



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

**PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE SORGO GRANÍFERO
COMBINADO COM CEPAS DE *Trichoderma* spp E DOSES DE
NITROGÊNIO E FÓSFORO**

CINTIA DA SILVA DE OLIVEIRA

MESTRADO

CINTIA DA SILVA DE OLIVEIRA

**PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE SORGO GRANÍFERO
COMBINADO COM CEPAS DE *Trichoderma* spp E DOSES DE
NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Rodrigues

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Campus Ipameri, Câmpus Sul, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri

2024

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

OOL48 Oliveira, Cintia da Silva de
p PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE SORGO GRANÍFERO COMBINADO
COM CEPAS DE *Trichoderma* spp E DOSES DE NITROGÊNIO E
FÓSFORO / Cintia da Silva de Oliveira; orientador
Fabrício Rodrigues. -- Ipameri, 2024.
50 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal) -- Unidade de
Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 2024.

1. *Sorghum bicolor*. 2. *Trichoderma harzianum*. 3.
Ureia. 4. Super simples. 5. Biofertilizante. I.
Rodrigues, Fabrício , orient. II. Título.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE SORGO GRANÍFERO COMBINADO COM CEPAS DE TRICHODERMA SSP E DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO”

AUTOR(A): Cíntia da Silva de Oliveira

ORIENTADOR(A): Fabricio Rodrigues

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:

Fabricio Rodrigues

Prof. Dr. Fabricio Rodrigues (Orientador)

Universidade Estadual de Goiás / Unidade Universitária Ipameri- GO

Daniel Diego Costa Carvalho

Prof. Dr. Daniel Diego Costa Carvalho

Universidade Estadual de Goiás / Unidade Universitária Ipameri- GO

Talles Eduardo Borges dos Santos

Prof. Dr. Talles Eduardo Borges dos Santos

Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri- GO

Mariana Pina da Silva Berti

Prof.^a Dr.^a Mariana Pina da Silva Berti

Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri- GO

Registro de Declaração

Número: 262

Livro: R-01 Folhas: 04A

Data: 29/07/2024

Assinatura:

[Assinatura]

Data da realização: 29 de Julho de 2024

DEDICATÓRIA

À memória da minha avó Francisca Teixeira, por todo o amor e ensinamento que me deste e por estar tão presente em minha vida;

À minha filha, Cinty Wellen, cuja presença ilumina minha vida e me inspira a sempre buscar o melhor;

À minha mãe, Francisca Cícera, por toda dedicação e apoio;

Aos meus irmãos Rodrigo e Sâmia pelo incentivo e por sempre acreditarem na minha capacidade de vencer;

Aos meus amigos, que sempre estiveram comigo me apoiando e dando forças, principalmente nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para enfrentar os desafios do dia a dia.

À minha avó Francisca Teixeira, minha mãe Francisca Cícera, que, com humildade e honestidade, fizeram o melhor. A vocês, todo o meu amor e a minha gratidão.

À minha filha Cinty Wellen, que é a razão da minha vida e de todas as minhas conquistas.

Aos meus irmãos, Sâmia e Rodrigo, pelo apoio e por sempre estarem do meu lado.

Ao meu namorado Gênesis por todo o apoio e companheirismo.

À Universidade Estadual de Goiás, e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade e aprendizado.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio financeiro da bolsa de estudos.

As minhas amigas, Francisca Neta e Jaiara Almeida, pela contribuição e incentivo prestados.

Aos meus colegas de curso, pelo enorme companheirismo.

Em especial, ao meu orientador Dr. Fabrício Rodrigues e ao grupo de pesquisa MelhorVe, pelo apoio, pela paciência, postura ética, profissional e, acima de tudo, pela compreensão e respeito.

Enfim, por todos que me ajudaram, direto ou indiretamente no meu crescimento pessoal e profissional. Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	v
GENERAL SUMMARY	vi
INTRODUÇÃO GERAL	7
OBJETIVO	9
CAPÍTULO I: PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM SORGO GRANÍFERO SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO COM APLICAÇÃO DE <i>Trichoderma</i> spp.	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUÇÃO	13
OBJETIVO	15
METODOLOGIA	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPÍTULO II: PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM SORGO GRANÍFERO SOB DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO COM APLICAÇÃO DE <i>Trichoderma</i> spp.....	29
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	31
INTRODUÇÃO	32
OBJETIVO	34
MATERIAIS E MÉTODOS	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

RESUMO GERAL

O sorgo é o quinto grão mais produzido mundialmente e essencial para a segurança alimentar, especialmente em áreas áridas. O Brasil é o nono maior produtor. A planta necessita de nutrientes como nitrogênio e fósforo, e o uso de fertilizantes, incluindo biofertilizantes com *Trichoderma*, melhora seu crescimento e sustentabilidade agrícola. Mais pesquisas sobre biofertilizantes no sorgo são necessárias. O objetivo foi avaliar o crescimento de sorgo granífero, com diferentes cepas de *Trichoderma* spp. em função de doses de nitrogênio (N) e fósforo (P). Foram realizados dois experimentos distintos um para N e outro para P, ambos conduzidos na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri-GO. O delineamento experimental utilizado para ambos experimentos foram em esquema fatorial (4 x 5), em blocos casualizados, sendo quatro tratamentos e cinco doses. Para o experimento do nitrogênio foram utilizados ureia estabilizada e convencional, com ou sem *Trichoderma harzianum*, em doses de nitrogênio (50, 70, 90, 110 e 130 kg ha⁻¹), além de 100 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e KCl, respectivamente. Para o experimento de fósforo foram utilizados fósforo estabilizado e supersimples, com ou sem *Trichoderma harzianum*, em doses de fósforo (10, 80, 150, 220 e 290 kg ha⁻¹), além de 100 e 70 kg ha⁻¹ de N e KCl. Em ambos experimentos foram avaliadas as características de altura de planta (ALTP), índice relativo de clorofila Falker (IRC), florescimento (FLOR), diâmetro do colmo (DIAMC), as massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF), e massa seca de grãos (MSG). Os resultados mostraram que a combinação de *Trichoderma harzianum* com diferentes doses de nitrogênio e fósforo influenciou significativamente as características do sorgo. A ureia estabilizada com *Trichoderma harzianum* (T₂), destacou-se na altura da planta e diâmetro do colmo, enquanto o T₄ obteve melhores resultados em massa fresca e o T₃ em massa seca. Além disso, a combinação de fósforo estabilizado (P35) e *Trichoderma harzianum* (T₂) mostrou-se superior em diversas análises do desenvolvimento do sorgo, promovendo altura, diâmetro do caule e massa seca. A concentração de 105 kg ha⁻¹ N com T₂ é a mais recomendada. Para o experimento com fósforo uma dose de 35 kg ha⁻¹ P35 foi a mais eficaz quando combinada com o tratamento T₂ para promover o crescimento e o rendimento do sorgo. Essas combinações oferecem uma abordagem sustentável para melhorar a produtividade agrícola e a segurança alimentar.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, *Trichoderma harzianum*, ureia, super simples e biofertilizante.

GENERAL SUMMARY

Sorghum is the fifth most produced grain worldwide and essential for food security, especially in arid areas. Brazil is the ninth largest producer. The plant requires nutrients such as nitrogen and phosphorus, and the use of fertilizers, including biofertilizers with *Trichoderma*, improves its growth and agricultural sustainability. More research on biofertilizers in sorghum is needed. The objective was to evaluate the growth of grain sorghum with different strains of *Trichoderma* spp. in response to doses of nitrogen (N) and phosphorus (P). Two distinct experiments were conducted, one for N and the other for P, both carried out at the State University of Goiás, South Campus, University Unit of Ipameri-GO. The experimental design used for both experiments was in a factorial scheme (4 x 5) in randomized blocks, with four treatments and five doses. For the nitrogen experiment, stabilized and conventional urea was used, with or without *Trichoderma harzianum*, in nitrogen doses (50, 70, 90, 110, and 130 kg ha⁻¹), plus 100 and 70 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and KCl, respectively. For the phosphorus experiment, stabilized phosphorus and single superphosphate were used, with or without *Trichoderma harzianum*, in phosphorus doses (10, 80, 150, 220, and 290 kg ha⁻¹), plus 100 and 70 kg ha⁻¹ of N and KCl. In both experiments, the characteristics of plant height (ALTP), Falker chlorophyll relative index (IRC), flowering (FLOR), stem diameter (DIAMC), stem fresh mass (MFC) and leaf fresh mass (MFF), and grain dry mass (MSG) were evaluated. The results showed that the combination of *Trichoderma harzianum* with different doses of nitrogen and phosphorus significantly influenced the characteristics of sorghum. Stabilized urea with *Trichoderma harzianum* (T₂) excelled in plant height and stem diameter, while T₄ achieved better results in fresh mass, and T₃ in dry mass. Additionally, the combination of stabilized phosphorus (P35) and *Trichoderma harzianum* (T₂) proved superior in various analyses of sorghum development, promoting height, stem diameter, and dry mass. The concentration of 105 kg ha⁻¹ N with T₂ is the most recommended

Keywords: *Sorghum bicolor*, *Trichoderma harzianum*, urea, single superphosphate, and biofertilizer

INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é o quinto grão mais produzido no mundo e desempenha um papel importante na segurança alimentar, nos países mais pobres, sendo uma planta que pertence à família das gramíneas e sua maior vantagem é suportar altas temperaturas (MUNDIA *et al.*, 2019). Por ser uma planta tolerante à estresses com alto valor nutricional, é distribuído principalmente em regiões áridas e semiáridas do mundo, sendo usado de várias formas, como pães e bebidas (KAZEMI *et al.*, 2021; YAN *et al.*, 2022a).

Mundialmente, o Brasil é o nono produtor de sorgo, com produção na safra 2023/24, em torno de 4.909 mil toneladas, com área em 1.562,4 mil hectares, com produtividade média em torno de 3.142 kg ha⁻¹ e, o estado de Goiás, representa uma produção de 1.415 mil toneladas e produtividade de 3.305 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024). Embora a cultura apresente resistência a condições adversas, baixo custo na produção, versatilidade de uso, crescimento rápido, mesmo com recursos limitados e com capacidade de tolerar uma variedade de estresses abióticos e bióticos, os produtores ainda enfrentam desafios como variabilidade genética, uso inadequado de tecnologias, manejo inadequado, mercado e negociações para atingir seu potencial máximo de rendimento (MATHUR *et al.*, 2017; PANDIAN *et al.*, 2022).

Para atingirem seu potencial produtivo, as plantas dependem de quantidades significativas de macronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), bem como de micronutrientes, isso implica na necessidade de um suprimento contínuo e adequado, que podem ser fornecidos por meio do uso de fertilizantes químicos ou através da adoção de estratégias orgânicas e/ou biológicas, sendo mais sustentáveis (POVEDA & EUGUI, 2022).

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial e fundamental para a produção agrícola, desempenhando um papel crucial no aumento do rendimento e da qualidade das culturas, incluindo o sorgo granífero, entre todos os fertilizantes, o nitrogênio desempenha um papel significativo, sendo um dos fatores limitantes mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (OBOUR *et al.*, 2022; YAN *et al.*, 2022b). Entretanto, ainda é necessário investigar de forma mais precisa como o fornecimento de N pode afetar cada componente da parede celular no sorgo e compreender o mecanismo subjacente a essa alteração (RIVAI *et al.*, 2021).

O fósforo (P), junto com o nitrogênio (N), é um importante constituinte dos ácidos nucleicos em todos os seres vivos, incluindo as plantas (ABDEL-GHANY *et al.*, 2019). Contudo, a adsorção de fósforo (P) pelas partículas de argila no solo reduz a sua mobilidade em direção às raízes das plantas, limitando assim a sua absorção (BERNARDINO *et al.*, 2019).

Entretanto, para uma agricultura sustentável, existe a necessidade de diminuir a dependência de adubos químicos e, uma alternativa, são combinações com fungos, bactérias e produtos orgânicos. O biofertilizante desempenha um papel crucial para facilitar a disponibilidade dos nutrientes por meio de fixação e solubilização, respectivamente, além disso, atua como um complemento sustentável aos fertilizantes inorgânicos, contribuindo para práticas agrícolas ecologicamente responsáveis (GITE *et al.*, 2021).

Entre estes, o *Trichoderma* é um fungo adaptável a diferentes ecossistemas, sendo comum em solos nativos e agrícolas, o qual coloniza raízes de plantas, contribuindo para o equilíbrio da rizosfera (GUZMÁN-GUZMÁN *et al.*, 2019). Produz metabólitos antimicrobianos e bioestimulantes, como enzimas, antibióticos e fitormônios que ajudam no crescimento e desenvolvimento das plantas (CABRERA & MIGUEL, 2019; TYŚKIEWICZ *et al.*, 2022). Existem vários produtos promotores de crescimento à base de *Trichoderma* no mercado, que são essenciais para aumentar o suprimento de alimentos e reduzir os custos ambientais, por meio do desempenho cultural aprimorado (MEYER *et al.*, 2019).

Assim, existe poucas informações sobre a oferta de biofertilizantes na cultura do sorgo sendo essencial realizar estudos que aprofundem a compreensão da dinâmica do *Trichoderma* ssp. com os nutrientes, com o intuito de identificar combinações e condições que forneçam benefício aos produtores de forma sustentável.

OBJETIVO

O objetivo foi avaliar o crescimento de sorgo granífero, com diferentes cepas de *Trichoderma* spp. em função de doses de nitrogênio (N) e fósforo (P).

**CAPÍTULO I: PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM SORGO GRANÍFERO
SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO COM APLICAÇÃO DE
Trichoderma spp.**

RESUMO

A adubação nitrogenada é crucial, e há interesse crescente em soluções ecológicas, como o controle biológico com microrganismos benéficos, como o *Trichoderma*, para melhorar o crescimento da planta e proteger contra patógenos. Estudos futuros devem explorar seu potencial como biofertilizante. O objetivo foi avaliar o desempenho do sorgo granífero, sob a aplicação de *Trichoderma harzianum*, em diferentes doses de nitrogênio (N). O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri-GO. O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial (4 x 5), em blocos casualizados, sendo quatro tratamentos e cinco doses. Foram utilizados ureia estabilizada e convencional, com ou sem *Trichoderma harzianum*, em doses de nitrogênio (50, 70, 90, 110 e 130 kg ha⁻¹), além de 100 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e KCl, respectivamente. As características avaliadas foram altura de planta (ALTP), índice relativo de clorofila Falker (IRC), florescimento (FLOR), diâmetro do colmo (DIAMC), as massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF), e massa seca de grãos (MSG). A interação entre *Trichoderma* e diferentes doses de nitrogênio impactou significativamente o crescimento do sorgo, influenciando variáveis como altura da planta, diâmetro do colmo e produção de massa fresca e seca. O tratamento T₂, que combinava ureia estabilizada com *Trichoderma harzianum*, se destacou no aumento da altura da planta e diâmetro do colmo. Para a massa fresca caulinar e foliar, o tratamento T₄ com *Trichoderma* teve melhor desempenho, enquanto a ureia convencional (T₃) se sobressaiu na produção de massa seca de grãos. A concentração de 105 kg ha⁻¹ N em combinação com o tratamento T₂ (ureia estabilizada + *Trichoderma harzianum*) é a mais recomendada para otimização do crescimento e produtividade do sorgo.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, *Trichoderma harzianum*, ureia e biofertilizante.

ABSTRACT

A nitrogen fertilizer is crucial, and there is a growing interest in ecological solutions, such as biological control with beneficial microorganisms like *Trichoderma*, to improve plant growth and protect against pathogens. Future studies should explore its potential as a biofertilizer. The aim was to evaluate the performance of sorghum under the application of *Trichoderma harzianum* at different nitrogen (N) doses. The experiment was conducted at the University of Goiás, Campus Sul, Ipameri-GO. The experimental design was a factorial scheme (4 x 5) in randomized blocks, with four treatments and five doses. Stabilized and conventional urea were used, with or without *Trichoderma harzianum*, at nitrogen doses (50, 70, 90, 110, and 130 kg ha⁻¹), along with 100 and 70 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and KCl, respectively. Evaluated characteristics were plant height (ALTP), Falker's chlorophyll relative index (IRC), flowering (FLOR), stem diameter (DIAMC), fresh stem (MFC) and leaf (MFF) mass, and grain dry mass (MSG). The interaction between *Trichoderma* and different nitrogen doses significantly impacted sorghum growth, influencing variables such as plant height, stem diameter, and fresh and dry mass production. Treatment T₂, combining stabilized urea with *Trichoderma harzianum*, stood out in increasing plant height and stem diameter. For fresh stem and leaf mass, treatment T₄ with *Trichoderma* performed the best, while conventional urea (T₃) excelled in grain dry mass production. A concentration of 105 kg ha⁻¹ N in combination with treatment T₂ (stabilized urea + *Trichoderma harzianum*) is most recommended for optimizing sorghum growth and productivity.

Keywords: Sorghum bicolor, *Trichoderma harzianum*, urea, biofertilizer.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench), é uma cultura de significativa importância em escala mundial, pertencente à família botânica Poaceae (SOUZA *et al.*, 2020). Enquanto é cultivado principalmente para consumo humano nos continentes africano e asiático, em nações como os Estados Unidos, Austrália e Brasil, seu uso é predominantemente voltado para a alimentação animal (SUBZWARI *et al.*, 2018; ASTORECA *et al.*, 2019).

Apesar de ser frequentemente comparado ao milho (*Zea mays*) em termos de valor nutricional e características agrônomicas, o sorgo se diferencia como uma excelente opção para a produção de silagem. Isso se deve à sua habilidade em produzir uma quantidade substancial de matéria seca, mesmo em solos menos férteis, devido à presença de carboidratos fermentáveis em níveis adequados, à reduzida capacidade tampão e à alta digestibilidade (MACÊDO *et al.*, 2018).

No Brasil, especialmente nas regiões Sul, Centro-Oeste e em áreas de semiárido, o sorgo tem demonstrado adaptabilidade e um elevado potencial produtivo. Apresenta-se como uma opção viável para a produção de forragem, grãos e etanol, sobretudo em ambientes onde o estresse hídrico e salino restringe o desempenho de outras culturas. (COSTA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020).

A maximização dos recursos naturais, incluindo o nitrogênio, desempenha um papel crucial no cultivo bem-sucedido do sorgo. As diferentes doses desse elemento têm um impacto significativo na estatura das plantas e na expansão das folhas, influenciando diretamente os rendimentos obtidos. A aplicação de adubação nitrogenada nas culturas integradas ao sistema de produção tem apresentado resultados encorajadores em termos de crescimento das plantas e melhoria da qualidade do solo, esse efeito é particularmente notável em solos tropicais intemperizados, como os encontrados no Cerrado brasileiro, onde as culturas agrícolas dependem fortemente da fertilização com nitrogênio para atingir seu potencial máximo de produção (CRUSCIOL *et al.*, 2020; FARIAS *et al.*, 2020; PIRES *et al.*, 2022).

O fertilizante de nitrogênio de ureia tem sido a principal fonte de nitrogênio para safras, fornecendo nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, estudos mostram que a ureia convencional tem baixa eficiência de utilização pelas plantas, sendo absorvida e utilizada apenas em parte (ZHANG *et al.*, 2023). Após a aplicação do fertilizante, a maior parte do nitrogênio restante no solo é perdida devido a

processos como volatilização de amônia, lixiviação de nitrato, nitrificação e desnitrificação, o que resulta em questões como acidificação do solo, aumento das emissões de gases de efeito estufa e eutrofização de corpos hídricos (KUMAR *et al.*, 2020; GIORDANO *et al.*, 2021; ABDO *et al.*, 2022; PAN *et al.*, 2022).

As pesquisas buscam melhorar a utilização de fertilizantes nitrogenados para conservar recursos, promover a sustentabilidade agrícola e proteger os agroecossistemas, utilizando práticas inovadoras e fertilizantes eficientes. Um fertilizante de ureia estabilizada é um produto inovador que combina ureia com substâncias que inibem a nitrificação, a urease ou ambas (ARROBAS *et al.*, 2023). Os fertilizantes revestidos regulam a liberação de nutrientes por meio de camadas de material de filme contínuo, o que reduz as perdas e aumenta a eficiência no uso desses produtos.

Em resposta a esses desafios, as pesquisas têm se concentrado em explorar soluções alternativas, com ênfase nas tecnologias sustentáveis (SILVA *et al.*, 2018). O gênero *Trichoderma* spp. promove o crescimento das raízes laterais e dos radiculares das plantas através do IAA e da ativação da H⁺ATP-ase na membrana plasmática, estimulando o alongamento e crescimento celular (LÓPEZ-CORIA *et al.*, 2016).

Isso pode resultar em uma melhor eficiência no uso de nitrogênio, aumento da produtividade e atenuação dos efeitos do estresse salino (BETTIOL *et al.*, 2019). No entanto, a eficácia desse controle depende de fatores específicos, tanto bióticos quanto abióticos, como temperatura, umidade, pH e disponibilidade de nutrientes (MEDEIROS *et al.*, 2020). Além disso, deve se buscar estudar o comportamento da planta diante de diversas condições e assim demonstrar o potencial da espécie em outras situações, como biofertilizante e um aliado na aquisição de nutrientes.

OBJETIVO

O objetivo foi avaliar o desempenho do sorgo granífero, sob a aplicação de *Trichoderma harzianum*, em diferentes doses de nitrogênio (N).

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri (Lat. 17° 42' 59,12 S, Long. 48°08' 40,49" W, Alt. 773 m), em casa de vegetação (30 x 7 x 3,5m), com estrutura metálica coberta por sombrite 25%, no teto e nas laterais.

O cultivar de sorgo granífero utilizado foi o AA221, que possui ciclo precoce, florescimento em torno de 59-62 dias, colheita em torno 115-120 dias, altura média de 150 cm, stay-green considerado excelente, coloração de grão alaranjado escuros, sem tanino, dry down considerado excelente, panícula do tipo semi-compacta, com colmo de alta resistência ao quebramento e ao acamamento, com raízes agressivas, sendo usado para a produção de grãos (ANALYSE, 2024).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial, 4 x 5 (tratamentos e doses), com cinco repetições. Os tratamentos foram T₁ – ureia estabilizada (N45), T₂ – ureia estabilizada (N45) combinada com *Trichoderma harzianum*, T₃ – ureia convencional e T₄ – ureia convencional combinada com *Trichoderma harzianum*. As doses de nitrogênio foram 50, 70, 90, 110 e 130 kg ha⁻¹ de N, além de 100 kg ha⁻¹P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de KCl, respectivamente. O solo de cultivo foi o Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018). O clima da região é classificado como Tropical (Aw) segundo a classificação de Köppen, com inverno seco, verão úmido e temperatura média de 20°C (ALVARES et al., 2013).

Tabela 1. Principais atributos químicos do solo (0-20 cm de profundidade) sem qualquer aplicação de fertilizante ou calcário. Ipameri, GO, UEG.

CARACTERÍSTICAS	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol dm ⁻³						
SOLO	4,9	24,1	9,0	30,3	4,1	18,2	7,5	27,8	57,6	47,7

pH – acidez ativa, M.O. – Matéria orgânica, P – Fósforo disponível, H+Al – acidez potencial, k – Potássio disponível, Ca – Cálcio trocável, Mg – Magnésio trocável, CTC – Capacidade de troca catiônica efetiva, V% – Saturação por bases.

Foi realizada uma única aplicação com *Trichoderma* spp., a fonte utilizada foi um produto comercial à base de *Trichoderma harzianum* (Ecotrich WP; Ballagro Agro Tecnologia Ltda., Piracaia, SP, Brasil), os quais as sementes foram colocadas em contato

direto com a cepa de *T. harzianum*, na quantidade de 8 mL de suspensão na dose de $2,5 \times 10^8$ células/ 100g de semente, com o emprego de pulverizador manual de pressão (550 mL), até o encharcamento e imediatamente semeadas no vaso. Os tratos culturais consistiram em campinas manuais para controle de plantas daninhas e aplicação de produtos fitossanitários, sendo ENGEO PLENO™ S e, PERITO 970 SG 15 mL L⁻¹ para o controle de cigarrinhas.

As características avaliadas foram índice relativo de clorofila Falker (IRC) - medidos através do CFL1030 (SN0359), expressos em g de clorofila, a partir de três folhas totalmente abertas na porção mediana das plantas, com 80 dias após a semeadura; florescimento (FLOR) - número de dias da semeadura até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela; altura de planta (ALT) - medida referente à altura da planta, em cm, do solo ao ápice do pendão, diâmetro do colmo (DIAMC) - medida referente ao diâmetro médio de três colmos representativos da parcela, medidos próximo a base (3 cm do solo), em milímetros; as massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF), foram realizadas após a colheita da parcela e, pesada de forma imediata, em gramas; massa seca de grãos (MSG), foram medidos após a maturação fisiológica e após os corte e debulha, armazenadas em sacos de papel kraft e mantidas em estufa com ventilação forçada a 65°C por 72h e, então pesadas, sendo expressas em gramas.

Foram realizadas análises de variância e, posteriormente, a regressão polinomial, através do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que existe diferença significativa a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) para a interação das variáveis analisadas. Com isso, evidenciou-se que a combinação de *Trichoderma* com diferentes doses de nitrogênio demonstraram desempenhos contrastantes, afetando as diferentes variáveis do sorgo (Tabela 2). Wei *et al.* (2023) observou o efeito do *Trichoderma harzianum* na promoção do crescimento do sorgo sacarino, os resultados obtidos mostraram que a aplicação de *Trichoderma* aumentou significativamente ($p < 0,01$), a altura da planta, diâmetro do caule, quando comparado com o controle não inoculado.

O *Trichoderma harzianum* tem o potencial de aprimorar o crescimento das plantas, em diferentes estresses (KHOMARI & DAVARI, 2017), possivelmente aumentando a disponibilidade de nutrientes e a eficiência da fotossíntese (ASAD, 2022).

Tabela 2. Resumo do quadrado médio das variáveis índice relativo de clorofila (IRC), florescimento (FLOR), altura de planta (ALT), diâmetro do colmo (DIAMC), massas frescas caulinar (MFC), massas frescas foliar (MFF) e massa seca de grãos (MSG), com a aplicação de quatro tratamentos e cinco doses de nitrogênio. Ipameri, GO, 2023.

F.V.	GL	IRC	FLOR	ALT	DIAMC	MFC	MFF	MSG
Tratamento (T)	3	100,60**	95,90 ^{n.s.}	354,20*	10,95**	32,43**	455,83**	12,08**
Dose (D)	4	175,92**	623,57**	1226,16**	35,99**	24,78**	1249,39**	27,59**
T x D	12	83,57**	191,75**	292,44**	2,91**	6,47**	218,31*	2,27**
Bloco	4	30,59	35,42	361,34	1,54	0,91	201,75	0,85
Erro	76	9,29	53,69	94,50	0,55	1,93	91,48	0,49
CV (%)		6,36	7,81	12,05	7,35	10,32	11,96	6,95

^{ns} não significativo; ** - altamente significativo; * - significativo; 5% de probabilidade, pelo teste F; CV (%) – coeficiente de variação.

Observou-se no índice relativo de clorofila (IRC) que o tratamento com ureia estabilizada (N45) e combinada com *Trichoderma harzianum* (T₂), apresentou melhor desempenho e com o aumento das doses de nitrogênio e com ênfase entre as doses 90 a 130 kg ha⁻¹, o qual a dose recomendada seria 105 kg ha⁻¹ de N (Figura 1). Gupta *et al.* (2022) estudaram a taxa fotossintética do milho, com aplicação de *Trichoderma harzianum* e esterco, o que resultou em um aumento significativo na concentração da clorofila, sendo, quase 2 vezes maior durante o estágio vegetativo da planta PRM-801, seguido por um aumento de 75% durante a fase reprodutiva, em comparação com o controle. Esses resultados indicaram que as plantas de sorgo inoculadas podem ter uma

eficiência fotossintética superior, que por sua vez, pode levar a um maior acúmulo de biomassa e de fotoassimilados.

Na variável Florescimento (FLOR), o tratamento T₂, que combina ureia estabilizada com *Trichoderma harzianum*, teve melhor desempenho em comparação aos demais. Esse resultado se deve ao fato de que o florescimento precoce é favorecido quando se aplica baixas quantidades de nitrogênio. No estudo, o florescimento atingiu um pico máximo ao redor de 65,2 kg ha⁻¹ de N. Em outras palavras, o tratamento T₂ foi mais eficiente porque a presença de *Trichoderma harzianum*, junto com uma quantidade moderada de nitrogênio fornecida pela ureia convencional, promoveu um florescimento mais rápido e robusto das plantas, sem a necessidade de altas doses de nitrogênio (Figura 1).

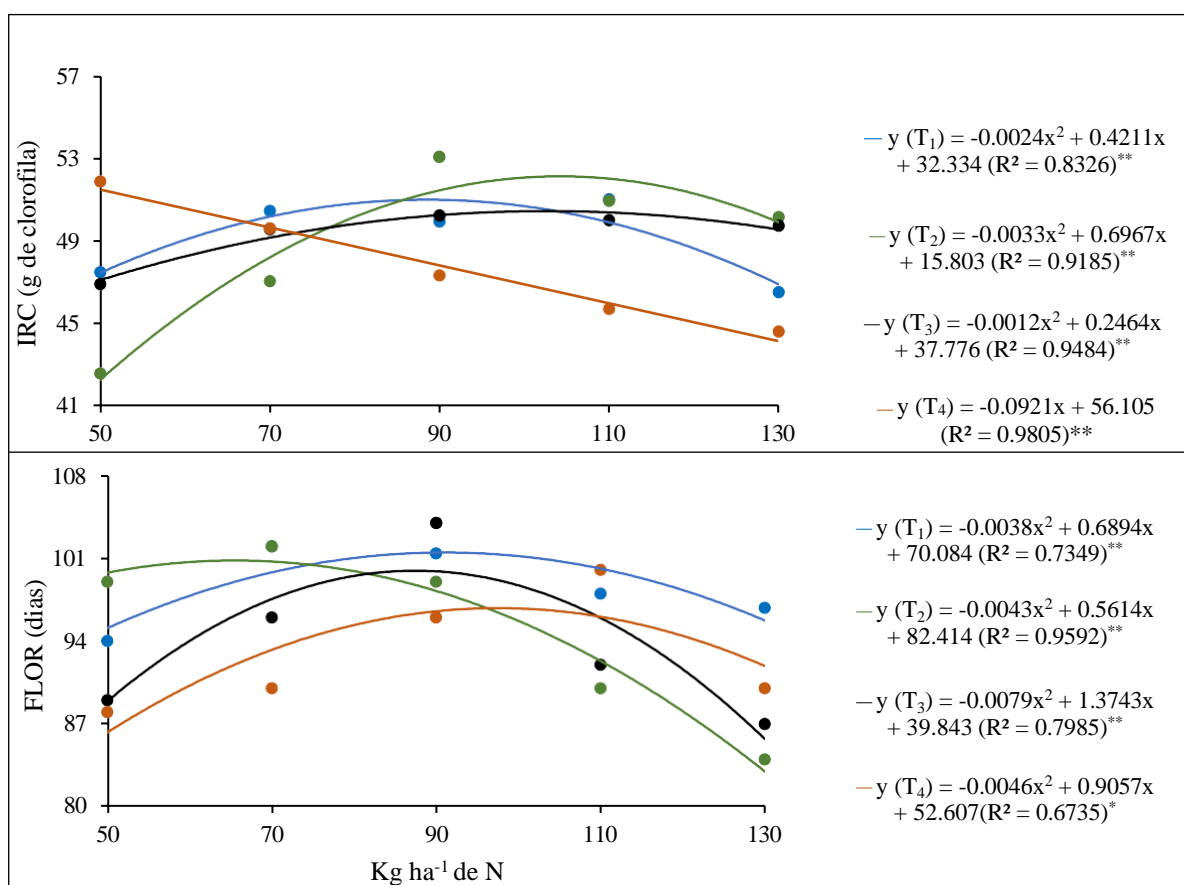


Figura 1. Índice relativo de clorofila (IRC), florescimento (FLOR), com quatro tratamentos [T₁ – ureia estabilizada (N45), T₂ – ureia estabilizada (N45) combinada com *Trichoderma harzianum*, T₃ – ureia convencional e T₄ – ureia convencional combinada com *Trichoderma harzianum*] em função de cinco doses de nitrogênio.

No trabalho realizado por Abera et al. (2020), onde foi avaliado diferentes épocas e doses de nitrogênio, foi constatado que os dias para a floração foram acelerados sob taxas mais baixas, aumentando a taxa de nitrogênio de 23 para 46, 69 e 92 kg N ha⁻¹,

prolongando os dias até a floração, em cerca de 5,66%, 11,32%, 14,47% e 17,83% respectivamente. As plantas cultivadas com doses de 92 kg N ha⁻¹ levaram cerca de 68, 78 dias, enquanto na dose de 23 kg N ha⁻¹ a floração ocorreu em torno de 62,33 dias. A capacidade de alcançar florescimento precoce com doses mais baixas de nitrogênio oferece ao produtor vantagens econômicas significativas, maior sustentabilidade ambiental e maior flexibilidade no manejo agrícola. Isso resulta em uma produção de sorgo mais eficiente, sustentável e potencialmente mais lucrativa.

Verificou-se que na variável altura de planta (ATL) as equações são lineares, isso significa que à medida que as doses de N aumentam, as alturas também aumentam. Para o diâmetro do colmo (DIAM), o tratamento que melhor se destacou foi o tratamento T₄ com o ponto máximo de 66 kg ha⁻¹ de N, permitindo observar que o tratamento com aplicação de *Trichoderma* spp. obteve melhor resultado comparado com os demais. O tratamento T₄ foi o que apresentou melhor desempenho, sob baixa disponibilidade de N, no que se refere o diâmetro do colmo. Isso sugere que estratégias de manejo que visam promover um maior diâmetro do colmo podem resultar em plantas mais resistentes, capazes de suportar melhor o peso das partes aéreas e de resistir a condições adversas (Figura 2).

No estudo conduzido por Albuquerque *et al.* (2020), que investigaram o manejo da adubação nitrogenada, em doses variando de 16 a 64 kg ha⁻¹ de N, em diferentes cultivares de sorgo grão e silagem, constataram-se que o incremento na adubação nitrogenada resultou em um aumento de 1 a 4 cm no porte das plantas na dose 48kg ha⁻¹, independentemente do tipo de cultivar utilizado. A constatação de que as equações para a altura de planta são lineares em relação às doses de N indica uma relação direta entre a adubação nitrogenada e o crescimento das plantas de sorgo.

O estudo de Albuquerque *et al.* (2020) reforçam essa relação ao demonstrar que o aumento na adubação nitrogenada comprovada em um incremento no porte das plantas, independentemente do tipo de cultivar utilizado. Isso sugere que uma fertilização adequada com nitrogênio pode ser crucial para o desenvolvimento saudável das plantas de sorgo.

Wei *et al.* (2023) investigaram o impacto do *Trichoderma harzianum* no crescimento do sorgo sacarino. Os resultados mostraram que a aplicação de *Trichoderma* aumentou a altura da planta e o diâmetro do caule em 32,68% e 32,09%, respectivamente, quando comparado ao controle não inoculado. Esses resultados indicam que a aplicação

de *Trichoderma* spp. pode ser uma estratégia eficaz para promover o crescimento das plantas de sorgo, uma vez que foi observado um aumento significativo na altura da planta e no diâmetro do colmo quando comparado ao controle não inoculado. Isso ressalta o potencial do manejo biológico como uma alternativa sustentável e eficaz para melhorar a produtividade das culturas.

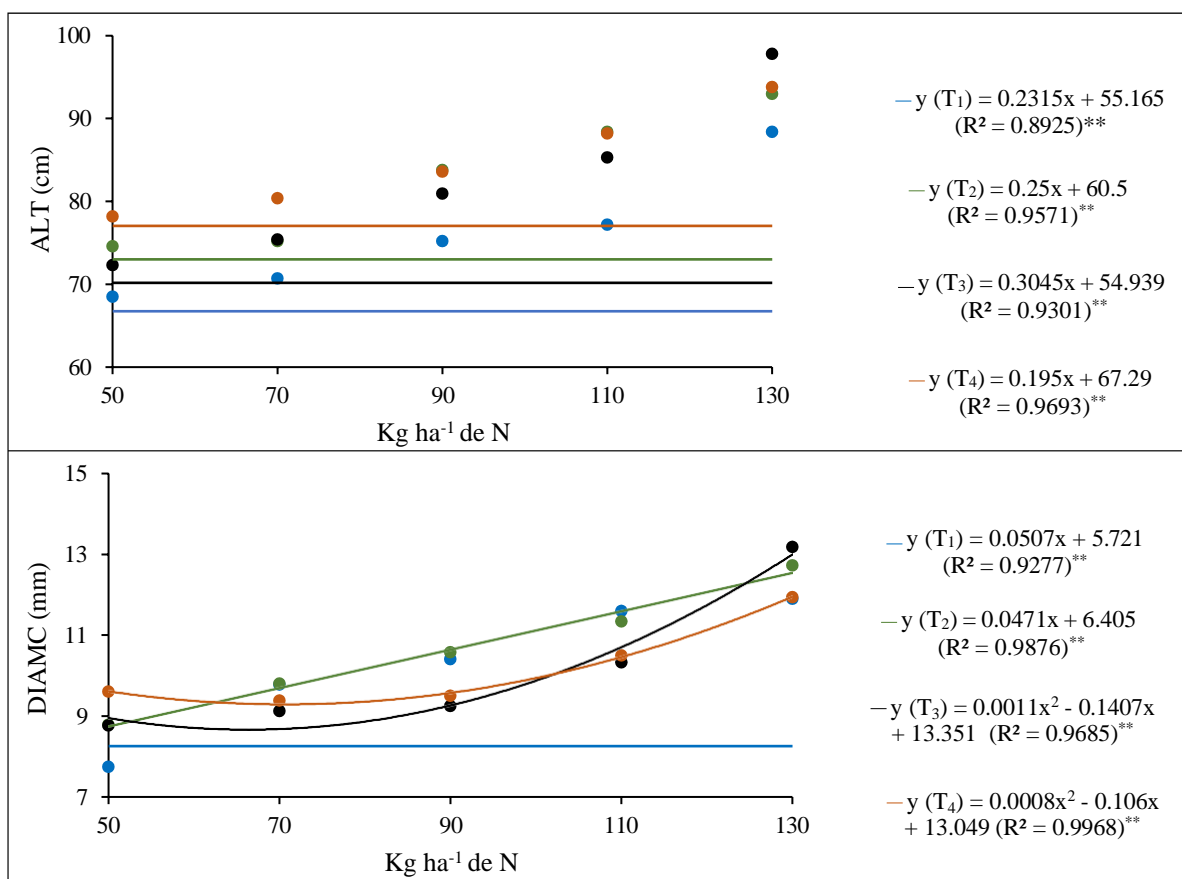


Figura 2. Altura da Planta (ALT), Diâmetro do colmo (DIAMC), com quatro tratamentos [T₁ – ureia estabilizada (N45), T₂ – ureia estabilizada (N45) combinada com *Trichoderma harzianum*, T₃ – ureia convencional e T₄ – ureia convencional combinada com *Trichoderma harzianum*] em função de cinco doses de nitrogênio.

A pesquisa de Noori (2020) mostrou que a fertilização com nitrogênio aumentou significativamente todos os parâmetros de crescimento e produtividade do sorgo em comparação ao controle. Entre os diferentes níveis de fertilização com nitrogênio, a aplicação de 100 kg ha⁻¹ (N45) se destacou, melhorando significativamente a altura (245,26 cm) e o acúmulo de matéria seca (240,10 g) aos 90 dias após a semeadura. Esses resultados indicaram que a aplicação de nitrogênio é crucial para melhorar o desempenho do sorgo.

Para as massas frescas caulinar e foliar o tratamento T₄ – ureia convencional combinada com *Trichoderma harzianum* foi o que melhor, se destacou entre os

tratamentos com adição de *Trichoderma*, tendo em vista que com a menor dose de nitrogênio 50 kg ha^{-1} , e os mesmos pontos de máximo de partir dos pontos máximos de $80,5 \text{ kg ha}^{-1}$ para MFC quanto para MFF, quanto maior a dose maior será o peso das massas (Figura 3).

No estudo realizado por Carvalho *et al.* (2022) foi observado que a dose máxima de nitrogênio para a massa seca da parte aérea foi de $191,3 \text{ kg ha}^{-1}$, resultou em uma massa seca de $30,33 \text{ g}$. Os resultados deste estudo mostraram que o aumento da dose de nitrogênio estaria correlacionado com os ganhos na massa seca da parte aérea, sendo a concentração de 150 kg ha^{-1} melhor dose-resposta no desenvolvimento da cultura do sorgo granífero.

Maia *et al.* (2017), ao estudarem diferentes doses de adubação nitrogenada (80 , 120 e 160 kg ha^{-1}) no sorgo híbrido SS-318, não observaram aumento na produção de massa seca com o aumento das doses de nitrogênio, com médias de ($16,40$, $18,06$ e $15,37 \text{ g}$), respectivamente. Esses resultados sugerem que a resposta da cultura do sorgo à adubação nitrogenada e ao uso de *Trichoderma harzianum* pode variar de acordo com o genótipo do sorgo, conforme as condições do solo e o manejo agrícola adotado.

Desta forma, é essencial considerar a interação de diferentes fatores, como a dose de nitrogênio, a aplicação de agentes biológicos benéficos e as características específicas das cultivares de sorgo, para melhoria do crescimento e desenvolvimento da cultura. A combinação de fertilização nitrogenada com a aplicação de *Trichoderma harzianum* pode representar uma estratégia eficaz para aumentar a produção de massa fresca e massa seca da parte aérea do sorgo, contribuindo para a melhoria da produtividade e qualidade da cultura.

No que se refere a massa seca de grãos, o tratamento que melhor se destacou foi o T₃ – ureia convencional, com o ponto de máximo de $75,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, entre os tratamentos com adição de *Trichoderma* foi o T₂ com o ponto de máximo de $65,55 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. O T₃ demonstrou uma eficácia superior com o ponto de máximo maior em questão de eficiência agrônômica, custo-benefício e facilidade de implantação. Enquanto o T₂ oferece benefícios adicionais, como a redução da lixiviação de nutrientes, promovendo uma prática mais sustentável. A escolha entre os tratamentos deve levar em consideração uma avaliação abrangente que considere diversos fatores, como eficiência agrônômica, sustentabilidade, custo-benefício e praticidade. Cada tratamento possui suas

vantagens e vantagens, e a decisão final dependerá das prioridades e das necessidades específicas do contexto em questão.

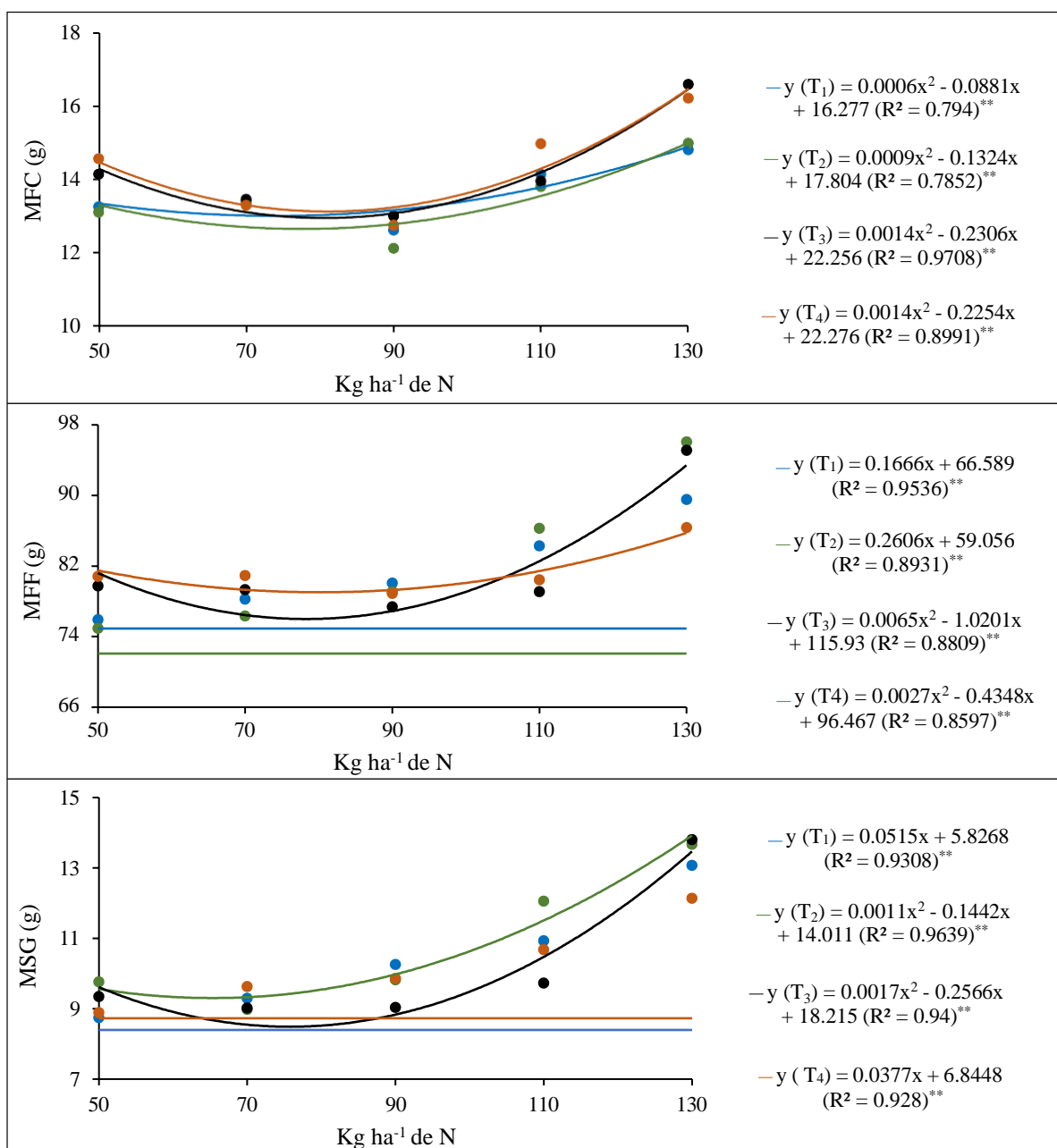


Figura 3. Massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF) massa seca de grãos (MSG), com quatro tratamentos [T₁ – ureia estabilizada (N45), T₂ – ureia estabilizada (N45) combinada com *Trichoderma harzianum*, T₃ – ureia convencional e T₄ – ureia convencional combinada com *Trichoderma harzianum*] em função de cinco doses de nitrogênio.

Os resultados encontrados por Melaku *et al.* (2018) indicaram que a aplicação de 23, 41, 64 e 87 kg ha⁻¹ de N resultou em aumentos de rendimento de 40, 53, 62 e 69%, respectivamente, em comparação com o controle (0 kg ha⁻¹ de N). Além disso, a aplicação parcelada de 41, 64 e 87 kg de fertilizante nitrogenado, divididos igualmente entre o

plantio e a fase de crescimento, resultou em aumentos de 19%, 15% e 18% na produção de grãos de sorgo em comparação com a aplicação única da mesma dose.

Abera *et al.* (2020) teve maior produtividade de grãos registrada em 4.635 kg ha⁻¹, a mesma ocorreu quando uma dose de 69 kg ha⁻¹ de N por hectare foi aplicada em três parcelas: um terço na semeadura, um terço durante o crescimento vegetativo e um terço durante a fase inicial de crescimento. Essa produtividade foi seguida por uma combinação de 69 kg ha⁻¹ de N, distribuídos em duas parcelas, metade na semeadura e metade durante a fase intermediária do crescimento vegetativo, resultando em uma produtividade de 4.363 kg ha⁻¹.

CONCLUSÃO

Conclui-se que na dose de 105 kg ha^{-1} de nitrogênio combinada com o tratamento T₂ (ureia estabilizada + *Trichoderma harzianum*) é a mais adequada para otimizar o crescimento e a produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERA, K.; TANA, T.; TAKELE, A. Effect of rates and time of nitrogen fertilizer application on yield and yield components of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] at Raya Valley, Northern Ethiopia. **International Journal of Plant Breeding**, v. 7, p.598-612, 2020.

ABDO, A. I.; SUN, D.; LI, Y.; YANG, J.; METWALLY, M. S.; ABDEL-HAMED, E. M.; WEI, H.; ZHANG, J. Coupling the environmental impacts of reactive nitrogen losses and yield responses of staple crops in China. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.927935, 2022.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; SOUZA, T. H. S.; COSTA, L. M.; ROCHA, F. S.; MONÇÃO, F. P.; RIGUEIRA, J. P. S.; ROCHA JR., V. R. Uso do clorofilômetro e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em cultivares de sorgo granífero e silageiro na região semiárida. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p.16976-16993, 2020.

ANALYSE Sementes. Sorgo AA221. Disponível em: <https://www.analycesementes.com.br/sorgo-aa221/>. Acesso em: 03 de Agosto de 2024.

ARROBAS, M.; CHIOCHETTA, J. C.; DAMO, L.; JÚLIO, A. C.; HENDGES, I. P.; WAGNER, A.; GODOY, W. I.; CASSOL, L. C.; RODRIGUES, M. Â. Controlled-release and stabilized fertilizers are equivalent options to split application of ammonium nitrate in a double maize-oats cropping system. **Journal of Plant Nutrition**, v.46, n. 6, p.996-1008, 2023.

ASAD, S. A. Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases-A review. **Ecological complexity**, v.49, p.100978, 2022.

ASTORECA, A. L.; EMATEGUY, L. G.; ALCONADA, T. M. Fungal contamination and mycotoxins associated with sorghum crop: its relevance today. **European Journal of Plant Pathology**, v. 155, p. 381-392, 2019.

BETTIOL, W.; SILVA, J. C.; CASTRO, M. L. M. P.; MEYER, M.; MAZARO, S.; SILVA, J. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, p. 21-43, 2019.

CARVALHO, F. H.; DE MENEZES FILHO, A. C. P.; VELOSO, T. G.; VENTURA, M. V. A.; ALCÂNTARA, R. S.; BATISTA-VENTURA, H. R. F.; ALVES, J. M. Nitrogen availability in grain sorghum under Cerrado conditions. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e57611831306-e57611831306, 2022.

COSTA, J. P. N.; COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. V. T.; LINO, V. A. D. S. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 417-428, 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; MOMESSO, L.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M.; CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; COSTA, C.; FRANZLUEBBERS, A. J.;

CANTARELLA, H. Nitrogen-fertilized systems of maize intercropped with tropical grasses for enhanced yields and estimated land use and meat production. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 4, p. 544853, 2020.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V.; DUARTE, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; ALVES, L. A.; DE FACCI CARVALHO, P. C.; BREMM, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 40, n. 6, p. 39, 2020.

GIORDANO, M.; PETROPOULOS, S. A; ROUPHAEL, Y. The fate of nitrogen from soil to plants: Influence of agricultural practices in modern agriculture. *Agriculture*, v. 11, n.10, p. 944, 2021.

GUPTA, R.; SINGH, M.; KHAN, B. R. Photosynthetic electron transport rate and root dynamics of finger millet in response to *Trichoderma harzianum*. **Plant Signaling & Behavior**, v. 17, n. 1, p. 2146373, 2022.

KHOMARI, S.; DAVARI, M. Trichoderma-induced enhancement of soybean seedling performance in response to salt stress. **Journal of Plant Physiology and Breeding**, v. 7, n. 1, p.27-39, 2017.

KUMAR, A.; MEDHI, K.; FAGODIYA, R.K.; SUBRAHMANYAM, G.; MONDAL, R.; RAJA, P.; MALYAN, S. K.; GUPTA, D. K.; GUPTA, C. K.; PATHAK, H. Molecular and ecological perspectives of nitrous oxide producing microbial communities in agro-ecosystems. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 19 n. 4, p.717-750, 2020.

LÓPEZ-CORIA, M.; HERNÁNDEZ-MENDOZA, J. L.; SÁNCHEZ-NIETO, S. *Trichoderma asperellum* induces maize seedling growth by activating the plasma membrane H⁺-ATPase. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 29, n. 10, p.797-806, 2016.

MACÊDO, A. J. D. S.; SANTOS, E. M.; ARAÚJO, G. G. L. D.; EDVAN, R. L.; OLIVEIRA, J. S. D.; PERAZZO, A. F.; PEREIRA, D. M. Silagens em forma de dieta à base de palma forrageira e capim-buffel. **Jornal Africano de Range & Forage Science**, v. 35, n. 2, p. 121-129, 2018.

MAIA, C. P., BARBOSA, D. P., SANTOS, L. F. C., PEREIRA, N. L., & GUIMARÃES, A. K. V. Caracteres produtivos de sorgo híbrido SS-318 submetido a doses de nitrogênio. **Revista Agroecossistemas**, v. 9 n.2, p. 53-65, 2017.

MEDEIROS, F. H. V.; GUIMARÃES, R. A.; SILVA, J. C. P.; MAGALHÃES, V. C.; SOUZA, J. T. Trichoderma: Interações e Estratégias. Trichoderma uso na agricultura. **EMBRAPA soja**. c. 6, Brasília - DF, p.219, 2020.

MELAKU, N. D.; BAYU, W.; ZIADAT, F.; STROHMEIER, S.; ZUCCA, C.; TEFERA, M. L.; KLIK, A. Effect of nitrogen fertilizer rate and timing on sorghum productivity in Ethiopian highland Vertisols. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n.4, p.480-491, 2018.

NOORI, M. S. Effect of nitrogen fertilization on growth and forage yield of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] under takhar agro-ecological conditions. **Turkish Journal of Range and Forage Science**, v. 1, n. 2, p. 66-71, 2020.

PAN, S.Y.; HE, K. H.; LIN, K. T.; FAN, C.; CHANG, C. T. Addressing nitrogenous gases from croplands toward low-emission agriculture. **Npj Climate and Atmospheric Science**, v. 5, n.1, p. 43, 2022.

PIRES, G. C.; DE OLIVEIRA DENARDIN, L. G.; SILVA, L. S.; DE FREITAS, C. M.; GONÇALVES, E. C.; DE CAMARGO, T. A.; BREMM, C.; DE FACCIO CARVALHO, P. C.; DE SOUZA, E. D. System Fertilization Increases Soybean Yield Through Soil Quality Improvements in Integrated Crop-Livestock System in Tropical Soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Heidelberg, v. 22, n. 4, p. 4487–4495, 2022.

SANTOS, G. C. L.; GARCIA, P. D. M.; VIANA, T. B. L.; BORGES, P. F., ARAUJO, L. S.; GONZAGA, S. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de zootecnia**, v. 69, n. 266, p. 164-171, 2020.

SILVA, L. S.; MEDEIROS, T. R.; SILVA, A. P. R.; DAVID, G. Q.; MOYA, W. P.; SORATO, A. M. C. Controle alternativo do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* com óleos essenciais. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, p. 6, 2018.

SOUZA, W. C. L.; SILVA, L. E. B.; LIMA, L. L. C.; BRITO, D. R. Aspectos comparativos entre milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): diferenças e semelhanças. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 4, p. 2337-2357, 2020.

SUBZWARI, S.; BRYANT, G.; SMALL, D. M. Characterisation of sorghum starch granules using SAXS: effects of moisture on crystallinity and structure. **Food Sci Technol**, v. 54, n. 3, p. 744-751, 2018.

ZHANG, Y.; LI, D.; ZHANG, K.; XIAO, F.; LI, Y.; DU, Y.; WU, K. The effects of long-term application of stabilized and coated urea on soil chemical properties, microbial community structure, and functional genes in paddy fields. **Agronomy**, v. 13, n. 9, p. 2190, 2023.

WEI, Y.; YANG, H.; HU, J.; WU, Y.; ZHOU, Y. *Trichoderma harzianum* inoculation promotes sweet sorghum growth in the saline soil by modulating rhizosphere available nutrients and bacterial community. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1258131, 2023.

**CAPÍTULO II: PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM SORGO GRANÍFERO
SOB DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO COM APLICAÇÃO DE *Trichoderma*
spp.**

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é um alimento importante em climas quentes e semiáridos, contendo diversos nutrientes, sendo o fósforo essencial para seu crescimento. Pesquisas recentes exploram o uso sustentável de biofertilizantes e microrganismos benéficos, como o *Trichoderma*, para melhorar a produtividade, otimizar o uso de nutrientes como o fósforo e preservar a saúde do solo, oferecendo uma alternativa ao uso excessivo de fertilizantes químicos. O objetivo foi avaliar o desempenho do sorgo granífero, sob a aplicação de *Trichoderma harzianum*, em diferentes doses de fósforo. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri-GO. O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial (4 x 5), em blocos casualizados, sendo quatro tratamentos e cinco doses. O fósforo foi utilizado fósforo estabilizado e supersimples, com ou sem *Trichoderma harzianum*, em doses de fósforo (10, 80, 150, 220 e 290 kg ha⁻¹), além de 100 e 70 kg ha⁻¹ de N e KCl. Avaliadas as características de altura de planta (ALTP), índice relativo de clorofila Falker (IRC), florescimento (FLOR), diâmetro do colmo (DIAMC), as massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF), e massa seca de grãos (MSG). O tratamento combinado fósforoestabilizado (P35) e *Trichoderma harzianum* (T₂) mostrou-se superior em diversas análises do desenvolvimento do sorgo, destacando-se na altura das plantas, diâmetro do caule e massa seca. Uma dose de 220 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a mais eficaz quando combinada com o tratamento T₂ para promover o crescimento e o rendimento do sorgo.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, *Trichoderma harzianum*, supersimples e biofertilizante.

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is an important food in hot and semi-arid climates, containing various nutrients, with phosphorus being essential for its growth. Recent research explores the sustainable use of biofertilizers and beneficial microorganisms, such as *Trichoderma*, to enhance productivity, optimize the use of nutrients like phosphorus, and preserve soil health, offering an alternative to the excessive use of chemical fertilizers. The objective was to evaluate the performance of grain sorghum under the application of *Trichoderma harzianum* at different phosphorus doses. The experiment was conducted at the State University of Goiás, Southern Campus, Ipameri- GO University Unit. The experimental design used was a factorial scheme (4 x 5), in randomized blocks, with four treatments and five doses. Phosphorus was used in the forms of stabilized phosphorus and superphosphate, with or without *Trichoderma harzianum*, at phosphorus doses (10, 80, 150, 220, and 290 kg ha⁻¹), in addition to 100 and 70 kg ha⁻¹ of N and KCl. The evaluated characteristics included plant height (PLH), Falker relative chlorophyll index (RCI), flowering (FLOR), stem diameter (STD), fresh stem mass (FSM) and fresh leaf mass (FLM), and grain dry mass (GDM). The combined treatment of stabilized phosphorus (P35) and *Trichoderma harzianum* (T₂) proved superior in various analyses of sorghum development, excelling in plant height, stem diameter, and dry mass. A dose of 220 kg ha⁻¹ of phosphorus was the most effective when combined with treatment T₂ to promote sorghum growth and yield.

Keywords: *Sorghum bicolor*, *Trichoderma harzianum*, superphosphate, and biofert

INTRODUÇÃO

Sorgo, também conhecido cientificamente como *Sorghum bicolor* (L.) Moench, desempenha um papel significativo como alimento essencialmente consumido em áreas com climas quentes e semiáridos em todo o mundo (SEMERE *et al.*, 2023). É uma fonte rica em nutrientes, incluindo carboidratos, fibras, vitaminas, minerais e uma variedade de fitoquímicos, como taninos, ácidos fenólicos, antocianinas e fitoesteróis (GIRARD & AWIKA, 2018).

O sorgo é a quinta cultura mais significativa do mundo, usado como alimento humano, ração animal, e na produção de etanol e biocombustíveis, entretanto, sob seca e estresse térmico, aspectos fisiológicos como absorção de nutrientes, biossíntese de metabólitos secundários e acumulação de compostos polifenólicos requerem mais estudo (NDLOVU *et al.*, 2021), além desses, a sua condição em diferentes tipos de solo e com diferentes fontes de fertilizantes.

No que se refere à absorção de nutrientes, as plantas necessitam de 17 elementos essenciais para seu crescimento e desenvolvimento, sendo alguns desses absorvidos do ar e da água, enquanto outros são obtidos do solo por meio das raízes (BOUAIN *et al.*, 2019; BEGUM *et al.*, 2022). O fósforo é crucial tanto para a formação de macromoléculas como proteínas e ácidos nucleicos, quanto no metabolismo de nitrogênio, carboidratos e gorduras. Além disso, desempenha papéis importantes na fotossíntese, tradução de sinal e resistência ao estresse em plantas, influenciando o crescimento, rendimento e qualidade da colheita (MENG *et al.*, 2021).

Em escala global, o uso de adubação fosfatada é uma prática generalizada para aumentar a produção de sorgo, no entanto, a aplicação excessiva ou contínua a longo prazo de fertilizantes químicos fosfatados pode resultar em poluição ambiental e degradação da qualidade do solo, porque apenas uma minoria do nutriente disponíveis consegue ser eficaz nas plantações. (TUMBURE *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020).

O excesso de fertilizantes de fósforo pode resultar em eutrofização das águas superficiais e salinização do solo em terras agrícolas (CUI *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2021). Esses fertilizantes derivam de depósitos geológicos não renováveis de fosfato, representando uma ameaça ao desenvolvimento sustentável da humanidade (ALEWELL *et al.*, 2020). Nos últimos anos, houve um aumento no desenvolvimento de fertilizantes de liberação lenta para reduzir a perda desse nutriente (FRIŠTÁK *et al.*, 2018). Esses fertilizantes liberam o fósforo de forma gradual, aumentando a absorção pelas plantas

(CHEN *et al.*, 2020). Além disso, o manejo adequado da umidade nas terras agrícolas é crucial para aumentar os rendimentos das culturas (AN *et al.*, 2020), destacando a importância de materiais com alta retenção de água na agricultura moderna.

Pesquisadores buscam soluções para melhorar a produção agrícola e garantir o suprimento alimentar para a população crescente (ABDULLAH *et al.*, 2021). Manter a fertilidade do solo é essencial, mas o uso excessivo de produtos químicos pode prejudicá-la. Os biofertilizantes, com microrganismos benéficos, são uma alternativa sustentável para restaurar essa fertilidade (NAAYEM *et al.*, 2022).

A agroecologia emergiu como uma abordagem proeminente na reformulação dos sistemas alimentares, visando práticas agrícolas mais ecológicas e sustentáveis (ALTIERI *et al.*, 2020). Uma estratégia agroecológica relevante para otimizar o desempenho das raízes e do ambiente próximo às raízes é a utilização de microrganismos benéficos, como o *Trichoderma* (HARMAN & NICHOLLS, 2021). Essa tática pode resultar em um aumento da produtividade das plantações e uma utilização mais eficaz dos nutrientes, além de oferecer uma alternativa mais saudável para as pessoas e o meio ambiente (MAHATO, 2021).

A existência de *Trichoderma* spp. nas raízes contribui para a absorção de nutrientes pelas plantas, já que esses fungos podem liberar substâncias diretamente para as plantas ou influenciar o ambiente ao redor de forma indireta (JAPANIS *et al.*, 2022). O impacto do *Trichoderma* no desenvolvimento e produtividade das plantas foi amplamente pesquisado em diversas espécies, contudo, a combinação de biofertilizante com *Trichoderma* e fertilizante químico no crescimento das plantas, na produção e qualidade dos alimentos ainda não é muito explorada em condições de campo.

OBJETIVO

O objetivo foi avaliar o desempenho do sorgo granífero, sob a aplicação de *Trichoderma harzianum*, em diferentes doses de fósforo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri (Lat. 17° 42' 59,12 S, Long. 48°08' 40,49" W, Alt. 773 m), em casa de vegetação (30 x 7 x 3,5m), com estrutura metálica coberta por sombrite 25%, no teto e nas laterais.

O cultivar de sorgo granífero utilizado foi o AA221, que possui ciclo precoce, florescimento em torno de 59-62 dias, colheita em torno 115-120 dias, altura média de 150 cm, stay-green considerado excelente, coloração de grão alaranjado escuros, sem tanino, dry down considerado excelente, panícula do tipo semi-compacta, com colmo de alta resistência ao quebramento e ao acamamento, com raízes agressivas, sendo usado para a produção de grãos (ANALYSE, 2024).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial, 4 x 5 (tratamentos e doses), com cinco repetições. Os tratamentos foram T₁ – fósforo estabilizada (P35), T₂ – fósforo estabilizado (P35) combinado com *Trichoderma harzianum*, T₃ – super simples e T₄ – super simples combinado com *Trichoderma harzianum*. As doses de fósforo foram 10, 80, 150, 220 e 290 kg ha⁻¹ de P₂O₅, além de 100 e 70 kg ha⁻¹ de N e KCl, respectivamente. O solo de cultivo será o Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS *et al.*, 2018). O clima da região é classificado como Tropical (Aw) segundo a classificação de Köppen, com inverno seco, verão úmido e temperatura média de 20°C (ALVARES *et al.*, 2013).

Tabela 1. Principais atributos químicos do solo (0-20 cm de profundidade) sem qualquer aplicação de fertilizante ou calcário. Ipameri, GO, UEG.

CARACTERÍSTICAS	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol dm ⁻³						
SOLO	4,9	24,1	9,0	30,3	4,1	18,2	7,5	27,8	57,6	47,7

pH – acidez ativa, M.O. – Matéria orgânica, P – Fósforo disponível, H+Al – acidez potencial, k – Potássio disponível, Ca – Cálcio trocável, Mg – Magnésio trocável, CTC – Capacidade de troca catiônica efetiva, V% – Saturação por bases.

Foi realizada uma única aplicação com *Trichoderma* spp., a fonte utilizada foi um produto comercial a base de *Trichoderma harzianum* (Ecotrich WP; Ballagro Agro Tecnologia Ltda., Piracaia, SP, Brasil), os quais as sementes foram colocadas em contato direto com a cepa de *T. harzianum*, na quantidade de 8 mL de suspensão na dose de

2,5x10⁸ células/ 100g de semente, com o emprego de pulverizador manual de pressão (550 mL), até o encharcamento e imediatamente semeadas no vaso. Os tratamentos culturais consistiram em campinas manuais para controle de plantas daninhas e aplicação de produtos fitossanitários, sendo ENGEO PLENO™ S e, PERITO 970 SG 15 mL L⁻¹ para o controle de cigarrinhas.

As características avaliadas foram índice relativo de clorofila Falker (IRC) - medidos através do CFL1030 (SN0359), expressos em g de clorofila, a partir de três folhas totalmente abertas na porção mediana das plantas, com 80 dias após a semeadura; florescimento (FLOR) - número de dias da semeadura até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela; altura de planta (ALTP) - medida referente à altura da planta, em cm, do solo ao ápice do pendão, diâmetro do colmo (DIAMC) - medida referente ao diâmetro médio de três colmos representativos da parcela, medidos próximo a base (3 cm do solo), em milímetros; as massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF), foram realizadas após a colheita da parcela e, pesada de forma imediata, em gramas; massa seca de grãos (MSG), foram medidos após a maturação fisiológica e após os corte e debulha, armazenadas em sacos de papel kraft e mantidas em estufa com ventilação forçada a 65°C por 72h e, então pesadas, sendo expressas em gramas.

Foram realizadas análises de variância e, posteriormente, a regressão polinomial, através do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Notou-se diferença significativa a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) para as interações, em todas as variáveis analisadas, o que indica que há efeito das doses de fósforo com a aplicação de cepas de *Trichoderma*, no que se refere ao desenvolvimento do sorgo granífero (Tabela 2). No trabalho realizado por Getinet & Atinafu (2022), com adubação fosfatada em dois locais diferentes, revelaram que há efeito significativo na produtividade de grãos, produtividade de biomassa em ambos os locais, com aplicação de superior ao controle.

Tabela 2. Resumo do quadrado médio das variáveis índice relativo de clorofila (IRC), florescimento (FLOR), altura de planta (ALT), diâmetro do colmo (DIAMC), massas frescas caulinar (MFC), massas frescas foliar (MFF) e massa seca de grãos (MSG), com a aplicação de quatro tratamentos e cinco doses de fósforo. Ipameri, GO, 2023.

F.V.	GL	IRC	FLOR	ALT	DIAMC	MFC	MFF	MSG
Tratamento (T)	3	794.25**	416.67**	3421.73**	17.03**	369.76**	73.43**	348.30**
Dose (D)	4	34.82**	201.88**	873.29**	10.07**	122.66**	49.57**	144.65**
T x D	12	33.79**	305.21**	134.66*	4.10**	18.39**	5.80**	27.35**
Bloco	4	35.49	115.00	563.79	0.09	1.95	0.66	2.51
Erro	76	8.21	40.56	69.02	0.54	2.52	1.23	1.71
CV (%)		6.09	6.37	12.14	7.61	11.72	13.65	14.15

^{ns} não significativo; ** - altamente significativo; * - significativo; 5% de probabilidade, pelo teste F; CV (%) – coeficiente de variação.

A variável índice relativo de clorofila (IRC) com o tratamento fósforo estabilizado (P35) combinado com *Trichoderma harzianum* (T₂), demonstrou um desempenho superior aos demais tratamentos com ponto máximo de aproximadamente 165,37 kg ha⁻¹ (Figura 1). Ajeigbe *et al.* (2022) obtiveram maiores concentrações de clorofila foram observadas com alto nível de fertilizante P de 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ em comparação com tratamento de controle, o resultado indicou que o rendimento cresce com o aumento dos níveis de fósforo no fertilizante, possivelmente devido à maior taxa de fotossíntese e à melhor saúde das plantas, resultando em um maior rendimento final dos grãos.

A produção e a qualidade nutricional melhorados são principalmente resultado de uma absorção mais eficaz de nutrientes e do aumento da capacidade fotossintética das plantas que foram colonizadas por *Trichoderma* spp (KASHYAP *et al.*, 2017, SHORESH *et al.*, 2010).

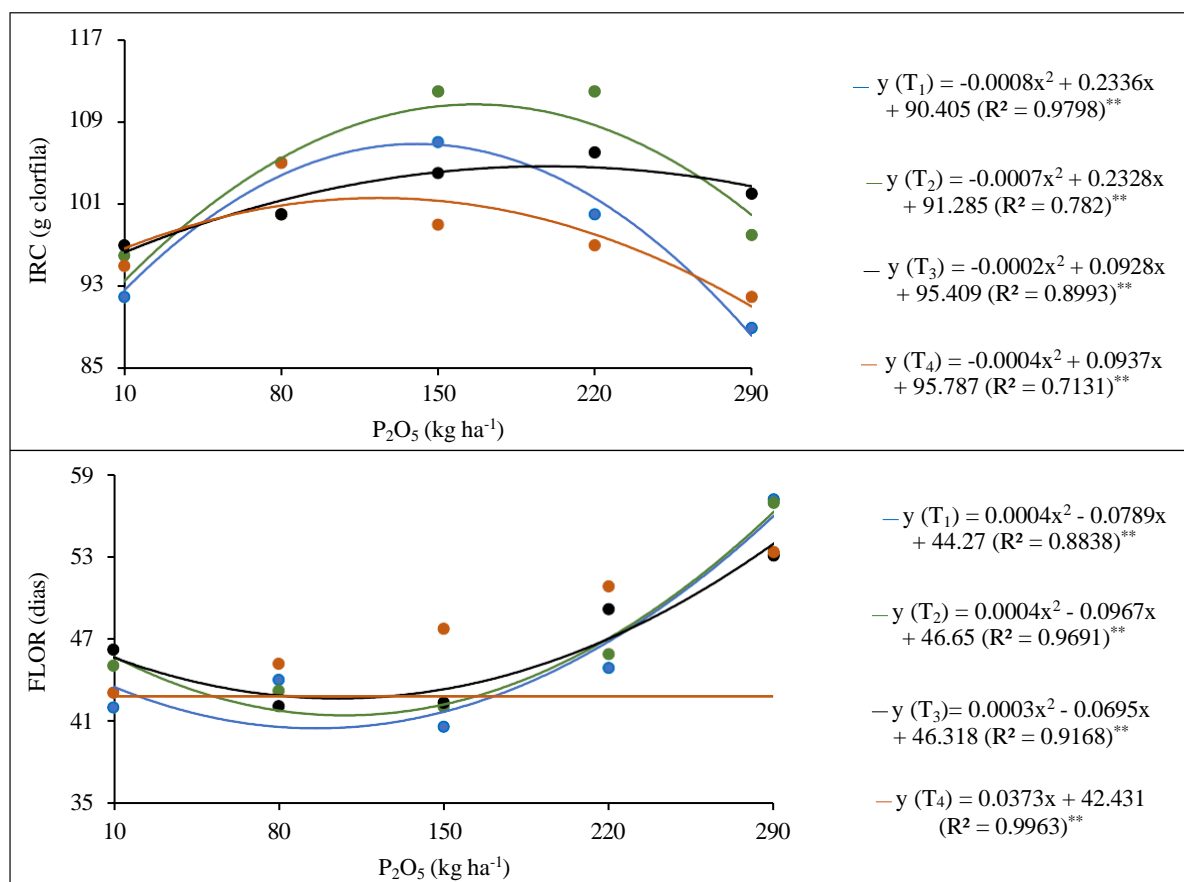


Figura 1. Índice relativo de clorofila (IRC), florescimento (FLOR), com quatro tratamentos [T₁ – fósforo estabilizada (P35), T₂ – fósforo estabilizado (P35) combinado com *Trichoderma harzianum*, T₃ – super simples e T₄ – super simples combinado com *Trichoderma harzianum*.] em função de cinco doses de fósforo.

Em relação o florescimento (FLOR), com base na análise dos resultados, é evidente que o tratamento T₂, possivelmente relacionado à aplicação de um fósforo estabilizado (P35) e *Trichoderma harzianum*, demonstrou um desempenho excepcional, conforme evidenciado pelo ponto máximo alcançado na pesquisa. O valor de aproximadamente 120.875 kg ha⁻¹ P₂O₅, exercidos no ponto máximo revela que o tratamento T₂ teve um impacto significativamente positivo sobre a variável observada em comparação com os demais tratamentos avaliados (Figura 1).

Bosire & Karanja (2019), no trabalho realizado com fungo e adubação (6,6 ou 28 mg kg⁻¹ de P), encontrou uma janela de aproximadamente 25 dias entre os genótipos de floração, as plantas começaram a floração com 54 DAP, o nível mais elevado de P levou a uma floração mais precoce. O efeito da colonização fúngica na redução do tempo para a floração atua de forma similar à fertilização com fósforo no solo, aumentando a absorção de P através da via fúngica, o que melhora a acumulação de recursos ou o

crescimento da planta, promovendo assim o início da floração. Destacando a relevância desses fatores na otimização do ciclo de crescimento das plantas e na promoção de comprometimentos mais precoces e eficazes.

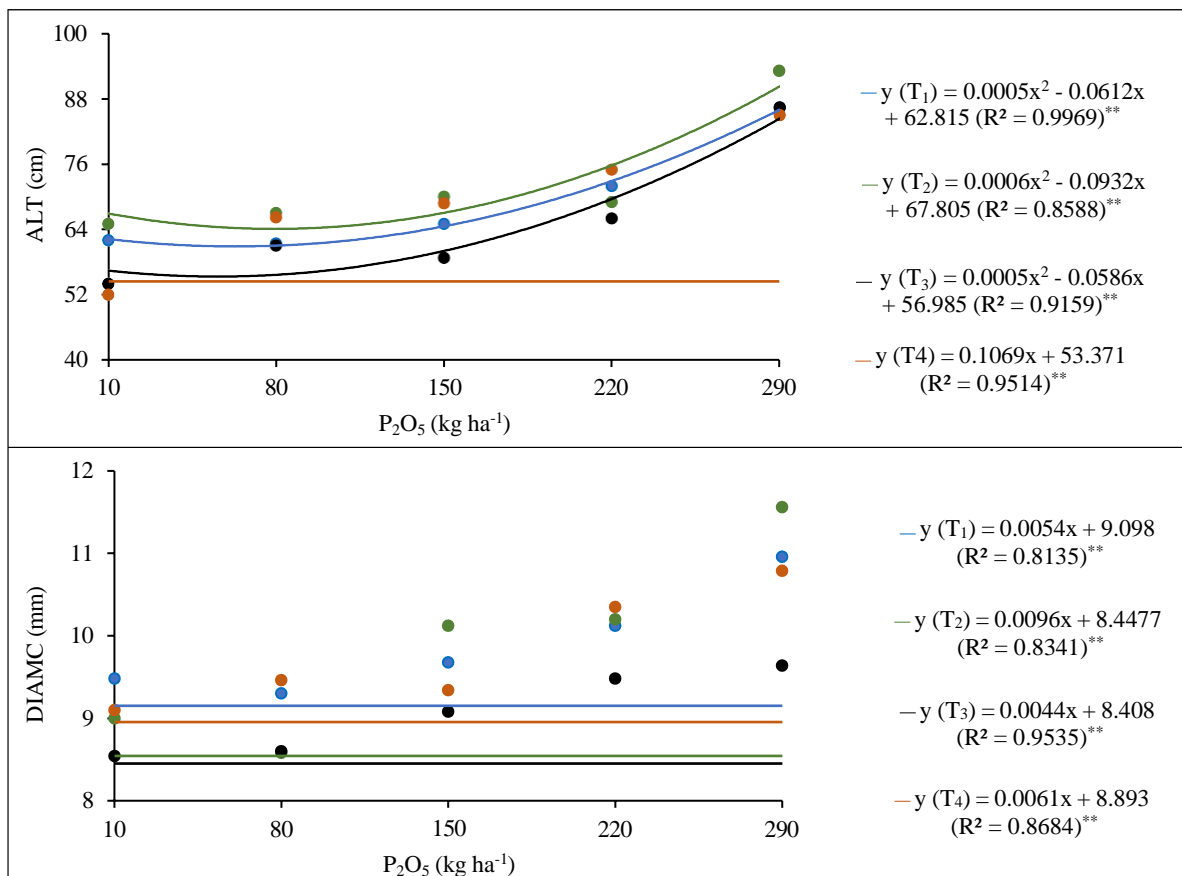


Figura 2. Altura da Planta (ALT), Diâmetro do colmo (DIAMC), com quatro tratamentos [T₁ – fósforo estabilizada (P35), T₂ – fósforo estabilizado (P35) combinado com *Trichoderma harzianum*, T₃ – super simples e T₄ – super simples combinado com *Trichoderma harzianum*.] em função de cinco doses de fósforo.

O tratamento T₂ é eficiente tanto em aumentar a altura das plantas quanto em promover o crescimento do diâmetro do caule. Inicialmente, ele oferece a maior altura das plantas comparada ao controle, e, apesar de um ponto mínimo em torno de 77 kg ha⁻¹ P₂O₅, a altura das plantas aumenta novamente com doses mais altas. Além disso, o diâmetro do caule apresenta um crescimento linear significativo com a dose de P₂O₅, destacando-se como a melhor opção para maximizar tanto a altura quanto o diâmetro do colmo das plantas (Figura 2).

Esses efeitos positivos podem contribuir não apenas para um desenvolvimento robusto das plantas, mas também para a redução do acamamento dos colmos e o aumento da resistência estrutural das plantas cultivadas, resultando em um potencial aumento da produção e da qualidade das colheitas.

Resultados diferentes foram obtidos por Sihaloho & Situmeang (2021), os quais utilizaram três variedades de sorgo e doses fósforo (80, 90 e 100 kg ha⁻¹), a variedade UPCA, com uma dose de fertilizante de 100 kg ha⁻¹, apresentou os melhores resultados para altura de planta (182,66 cm) e diâmetro de caule (6,61 cm). Isso demonstra que doses maiores de fertilizante fosfatado resultam em um crescimento vegetativo mais significativo devido ao papel vital do fósforo no desenvolvimento das plantas.

As massas frescas do caule (MFC) e folhas (MFF), o tratamento T₂ é o mais indicado, apresentando um valor competitivo de MFC e o valor mais alto de MFF. Para MFC tento um ponto máximo a 56 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto para MFF o ponto máximo a 297 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O Tratamento T₂ proporciona um excelente equilíbrio entre as variáveis MFC e MFF, garantindo uma melhoria significativa no crescimento e qualidade das plantas (Figura 3). A capacidade do tratamento T₂ em promover um crescimento saudável e equilibrado, refletido pelas massas frescas do caule e das folhas, sugere que a combinação de fósforo estabilizado e a presença de *Trichoderma harzianum* neste tratamento é altamente benéfica para o desenvolvimento das plantas. A otimização do equilíbrio entre essas variáveis é fundamental para a saúde, o vigor e a qualidade das plantas cultivadas, o que pode resultar em um melhor desempenho geral das culturas e maior produtividade.

No que se refere a MSC, tratamento T₂ apresentou um melhor rendimento de aproximadamente 19,44 g comparado com os demais com o ponto máximo aproximadamente de 362 kg ha⁻¹ P₂O₅. Portanto, com base nos valores máximos obtidos, o tratamento T₂ apresenta desempenho superior em comparação com os tratamentos (Figura 3). Esses resultados indicam que o tratamento T₂ pode ser considerado o mais eficaz em termos de rendimento de culturas nesse estudo específico.

No estudo conduzido por Getinet & Atinafu (2022) sobre a adubação fosfatada em dois locais distintos, foi observado um impacto na produtividade de grãos (4.517,0 e 3.716,1 kg ha⁻¹) e na produtividade de biomassa (7.134,3 e 7.760,7 kg ha⁻¹) em ambos os locais, com a aplicação de 46-40 kg ha⁻¹ superando os resultados do controle. Esses resultados destacam a importância da escolha adequada dos tratamentos de fertilização e adubação para melhorar a produção agrícola e ressaltam a relevância de considerar diferentes variáveis e condições específicas de cada estudo ao tomar decisões relacionadas à agricultura e à produção de culturas.

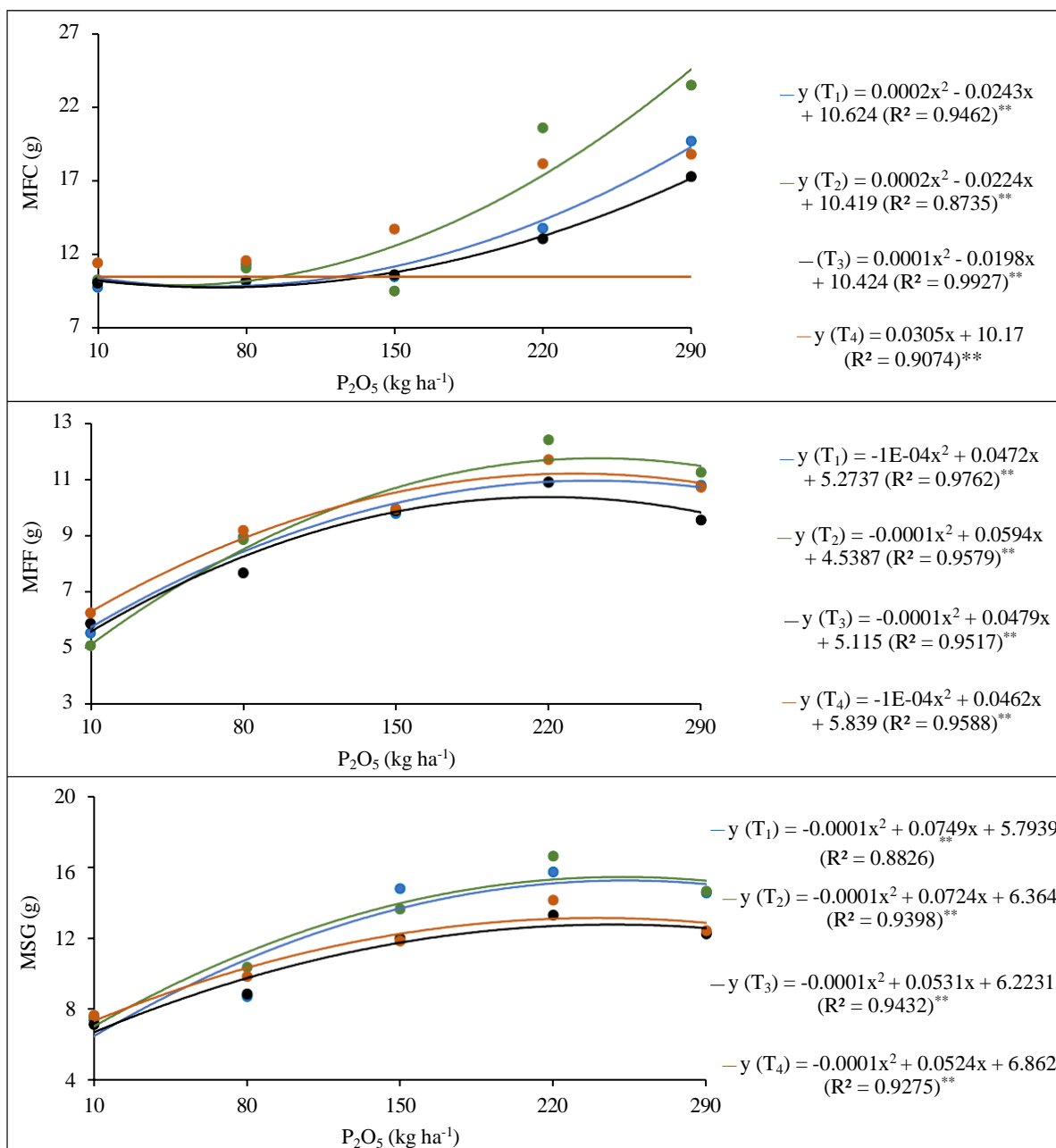


Figura 3. Massas frescas caulinar (MFC) e foliar (MFF) massa seca de grãos (MSG), com quatro tratamentos [T₁ – fósforo estabilizada (P35), T₂ – fósforo estabilizado (P35) combinado com *Trichoderma harzianum*, T₃ – super simples e T₄ – super simples combinado com *Trichoderma harzianum*.] em função de cinco doses de fósforo.

No estudo conduzido por Rizvi *et al.* (2021), a inoculação com *Aspergillus terreus*, *Penicillium pinophilum* e rocha fosfática reativa melhorou o crescimento e o rendimento de matéria seca do sorgo. PSF aumentou a matéria seca da parte aérea em 30% e a altura das plantas em 42%. Coinocular *B. polymyxa* ou *P. striata* com *T. harzianum* aumentou o rendimento de grãos em 6-8% comparado com solubilizantes mono P e 28-30% comparado com *T. harzianum* sozinho. Os resultados indicam que a

aplicação desses agentes promotores do crescimento vegetal teve um impacto positivo significativo no desenvolvimento das plantas de sorgo.

Esses resultados ressaltam a importância da pesquisa e da aplicação de práticas agrícolas inovadoras que visam maximizar o potencial produtivo das culturas de forma sustentável e ambientalmente consciente. Este estudo destaca a contribuição promissora da biofertilização e da inoculação de microrganismos benéficos para o futuro da agricultura e da segurança alimentar.

CONCLUSÃO

A combinação do tratamento T₂ (fósforo estabilizado P35 com *Trichoderma harzianum*), na dose de 220 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a mais eficaz na promoção do crescimento e do rendimento do sorgo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLAH, N. S.; DONI, F.; MISPLAN, M. S.; SAIMAN, M. Z.; YUSUF, Y. M., OKE, M. A.; SUHAIMI, N. S. M. Harnessing Trichoderma in agriculture for productivity and sustainability. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2559, 2021.
- AJEIGBE, H. A.; AKINSEYE, F. M.; JONAH, J.; KUNIHYA, A. Sorghum yield and water Use under phosphorus fertilization applications in the Sudan Savanna of Nigeria. **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 7, n. 8, p. 245-257, 2018.
- ALEWELL, C.; RINGEVAL, B.; BALLABIO, C.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; BORRELLI, P. Global phosphorus shortage will be aggravated by soil erosion. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 4546, 2020.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. **The Journal of Peasant Studies**, v. 47, p. 881-898. 2020.
- AN, X.; YU, J.; YU, J.; TAHMASEBI, A.; WU, Z.; LIU, X.; YU, B. Incorporation of biochar into semi-interpenetrating polymer networks through graft co-polymerization for the synthesis of new slow-release fertilizers. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 122731, 2020.
- ANALYSE Sementes. Sorgo AA221. Disponível em: <https://www.analycesementes.com.br/sorgo-aa221/> . Acesso em:03 de Agosto de 2024.
- BEGUM, Begum, W.; Rai, S.; Banerjee, S.; Bhattacharjee, S.; Mondal, MH, Bhattarai, A.; Saha, B. Uma revisão abrangente sobre as fontes, essencialidade e perfil toxicológico do níquel. **RSC advances** , v. 12, n. 15, p. 9139-9153, 2022.
- BOSIRE, E.; KARANJA, F. Effects of Nitrogen and Phosphorus Application Rates on Growth and Yield of Two Sorghum Cultivars in Semi-Arid Eastern Kenya Case Study of Machakos County. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 26, p. 1-15, 2019.
- BOUAIN, N.; KROUK, G.; LACOMBE, B.; ROUACHED, H. Getting to the root of plant mineral nutrition: combinatorial nutrient stresses reveal emergent properties. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 6, p. 542-552, 2019.
- CHEN, J.; TANG, S.; YAN, F.; ZHANG, Z. Efficient recovery of phosphorus in sewage sludge through hydroxylapatite enhancement formation aided by calcium-based additives. **Water research**, v. 171, p. 115450, 2020.
- CUI, Q.; XU, J.; WANG, W.; TAN, L.; CUI, Y.; WANG, T.; ZHENG, J. Recuperação de fósforo por composto de biochar core-shell γ -Al₂O₃/Fe₃O₄ de soluções aquosas de fosfato. **Science of the Total Environment**, v. 729, p. 138892, 2020.
- ELGAML, N. M.; SALAMA, A. B.; SHEHATA, H. S.; ABDELHAMID, M. T. Effective microorganisms improve growth, nutrients uptake, normalized difference vegetation index, photosystem ii, and essential oil while reducing canopy temperature in water-stressed *Salvia sclarea* plants. **International Journal of Agronomy**, v. 2022, n.

1, p. 1767347, 2022.

FRIŠTÁK, V.; PIPÍŠKA, M.; SOJA, G. Pyrolysis treatment of sewage sludge: A promising way to produce phosphorus fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1772-1778, 2018.

GETINET, H.; ATINAFU, O. Influence of Phosphorus Fertilizer Rates on Grain Yield and Economic Benefits of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in Case of Kersa District, South Western Ethiopia. **Aquaculture and Fisheries Studies**, v. 4, p. 1-5, 2022.

GIRARD, A. L.; AWIKA, J. M. Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. **Journal of Cereal Science**, v. 84, p. 112-124, 2018.

HARMAN, G.; KHADKA, R., DONI, F.; UPHOFF, N. Benefits to plant health and productivity from enhancing plant microbial symbionts. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 610065, 2021.

JAPANIS, F. G.; VETARYAN, S.; RAJA, N. K. K.; MOKHTAR, M. A. A.; FISHAL, E. M. M. The Impact of *Trichoderma* spp. on Agriculture and Their Identification. **Malaysian Applied Biology**, v. 51, p. 1-15, 2022.

KASHYAP, P. L.; RAI, P., SRIVASTAVA, A. K.; KUMAR, S. *Trichoderma* for climate resilient agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, p. 1-18, 2017.

LI, Y.; WANG, C.; WANG, T.; LIU, Y.; JIA, S.; GAO, Y.; LIU, S. Effects of different fertilizer treatments on rhizosphere soil microbiome composition and functions. **Land**, v. 9, n. 9, p. 329, 2020.

MAHATO, D. *Trichoderma*'s contribution in environmentally friendly plant disease management. **Biotica Res. Today**, v. 3, p. 591-594, 2021.

MENG, X.; CHEN, W. W.; WANG, Y. Y.; HUANG, Z. R.; YE, X.; CHEN, L. S.; YANG, L. T. Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis*. **PloS one**, v. 16, n. 2, p. e0246944, 2021.

NDLOVU, E.; VAN STADEN, J.; MAPHOSA, M. Morpho-physiological effects of moisture, heat and combined stresses on *Sorghum bicolor* [Moench (L.)] and its acclimation mechanisms. **Plant Stress**, v. 2, p. 100018, 2021.

RIZVI, A.; AHMED, B.; KHAN, M. S.; UMAR, S.; LEE, J. Sorghum-phosphate solubilizers interactions: crop nutrition, biotic stress alleviation, and yield optimization. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 746780, 2021.

SEMERE, T.; TSEHAYE, Y.; TAREKE, L.; WESTENGEN, O. T.; FJELLHEIM, S. Nutritional and antinutritional potentials of sorghum: a comparative study among different sorghum landraces of Tigray, Northern Ethiopia. **Agriculture**, v. 13, n. 9, p. 1753, 2023.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual review of phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.

SIHALOHO, A. N.; SITUMEANG, R. Respon pertumbuhan dan daya hasil sorgum (*Sorghum bicolor* [L] Moench) dengan pemberian pupuk fosfor di lahan masam Kabupaten Simalungun. **JurnalAgrin**, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2021.

TUMBURE, A.; BRETHERTON, M. R.; BISHOP, P.; HEDLEY, M. J. Updated characterization of Dorowa phosphate rock mined in Zimbabwe. **Natural Resources Research**, v. 29, n. 3, p. 1561-1570, 2020.

WANG, W.; YANG, S.; ZHANG, A.; YANG, Z. Synthesis of a slow-release fertilizer composite derived from waste straw that improves water retention and agricultural yield. **Science of the Total Environment**, v. 768, p. 144978, 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que na dose de 105 kg ha⁻¹ de nitrogênio combinada com o tratamento T₂ (ureia estabilizada + *Trichoderma harzianum*) é a mais adequada para otimizar e promover o crescimento e a produtividade. A combinação do tratamento T₂ (fósforo estabilizado P35 com *Trichoderma harzianum*), na dose de 220 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a mais eficaz na promoção do crescimento e do rendimento do sorgo.

Os resultados ressaltam a importância da seleção adequada do tratamento e da dose de adubação para melhorar a produção e qualidade das plantas de sorgo, quando combinada com cepas de *Trichoderma* spp. Essas descobertas têm o potencial de contribuir significativamente para a otimização da cultura do sorgo e podem servir como base para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-GHANY, T. M.; MOHAMED, Z. H.; AL ABBOUD, M. A.; HELMY, E. A.; AL-RAJHI, A. M.; SHATER, A. R. M. Solubilization of Inorganic Phosphate by Rhizospheric Fungi Isolated from Soil Cultivated with Sorghum bicolor L. **Bio Resources**, v. 14, n. 3, p. 5521-5532, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BERNARDINO, K. C.; PASTINA, M. M.; MENEZES, C. B.; DE SOUSA, S. M.; MACIEL, L. S.; JR, G. C.; MAGALHAES, J. V. The genetic architecture of phosphorus efficiency in sorghum involves pleiotropic QTL for root morphology and grain yield under low phosphorus availability in the soil. **BMC plant biology**, v. 19, p. 1-15, 2019.
- CABRERA L. G.; MIGUEL A. S. H. A preliminary fertilization test on sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) with three organic amendments of humus and domestic wastes. **Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable**, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2019.
- CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v.11 – Safra 2023/24, n.8 - Oitavo levantamento, p. 1-139, maio 2024. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acessado em: 03 de junho de 2024.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, [s.l.], v. 35, n. 6, p. 1039-1042, dez. 2011.
- GITE, D. P.; GITE, P. A.; DARVHANKAR, M. S. The response of bio-fertilizers to the production potential of cereal crops. **Plant Archives**, v. 21, n. 1, p. 2401-2407, 2021.
- GUZMÁN-GUZMÁN, P.; PORRAS-TRONCOSO, M. D.; OLMEDO-MONFIL, V.; HERRERA-ESTRELLA, A. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. **Phytopathology**, v. 109, n. 1, p. 6-16, 2019.
- KAZEMI, E.; GANJALI, H. R.; MEHRABAN, A.; GHASEMI, A. Yield and biochemical properties of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) affected by nano-fertilizer under field drought stress. **Cereal Research Communications**, p. 1-9, 2021.
- MATHUR, S.; UMAKANTH, A.V.; TONAPI, V.A.; SHARMA, R.; SHARMA, M.K., 2017. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. **Biotechnology for biofuels**, v. 10, p.1-19, 2017.
- MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Trichoderma: uso na agricultura**. Embrapa, p. 181-200, 2019
- MUNDIA, C. W.; SECCHI, S.; AKAMANI, K.; WANG, G. A regional comparison of factors affecting global sorghum production: The case of North America, Asia and Africa's Sahel. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2135, 2019.

- PANDIAN, B. A.; SEXTON-BOWSER, S.; PRASAD, P. V.; JUGULAM, M. Current status and prospects of herbicide-resistant grain sorghum (*Sorghum bicolor*). **Pest management science**, v. 78, n. 2, p. 409-415, 2022.
- POVEDA, J.; EUGUI, D. Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. **Biological Control**, v. 176, p. 105100, 2022.
- OBOUR, A. K.; HOLMAN, J. D.; ASSEFA, Y. Grain sorghum productivity as affected by nitrogen rates and available soil water. **Crop Science**, v. 62, n. 3, p. 1360-1372, 2022.
- RIVAI, R. R.; MIYAMOTO, T.; AWANO, T.; TAKADA, R.; TOBIMATSU, Y.; UMEZAWA, T.; KOBAYASHI, M. Nitrogen deficiency results in changes to cell wall composition of sorghum seedlings. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 23309, 2021.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Edição revista e ampliada. Brasília, DF, p. 356, 2018.
- TYŚKIEWICZ, R.; NOWAK, A.; OZIMEK, E.; JAROSZUK-ŚCISEŁ, J. *Trichoderma*: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 4, p. 2329, 2022.
- YAN, P.; FANG, M.; LU, L., REN, L.; DONG, X.; DONG, Z. Effect of Urea Coated with Polyaspartic Acid on the Yield and Nitrogen Use Efficiency of Sorghum (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench.). **Plants**, v. 11, n. 13, p. 1724, 2022a.
- YAN, X.; XIA, L.; TI, C. Temporal and spatial variations in nitrogen use efficiency of crop production in China. **Environmental Pollution**, v. 293, p. 118496, 2022b.