



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇUÍ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

JOÃO CARLOS CARVALHO DOS SANTOS

**PRODUTIVIDADE DO SORGO GRANÍFERO DE SEGUNDA SAFRA SOB
DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E MICRONUTRIENTES FOLIARES
NO CERRADO PIAUIENSE**

URUÇUÍ
2026

JOÃO CARLOS CARVALHO DOS SANTOS

PRODUTIVIDADE DO SORGO GRANÍFERO DE SEGUNDA SAFRA SOB
DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E MICRONUTRIENTES FOLIARES
NO CERRADO PIAUIENSE

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Uruçuí.

Orientador(a): Prof. Dr. Wallace de Sousa Leite.

URUÇUÍ

2026

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma cultura de grande importância para a segurança alimentar e a economia agrícola, especialmente em regiões tropicais e semiáridas. No Cerrado piauiense, a busca por maximizar a produtividade e a eficiência dos insumos é constante. Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação entre doses de nitrogênio (N) em cobertura e a aplicação foliar de um complexo de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) na produtividade e eficiência do uso de N em sorgo granífero de segunda safra. O experimento foi conduzido na Fazenda Ipê, em Baixa Grande do Ribeiro - PI, utilizando o híbrido 1G233. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 3x5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três doses de N (0, 45 e 90 kg ha⁻¹) e cinco doses foliares do complexo SeedDry + Ni (0, 30, 60, 90 e 120 g ha⁻¹ de Mo). Foram avaliadas variáveis de crescimento, componentes de rendimento e produtividade de grãos. Os resultados indicaram que a aplicação de N e do complexo de micronutrientes influenciou significativamente, o peso e a produtividade. Os maiores pesos e produtividade foram observados nos tratamentos com 45 kg ha⁻¹ de N combinados com as doses mais elevadas do complexo SeedDry + Ni, sugerindo uma interação sinérgica entre esses nutrientes. A otimização da nutrição nitrogenada, catalisada pela presença de Mo, Co e Ni, mostrou-se crucial para a maximização do rendimento do sorgo, evidenciando a importância da adubação foliar desses micronutrientes para a eficiência do uso de N e a sustentabilidade da produção no Cerrado.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; Nutrição mineral; Micronutrientes; Eficiência de uso de nitrogênio; Cerrado piauiense.

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a crop of great importance for food security and agricultural economy, especially in tropical and semi-arid regions. In the Piauí Cerrado, the search for maximizing productivity and input efficiency is constant. This study aimed to evaluate the interaction between topdressing nitrogen (N) rates and foliar application of a cobalt (Co), molybdenum (Mo), and nickel (Ni) complex on the productivity and nitrogen use efficiency of second-crop grain sorghum. The experiment was conducted at Fazenda Ipê, in Baixa Grande do Ribeiro - PI, using the 1G233 hybrid. The experimental design was a randomized block design (RBD), in a 3x5 factorial scheme, with four replications. Treatments consisted of three N rates (0, 45, and 90 kg ha⁻¹) and five foliar rates of the SeedDry + Ni complex (0, 30, 60, 90, and 120 g ha⁻¹ of Mo). Growth variables, yield components, and grain yield were evaluated. The results indicated that the application of N and the micronutrient complex significantly influenced panicle weight, and productivity. The highest panicle weights and

productivity were observed in treatments with 45 kg ha⁻¹ of N combined with the highest rates of the SeedDry + Ni complex, suggesting a synergistic interaction between these nutrients. The optimization of nitrogen nutrition, catalyzed by the presence of Mo, Co, and Ni, proved crucial for maximizing sorghum yield, highlighting the importance of foliar application of these micronutrients for nitrogen use efficiency and sustainable production in the Cerrado.

Keywords: Sorghum bicolor; Mineral nutrition; Micronutrients; Nitrogen use efficiency; Piauí Cerrado.

Data de aprovação: 27/03/2026

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é o quinto cereal mais cultivado no mundo, superado apenas por milho, trigo, arroz e cevada (RASHWAN et al., 2021), pois é importante para alimentação humana, produção de etanol e, principalmente, para os animais, onde é utilizado como matéria prima na fabricação de rações para aves e suínos (NASCIMENTO, 2024), sendo essa a adoção para o grão no Brasil.

De acordo com o 12º levantamento da safra 2024/2025 da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), o Brasil produziu aproximadamente 6,1 milhões de toneladas de sorgo, um aumento de 37,9% em relação à safra anterior. A área cultivada foi de 1,63 milhão de hectares, com uma produtividade média de 3.739 kg por hectare, refletindo condições climáticas favoráveis e maior uso de tecnologias. No Piauí, a produção alcançou 6,26 milhões de toneladas de grãos totais, representando um aumento de 8,6% em comparação com a safra anterior. Destaca-se o crescimento da cultura do sorgo na região Sudoeste Piauiense, onde a ampliação da área plantada e a adoção de práticas de manejo mais eficientes contribuíram para um desempenho produtivo satisfatório (CONAB, 2025).

Esse cereal tem boa capacidade fotossintética, adaptada às mais variadas condições de fertilidade do solo, sendo mais tolerante do que o milho a altas temperaturas e déficit hídrico. Contudo, a cultura enfrentou desafios para seu estabelecimento comercial no país (BUENO, 2024). A adubação nitrogenada na cultura de gramíneas anuais apresenta uma resposta positiva à maior adição de nitrogênio, com efeitos consideráveis mesmo em áreas não irrigadas, mostrando um aumento na produção e na concentração de proteína bruta (VERÍSSIMO, 2025).

Apesar de sua rusticidade, o sorgo apresenta alta exigência em nitrogênio (N), elemento essencial para o crescimento vegetativo, a formação de panículas e o enchimento de grãos. O manejo inadequado do N pode comprometer a eficiência do uso do nutriente, elevar custos de produção e causar impactos ambientais negativos, como perdas por volatilização e lixiviação (FAGERIA; BALIGAR, 2005). Nesse contexto, práticas de manejo que aumentem a

eficiência da adubação nitrogenada são fundamentais para melhorar o desempenho produtivo da cultura.

Entre as estratégias promissoras, destacam-se o uso de micronutrientes aplicados via foliar, como cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), que participam de processos enzimáticos relacionados ao metabolismo do nitrogênio, à fixação biológica e à assimilação de ureia (MALAVOLTA, 2006; ZOCCAL *et al.*, 2021). A aplicação desses elementos pode potencializar a absorção e utilização do N, além de contribuir para maior produtividade e qualidade dos grãos em sistemas de segunda safra no Cerrado.

O sorgo é uma gramínea de origem africana que se consolidou como um dos cereais mais cultivados globalmente, ocupando posição de destaque na produção de alimentos, ração animal e biomassa (FAOSTAT, 2023). Sua relevância é acentuada pela notável capacidade de adaptação a ambientes com restrições hídricas e edáficas, características que o tornam uma cultura estratégica para regiões semiáridas e tropicais, onde outras culturas cereais podem ter seu desenvolvimento severamente comprometido (RASHWAN *et al.*, 2021).

Do ponto de vista botânico, o sorgo é uma planta anual, herbácea, que pode variar significativamente em porte, de 0,5 a 4 metros de altura, em função do genótipo e das condições de cultivo. Seu sistema radicular é profundo e fibroso, conferindo-lhe grande capacidade de exploração do solo e tolerância à seca (MARSCHNER, 2012). O colmo é ereto, segmentado por nós e entrenós, e as folhas são alternadas, lanceoladas e com bainha bem desenvolvida. A inflorescência, denominada panícula, é terminal e abriga os grãos, que são a principal parte colhida no sorgo granífero, ricos em amido, proteínas e lipídios (CONAB, 2023).

A fisiologia do sorgo é marcada por sua classificação como planta C4, um atributo que lhe confere alta eficiência fotossintética em condições de elevadas temperaturas e intensa radiação solar (TAIZ *et al.*, 2017). Esse mecanismo fotossintético otimizado permite ao sorgo converter dióxido de carbono em açúcares de forma mais rápida e com menor perda de água por transpiração, resultando em uma superior eficiência no uso da água (EUA) e do nitrogênio (EUN) em comparação com plantas C3. Essa característica é fundamental para a sustentabilidade da cultura em regiões como o Cerrado, onde a otimização dos

recursos hídricos e nutricionais é crucial para a produtividade agrícola (EMBRAPA 2024).

O nitrogênio (N) é o macronutriente mais demandado pelas culturas e, frequentemente, o principal fator limitante da produtividade agrícola, especialmente em solos tropicais intemperizados como os do Cerrado (CANTARELLA, 2007). Sua função é central para a vida vegetal, sendo um componente estrutural de moléculas orgânicas vitais, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos (DNA e RNA), clorofila e ATP, o que o torna indispensável para processos fisiológicos cruciais como a fotossíntese, a respiração e o crescimento celular (MARSCHNER, 2012).

Nos solos do Cerrado, a dinâmica do N é particularmente complexa e desafiadora. Caracterizados por baixa fertilidade natural, acidez e altos teores de alumínio, esses solos apresentam uma matéria orgânica (MOS) que, embora seja o principal reservatório de N, pode ter sua mineralização limitada por fatores como a qualidade da MOS e as condições climáticas (BARROSO, 2023).

A adubação nitrogenada, portanto, torna-se uma prática agrícola indispensável para suprir a demanda das culturas e sustentar altas produtividades (UFSJ 2024). Contudo, a eficiência de uso do N pelas culturas no Cerrado é frequentemente baixa, variando entre 30% e 50%, devido a perdas significativas por lixiviação de nitrato em solos arenosos e volatilização de amônia de fertilizantes aplicados na superfície (MDPI, 2024; CARVALHO *et al.*, 2025).

A assimilação do N pelas plantas ocorre principalmente nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). O nitrato, uma vez absorvido, é reduzido a nitrito e, posteriormente, a amônio pela ação das enzimas nitrato redutase e nitrito redutase, respectivamente. O amônio é então incorporado em aminoácidos através das vias da glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT) (EPSTEIN; BLOOM, 2006). A eficiência desses processos metabólicos é crucial para o aproveitamento do N e para a formação de biomassa e grãos. Estratégias de manejo que visam otimizar a disponibilidade de N no solo e a eficiência de sua assimilação pela planta são fundamentais para a sustentabilidade e a rentabilidade da cultura do sorgo granífero no Cerrado, minimizando perdas e maximizando a produtividade (JESUS *et al.*, 2025).

Os micronutrientes molibdênio (Mo), cobalto (Co) e níquel (Ni), embora requeridos em concentrações ínfimas, exercem funções biológicas de magnitude considerável na fisiologia das gramíneas, com particular relevância para o metabolismo do nitrogênio. A compreensão aprofundada de suas interações e a otimização de sua disponibilidade, notadamente por meio da adubação foliar, são imperativas para a maximização da produtividade e da eficiência de uso dos nutrientes (EMBRAPA, 2024).

O molibdênio é um cofator essencial da enzima nitrato redutase (NR), que catalisa a etapa inicial e frequentemente limitante da assimilação do nitrato (NO_3^-) pelas plantas, convertendo-o em nitrito (NO_2^-) (MARSCHNER, 2012). Em gramíneas, a atividade eficiente da NR é crucial para o aproveitamento do N, e a deficiência de Mo pode resultar no acúmulo de nitrato nos tecidos vegetais, comprometendo a síntese de aminoácidos e proteínas, e, conseqüentemente, o crescimento e a produtividade. Pesquisas recentes têm sublinhado a importância do Mo na otimização da assimilação de N em gramíneas, especialmente em cenários de estresse ambiental (HENRIQUE *et al.*, 2024). A aplicação foliar de Mo tem se revelado uma estratégia eficaz para suprir as demandas da planta, permitindo uma absorção e translocação rápidas do nutriente para os sítios de ação enzimática (JÚNIOR *et al.*, 2023).

O cobalto, embora mais reconhecido por sua função na fixação biológica de nitrogênio em leguminosas, também desempenha papéis relevantes em gramíneas. Embora não seja universalmente considerado um nutriente essencial para todas as espécies vegetais, o Co pode influenciar o metabolismo do N, a síntese de clorofila e a capacidade de tolerância a estresses (MARSCHNER, 2012). Em gramíneas, o Co pode atuar indiretamente na eficiência do N, seja otimizando a atividade de microrganismos do solo envolvidos no ciclo do nitrogênio, seja modulando a síntese de hormônios vegetais que regulam o crescimento e o desenvolvimento (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

O níquel é um micronutriente essencial para todas as plantas superiores, sendo o único metal constituinte da enzima urease (MARSCHNER, 2012). A urease catalisa a hidrólise da ureia em amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2), uma reação de importância capital para a metabolização da ureia, que é amplamente empregada como fertilizante nitrogenado. Em gramíneas, a

deficiência de Ni acarreta o acúmulo de ureia nos tecidos, resultando em toxicidade, necrose foliar e uma drástica redução no crescimento e na produtividade (BULIGON, 2025). Desse modo, a presença adequada de Ni é vital para a eficiência da adubação com ureia, garantindo que o N seja convertido em formas assimiláveis e prevenindo problemas fitotóxicos. A aplicação foliar de Ni, muitas vezes em formulações complexas que incluem Co e Mo (como o produto SeedDry + Ni), tem se mostrado uma ferramenta eficaz para garantir a disponibilidade desse micronutriente e otimizar a metabolização da ureia, particularmente em sistemas de alta produtividade (CONTRIBUCIONES, 2024).

A adubação foliar consolidou-se como uma estratégia altamente eficiente para o fornecimento de micronutrientes, permitindo uma absorção e translocação rápidas para os sítios metabólicos ativos. Para Mo, Co e Ni, essa modalidade de aplicação pode ser particularmente vantajosa, pois contorna problemas de fixação no solo e assegura a disponibilidade imediata para as plantas (WILLIAMS, 2023). Em gramíneas como o sorgo, a aplicação foliar de um complexo contendo esses micronutrientes pode otimizar a atividade das enzimas nitrato redutase e urease, potencializando a assimilação do nitrogênio e, consequentemente, a produtividade (CARMO-FILHO, 2025). A seleção da dose e do momento de aplicação foliar é um fator crítico para maximizar a eficiência, devendo ser pautada nas exigências da cultura e nas condições específicas do ambiente de cultivo (CONTRIBUCIONES, 2024).

O trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio em cobertura e da aplicação foliar de um complexo de micronutrientes (Co,Mo,Ni) na produtividade do sorgo granífero de segunda safra no cerrado Piauiense.

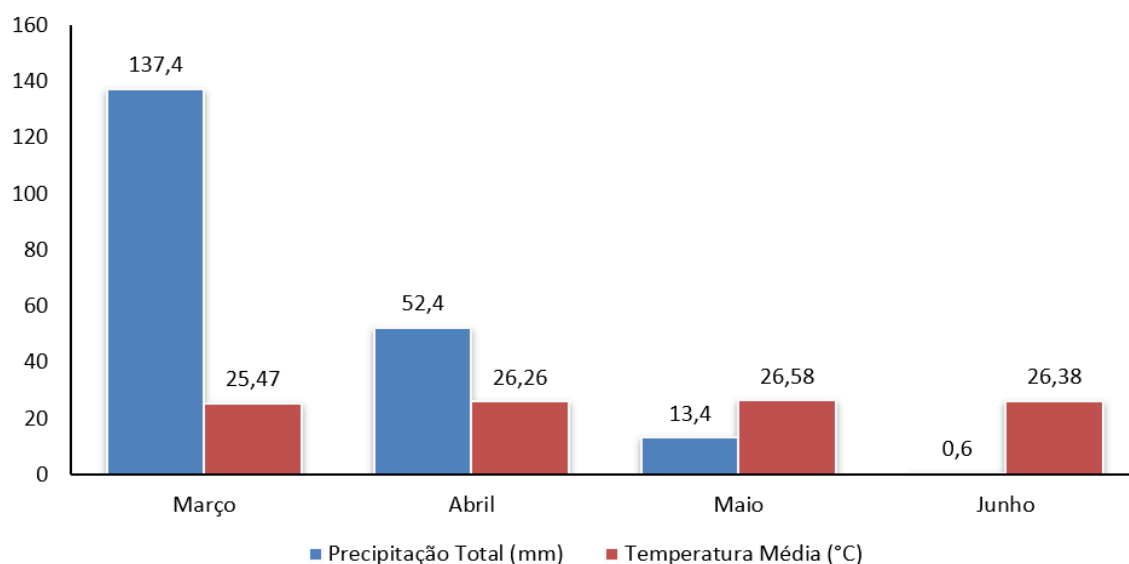
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização, Caracterização do Solo e Clima

O experimento foi conduzido na Fazenda Ipê, pertencente ao Grupo Insolo, localizada no município de Baixa Grande do Ribeiro, Piauí (latitude 8°26'06.7"S, longitude 45°18'49.1"W), na região do Cerrado piauiense. A altitude média da área experimental é de aproximadamente 400 metros acima do nível do mar. A região é caracterizada por um clima tropical semiúmido, classificado

como Aw segundo Köppen, com duas estações bem definidas: uma chuvosa (outubro a abril) e outra seca (maio a setembro), com temperatura média anual em torno de 27 °C e precipitação média de aproximadamente 1.100 mm (INMET, 2025).

Figura 1 – Precipitação total e temperatura média mensal em Baixa Grande do Ribeiro, PI, de março a junho de 2025.



Fonte: INMET (2025).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, com textura média, característico da região do Cerrado. A área experimental possui histórico de cultivo de soja na primeira safra e sorgo granífero na segunda safra (safrinha), sob sistema de plantio direto. O talhão apresenta histórico recente de manejo sob sistema de plantio direto, com resíduos culturais de soja na superfície, o que contribui para maior conservação da umidade do solo e manutenção da estrutura física. Antes da instalação do experimento, amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade foram coletadas e submetidas à análise química e física no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Bom Jesus, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas e físicas do Latossolo Amarelo (0-20 cm) da área experimental na Fazenda Ipê, Baixa Grande do Ribeiro – PI.

P	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂				mmolc/dm ³			(%)
12,5	21	5,8	85	28	15	35	1	44	65

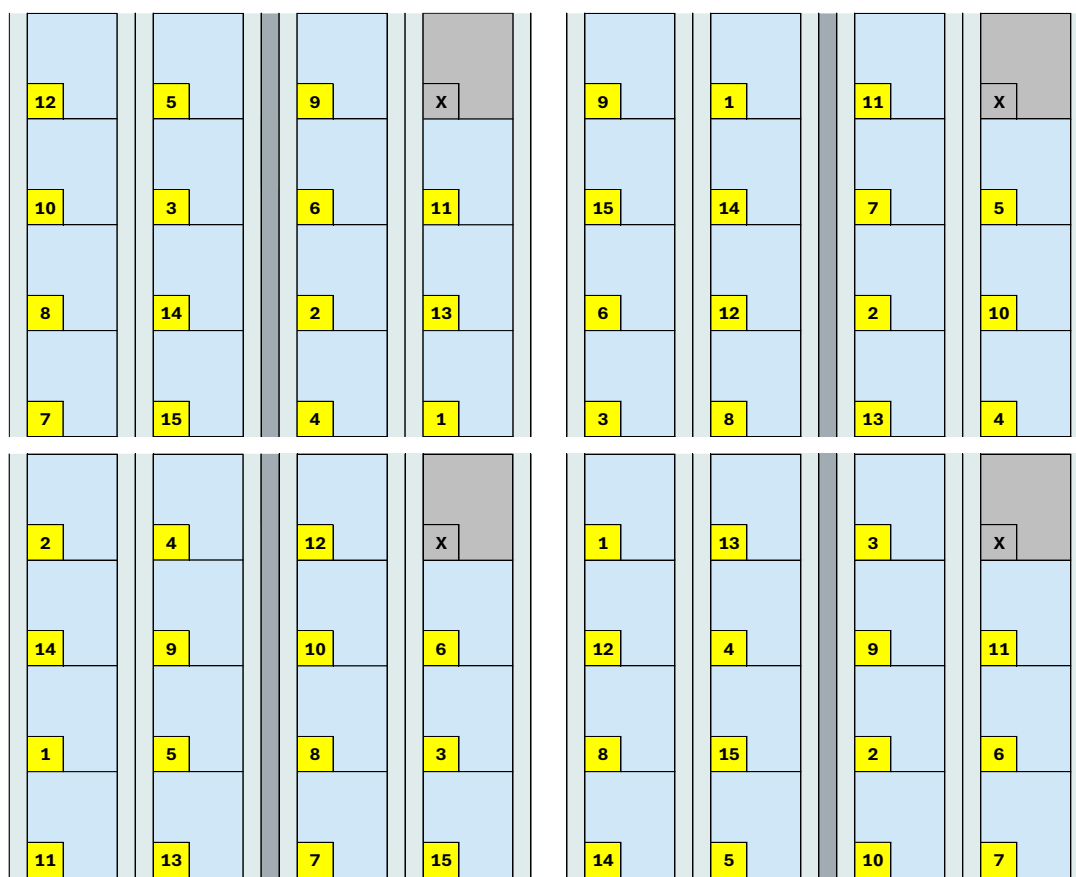
SB = Saturação de Bases; CTC =Capacidade de Troca Catiônica; V= Saturação por Bases; MO = Matéria Orgânica.

(Fonte: Laboratório de Análise de Solos da UFPI, 2024)

2.2 Delineamento Experimental, Tratamentos e Condução da Cultura

O experimento foi instalado em delineamento de Blocos Casualizados (DBC), em esquema fatorial 3x5, com quatro repetições, totalizando 60 parcelas experimentais. Os fatores avaliados foram doses de nitrogênio (N) em cobertura e doses foliares de um complexo de micronutrientes (SeedDry + Ni).

Figura 2 – Croqui da área experimental.



Fonte: Autor (2025)

Os tratamentos de nitrogênio consistiram em três doses: 0, 45 e 90 kg ha de N, aplicadas na forma de ureia (45% de N) em pré-semeadura. Para a suplementação de micronutrientes, aplicou-se o produto Seed Dry + Ni (Fortgreen) em conjunto com o adjuvante disperse, nos estádios V4, V8 e emborrachamento. As doses totais do Seed Dry + Ni foram de 130 g/ha, 260 g/ha, 390 g/ha e 520 g/ha, fracionadas em três aplicações. Estas doses forneceram, respectivamente, as seguintes quantidades de micronutrientes por hectare: Cobalto (Co) em 2,61 g, 5,22 g, 7,83 g e 10,43 g; Molibdênio (Mo) em 30 g, 60 g, 90 g e 120 g; e Níquel (Ni) em 2,61 g, 5,22 g, 7,83 g e 10,43 g. A Tabela 2 detalha os tratamentos utilizados.

Tabela 2 – Tratamentos utilizados no experimento.

TRATAMENTO	DOSE DE N (kg/ha)	DOSE TOTAL DE SEEDDRY + Ni (g/ha)
1	0	0
2	45	0
3	90	0
4	0	130
5	45	130
6	90	130
7	0	260
8	45	260
9	90	260
10	0	390
11	45	390
12	90	390
13	0	520
14	45	520
15	90	520

Fonte: Autor 2025

Cada parcela experimental foi composta por seis linhas de sorgo, com seis metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,5 m, totalizando 18 m² de área total por parcela. A área útil de cada parcela, considerada para as avaliações, correspondeu às quatro linhas centrais, desprezando-se 1 metro em cada extremidade, totalizando uma área de 8 m² (4 linhas x 4 m de comprimento x 0,5 m de espaçamento entre linhas). As duas linhas laterais e 1 metro das extremidades de cada parcela foram mantidas como bordaduras, com a finalidade de reduzir o efeito de borda e aumentar a precisão nas medições. O

híbrido de sorgo granífero utilizado foi o 1G233, de ciclo precoce e alto potencial produtivo, amplamente adaptado às condições do Cerrado.

A semeadura do sorgo foi realizada em sistema de plantio direto, após a colheita da cultura antecessora (soja). A adubação de base foi realizada conforme a análise de solo e as recomendações para a cultura do sorgo na região. A aplicação do nitrogênio (Ureia 45%) foi realizada manualmente em pré-semeadura, utilizando-se areia para melhor distribuição por parcela. O complexo de micronutrientes SeedDry + Ni foi aplicado via foliar, de forma parcelada, em três estádios de desenvolvimento da cultura: V4, V8 (oito folhas completamente expandidas) e no estágio de emborrachamento (início da formação da panícula). As aplicações foliares foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO₂, utilizando volume de calda de 144 L/ha e bicos de jato cônico, garantindo a cobertura uniforme das plantas.

As intervenções fitossanitárias, incluindo as aplicações de herbicidas e fungicidas, foram executadas pela equipe operacional da Fazenda Ipê, seguindo o manejo padrão adotado para as áreas comerciais da propriedade. Essa padronização garantiu que o experimento fosse conduzido sob condições reais de campo, sem interferências externas nas variáveis de nutrição estudadas.

2.3 Avaliações e Análise Estatística

As avaliações experimentais foram realizadas no momento da pré-colheita e durante a etapa de colheita manual, contemplando os componentes biométricos e de rendimento que melhor expressam a resposta da cultura ao manejo nutricional proposto. A determinação da densidade populacional e do estande final foi efetuada por meio da contagem direta de plantas em dois metros lineares situados nas duas linhas centrais de cada unidade experimental, sendo os dados posteriormente extrapolados para o número de plantas por hectare. De forma simultânea, procedeu-se à contagem do número total de panículas presentes na área útil das parcelas para o cálculo da densidade de panículas por área, variável fundamental para a compreensão da estrutura produtiva do híbrido 1G233 sob diferentes níveis de adubação.

Para a análise dos componentes de rendimento, foram coletadas aleatoriamente dez panículas representativas em cada parcela para a

determinação do peso médio de panícula, expresso em gramas. A massa individual dos grãos foi mensurada através da determinação do peso de mil grãos, utilizando-se amostras limpas e pesadas em balança de precisão, com os valores devidamente corrigidos para o teor de umidade padrão de 13%. A produtividade de grãos foi obtida através da colheita manual de toda a área útil de 8 metros quadrados, seguida pelos processos de debulha, utilizando uma bateadeira de cereais, modelo BC-30 (2018) e posteriormente a limpeza manual. Os pesos totais de grãos por parcela foram convertidos para sacas por hectare, aplicando-se a correção de umidade para o índice de 13%, garantindo assim a padronização e a comparabilidade estatística entre todos os tratamentos avaliados.

Os dados obtidos foram organizados e submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do teste F, seguido pela comparação de médias através do teste de Duncan utilizando-se o software estatístico Sisvar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância (Tabela 3) mostrou efeito significativo para as variáveis peso corrigido (PC) e produtividade de grãos (PROD). As doses do fertilizante utilizadas neste trabalho não influenciaram o número de panículas (NP), a população de plantas (POP) e o peso de mil grãos (PMG).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para número de panículas (NP), população de plantas (POP), peso corrigido (PC), produtividade de grãos (PROD) e peso de mil grãos (PMG) de sorgo em safrinha no Cerrado.

F.V	G.L	NP	POP	PC	PROD	PMG
Tratamentos	14	3,10ns	4847470,24ns	211876,35**	91,86**	1,12ns
Erro	42	57,95	90551835,32	25892,89	11,19	1,63
CV%		5,67	5,67	4,22	4,21	3,72

F.V – Fontes de variação; G.L – Graus de liberdade; CV – Coeficiente de variação; ** significativo 1% de probabilidade e ns - não significativo pelo teste F.
Fonte: Autor (2025)

Os resultados da análise de variância indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa para o número de panículas por área (média geral de 134,28 panículas) e para a população de plantas (média geral de 167.854 plantas/ha).

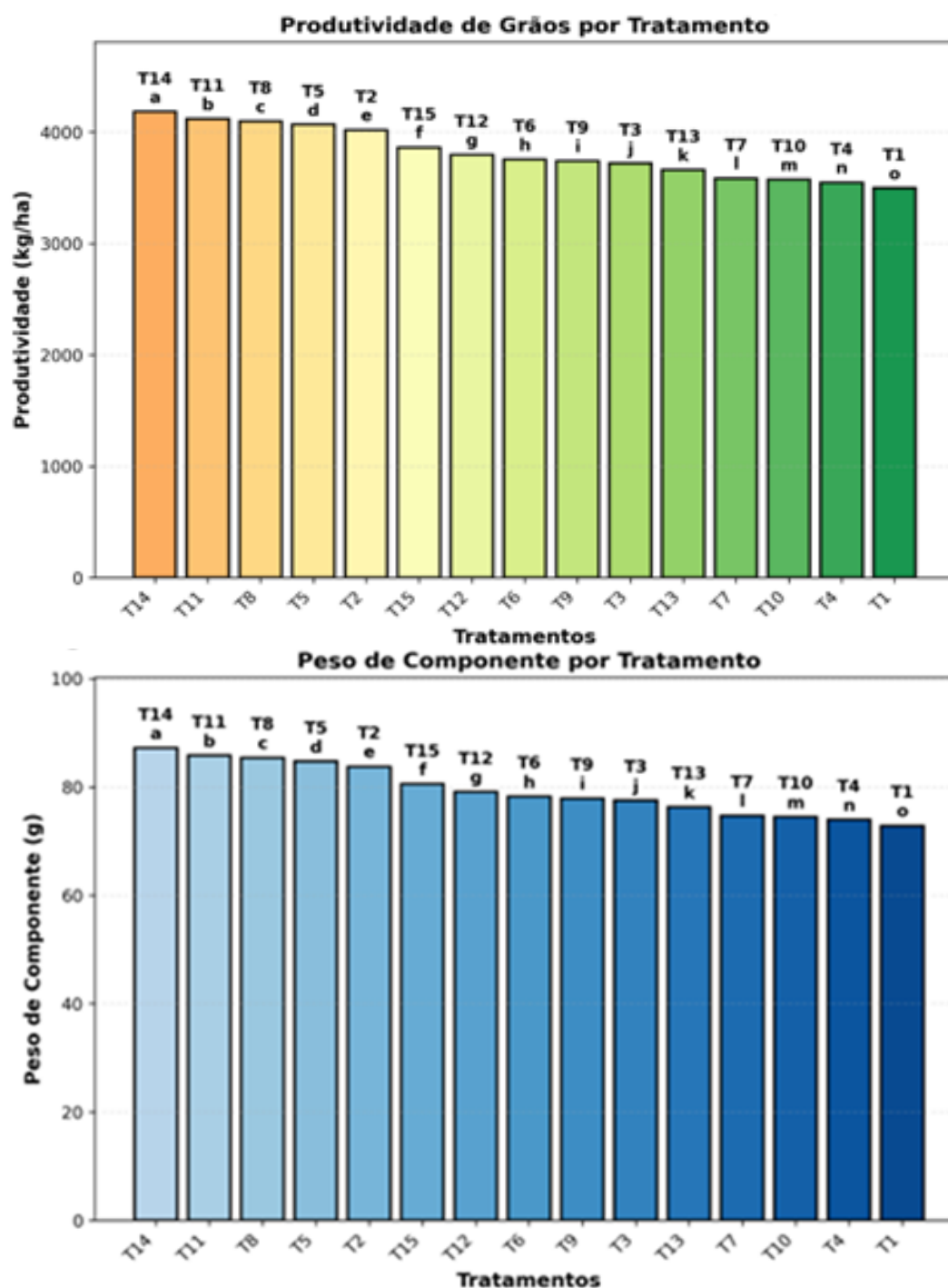
A ausência de resposta a diferentes doses de nitrogênio e à aplicação foliar de micronutrientes nessas variáveis sugere que o estabelecimento inicial da cultura e a formação da estrutura reprodutiva primária foram mais influenciados por fatores intrínsecos ao híbrido e pelas condições de manejo de base, que foram uniformes para todos os tratamentos. É possível que, sob as condições edafoclimáticas do experimento, o potencial genético do sorgo para o número de panículas e o estande final tenha sido plenamente expresso, independentemente das variações nos tratamentos de adubação

O peso corrigido (PC) demonstrou uma resposta altamente significativa aos tratamentos, com um coeficiente de variação de 4,22% e uma média geral de 3.815,91 kg. A Figura 3 apresenta as médias dos tratamentos, onde o teste de Duncan revelou uma estratificação em grupos sobrepostos. Os tratamentos 14, 11, 8 e 5, foram estatisticamente superiores, compondo o grupo de maior peso corrigido.

É notável que a dose intermediária de nitrogênio (45 kg/ha) esteve consistentemente associada aos melhores resultados, independentemente da dose do complexo de micronutrientes. Este achado sugere que, para esta variável, a otimização da dose de N foi um fator preponderante, ou que a dose mais elevada de 90 kg/ha de N pode ter atingido um platô de resposta ou, em algumas combinações, até mesmo induzido um efeito menos favorável, possivelmente devido a desequilíbrios nutricionais ou perdas de N.

A produtividade de grãos foi significativamente influenciada pelos tratamentos, apresentando um CV de 4,21% e uma média geral de 79,49 sacas/ha.

Figura 3: Produtividade de grãos e Peso de Corrigido (PC) de sorgo granífero submetido a diferentes tratamentos de nitrogênio e micronutrientes. Letras distintas



Fonte: Autor (2025)

Estes resultados reforçam a importância da adubação nitrogenada e, crucialmente, a sinergia com os micronutrientes foliares para a maximização do rendimento do sorgo granífero. A superioridade dos tratamentos com 45 kg ha de N, em detrimento da dose mais elevada de 90 kg/ha, sugere que a aplicação

foliar de Co, Mo e Ni pode ter otimizado a eficiência de uso do nitrogênio pela planta. O molibdênio, como cofator essencial da enzima nitrato redutase, e o níquel, componente da urease, desempenham papéis vitais na metabolização do N. Sua suplementação foliar pode ter facilitado a assimilação e translocação do nitrogênio, resultando em maior enchimento de grãos e, conseqüentemente, maior produtividade, mesmo com uma dose intermediária de N.

O peso de mil grãos (PMG) não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, com um coeficiente de variação de 3,72% e uma média geral de 34,27 gramas. A ausência de efeito sobre o PMG indica que os tratamentos não alteraram o enchimento individual dos grãos.

Este resultado sugere que o aumento na produtividade observado nos tratamentos superiores foi impulsionado por outros componentes de rendimento, como o número de grãos por panícula ou a densidade de panículas por área (mesmo que o NP não tenha sido estatisticamente diferente, pequenas variações não detectadas pela ANOVA podem ter contribuído), e não pelo peso individual dos grãos.

Os resultados demonstram que, embora o número de panículas, a população de plantas e o peso de mil grãos não tenham sido influenciados pelos tratamentos, o peso corrigido e a produtividade de grãos foram significativamente afetados. A ausência de efeito sobre o estande e o peso de mil grãos sugere que o fator em estudo não alterou a formação da estrutura básica da planta ou o enchimento individual dos grãos, mas sim outros componentes de rendimento, como o número de grãos por panícula ou a densidade de panículas por área, que podem ter contribuído para as diferenças observadas na produtividade.

Os tratamentos que resultaram nas maiores produtividades (14, 11, 8, 5) são promissores para a cultura do sorgo na região do cerrado. A superioridade desses tratamentos pode estar relacionada a uma melhor otimização da absorção de nutrientes ou a características genéticas que conferem maior eficiência produtiva sob as condições do experimento. É importante ressaltar que a cultura do sorgo apresenta grande plasticidade fenotípica, adaptando-se a diferentes condições ambientais e de manejo, o que pode explicar a variação na produtividade mesmo com componentes de rendimento como o PMG não sendo alterados (TAIZ *et al.*, 2017).

A superioridade do tratamento com dose intermediária de N (45 kg ha) associada ao Mo e Ni reforça a tese de que esses micronutrientes otimizam a enzima nitrato redutase e a urease. Isso sugere que a planta consegue metabolizar o nitrogênio disponível de forma mais eficiente, evitando desperdícios e alcançando altas produtividades mesmo sem a necessidade da dose máxima de 90 kg/ha de N.

É fundamental considerar a influência da cultura antecessora, a soja, nos resultados obtidos para o sorgo granífero. A soja é uma leguminosa reconhecida por sua capacidade de realizar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em associação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, incorporando N atmosférico ao solo (HUNGRIA *et al.*, 2007). Os resíduos culturais da soja, ricos em nitrogênio, são gradualmente mineralizados após a colheita, liberando N disponível para a cultura subsequente (AMADO *et al.*, 2000). Este aporte de N residual da soja pode ter contribuído significativamente para a nutrição nitrogenada do sorgo, explicando, em parte, a alta produtividade alcançada com a dose intermediária de N, especialmente quando combinada com a aplicação foliar de micronutrientes.

A superioridade da dose intermediária corrobora achados de Souza Santos *et al.* (2022), que destacam que a eficiência de uso do nitrogênio varia conforme condições edafoclimáticas e manejo. Coelho *et al.* (2023) demonstraram que o sorgo possui variabilidade genética para eficiência de N, mantendo rendimentos consistentes mesmo sob regimes reduzidos.

A alta precisão experimental, evidenciada pelos baixos Coeficientes de Variação (CVs), confere robustez às conclusões. A significância do efeito de bloco para a maioria das variáveis válida a escolha do delineamento experimental, que permitiu controlar a variabilidade ambiental e aumentar a sensibilidade do teste estatístico.

4 CONCLUSÃO

A produtividade do sorgo granífero de segunda safra foi influenciada pela interação entre as doses de nitrogênio e a aplicação foliar do complexo de micronutrientes contendo cobalto, molibdênio e níquel. Os tratamentos não promoveram alterações significativas no número de panículas, população de plantas e peso de mil grãos, porém afetaram significativamente o peso corrigido

e a produtividade de grãos. Os maiores rendimentos foram obtidos com a aplicação de 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio associada às maiores doses do complexo SeedDry + Ni, evidenciando uma interação positiva entre esses nutrientes.

Dessa forma, a associação entre uma dose intermediária de nitrogênio e a suplementação foliar de Co, Mo e Ni constitui uma estratégia eficiente para maximizar a produtividade do sorgo granífero em sucessão à soja no Cerrado. Os resultados indicam que a melhoria da eficiência de utilização do nitrogênio pode ser mais importante que o aumento das doses aplicadas, sendo recomendados estudos adicionais para avaliar a eficiência de uso do nitrogênio, a viabilidade econômica do manejo e a validação dos resultados em diferentes condições de cultivo.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C. et al. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 855-862, 2000.
- BARROSO, A. A. Dinâmica do nitrogênio em solos do Cerrado. **Embrapa**, 2023.
- BUENO, M. P. Manejo de sorgo no Brasil: inovações tecnológicas e perspectivas. **Scientific Management Journal**, v. 7, 2024.
- BULIGON, E. L. **Micronutrientes na produtividade de grandes culturas**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2025.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CARMO-FILHO, A. S. Seed-Applied Cobalt, Molybdenum, and Nickel Improve Nitrogen Metabolism in Soybean Plants Across Seed Vigor Levels. **Plants**, v. 14, n. 21, p. 3368, 2025.
- COELHO, A. M. Comunicado técnico 258: **Extração, exportação e ciclagem de nutrientes por híbridos de sorgo granífero**. Embrapa Milho e Sorgo, 2023.
- CARVALHO, J. C. et al. Perdas de nitrogênio por lixiviação e volatilização em solos do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 29, n. 1, p. 1-8, 2025.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF, v. 10, n. 12, 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF, v. 12, n. 12, 2025.

EMBRAPA. **Informações Técnicas Milho e Sorgo**. [S. l.]: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/19154728-informacoes-tecnicas-milho-e-sorgo-2023-24-2024-25-misosul-2023.pdf>. Acesso em: 20 Dez 2025.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Nutrient use efficiency in crop plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 1-14, 2005.

FAOSTAT. **FAOSTAT database**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.

HENRIQUE, L. et al. Otimização da assimilação de N em gramíneas sob estresse ambiental. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 1-10, 2024.

HUNGRIA, M. et al. Fixação biológica de nitrogênio em soja: passado, presente e futuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 10, p. 1429-1442, 2007.

JESUS, C. et al. Estratégias de manejo para otimização da assimilação de nitrogênio em sorgo granífero. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 56, p. e20250001, 2025.

JÚNIOR, P. S. et al. Aplicação foliar de molibdênio em gramíneas: absorção e translocação. **Revista de Agricultura Tropical**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 100-108, 2023.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

NASCIMENTO, A. D. L. do. A evolução genética do gênero Sorghum e a importância do cereal para a economia mundial e a promoção da segurança alimentar a nível global: uma revisão integrativa. **ResearchGate**, 2024.

OLIVEIRA, G. S. de; RESENDE, G. M. et al. Influência dos nutrientes Níquel, Cobalto, Molibdênio e Fósforo na produtividade da soja. **Colóquio (ISSN-2527-2500)**, 2025.

RASHWAN, A. M. et al. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): a review of its cultivation, uses, and genetic improvement. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, Suwon, v. 24, n. 3, p. 251-262, 2021.

SOUZA SANTOS, J. P. A. et al. **Eficiência bioeconômica da adubação mineral na cultura do sorgo**. Research, Society and Development, v. 11, n. 13, 2022.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VERÍSSIMO, J. P. **Estratégias de inoculação de *Azospirillum brasilense* e redução no nitrogênio aplicado em cobertura: impactos na produtividade e na rentabilidade do sorgo**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2025.

WILLIAMS, J. Improving nutrient use efficiencies with foliar applied nutrients. **Integrated Soils**, 2023.

ZOCCAL, R. et al. Micronutrientes na eficiência de uso do nitrogênio em culturas de cereais. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 44, n. 2, p. 311–322, 2021.