



ARTIGO ORIGINAL

João Victor Silva Bernardes¹
Valdeci Orioli Júnior^{1*}

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba, Rua João Batista Ribeiro, 4000, CEP: 38.064-790, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

* **Autor correspondente:**
E-mail: valdeci@iftm.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Zea mays
Adubação nitrogenada
Antecipação da adubação

KEYWORDS

Zea mays
Nitrogen fertilization
Pre-sowing fertilization

Estratégias de aplicação e doses de nitrogênio para o milho cultivado em solo argiloso

Application strategies and nitrogen rates for maize grown in clay soil

RESUMO: O aproveitamento do N pelo milho é dependente da dose e época em que o nutriente é fornecido à cultura. Assim, objetivou-se avaliar aspectos morfológicos e produtivos do milho cultivado em Latossolo Vermelho muito argiloso em função de doses de N e estratégias de aplicação do nutriente. O experimento foi realizado em condições de campo no município de Iraí de Minas - MG. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial $5 \times 2 + 1$, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) associadas à duas épocas de aplicação (pré-semeadura e cobertura) e um tratamento adicional referente à adubação adotada pela propriedade rural. A aplicação em pré-semeadura foi realizada 15 dias antes da semeadura e a de cobertura quando as plantas apresentavam 4 - 5 folhas completamente expandidas. A adubação adotada na propriedade consistia na aplicação de 35 kg ha⁻¹ de N, 139 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O na semeadura e duas aplicações de 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura, sendo que a primeira foi realizada 17 dias após a emergência das plantas e a segunda 10 dias após a primeira aplicação. A ureia foi utilizada como fonte de N. Concluiu-se que a aplicação de N em pré-semeadura mostrou-se viável nas condições edafoclimáticas consideradas. A dose de 200 kg ha⁻¹ de N proporcionou a maior produtividade da cultura.

ABSTRACT: Nitrogen utilization by maize is dependent on the rate and time at the nutrient is supplied. The objective of this study was to evaluate the maize morphological and productive aspects in a clayey Oxisol. The experiment was carried out under field conditions in the Iraí de Minas - MG in irrigated area. A randomized complete block design was used in a $5 \times 2 + 1$ factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of five N rates (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) associated with two application times (pre-sowing and sidedressing) and an additional treatment referring to the fertilization adopted by the farm. The pre-sowing application was performed 15 days before sowing and the sidedressing when the plants had 4 - 5 fully expanded leaves. The farm fertilization consists of the 35 kg ha⁻¹ of N, 139 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and 70 kg ha⁻¹ of K₂O at sowing and two applications of 50 kg ha⁻¹ of N in sidedressing, the first was performed 17 days after the plants emergence and the second 10 days after the first application. Urea was used as the source of N. It was concluded that the N application in pre-sowing was efficient under the edaphoclimatic conditions considered. The N rate of 200 kg ha⁻¹ provided the highest crop yield.

Recebido em: 23/05/2020
Aceite em: 01/11/2020

1 Introdução

O N é considerado o elemento exigido em maior quantidade e aquele que, normalmente, mais limita a produção de grãos na cultura do milho (Galindo et al., 2016). A sua disponibilidade às plantas é regulada por diversos processos (imobilização, mineralização, lixiviação, volatilização e desnitrificação) e, conseqüentemente, é muito variável em função de características edafoclimáticas e de práticas de cultivo (Cantarella, 2007). Em razão disto, o manejo da adubação nitrogenada é considerado como uma das práticas mais importantes para se obter produtividades satisfatórias de milho.

A estratégia de aplicação é um dos fatores associados ao manejo da adubação nitrogenada que pode influenciar o aproveitamento de N pela cultura, e por isso, normalmente, nas recomendações de adubação nitrogenada, sugere-se parcelar a dose e fornecer o nutriente o mais próximo possível do estágio fenológico de maior demanda pelas plantas, com o intuito de reduzir ao máximo as perdas de N, especialmente por lixiviação (Cantarella, 2007).

No entanto, a aplicação de todo o N em pré-semeadura pode ser uma boa alternativa para otimizar a utilização de máquinas nas propriedades rurais. Pode também reduzir o custo operacional da produção e aumentar a lucratividade da atividade, se comparada à estratégia de aplicação do nutriente em duas adubações de cobertura (Kaneko et al., 2010b). Além disso, o fornecimento de N, por meio dessa modalidade, pode proporcionar uma maior disponibilidade do elemento às plantas nos estádios iniciais de seu desenvolvimento (Ros et al., 2003), o que pode ser importante para um rápido crescimento inicial e definição de potencial produtivo (Ritchie et al., 1993; Fancelli & Dourado Neto, 1996).

A eficiência da adubação nitrogenada em pré-semeadura está, aparentemente, relacionada à textura do solo e ao regime hídrico da época de cultivo. Alguns autores relatam que a produtividade do milho não foi influenciada pelas épocas de realização da adubação nitrogenada (Kaneko et al., 2010a; Souza et al., 2011; Coutinho Neto et al., 2013; Rocha et al., 2014; Oliveira et al., 2018). Esses trabalhos têm em comum o alto teor de argila do solo e a ocorrência de precipitação considerada típica durante o período experimental, ou seja, que apresenta valor próximo à precipitação histórica.

Todavia, em condições de elevada precipitação, mesmo em solo argiloso ou muito argiloso, outros autores verificaram que a aplicação de N em pré-semeadura proporcionou menor produtividade de grãos da cultura do milho do que a adubação parcelada (Pöttker & Wiethölter, 2004; Silva et al., 2005; Meira et al., 2009).

Estes resultados contrastantes evidenciam que as recomendações de adubação não podem ser generalizadas e, ainda, que há necessidade de se aferir a eficiência da aplicação de N em pré-semeadura em cada

condição edafoclimática. Assim, objetivou-se avaliar estratégias de aplicação e doses de N para milho cultivado em solo argiloso.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em condições de campo na Fazenda Nova Querência localizada no município de Iraí de Minas – MG (latitude 18°59'25,01" Sul e longitude 47°25'02,58" Oeste a uma altitude de 1025 m), em solo classificado como Latossolo Vermelho muito argiloso (EMBRAPA, 2013). Os atributos químicos e a granulometria do solo são apresentados na Tabela 1. As análises foram realizadas de acordo com Raji et al. (2001) e Embrapa (2011), respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m de profundidade.

Table 1. Chemical attributes and granulometry of the soil in the 0 to 0.20 m and 0.20 to 0.40 m depth layers.

Camada	pH (CaCl ₂)	MO	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	Al	V
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----						%
0,00 – 0,20	4,6	25	31,8	1,4	16	8	52	77,4	1,0	33
0,20 – 0,40	4,4	17	4,6	0,9	8	3	42	53,9	1,0	22
Camada	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila		
m	----- mg dm ⁻³ -----					----- g kg ⁻¹ -----				
0,00 – 0,20	0,25	1,9	13	0,5	2,8	72	195	733		
0,20 – 0,40	0,22	1,2	12	0,2	0,4	57	128	815		

O clima da região é do tipo Cwa, ou seja, tropical de altitude (Beck et al., 2018). A precipitação média anual é de 1.539 mm, ficando as chuvas concentradas no período de setembro a março, e a temperatura média do ar é de 22,8 °C. Os dados diários de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar verificados durante a condução do experimento estão expostos na Figura 1.

No ano anterior à condução do experimento a área foi cultivada, em semeadura direta, com milho no verão e feijão no inverno. Antes do estabelecimento destas culturas, porém, o solo foi revolvido para o cultivo de batata.

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5 + 1, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na associação de doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e estratégias de aplicação do nutriente (pré-semeadura e cobertura), além de um tratamento adicional referente ao manejo da adubação adotado na propriedade rural. As doses escolhidas situam-se abaixo e acima do recomendado para a máxima produtividade de milho em uma situação de alta resposta à adubação nitrogenada (Raji & Cantarella, 1997).

A adubação em pré-semeadura foi realizada quinze dias antes da semeadura do milho e a de cobertura quando as plantas apresentavam 4 - 5 folhas completamente expandidas. A fonte de N utilizada foi à ureia e ambas as

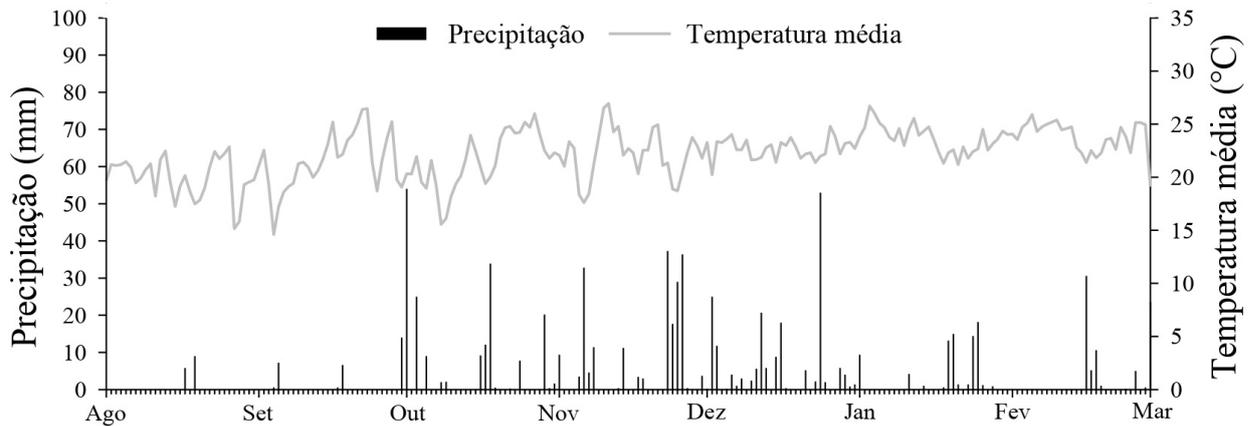


Figura 1. Dados diários de precipitação e temperatura média do ar durante o período experimental.

Figure 1. Daily data of precipitation and average air temperature during the experimental period.

aplicações foram realizadas a lanço em área total. Logo após cada adubação nitrogenada aplicou-se uma lâmina de 15 mm de água por aspersão via sistema pivô central para evitar as perdas de N na forma NH_3 .

Exceto nas parcelas do tratamento adicional, no mesmo momento da adubação nitrogenada em pré-semeadura foram aplicados 120 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio, também a lanço e em área total. Ainda, por ocasião da semeadura do milho, aplicaram-se no sulco, 23 kg ha^{-1} de N, 91 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 46 kg ha^{-1} de K_2O , por meio da formulação 6-24-12.

Nas parcelas correspondentes ao tratamento adicional foram aplicados, por ocasião da semeadura, 35 kg ha^{-1} de N, 139 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 70 kg ha^{-1} de K_2O , tendo-se como fonte a fórmula 6-24-12. Aplicaram-se, ainda, utilizando-se a ureia como fonte do nutriente, 50 kg ha^{-1} de N aos 17 dias após a emergência das plantas e 50 kg ha^{-1} de N dez dias após a primeira adubação nitrogenada de cobertura.

A semeadura foi realizada no dia 20 de agosto de 2013, utilizando-se o híbrido de milho P30F53 HX na população de 72.000 plantas por hectare e espaçamento entre linhas de 0,50 m. As parcelas possuíam seis linhas de milho com 6 m de comprimento cada. A área útil de cada parcela foi constituída das quatro linhas centrais, desprezando-se 0,50 m no início e no final da parcela.

O controle de pragas e doenças foi realizado por meio de duas aplicações de piraclostrobina + epoxiconazol ($99,75 + 37,50 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a.), carbendazim (205 g ha^{-1} do i.a.), mancozebe (2.000 g ha^{-1} do i.a.) e clorpirifós (288 g ha^{-1} do i.a.).

Por ocasião do florescimento feminino (estádio R1) foi avaliado o diâmetro do colmo, medindo-se o terço médio do segundo entrenó acima da superfície do solo de 10 plantas da área útil de cada parcela. Ainda nesse estágio, plantas de 2 m de linha de cada parcela (7 plantas) foram cortadas a 0,10 m da superfície do solo e pesadas imediatamente para a obtenção da massa fresca da parte aérea. Além disso, cinco plantas foram coletadas aleatoriamente em toda a área experimental para a determinação de sua umidade. Assim, pôde-se realizar a

estimativa da massa seca da parte aérea.

Após a pesagem, as plantas coletadas em cada parcela foram trituradas e uma subamostra de 700 g do material fragmentado foi coletada. Estas subamostras foram secas em estufa a 65°C , moídas, preparadas e analisadas para determinação da concentração de N, conforme método descrito por Bataglia et al. (1983). O acúmulo de N foi obtido multiplicando-se o teor de N na planta (em g kg^{-1}) pela produção individual de massa seca na parte aérea e foi expresso em mg planta^{-1} .

Pouco antes da colheita, as espigas de 10 plantas da área útil de cada parcela foram amostradas para a determinação do diâmetro e comprimento da espiga, número de fileiras e de grãos por espiga e massa de 1.000 grãos. Para esta última avaliação, os grãos das 10 espigas coletadas foram misturados e, posteriormente, três amostras foram contadas e pesadas. A massa de grãos por espiga foi estimada por meio do número de grãos por espiga e massa de 1.000 grãos. A produtividade de grãos foi determinada pela colheita das espigas de três linhas de cada parcela. Após a colheita as espigas foram debulhadas em trilhadora estacionária. Em todas as avaliações em que os grãos foram pesados, os dados foram padronizados para a umidade de 130 g kg^{-1} .

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($\alpha = 0,05$) e, quando constatadas diferenças significativas, à análise de regressão para as doses de N e teste de comparação de médias (Tukey) para as estratégias de aplicação.

3 Resultados e Discussão

A interação entre as doses de N e estratégias de aplicação do nutriente não foi significativa para nenhuma variável. Portanto, as respostas a cada causa de variação são apresentadas e discutidas separadamente.

Verificou-se incremento linear no teor e na quantidade acumulada de N na parte aérea das plantas de milho à medida que se aumentou a dose de N, independentemente das estratégias de aplicação (Figura 2, A.1 e B.1).

Plantas que receberam 200 kg ha^{-1} de N apresentavam

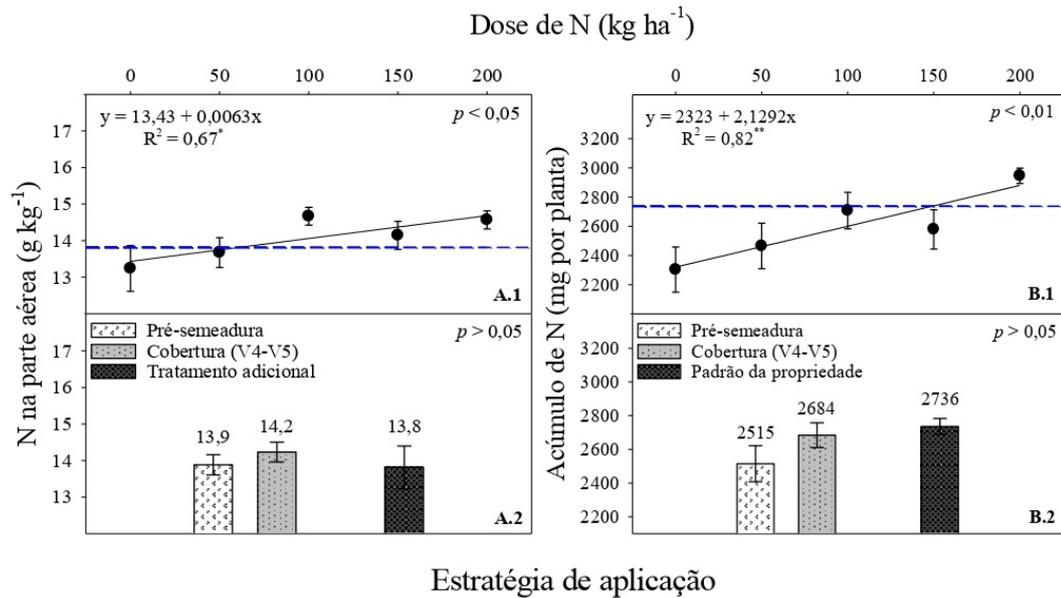


Figura 2. Teor e acúmulo de N na parte aérea de plantas de milho no florescimento (R1) em função das estratégias de aplicação e doses de N. A linha tracejada azul refere-se à média do tratamento adicional. Barras de erro significam \pm erro padrão da média, $n = 8$ para doses de N, $n = 20$ para estratégias de aplicação (pré-semeadura e cobertura) e $n = 4$ para tratamento adicional.

Figure 2. Nitrogen content and accumulation in the shoots at flowering of maize (R1), according to the application strategy and rates of N. The blue dashed line is the mean of the additional treatment. Error bars mean \pm standard error of the mean, $n = 8$ for N rates, $n = 20$ for application strategies (pre-sowing and sidedressing) and $n = 4$ for additional treatment.

teor de $14,7 \text{ g kg}^{-1}$ e acúmulo de 2749 mg de N por planta. Esses valores são, respectivamente, $9,5$ e $18,3\%$ superiores aos observados nas plantas que não receberam N em cobertura. Para cada 1 kg ha^{-1} de N aplicado verificou-se aumento de $0,0063 \text{ g kg}^{-1}$ no teor do nutriente e acúmulo de $2,13 \text{ mg}$ de N por planta. As estratégias de aplicação não diferiram entre si e também não se observou diferenças significativas entre o tratamento adicional e a média dos demais tratamentos para estas variáveis.

As estratégias de aplicação de nitrogênio não influenciaram o diâmetro do colmo das plantas de milho (Figura 3, A.2). Todavia, houve incremento linear para esta variável em função do aumento das doses de N, independentemente de o nutriente ser fornecido em pré-semeadura ou cobertura (Figura 3, A.1). Resultados semelhantes foram obtidos para a produção de massa seca da parte aérea (Figura 3, B.1 e B.2).

Pelas equações dos modelos matemáticos ajustados aos dados verifica-se que houve um aumento de $0,0092 \text{ mm}$ no diâmetro de colmo para cada 1 kg ha^{-1} de N aplicado. Já para a produção de massa seca da parte aérea, cada quilograma de N aplicado por hectare promoveu incremento de $8,65 \text{ kg ha}^{-1}$ de massa seca (Figura 3). Plantas que receberam a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N apresentaram diâmetro de colmo e massa seca da parte aérea $7,7$ e $13,9\%$ maior que as plantas não adubadas com N, respectivamente. Não houve diferenças significativas entre o tratamento adicional e a média das demais causas de variação.

Plantas de milho são bastante sujeitas ao acamamento, uma vez que a planta é relativamente alta e a espiga, no final do ciclo, representa quase a metade da massa seca total da parte aérea (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Assim, o manejo adequado da cultura deve incluir o estabelecimento de doses de N que permitam o desenvolvimento de colmos resistentes. A adubação nitrogenada frequentemente promove incrementos na produção de massa seca, como observado neste estudo e, caso este aumento de produção não seja acompanhado de incrementos no diâmetro e resistência do colmo, pode ocorrer acamamento das plantas, sobretudo em regiões com grande ocorrência de ventos fortes. Neste experimento não houve acamamento de plantas, independentemente do tratamento, o que provavelmente deve-se ao incremento concomitante de massa seca da parte aérea e diâmetro de colmos.

O aumento do diâmetro de colmo também constitui fator importante do ponto de vista fisiológico, pois, além da função de sustentação de folhas e inflorescências, atua como estrutura de reserva de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos. Por este motivo, normalmente, o diâmetro do colmo apresenta correlação positiva com a produtividade (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

O comprimento da espiga não foi influenciado pelas estratégias de aplicação (Figura 4 A2). Entretanto, as doses de N promoveram aumento no comprimento de espiga até a dose de $141,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e, em doses superiores, redução no valor dessa variável (Figura 4

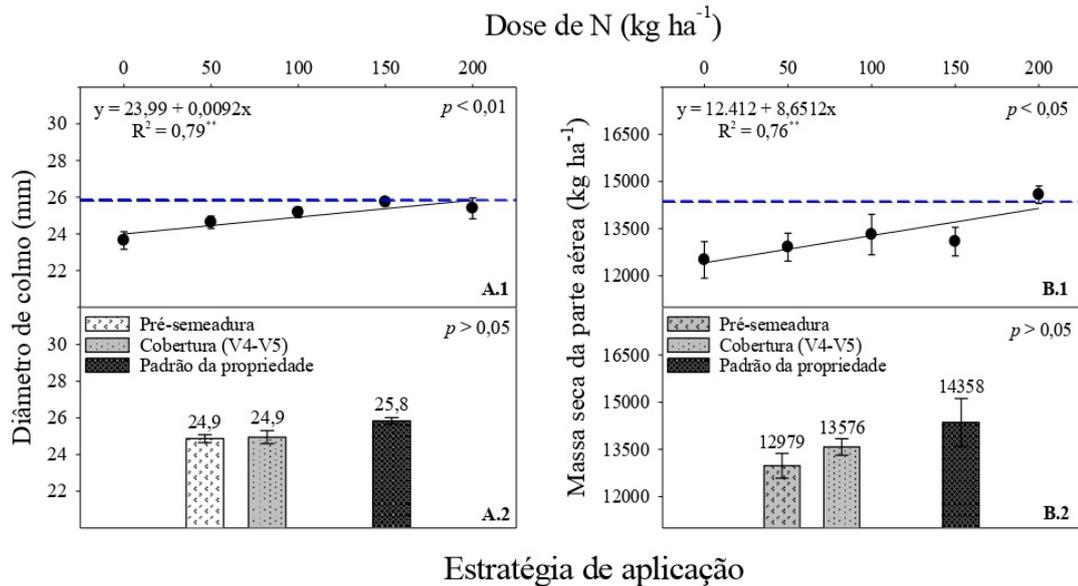


Figura 3. Diâmetro de colmo e massa seca da parte aérea de plantas de milho em função da estratégia de aplicação e doses de N. A linha tracejada azul refere-se à média do tratamento adicional. Barras de erro significam \pm erro padrão da média, $n = 8$ para doses de N, $n = 20$ para estratégias de aplicação (pré-semeadura e cobertura) e $n = 4$ para tratamento adicional.

Figure 3. Stem diameter and shoot dry matter of maize, according to the application strategy and rates of N. The blue dashed line is the mean of the additional treatment. Error bars mean \pm standard error of the mean, $n = 8$ for N rates, $n = 20$ for application strategies (pre-sowing and sidedressing) and $n = 4$ for additional treatment.

A.1). O aumento nesta variável em função do fornecimento de N deve-se ao fato deste elemento ser necessário para as principais reações bioquímicas das plantas, por fazer parte de vários compostos como aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila (Hawkesford et al., 2012). Todavia, doses elevadas de N podem favorecer o crescimento vegetativo da planta em detrimento das estruturas reprodutivas (Prado, 2008), o que provavelmente explica a redução no comprimento da espiga observado neste estudo quando doses superiores a 141,3 kg ha⁻¹ de N foram aplicadas.

O comprimento da espiga é um dos caracteres que pode interferir diretamente no número de grãos por espiga e, conseqüentemente, na massa de grãos por espiga e produtividade do milho (Kappes et al., 2009). Neste estudo, não foram notados efeitos dos tratamentos no número de fileiras (Figura 4, B1 e B2), na massa de 1000 grãos (Figura 4, C1 e C2) e no número de grãos por espiga (Figura 4, D1 e D2). No entanto, ao se considerar estas duas últimas variáveis conjuntamente para a estimativa da massa de grãos por espiga, verificou-se que as doses de N influenciaram esta variável, independentemente da estratégia de aplicação do nutriente (Figura 4, E1 e E2). Houve incremento de 0,097 g a cada 1 kg ha⁻¹ de N aplicado e a aplicação de 200 kg ha⁻¹ proporcionou massa de grãos 10,5% superior à observada nas plantas que não receberam N (184,7 g por espiga).

Ainda na Figura 4, é possível observar que obteve-se no tratamento adicional comprimento (A.2), número de fileiras (B.2), número de grãos (D.2) e massa de grãos (E.2) das espigas, assim como massa de 1.000 grãos (C.2),

semelhantes à média dos demais tratamentos.

As doses de N também influenciaram positivamente a produção de grãos de milho, independentemente da estratégia de aplicação. A aplicação de N em pré-semeadura ou cobertura não diferiram entre si (Figura 4, F.1 e F.2). Os incrementos foram lineares em função do aumento das doses de N e a cada 1 kg ha⁻¹ de N aplicado observou-se 6,60 kg ha⁻¹ de ganho na produção de grãos da cultura. Ao se comparar a produtividade obtida nas parcelas que não receberam N com àquelas verificadas quando se aplicou a maior dose do nutriente (200 kg ha⁻¹ de N) nota-se que a adubação nitrogenada proporcionou aumento de 11,5% na produtividade. Assim como para as outras variáveis, a produtividade de grãos obtida no tratamento adicional foi semelhante à média das demais causas de variação (Figura 4, F.2).

A eficiência do fornecimento de N em pré-semeadura é dependente das condições edafoclimáticas do local de cultivo. Em trabalhos onde se encontram resultados semelhantes entre a aplicação de N em pré-semeadura e o manejo convencional (Kaneko, et al., 2010; Souza et al., 2011; Coutinho Neto et al., 2013; Rocha et al., 2014; Oliveira et al., 2018), bem como no presente estudo, as condições são de solos de textura argilosa ou muito argilosa e regime hídrico típico. Nessas condições, a perda de N por lixiviação pode ser considerada pouco expressiva (Cantarella, 2007; Rosolem et al., 2017). Sendo assim, mesmo que fornecido antes da semeadura, a quantidade de N disponível, no momento de maior demanda pelas plantas, poderá não ser fator limitante à produção de grãos da cultura.

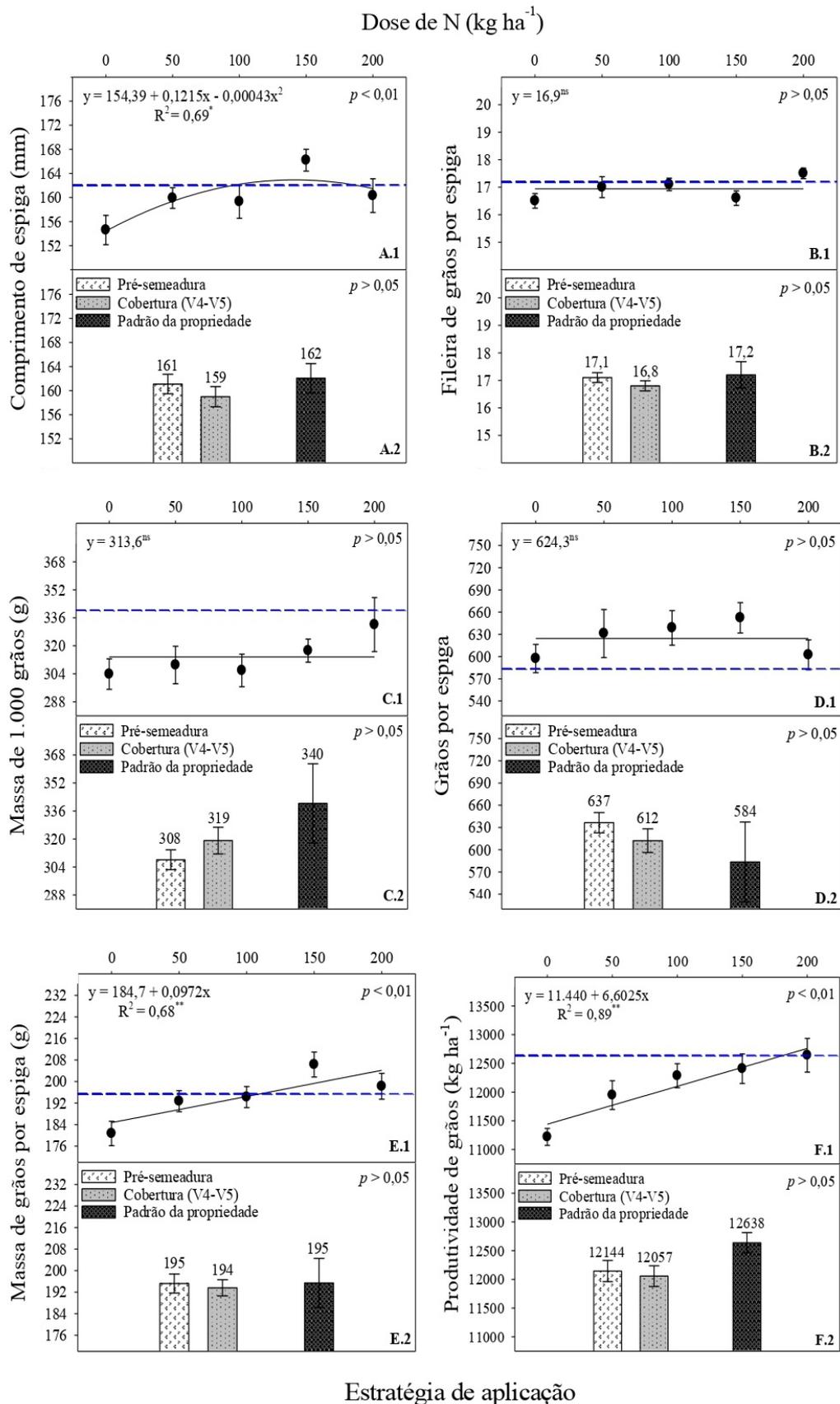


Figura 4. Comprimento da espiga, fileiras de grão por espiga, massa de 1.000 grãos, número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e produtividade de grãos em função da estratégia de aplicação e doses de N. A linha tracejada azul refere-se à média do tratamento adicional. Barras de erro significam \pm erro padrão da média, $n = 8$ para doses de N, $n = 20$ para estratégias de aplicação (pré-semeadura e cobertura) e $n = 4$ para tratamento adicional.

Figure 4. Ear length, rows of grain per ear, mass of 1.000 grains, number of grains per ear, grain per ear and grain yield, according to the application strategy and rates of N. The blue dashed line is the mean of the additional treatment. Error bars mean \pm standard error of the mean, $n = 8$ for N rates, $n = 20$ for application strategies (pre-sowing and sidedressing) and $n = 4$ for additional treatment.

Em Argissolo Vermelho distrófico arênico (textura franco-arenosa no horizonte A e franco-argilosa no horizonte B), foi observado que a eficiência entre as modalidades de aplicação (pré-semeadura e cobertura) foi semelhante, exceto em ano de El Niño (Basso & Ceretta, 2000). Porém, Wolschick et al. (2003), trabalhando em solo semelhante ao do estudo anterior, reportam que mesmo com precipitações excessivas (período de El Niño), a adubação nitrogenada em pré-semeadura foi eficiente para fornecimento de 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

A aplicação antecipada de toda a dose de N a lanço pode também ser economicamente viável. No cultivo de milho em solo argiloso sob plantio direto, Kaneko et al. (2010a, b) observaram que a produtividade de grãos de milho foi semelhante, independentemente da estratégia de aplicação de N. Entretanto, o lucro operacional e o índice de lucratividade foram, respectivamente, 71 e 74% superiores ao se adotar a aplicação de toda a dose do nutriente, a lanço, logo após a semeadura em relação ao obtido com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e duas aplicações de 45 kg ha⁻¹ de N em cobertura, manejo semelhante ao tratamento adicional deste estudo.

Em alguns casos, porém, mesmo em solos argilosos, quando há precipitações excessivas, a aplicação antecipada de N pode ser menos eficiente que a parcelada (Pöttker & Wiethölter, 2004; Silva et al., 2005; Meira et al., 2009). Assim, devido à dificuldade na previsão de acontecimentos climáticos atípicos, essa estratégia de aplicação não deve ser adotada de forma generalizada, mesmo quando em outras regiões a eficiência foi satisfatória.

4 Conclusão

A aplicação de N em pré-semeadura foi eficiente e pode ser recomendada para cultivo de milho em condições edafoclimáticas semelhantes à deste experimento.

A dose de 200 kg ha⁻¹ de N, independentemente da estratégia de aplicação, proporcionou a maior produtividade de grãos de milho (12761 kg ha⁻¹).

Referências

- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 905-915, 2000. DOI: 10.1590/S0100-06832000000400022.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BECK, H.E.; ZIMMERMANN, N.E.; McVICAR, T.R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E.F. Present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Science Data**, v. 5, p. 1–12, 2018. DOI: 10.1038/sdata.2018.214.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; de BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- COUTINHO NETO, A. M.; COUTINHO, E. L. M.; ORIOLI JÚNIOR, V.; CORÁ, J. E.; SILVA, A. R. B.; SCATOLIN, M. Nitrogen fertilization management in no-tillage maize with different winter crops. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1981-1988, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. 2011. 230p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água. **Informações Agrônomicas**, v. 73, p. 1-4, 1996.
- HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I.S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Eds.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. San Diego: Academic Press, 2012. p.135-189.
- KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; CHIODEROLI, C. A.; KAPPES, C. Manejo do solo e do nitrogênio em milho cultivado em espaçamentos reduzido e tradicional. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 677-686, 2010a. DOI: doi.org/10.1590/S0006-87052010000300020.
- KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; TARSITANO, M. A. A.; RAPASSI, R. M. A.; VILELA, R. G. Custo e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 1, p. 102-109, 2010b. DOI: 10.5216/pat.v40i1.6888
- KAPPES, C. CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.
- MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.
- PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema

plântio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, 2004. DOI: 10.1590/S0103-84782004000400007.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 263-273. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 21p. (Special Report, 48).

ROCHA, K. F.; CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; ARRUDA, J. H.; MINATO, E. A.; FAVERSANI, J. C. Época de aplicação de nitrogênio na cultura do milho num latossolo vermelho muito argiloso sob plântio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 273-284, 2014. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v13n3p273-284

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 plântio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 799-804, 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000500002.

ROSOLEM, C. A.; RITZ, K.; CANTARELLA, H.; GALDOS, M. V.; HAWKESFORD, M. J.; WHALLEY, W. R.; MOONEY, S. J. Enhanced plant rooting and crop system management for improved N use efficiency. **Advances in Agronomy**, v. 146, p. 205-239, 2017. DOI: 10.1016/bs.agron.2017.07.002

SILVA, E. C.; FERREIRA, S. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; GUIMARÃES, G. L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plântio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000500008.

SOUZA, J. A.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E.; A. R. F. O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plântio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011. DOI: 10.1590/S0006-87052011000200028.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; JADOSKI, S. O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plântio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “El niño”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 461-468, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000300008.

Contribuição dos autores: João Victor Silva Bernardes: Curadoria de dados, Análise formal, Redação - esboço original; Valdeci Orioli Júnior: Conceituação, Metodologia, Investigação, Curadoria de dados, Análise formal, Administração de projeto, Recursos, Supervisão, Redação - esboço original.

Agradecimentos: Ao Engenheiro Agrônomo Germano Hollmann pelo auxílio na condução do experimento, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) pelo suporte financeiro.

Fontes de financiamento: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM).

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Editora de seção: Edna Santos de Souza