingir 4.585 kg ha⁻¹ (Acompanhamento..., 2020).

Nos últimos anos, sua produtividade tem aumentado significativamente, principalmente devido às mudanças ocorridas no manejo da cultura e à associação de fatores como condições edafoclimáticas favoráveis, uso de cultivares melhoradas, correto manejo da adubação e monitoramento da fertilidade do solo (Cruz et al., 2006).

A adubação é um dos fatores que mais contribuem para o aumento da produtividade do milho e quando realizada de forma adequada às exigências da cultura, esta tenderá a responder com o máximo de seu potencial produtivo. O nitrogênio e o potássio são os nutrientes requeridos em maior quantidade pela cultura do milho (Pinho et al., 2009; Meneses, 2014).

A ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] tem sido a fonte de nitrogênio mais utilizada pelos produtores de milho devido, principalmente, ao menor custo do fertilizante e à maior porcentagem de N ($\pm 45\%$), porém essa fonte está sujeita a maiores perdas por volatilização da amônia, de até 70% do N disponibilizado às culturas (Zavaschi, 2010). As maiores perdas por volatilização são favorecidas pela aplicação do fertilizante em cobertura, sem incorporação ao solo, e por fatores como altas temperaturas e umidade, proporcionando rápida hidrólise da ureia.

O potássio é classificado como macronutriente essencial às plantas. Entretanto alguns fatores podem diminuir sua disponibilidade, como a baixa concentração nos solos, a falta de reposição por meio de programas de adubação e o manejo inadequado das adubações, podendo levar à indisponibilidade para as plantas pelo processo de lixiviação. As perdas de potássio por lixiviação são mais expressivas em solos com baixa capacidade de troca de cátions, muito comum nos Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Distróficos (Garcia et al., 2015).

Em solos da região de cerrados do Brasil, essas perdas variam de 37% a 48% do total do aplicado. Os atributos químicos que mais afetam a lixiviação são a capacidade de troca de cátions (CTC) e o pH, e solos com alta CTC apresentam maior capacidade de adsorção dos cátions, tornando-se menos suscetíveis à lixiviação. Com o aumento do pH, a CTC do solo se eleva e, conseqüentemente, os cátions disporão de maior número de cargas para adsorção (Santos et al., 2002).

Em um estudo conduzido por Rosolem et al. (2006) referente à dinâmica de potássio no solo, verificou-se um aumento da lixiviação de K no perfil de um solo de textura média, quando foram aplicadas doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O por ano, independentemente do modo de aplicação do fertilizante.

Garcia et al. (2015), ao testarem duas fontes de potássio, uma organomineral contendo 30% de K_2O e 8% de carbono orgânico e outra o cloreto de potássio com 58% de K_2O , concluíram que a fonte organomineral lixiviou menos K, principalmente nas maiores doses aplicadas ao solo, devido aos benefícios ocasionados pela associação do adubo mineral à matéria orgânica. A fonte organomineral proporcionou menor caminhamento do potássio ao longo do perfil, dado pela menor concentração do elemento na profundidade de 20-40 cm, diminuindo o processo de lixiviação de potássio nas maiores doses estudadas.

Para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, é indispensável um bom programa de calagem e adubação. Por meio das adubações, devem-se colocar à disposição da planta as quantidades de nutrientes que ela extrai. A extração total de nutrientes pelo milho durante o processo de produção dependerá da produtividade esperada e da acumulação desses nutrientes, nas partes vegetativas e nos grãos (Broch; Ranno, 2017).

As recomendações atuais de adubação para a cultura do milho na região Meio-Norte do Brasil estão sendo baseadas em boletins técnicos, muitas vezes elaborados em outras regiões do País e até mesmo desatualizados, pois as expectativas de produtividade muitas vezes se encontram abaixo das obtidas tanto em experimentos, quanto em produções de milho mais tecnificadas. Assim, para uma recomendação de adubação adequada, é necessário o conhecimento das exigências nutricionais da planta nos diferentes ecossistemas brasileiros, para que se possa suprir a necessidade de nutrientes da cultura, melhorando também a eficiência do uso dos fertilizantes aplicados. Portanto pesquisas locais ou regionais são de grande importância, pois favorecem o uso de doses de nitrogênio e de potássio com melhor eficiência e garantem a racionalização dos custos e o aumento da produtividade das lavouras (Bastos et al., 2008).

A adubação da cultura do milho, no passado, foi uma das mais estudadas entre as diversas culturas agrícolas, existindo muitos trabalhos principalmente sobre adubações nitrogenada, potássica e fosfatada.

Entretanto trabalhos sobre as exigências nutricionais da cultura, bem como as respectivas marchas de absorção, apresentam-se já ultrapassados, uma vez que foram desenvolvidos com cultivares antigas, de baixo potencial produtivo e adaptadas, principalmente, às regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Veloso et al. (2006), em condições de irrigação, observaram que a máxima produtividade de grãos de milho no estado de São Paulo ($10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi obtida com a dose de 180 kg ha^{-1} de N. No entanto Bastos et al. (2008), em condições de cerrado, no estado do Piauí, no município de São Raimundo das Mangabeiras, PI, observaram efeito linear quando aplicadas doses crescentes de N na cultura do milho, cultivado em sistema de plantio direto, não atingindo o ponto de máximo rendimento. Em relação aos tratamentos em que o N foi parcelado em três vezes, a máxima produtividade de grãos foi de $7,74 \text{ t ha}^{-1}$, obtida com a dose de 180 kg ha^{-1} de N. Silva (2019), no estado do Pará. Em relação ao componente produtividade de grãos, também observou efeito linear com o aumento das doses de N, obtendo $10.509,81 \text{ kg ha}^{-1}$ com a dose máxima testada de 180 kg ha^{-1} de N, quando aplicados no estágio fenológico V4, não havendo efeito significativo na aplicação no estágio V8.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2005), que ao avaliarem seis diferentes épocas de aplicação de N, obtiveram uma das maiores produtividades (7.165 kg ha^{-1}) ao aplicarem todo o N no estágio de 4 a 6 folhas. No entanto Melo et al. (2011), ao testarem níveis de N e densidade de plantas de milho, utilizando o híbrido simples BRS 1001, de ciclo médio e de alto potencial de resposta ao N, no Cerrado do sul maranhense, em condições de sequeiro e em plantio direto, observaram que o máximo rendimento de grãos ($11,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi obtido com 120 kg ha^{-1} de N e densidade de 83 mil plantas ha^{-1} .

Tendo em vista que o melhoramento genético tem apresentado híbrido simples transgênicos, cada vez mais produtivo e exigente em nutrição, estudos atuais devem ser realizados a fim de contribuir para o entendimento das maiores demandas de cada ecossistema de cada região e quantidades de nutrientes exigidos pelas cultivares recentemente apresentadas ao mercado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as máximas produtividades técnicas e econômicas decorrentes da aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de potássio, utilizando-se o híbrido simples transgênico PIONER30F53VYHR de milho com alto potencial produtivo nas condições do Cerrado do leste maranhense.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de 13/02/2019 a 20/06/2019, em um talhão da fazenda Weisul Agrícola, no município de Magalhães de Almeida, MA, em área de vegetação de cerrado, latitude de 03°20'44"S, longitude de 42°17'52"W e altitude de 104 m. O clima local é quente, subúmido, excedente hídrico moderado no verão (Aw), temperatura média anual de 26 °C, precipitação anual de 1.250 mm, concentrada nos meses de fevereiro a maio (Correia Filho et al., 2011).

A precipitação pluvial total durante o ensaio foi de 799 mm, registrada em pluviômetro na área experimental, com excelente distribuição temporal (março = 235 mm, abril = 273 mm e maio = 199 mm). O solo do experimento é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso de textura média.

A caracterização inicial do solo, realizada na camada de 0-20 cm, constituiu-se de: determinação de pH em H₂O = 5,3; teores de H+Al = 4,2 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,12 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,1 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 2,4 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,9 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica = 12 g dm⁻³; fósforo (Mehlich) = 19 mg dm⁻³; CTC = 3,5 cmol_c dm⁻³; teor de areia total = 832 g ha⁻¹; teor de silte = 46 g ha⁻¹; teor de argila = 122 g ha⁻¹.

Utilizou-se um delineamento experimental em blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo fatorial 4 x 4, ou seja, quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) e quatro de potássio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O), nas formas de ureia (45% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente, com três repetições. Utilizou-se o híbrido simples transgênico PIONER30F53VYHR de milho.

Realizou-se uma adubação de fundação definida para os tratamentos com as doses de N e de K_2O ; para o fornecimento de fósforo e de zinco, foram utilizados 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 3 kg ha^{-1} de Zn nas formas de superfosfato triplo (45% de P_2O_5) e do sulfato de zinco (20% de Zn), respectivamente, constante para todos os tratamentos, aplicados no sulco de plantio juntamente com as doses de N e de K_2O , definidas pelos tratamentos na ocasião do plantio. As doses de nitrogênio e de potássio definidas como tratamentos, foram aplicadas 50% por ocasião do plantio e 50% na emissão da 6ª folha, que correspondeu a aproximadamente 30 dias após a emergência das plantas.

Quinze dias após a emergência das plantas, realizou-se o desbaste, deixando-se uma população de 80 mil plantas ha^{-1} . Cada parcela continha quatro fileiras de plantas, espaçadas de 0,5 m e comprimento de 8,0 m. As duas fileiras centrais foram consideradas como área útil ($8,0 \text{ m}^2$) para colheita de grãos e determinação dos demais componentes de produção.

Por ocasião da floração (50% das plantas com espigas e estigmas aparentes), coletaram-se na área útil 15 folhas, obtidas de 15 plantas ao acaso, em posição oposta à primeira espiga, para posterior lavagem no laboratório de bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, com água destilada e secagem em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 horas. Após essa etapa, realizou-se a moagem das folhas de cada parcela separadamente e determinaram-se os seus teores de N e K. Na mesma ocasião, foram coletadas amostras deformadas de solo em cada parcela, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 30-40 cm, para realizar análise de potássio por meio da metodologia contida em Donagema et al. (2011).

A análise de potássio nas folhas-teste foi efetuada por meio da digestão nitroperclórica e posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. O nitrogênio foi obtido pelo método Kjeldahl (Silva, 2006).

Foram medidos os parâmetros estande final de plantas, altura de plantas, altura de espiga, número de espigas, massa de espigas despalhadas, massa de grãos secos, massa de cem grãos e calculadas a produtividade de espigas despalhadas e secas e a produtividade de grãos secos (13% de umidade).

A dose econômica foi calculada igualando-se a primeira derivada da função de produção, determinada por meio da equação de regressão, à relação de preço do adubo nitrogenado pelo preço do milho (Stone; Moreira, 2001). Foram considerados os preços praticados e fornecidos pelo gerente da fazenda Weisul Agrícola Ltda., localizada em Magalhães de Almeida, MA. A ureia foi comprada em fevereiro/2019 a R\$ 1,45 kg⁻¹ e o milho, comercializado em setembro/2019 na própria fazenda, ao preço de R\$ 43,00/saca de 60 kg, que correspondeu a R\$ 0,72 kg⁻¹ de grãos.

Para as análises estatísticas dos dados obtidos na execução do experimento, utilizou-se o programa estatístico do pacote R (Team, 2017).

Resultados e Discussão

A análise de variância indicou que o teor de N nas folhas (NF), o teor de K⁺ nas folhas (KF), a produtividade de espigas despalhadas (PE) e a produtividade de grãos (PG) responderam apenas aos níveis de aplicação de N ao solo ($p < 0,001$) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (QM) do conteúdo de nitrogênio das folhas, potássio nas folhas (K⁺), produtividade de espigas despalhadas e produtividade de grãos em função dos níveis de N e de K₂O aplicados ao solo.

FV	GL	NF	KF	PE	PG
Bloco	2	3,795*	37,42*	272231*	181052*
Nitrogênio	3	15,2022***	51,866***	245055***	194395***
Potássio	3	0,7095ns	15,726ns	243892ns	115619ns
N versus K	9	2,0585ns	5,943ns	728810ns	651722ns
Resíduo	30	0,92	7,038	546348	440954
CV (%)		3,47	9,26	11,1	11,47

FV: fonte de variação; N: níveis de nitrogênio no solo; K₂O: níveis de potássio no solo; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação (%); NF: conteúdo de N nas folhas; KF: conteúdo de K⁺ nas folhas; PE: produtividade de espigas despalhadas; PG: produtividade de grãos a 13% de umidade.

Níveis de significância pelo teste F: ns=não significativo $p > 0,1$; ° $p < 0,1$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Os componentes de produção produtividade de espigas despalhadas e produtividade técnica de grãos secos foram influenciados pelas doses de nitrogênio. Ambos seguiram um modelo quadrático, $PE = 5.801 + 51,232X - 0,1747X^2$ e $PG = 5.011 + 45,644X - 0,1578X^2$, com coeficientes para N nos os dois fatores ($p < 0,001$) de $R^2 = 0,99$, com as doses de 147 kg ha^{-1} e 145 kg ha^{-1} , respectivamente. Os maiores valores, tanto de produtividade de espigas despalhadas (9.557 kg ha^{-1}) como de produtividade técnica máxima de grãos (8.311 kg ha^{-1}), são apresentados da Figura 1. O comportamento das duas curvas é muito similar, ou seja, com a aplicação das três doses de N, os percentuais de grãos nas espigas foram elevados, de 87%. O sabugo representou apenas 13%.

Com as doses de nitrogênio de 145 kg ha^{-1} e de 104 kg ha^{-1} , foram obtidos, respectivamente, os maiores rendimentos de grãos, tanto para a produtividade técnica de grãos secos a 13% de umidade (8.311 kg ha^{-1}), como para a produtividade econômica do milho (8.051 kg ha^{-1}).

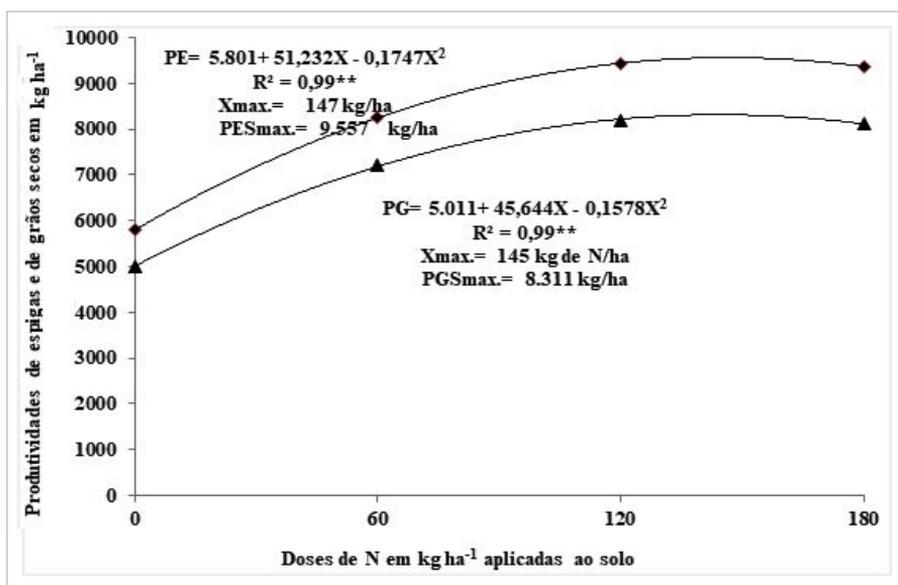


Figura 1. Produtividade de espigas despalhadas (kg ha^{-1}) e produtividade de grãos secos (kg ha^{-1}) em função das doses de nitrogênio aplicadas ao solo, Magalhães de Almeida, MA, 2019.

A dose de 145 kg ha⁻¹ de N, nas condições em que o estudo foi realizado, seria a dose técnica ideal para a planta do híbrido de milho expressar o seu máximo potencial produtivo. Maiores doses de N causaram um consumo de luxo pela planta, pois ela aumentou a concentração de N na parte aérea, atingindo o valor máximo de 28 g kg⁻¹ de massa seca de folha com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N e diminuiu à produtividade de grãos (Figura 2)

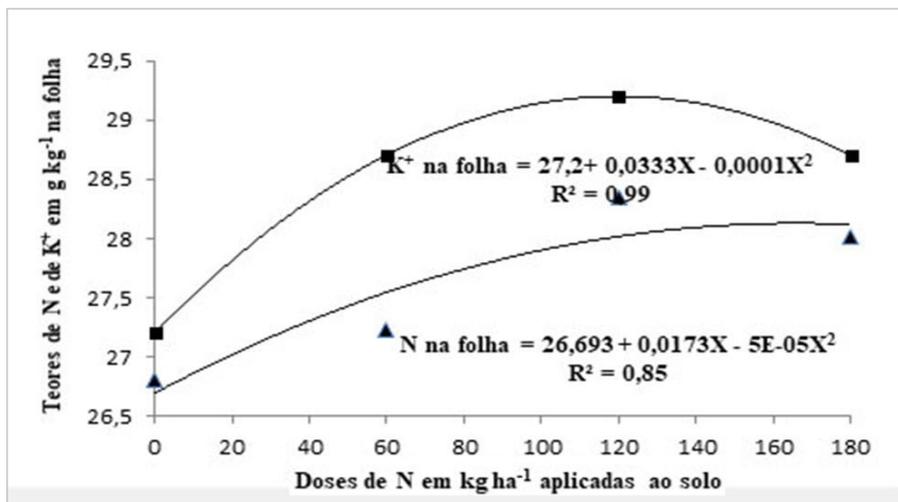


Figura 2. Teores de nitrogênio total na folha (g kg⁻¹) e de K⁺ (g kg⁻¹) em função das doses de N aplicadas ao solo, Magalhães de Almeida, MA, 2019.

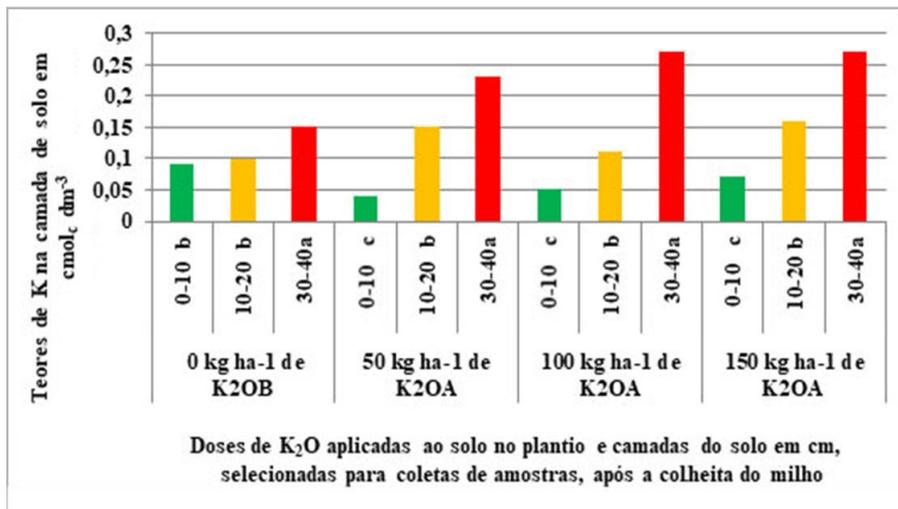
Os resultados alcançados neste trabalho foram superiores aos obtidos por Bastos et al. (2008) no Cerrado da microrregião do sudoeste piauiense e por Barros et al. (2015) em condições dos Tabuleiros Litorâneos de Sergipe. No entanto é importante ressaltar que outros autores, na região Meio-Norte do Brasil ou em outras regiões do Brasil, com clima, material genético e sistema de manejo diferente, encontraram produtividades de grãos de milho superiores e com doses de N que variaram de 120 kg ha⁻¹ a 180 kg ha⁻¹ (Veloso et al., 2006; Melo et al., 2011; Silva, 2019).

Quanto ao conteúdo de N nas folhas, o valor máximo de 28,0 g kg⁻¹ foi obtido com a aplicação de 160,0 kg ha⁻¹ de N ao solo, enquanto o conteúdo máximo de K⁺ na folha foi de 29,5 g kg⁻¹, alcançado com o nível

de 122,3 kg ha⁻¹ de N ao solo (Figura 2). Incremento quadrático do conteúdo de nitrogênio total nas folhas, com o acréscimo dos níveis de N no solo, foi observado em alguns estudos. Melo et al. (2011) encontraram valores máximos de N na folha de milho, híbrido simples BRS 1001, de 28,0 g kg⁻¹, no município de São Raimundo das Mangabeiras, MA, com a aplicação de 175,0 kg ha⁻¹ de N associada a 7,5 plantas m⁻², semelhantes aos resultados alcançados no presente estudo. Os resultados também estão de acordo com os observados por Silva et al. (2005).

Quanto ao potássio nas folhas, destaca-se que a resposta quadrática ocorreu apenas devido aos níveis de N aplicados ao solo e não aos níveis de K₂O, conforme relatado na literatura (Petter et al., 2016). Esses autores observaram incremento linear significativo na concentração de K⁺ nas folhas de milho, à medida que níveis crescentes de K₂O foram aplicados ao solo. O nível máximo de K₂O de 120,0 kg ha⁻¹ proporcionou o acúmulo de 25,4 g kg⁻¹ de K⁺ nas folhas. Essa tendência não ocorreu no presente estudo, provavelmente devido ao fato de o nível de potássio presente no solo da área experimental estar baixo em todos os tratamentos, na camada de solo explorada pelas raízes, em função da alta lixiviação desse nutriente para camadas de solo mais profundas, não permitindo a expressão dos níveis de K₂O aplicados ao solo (Figura 3).

Alguns estudos indicaram, também, não haver resposta do milho em relação à produtividade de grãos à aplicação de potássio ao solo. Bastos et al. (2005) não observaram resposta produtiva do milho, híbrido BR 3123, ao avaliarem a aplicação de cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e de K₂O (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) em solo classificado como Latossolo Amarelo *Álico*, de textura arenosa a média. Segundo Melo et al. (1998), efeitos positivos da adubação potássica em milho têm sido verificados em solos arenosos e naqueles com teor de K⁺ inferior a 0,23 cmol_c dm⁻³, na camada de 0-0,2 m. Nessas condições, doses de até 60 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionam as melhores respostas. O solo da área apresenta teor de K⁺ no solo de 0,12 cmol_c dm⁻³ na camada de 0-0,2 m, discordando das informações obtidas por Melo et al. (1998).



Letras minúsculas iguais nas colunas verticais superiores (entre profundidades) não diferem estatisticamente entre si ($p>0,1$); letras maiúsculas iguais na linha inferior (entre tratamentos) não diferem estatisticamente entre si também ($p>0,1$).

Figura 3. Teores de potássio em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nas três profundidades do perfil do solo, em cada tratamento, Magalhães de Almeida, MA, 2019.

Verificou-se que ocorreu elevada lixiviação do potássio (Figura 3) das camadas de solo superficiais para a subsuperficial, até mesmo onde não foi aplicado o potássio (testemunha). Necessita-se de estudos envolvendo novas fontes de potássio, como a utilização de fontes de potássio mineral e organomineral e/ou parcelamento da adubação com esse nutriente para minimizar as perdas.

Observou-se que o potássio aplicado, tanto no sulco de plantio quanto na cobertura, migrou significativamente ($p<0,1$) para a camada de solo mais profunda, saindo de $0,10 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a $0,15 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na camada de solo de 10-20 cm para $0,25 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na camada de solo de 30-40 cm, em todos os tratamentos que

receberam potássio, até mesmo na testemunha que havia recebido potássica em adubações, em cultivos antecedentes ao presente estudo, ficando o elemento fora do alcance da maior concentração do sistema radicular do milho, que se concentra entre 0-20 cm no perfil do solo (Figura 3).

As perdas de potássio por lixiviação são mais expressivas em solos com baixa capacidade de troca de cátions, muito comum nos Latossolos Distróficos (Garcia et al., 2015), como é o caso em estudo, levando à ausência de respostas da adubação com o nutriente na produtividade de grãos das principais culturas nessa condição de solo.

Os resultados encontrados no trabalho corroboram os obtidos por Rosolem et al. (2006), referentes à dinâmica de potássio no solo. Verificou-se um aumento da lixiviação de K no perfil de um solo de textura média, quando foram aplicadas doses de potássio, principalmente quando superiores a 80 kg ha⁻¹ de K₂O por ano, independentemente do modo de aplicação do fertilizante.

Os demais atributos, como estande final, altura de plantas, altura de inserção de espigas, número de espigas e massa de cem grãos, não foram influenciados pelos tratamentos ($p > 0,05$), ficando o estande final médio com 62 plantas, a altura média de plantas de 202 cm, a altura média de inserção de espigas de 95 cm, o número médio de espigas de 59 e a massa média de cem grãos de 31 g. Os resultados obtidos dos atributos situam-se na faixa de valores considerados característicos do híbrido avaliado, quando cultivado em condições ideais, ou seja, sem deficiência de nutrientes e água no solo.

Conclusões

1. Com as doses de nitrogênio de 145 kg ha^{-1} e de 104 kg ha^{-1} , são obtidos, respectivamente, os maiores rendimentos de grãos, tanto para produtividade técnica (8.311 kg ha^{-1}), como para produtividade econômica de grãos secos de milho (8.051 kg ha^{-1}).
2. O componente de produção que influencia a produtividade de grãos de milho é a produtividade de espigas.
3. O potássio aplicado aos tratamentos lixivia nas camadas de solo mais profundas de 30-40 cm, levando à ausência de resposta ao potássio na produtividade de grãos de milho.

Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2019/20: sétimo levantamento, v. 7, n. 7, p. 1-66, abr. 2020.
- BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. de. **Emergy evaluation of tillage systems in maize production in the Agreste of Sergipe State**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 36 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 95).
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 275-280, abr./jun. 2008.
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Produtividade de grãos de milho sob diferentes doses de nitrogênio e potássio em solos de cerrado do sudoeste piauiense**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. 17 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 59).
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 523 p.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho. In: **TECNOLOGIA e produção: soja e milho: 2011 - 2012**. Maracaju: Fundação-MS, 2017. Cap. 12, p. 240-252.
- CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão**:

relatório diagnóstico do município de Magalhães de Almeida. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 27, n. 233, p. 42-53, jul./ago. 2006.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

GARCIA, J. C.; BONETI, J. E. B.; AZANIA, C. A. M.; BELUCI, L. R.; VITORINO, R. Fonte de adubação potássica na lixiviação de potássio em Neossolo Quartzarênico. **Revista Eletrônica Thesis**, ano 12, n. 24, p. 76-89, 2. sem. 2015.

MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Nutrição e adubação. In: CARDOSO, M. J. (org.). **A cultura do milho no Piauí**. 2. ed. rev. e atual. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1998. p. 46-67. (EMBRAPA-CPAMN. Circular técnica, 12).

MELO, F. de B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 27-31, jan./mar. 2011.

MENESES, N. B. **Marcha de acúmulo de matéria-seca e de nutrientes pelo milho superdoce**. 2014. 53 f. Tese (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M.; MONTEIRO, M. M. S. de; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 372-382, 2016.

PINHO, R. G. von; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P. dos; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milheto e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, jun. 2006.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 12-16, jan./abr. 2002.

SILVA, D. J. Determinação do nitrogênio total e da proteína bruta. In: SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 57-75.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINE, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 353-362, jun. 2005.

SILVA, M. E. de C. **Efeito do uso de doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio nos componentes de produtividade do milho**. 2019. 28 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 473-481, mar. 2001.

TEAM, R. C. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: The R Foundation, 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 dez. 2018.

VELOSO, M. E. da C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, J. H.; SILVA, E. C. da; SOUSA, V. F. de. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 382-394, 2006.

VIDAL, M. V. S. **Inovação na agricultura brasileira: a contribuição da Embrapa na conquista do cerrado pela soja**. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Embrapa

Meio-Norte

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
REPÚBLICA FEDERAL