

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS IPORÁ**

FELLIPY VIANA LELIS

**CARBONATITO FOSFÁTICO E MICRORGANISMOS
BIOSSOLUBILIZADORES COMO ESTRATÉGIA PARA
SUPRIMENTO DE FÓSFORO NA CANA-DE-AÇÚCAR**

**IPORÁ – GO
2025**

FELLIPY VIANA LELIS

**CARBONATITO FOSFÁTICO E MICRORGANISMOS BIODISSOLUBILIZADORES
COMO ESTRATÉGIA PARA SUPRIMENTO DE FÓSFORO NA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora
do Curso de Especialização em Bioinsumos do
Instituto Federal Goiano como exigência parcial
para obtenção do título de Especialista em
Bioinsumos

Orientador: Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski

**IPORÁ – GO
2025**

L541c Lelis, Fellipy Viana

Carbonatito fosfático e microrganismos biossolubilizadores
Como estratégia para suprimento de fósforo na cana-de-açúcar /
Fellipy Viana Lelis ; orientador Dr. Romano Roberto Valicheski. –
Iporá, 2025.

35 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em
Bioinsumos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
Goiano, campus Iporá.

1. Bioinsumo. 2. Sustentabilidade. 3. Adubação. 4. Cana-de-
açúcar. 1. Valicheski, Romano Roberto (Orientador). II. IFGoiano.
III. Título.

CDU 631.8

Responsável: Ítala Moreira Alves (Bibliotecário-documentalista CRB-1 nº 2772)
Sistema Integrado de Bibliotecas – Instituto Federal Goiano



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Declaração nº 508/2025 - GE-IP/CMPIPR/IFGOIANO

FELLIPY VIANA LELIS

**CARBONATITO FOSFÁTICO E MICRORGANISMOS BIOSOLUBILIZADORES COMO ESTRATÉGIA
PARA SUPRIMENTO DE FÓSFORO NA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora
do Curso de Especialização em Bioinsumos do
Campus Iporá - IF Goiano, como exigência
parcial para a obtenção do título de Especialista
em Bioinsumos.

Iporá, GO. 12 de setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Romano Roberto Valichski, (Orientador)
IF Goiano – Campus Iporá

Prof. Dr. Estênio Moreira Alves, Professor
(Membro) IF Goiano – Campus Iporá


Dra. Lorryne Guimarães Bavaresco.
Pesquisadora, (Membro), Neofértil/EDEM Agrominerais

Documento assinado eletronicamente por:

- **Romano Roberto Valichski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 06/10/2025 07:24:47.
- **Estênio Moreira Alves, ENGENHEIRO AGRONOMO**, em 06/10/2025 08:45:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou
acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 751400
Código de Autenticação: ac3117e7be





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 69/2025 - GE-IP/CMPIPR/IFGOIANO

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de SETEMBRO de dois mil e CINCO, às 13 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Romano Roberto Valicheski (orientador), Prof. Estenio Moreira Alves (membro interno ou externo) e Dra. Lorrayne Guimarães Bavaresco (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado <Carbonatito fosfático e microrganismos biossolubilizadores como estratégia para suprimento de fósforo na cana-de-açúcar> de FELLIPY VIANA LELIS, estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano 3 Campus Iporá, sob Matrícula nº 2024105304260007. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus Iporá, 12 de setembro de 2025.

Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski,
(Orientador) IF Goiano – Campus Iporá

Prof. Dr. Estênio Moreira Alves,
Professor (Membro) IF Goiano –
Campus Iporá

Dra. Lorrayne Guimarães Bavaresco.
Pesquisadora, (Membro), Neofértil/EDEM
Agrominerais

Documento assinado eletronicamente por:

- Romano Roberto Valicheski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 06/10/2025 07:34:03.
- Estenio Moreira Alves, ENGENHEIRO AGRONOMO, em 06/10/2025 08:47:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 751406
Código de Autenticação: 2e69b12272



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☒ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

PELLIPY VIANA LELIS

Matrícula:

2024105304260007

Título do trabalho:

Carbonatito fosfático e microrganismos biossolubilizadores como estratégia para suprimento de P na cana-de-açúcar

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 06/10/2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 FELLIPY VIANA LELIS
Data: 10/10/2025 09:27:0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Iporá

Local

06/10/2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente
ROMANO ROBERTO VALICHESKI
Data: 05/10/2025 13:46:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Sumário

AGRADECIMENTOS	7
BIOGRAFIA DO ALUNO.....	41
CAPITULO I	10
INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REVISÃO DE LITERATURA	13
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO II.....	18
1.INTRODUÇÃO.....	19
2. MATERIAL E MÉTODOS	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4. CONCLUSÕES	33
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me dá forças, saúde e sabedoria para continuar nesse caminho acadêmico que tanto amo e admiro.

Logo, estendo minha gratidão à minha família, em especial à minha esposa, Tatyelly F. S. Viana, que sempre esteve ao meu lado, desde a época da faculdade até o presente momento, apoiando-me nos bons e maus dias. Muito obrigado, meu amor, por ser meu alicerce e companheira de todas as horas. Agora, dividimos juntos a maior bênção de nossas vidas: nossa filha Olívia, que chegou para iluminar ainda mais nossos dias desde o dia 12/08, enchendo nossa casa de amor e alegria.

Agradeço também aos meus pais, José M. B. Lelis Júnior e Lílían V. V. Lelis, e ao meu irmão, Pedro V. Lelis, que desde o meu nascimento, em cada fase da vida, me ensinaram os valores do bem e da retidão para que eu pudesse trilhar meu caminho com firmeza e fé.

Meu reconhecimento vai também aos amigos e colegas que, de uma forma ou de outra, fizeram parte dessa trajetória, ajudando a construir e compartilhar essa história comigo.

Aos professores, desde o jardim de infância até a faculdade, deixo minha profunda gratidão. Em especial ao meu orientador, professor Romano Valicheski, que em meio a altos e baixos sempre compartilhou seu conhecimento, apoio e dedicação, caminhando junto comigo desde a graduação até a especialização.

Sou grato também às instituições que contribuíram para essa etapa da minha formação: FAPEG, FUNAPE, IF Goiano e CEBIO, e, em especial, à empresa EDEM Agrominerais/Neofertil, pelo apoio e custeio de parte deste trabalho. Registro ainda minha sincera gratidão à equipe do Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano, que teve papel fundamental nas avaliações e na execução deste projeto. Por fim, agradeço à instituição que tenho tanto orgulho em fazer parte: o Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, onde realizei minha graduação em Agronomia, meu Mestrado e, agora, está especialização, Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos.

Meu sincero muito obrigado a todos que, de alguma forma, foram essenciais para que eu chegasse até aqui.



BIOGRAFIA DO ALUNO

Nasci em Iporá (GO), mas vivi toda a minha vida no interior goiano, na cidade de Porteirão (GO), onde tenho minhas raízes e iniciei minha trajetória pessoal e profissional. Foi ali que comecei meus primeiros passos no agronegócio, atuando como Jovem Aprendiz na CONAB, experiência que despertou ainda mais meu interesse pelo campo e pela agricultura.

Posteriormente, ingressei no curso de Agronomia no Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, instituição que tenho enorme orgulho de carregar em minha história. Durante toda a graduação, atuei como bolsista no Grupo de Pesquisa Cerrado Verde, sob orientação do professor Romano Valicheski. Esse período foi marcante, pois me possibilitou não apenas aprendizado técnico e científico, mas também conquistas importantes: participei da elaboração de resumos, resumos expandidos, palestras e artigos científicos publicados, além de ter experiências de campo que consolidaram minha paixão pela pesquisa e pela agricultura.

Após a graduação, dei continuidade aos estudos no Mestrado em Bioenergia e Grãos pelo IF Goiano – Campus Rio Verde/Iporá. Atualmente, finalizo minha especialização em Bioinsumos pelo IF Goiano – Campus Iporá, reafirmando meu compromisso com a agricultura sustentável e com a inovação científica.

No campo profissional, atuei em estágios e projetos voltados para grandes culturas até consolidar minha carreira na Koppert, onde trabalho como Assistente Técnico de Vendas (ATV), com foco na cana-de-açúcar. Essa experiência tem sido extremamente gratificante e foi coroada com prêmios de grande relevância: Destaque ATV Brasil, Destaque ATV Cana Brasil e Trabalho em Foco – Execução e Excelência, recebidos por três anos consecutivos, que reconhecem o esforço, dedicação e excelência no desempenho.

Buscando sempre aperfeiçoamento, concluí também formações pela ESALQ/Pecege, com licenciaturas em Proteção de Plantas I e II e em Estratégias Comerciais no Agronegócio, que ampliaram minha visão técnica e estratégica dentro do setor.

Hoje, olhando para trás, tenho orgulho de toda essa trajetória construída desde Porteirão até aqui. O Instituto Federal Goiano não foi apenas a base da minha formação, mas também um espaço que me permitiu crescer como profissional e como pessoa, acompanhando minha caminhada desde a graduação, passando pelo mestrado até a especialização.

Sou movido pelo desejo de unir ciência, bioinsumos e inovação tecnológica às práticas de campo, acreditando no papel estratégico da cana-de-açúcar e das grandes culturas para o futuro da agricultura brasileira

RESUMO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), porém sua baixa disponibilidade nos solos tropicais brasileiros e a dependência de fertilizantes importados exigem alternativas sustentáveis de manejo. Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes fontes P, combinadas ou não à inoculação de microrganismos biossolubilizadores, sobre parâmetros fisiológicos e bromatológicos da cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento em blocos casualizados, com tratamentos compostos por 100% carbonatito fosfático (CF), 50% CF + 50% superfosfato simples (SFS) e 100% SFS, na dosagem de 350 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ associados ao uso de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Cladosporium cladosporioides*, *Trichoderma harzianum* de forma isolada ou em coinoculação. Aos noventa e cinco dias após o plantio foram avaliados perfilhamento, número de nós e entrenós, comprimento de colmos, massa fresca e seca da parte aérea e raízes e índice SPAD. Os resultados mostraram que o arranjo 50% CF + 50% SFS apresentou desempenho estatisticamente equivalente ao 100% SFS em variáveis de maior peso agrônomo (biomassa, colmos e parte aérea), superando o tratamento com 100% CF. A inoculação microbiana potencializou a massa seca, especialmente radicular, com destaque para *T. harzianum* e a coinoculação com *Bacillus* + *Cladosporium*, quando associados a fontes mais solúveis de P. Do ponto de vista agrônomo, considerando a fase inicial da cana-de-açúcar, a combinação das fontes de P, aliado a presença de microrganismos biossolubilizadores pode vir a ser uma alternativa viável para reduzir a dependência de fertilizantes importados, conciliando produtividade e sustentabilidade.

Palavras-chave: - Bioinsumos. Sustentabilidade, Cana-de-açúcar. Fosfato. Adubação. Biológicos.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is an essential nutrient for sugarcane (*Saccharum* spp.); however, its low availability in Brazilian tropical soils and the dependence on imported fertilizers demand sustainable management alternatives. This study aimed to evaluate different P sources, combined or not with biosolubilizing microorganisms, on physiological and bromatological parameters of the crop. The experiment was carried out under greenhouse conditions, in a randomized block design, with treatments consisting of 100% phosphate rock (CF), 50% CF + 50% single superphosphate (SFS), and 100% SFS, at a rate of 350 kg ha⁻¹ of P₂O₅, associated with the inoculation of *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Cladosporium cladosporioides*, and *Trichoderma harzianum*, either individually or in co-inoculation. Ninety-five days after planting, tillering, number of nodes and internodes, stalk length, fresh and dry biomass of shoots and roots, and SPAD index were evaluated. Results showed that the 50% CF + 50% SFS arrangement had a statistically similar performance to 100% SFS in the most relevant agronomic traits (biomass, stalks, and shoot development), surpassing the 100% CF treatment. Microbial inoculation enhanced dry matter accumulation, especially in roots, with remarkable effects for *T. harzianum* and co-inoculation of *Bacillus* + *Cladosporium* when associated with more soluble P sources. From an agronomic perspective, at the initial growth stage of sugarcane, the combination of P sources together with biosolubilizing microorganisms represents a promising alternative to reduce the dependency on imported fertilizers, reconciling productivity and sustainability.

Keywords: Bioinputs. Sustainability. Sugarcane. Phosphate. Fertilization. Biologicals.

CAPITULO I

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos países que mais utiliza fertilizantes no planeta, destacando-se não apenas como um expressivo consumidor, mas também como o principal importador desse insumo. Conforme dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), aproximadamente 70% dos fertilizantes utilizados pela agricultura brasileira são oriundos de outros países, totalizando 41,34 milhões de toneladas importadas no ano de 2024. O país apresenta elevada dependência de importação de fertilizantes NPK, sendo 100% dos fertilizantes nitrogenados, 73,8% dos fosfatados e 98% dos potássicos provenientes do mercado externo (FAOSTAT, 2023). Essa condição o torna vulnerável, apesar da magnitude e pujância do setor agrícola nacional .

As principais culturas que compõem o agronegócio brasileiro são, a soja, a cana-de-açúcar e o milho. A soja responde por cerca de 44% da produção, enquanto a cana-de-açúcar e o milho representam aproximadamente 17% cada. Essas três culturas, concentram 73% do consumo de fertilizantes no país (ANDA, 2024). Em 2022, o mercado brasileiro de fertilizantes movimentou US\$ 8,24 bilhões, projetando uma expansão para 12,96 bilhões até 2028 (Mordor, 2023). Neste sentido, considerando que a maioria dos solos predominantes no Brasil foram fortemente intemperizados apresentando fertilidade naturalmente muito baixa, para manter níveis satisfatórios de produção, torna-se fundamental na maioria das áreas agricultáveis, o uso de doses elevadas de fertilizantes, tornando todo agronegócio brasileiro fortemente dependente da importação destes fertilizantes.

Visando reduzir esta dependência, foi instituído em março de 2022 o Programa Nacional de Fertilizantes (PNF – 2050), que considera além das cadeias de NPK, as cadeias emergentes de produção de bioinsumos, nanotecnologia e remineralizadores de solos (Brasil, 2022). Dentre os principais objetivos deste programa, está a redução da dependência externa de fertilizantes e o aumento da eficiência do manejo da fertilidade do solo. Além disso, visa também consolidar soluções regionais, a partir do desenvolvimento das cadeias emergentes, na qual são incluídos o uso dos remineralizadores de solos, e também de fertilizantes minerais simples de composição silicática. A meta do PNF-2050 é alcançar uso pleno destes insumos e suprir todas as demandas para os solos agrícolas do País, previsto para 75 milhões de toneladas anuais (Brasil, 2022).

A necessidade eminente e constante por novas fontes de fertilizantes extraídas em

território nacional, é necessário maximizar a eficiência dos fertilizantes utilizados na agricultura (Felix; Walter, 2021). Neste contexto, além dos remineralizadores de solo, o uso de microrganismos solubilizadores torna-se promissor (Oliveira-Paiva *et al.*, 2022), uma vez que a disponibilidade de nutrientes para as plantas está estreitamente relacionada com a microbiota do solo e a vasta diversidade de microrganismos que podem auxiliar na solubilização dos minerais primários do solo, contribuindo para uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas. Considerado a diversidade de formações geológicas existente no país, a aplicação de remineralizadores “pó de rocha” no solo, associado ao uso de microrganismos solubilizadores, pode ser uma alternativa promissora pra reduzir esta demanda nacional por fertilizantes importados (Martins *et al.*, 2024; Oliveira-Paiva *et al.*, 2022).

No Brasil, em 2022, a produção e uso de remineralizadores de solo concentraram-se principalmente em quatro estados: Minas Gerais (52%), Goiás (18%), São Paulo (9%) e Paraná (9%). Juntos, esses estados responderam por 88% da produção nacional, que totalizou aproximadamente três milhões de toneladas (Martins *et al.*, 2024). Conforme estes autores esta quantidade foi aplicada em cerca de 1,4 milhões de hectares, o que equivale a uma dose média de duas toneladas por hectare. Considerando estas informações, e que no Brasil a área total de plantio é de aproximadamente 77 milhões de hectares (IBGE, 2024), estima-se que tenha sido utilizado remineralizadores do solo em apenas 1,82% desta área, denotando a necessidade de se evoluir no uso destes fertilizantes naturais.

Com este propósito, a empresa NeoFértil implantou uma mina para extração de carbonatito fosfático, cuja a composição química apresenta 8,21 % de P_2O_5 , 4,93 % de K_2O e outros nutrientes. Esse material configura-se como uma alternativa relevante para a nutrição das culturas de cana-de-açúcar, soja e milho, protagonistas no agronegócio na região. Após ser finamente moída, essa rocha, por apresentar baixo valor agregado, estar localizada na própria região e se tratar de um produto natural, torna-se uma alternativa viável para atender à demanda de fertilizantes dos produtores locais, sejam eles grandes, médios ou pequenos.

Apesar do potencial uso como remineralizador do solo, até o momento poucas informações existem sobre seu efeito no desenvolvimento e nutrição das plantas. Além disso, a aplicação desse fertilizante associada a organismos biossolubilizadores, carece de estudos adicionais para comprovar sua eficiência e ampliar sua utilização. Conhecer os efeitos desses fertilizantes naturais no desenvolvimento e produtividade das culturas, bem como as alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo torna-se primordial para estimular e aumentar o uso de bioinsumos pelos produtores rurais, necessitando-se que trabalhos de pesquisa sejam desenvolvidos com estes propósitos.

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar, em condição de casa de vegetação, o desenvolvimento da cana-de-açúcar tendo como adubação fosfatada diferentes fontes de P associada a inoculação de microrganismos biossolubilizadores, buscando identificar alternativas promissoras para a sustentabilidade do processo produtivo e reduzir a demanda de fertilizantes importados.

REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil, devido suas características climáticas e de relevo, é um dos países que apresenta maior potencial de expansão agrícola. Entre 2011 e 2020, enquanto a produção de grãos mundial cresceu 2,05% ao ano, a produção do agronegócio brasileiro, cresceu 5,33%, mais do dobro da taxa mundial (Contini; Aragão, 2021). Entre as culturas de maior relevância, destaca-se a cana-de-açúcar, na qual o Brasil ocupa liderança, respondendo por cerca de 40% da produção global. Na safra 2022/23, a produtividade média nacional foi de 73,6 t ha⁻¹, com São Paulo como principal estado produtor, seguido por Goiás e Minas Gerais (Conab, 2023).

A cana-de-açúcar é uma gramínea e durante o ciclo anual, exporta em média 124,7 kg de N, 36,9 kg de P, 332,6 kg de K, 44,7 kg de Ca, 13,15 kg de Mg e 25,85 kg de S via colheita dos colmos (Salviano *et al.*, 2017), sendo altamente dependente da adição de adubos.

Devido ao acentuado intemperismo sofrido, a maioria dos solos brasileiros possuem baixa fertilidade natural, caracterizados principalmente pela deficiência de fósforo (P). Isso gera a necessidade de aplicar grandes quantidades de fertilizantes fosfatados como, minerais fosfatados, orgânicos ou organomineral (De Oliveira *et al.*, 2021). Para a reposição/adição de P no solo, tem se utilizado principalmente os fertilizantes superfosfato simples (SFS), superfosfato triplo (SFT) e Monoamônio Fosfato (MAP), tendo em suas concentrações em P₂O₅ solúvel em água, de respectivamente, 17% a 21%; 36% e 54%.

O P geralmente é um nutriente limitante para o crescimento das plantas, pois, apesar de o P total da maioria das áreas com anos de cultivo ser relativamente elevada, devido as elevadas quantidades de fertilizantes sintéticos fosfatados aplicados, o P disponível para as plantas é muito baixo, ficando grande parte deste nutriente fixado aos óxidos e argilominerais do solo (Rengel e Marschner, 2005). Havlin *et al.* (1999), ressaltam que após a aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis no solo, a fixação de P pode ocorrer na superfície dos argilominerais e/ou formar precipitados na forma de fosfato de Al³⁺, fosfato de Fe³⁺ e fosfato de Ca²⁺, íons que se encontram livres no solo, sendo os solos dos trópicos, os que possuem maior capacidade de fixação de fósforo, mais de 1 bilhão de hectares (Sanchez; Logan, 1992).

Zhou *et al.* (1992), relatam que menos de 0,1% do P total existente no solo está prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas, resultando na necessidade de que elevada quantidade de fertilizante fosfatado sintético seja aplicado ao solo para atender a demanda das plantas. Após a aplicação destes adubos, Pavinato *et al.* (2020) estimam que mais de 70% do que foi aplicado não é absorvido, permanecendo no solo em formas não disponíveis para as plantas.

Neste sentido, visando atenuar esta dependência da importação de fertilizantes, o uso de remineralizadores de solo, oriundos de rochas próximas as regiões produtoras vêm sendo estudada como alternativa promissora, pois muitas formações geológicas apresentam potencial para serem utilizados como fertilizantes naturais. Estes materiais, também conhecidos como pó de rocha ou rochagem, são utilizados como fonte de macro e micronutrientes para as culturas e/ou condicionadores de solo (Richardi *et al.* 2023). Por outro lado, Moraes (2021) relata que a disponibilidade dos nutrientes dessa rochagem em um curto tempo é considerada baixa, e como forma de contornar essa limitação, se faz necessário o uso de microrganismos solubilizadores de nutrientes.

A utilização de microrganismos solubilizares de P é uma tendência que tem apresentado resultados promissores em diversos países para diferentes culturas (Oliveira-Paiva *et al.* 2022). Trabalhos desenvolvidos por Vasconcelos Filho *et al.* (2023); Nascimento (2020) e Soave (2023), demonstram que a cultura da cana-de-açúcar apresenta elevada interação com diversos microrganismos do solo. Porém, pouco se conhece sobre o potencial uso de microrganismos solubilizadores de P nessa cultura, remetendo na necessidade de que trabalhos sejam desenvolvidos nesta área, uma vez que essa alternativa, além de ocasionar menor impacto ambiental, pode ser uma importante estratégia para redução pela demanda de fertilizantes minerais importados para o atendimento do agronegócio brasileiro.

Alzate Castaño *et al.* (2023) relatam que bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* spp, conseguem solubilizar fósforo de maneira satisfatória, sendo *B. subtilis* e *B. cereus* as que mais se destacaram quando a capacidade de solubilizar minerais contendo fósforo. Por outro lado, em estudo feito por Corrales Ramírez *et al.* (2014), foi constatado que a cepa de *B. brevis* e *B. pumilus* dentro do gênero *Bacillus* spp, foram as espécies que mais se destacaram quando a eficiência na solubilização de fosfato. Diante disso, é possível observar que dentre o gênero de *Bacillus* spp, existem mais de uma possível espécie solubilizadora de fósforo. Guimarães *et al.* (2006) e Marriel *et al.*, (2006), em estudo no qual testou-se 40 isolados de fungos visando avaliar seu potencial em solubilizar P e K em pó de rocha proveniente de biotita xisto e brecha alcalina, demonstraram que o potencial de solubilização é dependente do tipo de rocha e do microrganismo utilizado.

Assim visando atender a demanda por fertilizante fosfatado da região, no município de Novo Mundo-GO, a extração do “carbonatito fofático”, rocha esta que após finamente moída, é comercializada como remineralizador do solo. Este material, conforme laudo mineralógico emitido pelo CRTI, possui em sua composição 28,18% de SiO₂, 2,48% de TiO₂, 11,04% de Al₂O₃, 20,84% de Fe₂O₃, 1,2% de MnO, 4,34% de MgO, 12,27% de CaO, 0,13% de Na₂O, 4,93% de K₂O

e 8,21% de P_2O_5 . Deste modo, considerando os teores de óxidos de cálcio e magnésio, e principalmente, de potássio e de fósforo, este material possui elevado potencial para ser utilizado como remineralizador do solo e como fonte de nutrientes para as plantas. Porém, há poucas informações científicas sobre seus efeitos na nutrição e desenvolvimento das plantas quando aplicado ao solo como remineralizador. Neste sentido, o uso de carbonatito fosfático como remineralizador do solo, associado a inoculação de microrganismos solubilizadores de fósforo, caso eficiente, pode vir a ser uma importante alternativa para suprir a demanda nutricional da cana-de-açúcar (principalmente de fósforo), bem como contribuir no atendimento da demanda por fertilizantes da agricultura regional de forma sustentável, uma vez que é um produto natural, rico em nutrientes, com baixo valor agregado, o que o torna acessível tanto para os produtores que buscam maior sustentabilidade no processo produtivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZATE CASTAÑO, F. **Evaluación de la solubilización del fósforo mediante el uso de bacterias del género *Bacillus* spp en condiciones de laboratorio**, 1997 - 2003 [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombia. 2023.
- Brasil. (2022). **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**. < Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes>> Acessado em: 10/08/2025
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 10(4): 1–49 CONAB. **Cana-de-açúcar: Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/23**. 2023.
- CONTINI, E., & ARAGÃO, A. **O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas**. Brasília: Embrapa, 2021.
- CORRALES RAMÍRES, L.C., SÁNCHEZ LEAL, L.C., ARÉVALO GALVEZ, Z.Y., & MORENO BURBANO, V.E. *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. **Nova** vol.12 no.22, Bogotá July/Dec. 2014. ISSN 1794-2470.
- DE OLIVEIRA, L.C.A., CARNEIRO, M.D.A., LITTER, F.A., DE CARVALHO, M.A.C., YAMASHITA, O.M., & CAIONE, G. Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes fosfatados em distintas classes de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Revista em Agronegócio e Meio Ambiente. Maringá Vol. 14, Ed. 4, (Oct-Dec 2021): 1-15. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n4e8921.
- FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fertilizers consumption in nutrients (1961-2023)**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#country/21>. Acessado em: 25/08/2025
- FELIX, F.C.; WALTER, L.S. Fertilizante de liberação controlada reduz perdas nas mudas. **Campos & Negócios**. 2021. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/fertilizante-de-liberacao-controlada-reduz-perdas-nas-mudas/>. Acessado em 07 de dezembro de 2023.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499 p.
- MARRIEL, I.E., COELHO, A., GUIMARÃES, P.S., SOARES, E.M., NONATO, L.F.V., OLIVEIRA-PAIVA, C.A., & ALVES, V. **Seleção de isolados de fungos Biossolubilizadores de rochas silicáticas *in vitro***. Sete Lagoas: Embrapa Milho Sorgo, 2006.
- MORAES, L.N.D. **Uso de pó de rocha na agricultura brasileira**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2021, 40 p. Trabalho de conclusão de curso.
- MORDOR INTELLIGENCE. **Tamanho do mercado de fertilizantes de liberação controlada e análise de ações** - Tendências e previsões de crescimento (2024 – 2043). Mordor Intelligence, © 2024. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/controlled-release-fertilizer-market>. Acesso em. 05 jan. 2024.
- NASCIMENTO, F.C.D. Absorção de nitrogênio e fósforo em milho, soja e cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas em diferentes níveis de adubação. Jaboticabal:

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2020, 89 p. Tese (doutorado).

OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; ALVES, V.M.C.; GOMES, E.A.; SOUSA, S.M.; PAULA LANA, U.G.; MARRIEL, I.E. **Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja**. IN: Meyer, Mauricio Conrado. Bioinsumos na cultura da soja. Embrapa. Brasília-DF. 2022.

PAVINATO, P.S.; CHERUBIN, M.R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G.C.; CHADWICK, D.R.; JONES, D.L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, article 15615, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-72302-1.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. **New Phytologist**, v. 168, n. 2, p. 305-312, 2005. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01558

RICHARDI, M.M., DOS SANTOS WEBER, O.L., SOUSA, H.M., DA SILVA CAMPOS, D.T., & DA SILVA, J.W.F. Uso de rocha carbonática e microrganismos como suprimento alternativo de fósforo. **Nativa**, Sinop, v. 11, n.1, p. 82-89. 2023. ISSN: 2318-7670. DOI: 10.31413/nativa.v11i1.13863

SALVIANO, A.M., MOURA, M.S.B., SILVA T.G.F., CARMO J.F.A., BRANDÃO E.O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Científica Intelletto**. v.2, n.2, p.16-27. 2017. ISSN 2525-9075

SANCHEZ, P.A., & LOGAN, T.J.. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. **Myths and Science of Soils of the Tropics**, Publication no. 29, p. 35-46. 1992.

SOAVE, J.M. *Bacillus spp.* e a promoção de crescimento vegetal: um enfoque na solubilização e mineralização de fosfato durante interação com cana-de-açúcar. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2023, 127 p. Dissertação (Mestrado).

VASCONCELOS FILHO, I.C. Fertilizantes Organominerais em interação com microrganismos e a produção de biomassa da cana-de-açúcar. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2023, 34 p. Trabalho de conclusão de curso.

ZHOU, K.; BINKLEY, D.; DOXTADER, K.G. A new method for estimating gross phosphorus mineralization and immobilization rates in soils. **Plant and Soil**, v. 147, p. 243-250, 1992. DOI: 10.1007/BF00029076

CAPÍTULO II

CARBONATITO FOSFÁTICO E MICRORGANISMOS BIOSOLUBILIZADORES COMO ESTRATÉGIA PARA SUPRIMENTO DE FÓSFORO NA CANA-DE-AÇÚCAR

PHOSPHATE CARBONATITE AND BIOSOLUBILIZING MICROORGANISMS AS A STRATEGY FOR SUPPLY IN SUGARCANE

RESUMO: Este estudo avaliou fontes de fósforo, associadas ou não a microrganismos biossolubilizadores, sobre o desempenho fisiológico e bromatológico da cana-de-açúcar em casa de vegetação. O experimento foi conduzido em vasos de 12L, utilizando-se a cultivar de cana-de-açúcar CTC4. O delineamento foi em blocos casualizados e foram testadas três fontes de fósforo: 100% carbonatito fosfático, mistura com 50% de carbonatito e 50% de superfosfato simples, e 100% superfosfato simples, combinados com inoculação de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Cladosporium cladosporioides* e *Trichoderma harzianum*, isolados e em coinoculação. A colheita foi realizada 95 dias após o plantio, avaliando-se o perfilhamento, nós e entrenós, comprimento de colmos, massas fresca e seca da parte aérea e das raízes e índice SPAD. A proporção da adubação fosfatada com 50% carbonatito e 50% superfosfato apresentou desempenho equivalente ao superfosfato em variáveis determinantes de produtividade, superando o uso exclusivo de carbonatito. A inoculação contribuiu para aumentar a produção de matéria seca, sobretudo radicular, com destaque para *T. harzianum* e para o consórcio com *Bacillus* e *Cladosporium* quando houve fósforo prontamente disponível. Conclui-se que combinar fontes de solubilidade distinta com bioinsumos permite reduzir o uso de fertilizantes solúveis sem prejuízo produtivo, com potencial de ganhos econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Adubação; Coinoculação microbiana; Eficiência de uso de nutrientes; Fertilidade do solo; Remineralizadores.

ABSTRACT: This study evaluated phosphorus sources, with or without biosolubilizing microorganisms, on the physiological and bromatological performance of sugarcane under greenhouse conditions. The experiment was conducted in 12 L pots, using the CTC4 sugarcane cultivar, in a randomized block design. Three phosphorus sources were tested: 100% phosphate rock, a mixture of 50% phosphate rock and 50% single superphosphate, and 100% single superphosphate, combined with the inoculation of *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Cladosporium cladosporioides*, and *Trichoderma harzianum*, either individually or in co-inoculation. Harvest was carried out 95 days after planting, evaluating tillering, number of nodes and internodes, stalk length, fresh and dry biomass of shoots and roots, and SPAD index. The 50% phosphate rock + 50% superphosphate treatment showed equivalent performance to superphosphate alone in key productivity variables, outperforming the exclusive use of phosphate rock. Microbial inoculation enhanced dry matter accumulation, especially in roots, with notable effects of *T. harzianum* and the consortium with *Bacillus* and *Cladosporium* when readily available phosphorus was supplied. It is concluded that combining phosphorus sources with different solubility levels and bioinputs allows reducing the use of soluble fertilizers without yield loss, with potential economic and environmental benefits.

Keywords: Fertilization; Microbial co-inoculation; Nutrient use efficiency; Soil fertility; Rock remineralizers.

1.INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas agrícolas de maior relevância econômica e estratégica para o Brasil, posicionando o país como o maior produtor mundial, com destaque para a região Centro-Sul, responsável por mais de metade da produção nacional (Ilsa Brasil, 2023). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, a produção anual ultrapassa 570 milhões de toneladas, abastecendo um complexo setor sucroenergético que fornece açúcar, etanol e bioeletricidade, além de gerar milhões de empregos diretos e indiretos (Croplife Brasil, 2023).

Cultivada predominantemente em solos tropicais de baixa fertilidade natural, a cana-de-açúcar demanda manejo nutricional criterioso para expressar seu potencial produtivo. Entre os macronutrientes essenciais, o fósforo (P) destaca-se por sua função na transferência de energia (ATP), na fotossíntese, na divisão celular e no desenvolvimento radicular (Embrapa, 2024). No estabelecimento inicial, o P exerce papel determinante no perfilhamento e no vigor da cultura, refletindo diretamente na produtividade final (Santos et al., 2009). Deficiências deste elemento provocam crescimento reduzido, menor número de colmos, enraizamento superficial e queda no rendimento de colmos e açúcar. Por outro lado, adubações fosfatadas adequadas promovem ganhos expressivos de biomassa e produtividade, como demonstrado por Santos et al. (2009), que verificaram incremento significativo no número de perfilhos e na matéria seca de canaviais adubados com P.

Embora o fósforo seja um nutriente estratégico para a agricultura, a oferta nacional ainda é limitada, o que obriga o Brasil a recorrer fortemente ao mercado externo. Dados recentes apontam que o país importa cerca de 85% do complexo NPK utilizado, sendo aproximadamente um terço referente apenas ao fósforo (Agro Insper, 2025; Brasil, 2022). Essa dependência o coloca como o maior importador mundial de fertilizantes fosfatados, com 3,44 milhões de toneladas adquiridas em 2021, principalmente do Egito e da China (Ogino et al., 2023). A situação é agravada pelas características dos solos tropicais brasileiros, que, por serem altamente intemperizados e ácidos, apresentam elevada capacidade de fixação de P, adsorvendo-o em óxidos de ferro e alumínio ou precipitando-o em formas insolúveis (Resende et al, 2010). Como resultado, apenas 10 a 25 % do P aplicado é efetivamente aproveitado pelas plantas, tornando necessária a aplicação de doses elevadas para suprir as exigências das culturas.

Esse cenário, conforme consta no Programa Nacional de de Fertilizantes (PNF – 2050),

evidencia a necessidade de adoção de estratégias que reduzam a dependência de fontes importadas e aumentem a eficiência de uso do P (Brasil, 2022). Entre as alternativas, destaca-se o uso de fosfatos naturais de origem nacional, como o carbonatito fosfático, encontrado em depósitos como os de Catalão-GO e Tapira-MG. Este material, de baixo custo e elevada persistência no solo, é considerado um remineralizador de liberação lenta, cuja solubilização depende da acidez do solo e da atividade biológica (Martins et al., 2010). No entanto, sua baixa solubilidade limita a disponibilidade imediata de P para as plantas, não atendendo às exigências nutricionais iniciais das culturas anuais, que demandam rápida absorção desse nutriente.

Nesse contexto, o uso combinado de fosfatos naturais com microrganismos biossolubilizadores de fósforo surge como estratégia promissora (Feng et al., 2024). Espécies de bactérias e fungos, como *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp. e *Cladosporium* spp., são capazes de solubilizar compostos fosfatados por meio da liberação de ácidos orgânicos, fosfatases e outros metabólitos, tornando o P disponível para absorção pelas plantas (Sarmah e Sarma, 2023; Garcia-Berumen et al., 2025). Para Estrada-Bonilla et al. (2021), a coinoculação de microrganismos solubilizadores com fontes de P de baixa solubilidade pode incrementar o aproveitamento do nutriente, permitindo até mesmo a redução das doses de adubação mineral convencional.

A produção de biomassa, expressa em matéria fresca e seca da parte aérea e das raízes, é um parâmetro fundamental para avaliar o desempenho fisiológico e produtivo da cana. Essa variável integra processos como fotossíntese, acúmulo e distribuição de assimilados, sendo diretamente correlacionada com a produtividade industrial de colmos e açúcar (Santos et al., 2009). Estudos indicam que a adequada nutrição fosfatada e o uso de microrganismos solubilizadores podem aumentar a biomassa em até 20 %, mesmo com redução da adubação mineral (Lopes et al. 2021). Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a resposta fisiológica e bromatológica da cana-de-açúcar à aplicação de fontes de fósforo solúvel (SSP) e não solúvel (carbonatito fosfático), combinadas ou não com inoculação de microrganismos biossolubilizadores, visando contribuir para sistemas de cultivo mais sustentáveis e menos dependentes de insumos importados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação na fazenda escola do IF Goiano Campus Iporá. Cada unidade experimental foi constituída de vaso plástico com capacidade volumétrica de 12L. Para enchimento dos vasos foi utilizado solo coletado na camada de 0,0 – 0,20m de profundidade de um Latossolo Vermelho escuro, cujo laudo da

análise química revelou pH em CaCl_2 de 5,8; teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} de respectivamente 2,7 e $0,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, $214 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de K^+ , $2,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de P, $0,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^3$ de Al^{3+} , 12 g.kg^{-1} de matéria orgânica e CTC total de $5,35 \text{ cmol}_c.\text{dm}^3$. Quanto a sua composição granulométrica, apresentou 550 g.kg^{-1} de argila, 130 g.kg^{-1} de silte e 320 g.kg^{-1} de areia.

Após a coleta, este material foi destorroado e passado em peneira com malha de 4,00mm para padronização. Na sequência, utilizando o método da estufa, também foi determinado a umidade residual do solo, que foi utilizada para quantificação da massa de solo adicionada em cada vaso, os quais foram montados mantendo-se uma densidade do solo de $1,1 \text{ Mg.m}^3$.

O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizado (DBC), testando-se o uso do carbonatito fosfático como fonte de fósforo (3 tratamentos), equivalente a 350 kg-ha^{-1} de P_2O_5 : 100% carbonático fosfático (100% PR); 2: 50% na forma pó de rocha + 50% na forma de Superfosfato simples(50%PR+50%SFS); 3: 100% na forma de SFS (100%SFS), associado ao uso de microrganismos solubilizadores (9 tratamentos): a) testemunha (sem inoculação), b) *Bacillus amyloliquefaciens* (Amy), c) *Priestia aryabhattai* (Ary), d) *Cladosporium cladosporioides* (Cla), e) Amy + Ary; f) Amy + Cla; g) Ary + Cla e h) Amy + Ary + Cla), e i) produto comercial “Trichodermil” com *Trichoderma harzianum*, com quatro repetições, totalizando 108 unidade experimentais.

No momento da montagem dos vasos, foi determinado a massa exata de solo. Conforme o tratamento de cada unidade experimental, foi adicionado as fontes de P (100% PR; 50%PR + 50% SFS e 100% SFS), misturando-o de forma homogênea ao solo. No tratamento com 100% PR, foram adicionados 23,3g da rocha moída em cada vaso, para os vasos com 50% pó de rocha + 50% SFS, foram adicionados 11,65g de PR e 3,80g de SFS, e, nos vasos com 100 % de SFS, foram adicionados 7,60g de SFS.

No dia 18 de outubro de 2024 realizou-se o plantio manual das mudas de cana-de-açúcar da cultivar CTC 4 (Figura 1A). Para isto, foi aberto uma pequena cova no centro de cada vaso, plantando-se uma muda micropropagada vaso⁻¹ (Figura 1C e 1E). As mudas foram produzidas em viveiro comercial que atua na produção de mudas de cana. Durante o plantio das mudas, adotou-se diversos cuidados para garantir o bom pegamento e o desenvolvimento adequado das plantas, selecionando-se as que apresentassem o mesmo padrão de desenvolvimento. As mudas no dia de plantio estavam com 60 dias de mudas.

No dia 25/10/2024 realizou-se a inoculação dos tratamentos biológicos com organismos biossolubilizadores, sendo a multiplicação de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Priestia aryabhattai* e *Cladosporium cladosporioides* realizada no Laboratório de Microbiologia do IF Goiano Campus Iporá (Figura 1D). Este processo foi feito manualmente, com o auxílio de uma seringa

graduada, distribuindo-se o inoculante diretamente sobre a base de cada planta (Figura 1E). Para cada inoculante, foi seguido a dose recomendada, considerando uma concentração mínima de 2×10^8 UFC.mL⁻¹. Deste modo, considerando o baixo volume de cada inoculante a ser adicionado por vaso, a alíquota total de cada tratamento biológico utilizada em todo o experimento foi diluída a 150mL de água destilada, aplicando-se 10mL desta solução em cada vaso, conforme seu respectivo tratamento.



Figura 1 – mudas pré brotadas do cultivar de cana CTC4 (A), muda evidenciando o bom desenvolvimento radicular (B), plantio das mudas (D), frascos de microrganismos em agitador por 5 dias (E), muda recém transplantada (F) e inoculação de *Trichoderma harzianum* diluído (C).

Posteriormente a inoculação, visando evitar a desidratação dos microrganismos inoculados e garantir melhores condições de umidade para que o inoculante entrasse em contato com o sistema radicular das plantas, adicionou-se mais 1,0 Kg de solo em cada vaso, sendo este material, disposto na superfície do solo já existente em cada vaso, formando assim uma camada de aproximadamente 1,0cm de espessura. Na sequência, efetuou-se a irrigação dos vasos,

garantido desta forma proteção contra radiação solar e condições adequadas de umidade do solo para sobrevivência dos microrganismos inoculados.

Para suprir a demanda de nitrogênio e enxofre, realizou-se em 29/11/2024 (41 dias após o plantio), a aplicação de sulfato de amônio, na dose equivalente a 100 kg.ha^{-1} de nitrogênio e de 120 kg.ha^{-1} de S. A opção de se aplicar este fertilizante também se deve ao seu menor risco com perdas por volatilização, melhorando assim a eficiência do fertilizante aplicado.

Além desta adubação, como tratamentos fitossanitários, foi necessário realizar no dia 04 de novembro de 2024, a aplicação do acaricida Abamex (dose de 200mL.ha^{-1} do produto comercial) e do inseticida Engeo Pleno (dose de 200mL.ha^{-1} do produto comercial). A pulverização destes produtos foi realizada com o uso de um pulverizador costal, utilizando-se bico cônico com indução de ar para evitar perdas por deriva durante a aplicação.

Durante todo o período experimental, a irrigação foi realizada via gotejamento conforme a demanda hídrica das plantas. Foi utilizada mangueira com gotejadores com espaçamento de 0,50m e vazão de $1,6 \text{ L.min.}^{-1}$. Cada vaso ficou localizado embaixo de cada um dos gotejadores (Figura 2A), irrigando-se com uniformidade todo o experimento quando o sistema era acionado. Nas semanas iniciais de desenvolvimento das plantas, devido à baixa demanda hídrica, as irrigações eram pouco frequentes (2 a 3 vezes por semana). Porém nos últimos 30 dias de condução, como as plantas estavam com tamanho expressivo, tornou-se necessário irrigar duas vezes por dia, sendo as irrigações realizadas no início da manhã e no final da tarde (Figura 2B).



Figura 2 – mudas micropropagadas do cultivar de cana CTC4 duas semanas após o plantio no experimento (A) e no momento da coleta final dos dados, em 24/01/2025 (B).

Por ocasião da coleta do experimento, realizada aos 95 dias após o plantio, avaliou-se o teor de clorofila, determinado no terço final da primeira folha completamente desenvolvida, utilizando-se um medidor portátil de clorofila Modelo Clorofilog 1030, Marca Falker. Também se determinou o número de perfilhos por vaso, o número de folhas completamente desenvolvida por planta, altura das plantas e o diâmetro médio de colmo.

Após a coleta das informações, cada planta foi cortada rente à superfície do solo. Posteriormente, a parte aérea de cada planta foi separada manualmente em duas frações (folhas e colmos), obtendo-se a massa fresca das mesmas em balança de precisão. Para a avaliação do sistema radicular, removeu-se as raízes do vaso plástico, sendo posteriormente efetuada a lavagem até completa remoção do solo. Na sequência, o sistema radicular de cada planta foi exposto ao sol para perder a umidade excessiva, colocado em sacos de papel e posto para secar em estufa a 65°C. Após atingir o peso constante, se determinou o peso seco da parte aérea (folhas e colmos) e do sistema radicular.

Os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste F a 5%, e quando detectado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa SASM-Agri.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de fósforo afetaram o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, interferindo na produção de massa da parte aérea (Figura 3, Tabela 1 e Figura 5) e do sistema radicular (Figura 4). Além disso, também afetou o teor de clorofila das folhas (Figura 3A), bem como o número de total de perfilhos (Figura 3B) e a quantidade de nós por planta (Figura 3C).

Em relação ao índice SPAD, que representa o teor de clorofila nas folhas (Figura 1 A), maior valor foi observado nas plantas cultivadas nos vasos com a adição do carbonatito fosfático GOFÓS (100% PR), diferindo estatisticamente das plantas cultivadas nos vasos aonde aplicou-se somente o super fosfato simples (100% SFS). Ao se comparar o índice SPAD médio obtido nas plantas cultivadas com Carbonatito (100%PR), com o valor médio obtido nas plantas cultivadas com 50%PR+50%SFS e 100%SFS, este foi respectivamente 2,4 e 4,9% superior.

Como o índice SPAD estima o conteúdo de clorofila e se relaciona fortemente ao teor de nitrogênio foliar, diferenças nesse indicador refletem sobretudo a condição nutricional e não necessariamente se traduzem, em aumento de produtividade, devendo ser interpretadas em conjunto, com métricas de produção, uma vez que, a disponibilidade de fósforo modula os pigmentos e a eficiência fotossintética; e quando o P não é limitante, variações de SPAD tendem a ser discretas (Kayoumu et al., 2023).

Considerando os índices de biomassa deste estudo, observa-se que 50% PR + 50% SFS mantém desempenho produtivo equivalente ao SFS, sugerindo que parte do fosfato solúvel pode ser substituída por PR sem prejuízo agrônômico na fase avaliada. Essa leitura é compatível com evidências em cana-de-açúcar de que a produtividade pode ser semelhante entre fontes fosfatadas solúveis e rocha fosfática, a depender do manejo (por exemplo, com torta de filtro) e das

condições de solo, inclusive após mais de um ciclo de cultivo (Santos et al., 2018; Soltangheisi et al., 2019).

Por outro lado, para o número de perfilhos por planta (Figura 1B) e para o número de nós e entre-nós por planta, maiores valores foram observados nas plantas cultivadas com 50%PR+50%SFS e 100%SFS, os quais não diferiram estatisticamente entre si, porém ambos foram superior aos valores médios observados nas plantas com 100%PR. Comparando-se o número total de perfilhos nas plantas como fonte de P, somente o carbonatito fosfático (100%PR), este foi 17,4 % inferior ao observado nas plantas com 50%PR+50%SFS e 21,5% inferior nas plantas cultivadas com 100%SFS. Comportamento similar a este foi observado também para o valor médio de nós e entre-nós, sendo 21,02 % inferior ao observado nas plantas com 50%PR+50%SFS 28,4% inferior nas plantas cultivadas com 100%SFS.

A emissão de perfilhos com colmo desenvolvido é um indicador morfofisiológico crucial da produtividade na cana-de-açúcar. Neste estudo, os tratamentos com 100 % SFS e 50 % PR + 50 % SFS apresentaram número superior de perfilhos em relação ao tratamento com 100 % PR. Tal comportamento corrobora os achados de Sundara, Natarajan e Hari (2002), que observaram incremento significativo na brotação de cana com fontes solúveis de fósforo — especialmente quando associadas a microrganismos promotores de crescimento.

A rápida disponibilização de fósforo pelo SFS favorece a divisão celular e acelera a atividade meristemática, intensificando o perfilhamento inicial — efeito não observado com PR, que libera o nutriente gradualmente e pode retardar esse estímulo primordial (Sundara; Natarajan; Hari, 2002). A disponibilidade adequada de fósforo nas fases iniciais é decisiva para o crescimento da cultura, pois sua deficiência nessa etapa inicial tende a gerar perdas irreversíveis, mesmo que o nutriente seja fornecido em estágios posteriores.

Desde modo, o menor número de perfilhos, bem como o menor número de nós e entre-nós observado nas plantas em que utilizou-se somente Carbonatito como fonte de P, apesar de ser adicionado a mesma quantidade de P_2O_5 em todos os vasos (350 kg.ha^{-1}), sugere que o mesmo, por ser um fertilizante natural, está disponibilizando mais lentamente o P, resultando no menor desenvolvimento das plantas. No entanto, os dados da Figura 1B e 1C sugerem que é possível substituir 50% da quantidade de SFS por Carbonatito, sem prejudicar a emissão de perfilhos por planta e o número de nós e entre-nós.

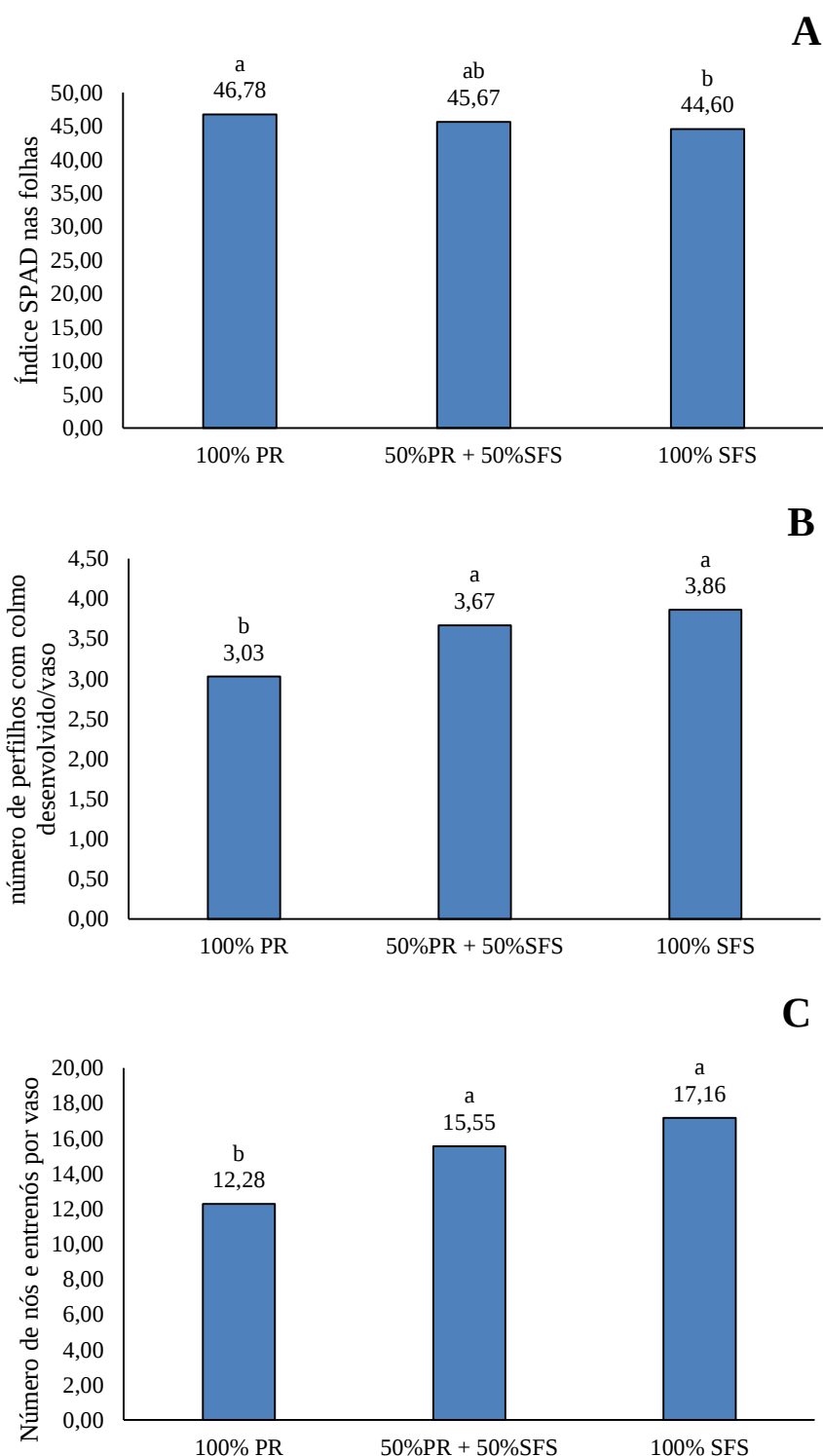


Figura 3. Índice SPAD referente ao teor de clorofila a folha 3⁺ (A), número total de perfilhos com colmos desenvolvidos (B) e número total de nós e entrenós por vaso (C) em cana-de-açúcar com diferentes fontes de P (pó de rocha de carbonatito fosfático (100% PR), Super Fosfato Simples (100%SFS) e meio a meio (50% PR + 50% SFS). Medias seguidas da mesma letra indica não haver diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5,0 de probabilidade.

A maior produção de fitomassa nas plantas cultivadas nos tratamentos com 50% PR+50%SFS e 100%SFS pode ser melhor visualizadas ao se analisar a Tabela 1. Para produção

de massa fresca de colmo (MFC.), variável de relevante importância para produção de cana-de-açúcar, maiores valores foram observados nas plantas cultivadas com 50% PR+50%SFS e 100%SFS, sendo estes, quando comparado com o valor médio observado nas plantas somente com Carbonatito (100% PR), respectivamente 30,8 e 37,2% superior. Comportamento similar foi observado para massa fresca de folhas (MFF.), variável na qual estes tratamentos foram respectivamente 15,6 e 19,2% superior ao observado nos vasos somente com Carbonatito como fonte de P. A maior produção de massa de folhas e de colmos nestes tratamentos, resultou consequentemente, também em uma maior massa fresca total na parte aérea (MFTP.), sendo a produção total de fitomassa nas plantas com 50%SFS + 50% PR e com 100%SFS, 21,6 e 27,22% superior a observada nas plantas cultivadas com Carbonatito como fonte de P (100%PR).

Resultados de campo com cana mostram que, em determinadas condições, a fonte fosfatada não altera o rendimento, sendo possível sua substituição total ou parcial por fontes menos reativas. Caione et al. (2011), em estudo no qual foi testado o uso de farinha de ossos, TSP e fosfato natural (RP), observaram que não houve diferença significativa de produtividade entre fontes de P testadas, bem como que o tipo de fonte (RP x TSP) não influenciou o rendimento quando associado ao manejo com torta de filtro, embora seu uso proporcione alterações nas frações de P no solo (Soltangheisi et al., 2019).

Para produção de massa seca (Tabela 1), houve comportamento muito similar ao já relatado para a produção de massa fresca, sendo observado maior produção de massa seca de colmos (MSC.), massa seca de raízes (MSR.) e de massa seca total das plantas (MSTP.) nas plantas utilizando como fonte de P 50%SFS + 50% PR e 100% SFS.

Tabela 1. Efeito isolado das fontes de P utilizadas (dosagem de 350kg.ha⁻¹ de P₂O₅), na produção de massa fresca e massa seca pela cultivar de cana-de-açúcar CTC4. Iporá,GO. 2025.

Tratamento	MFC.	MFF.	MFTP.	MSC.	MSR.	MSTP.
Fonte de P	-----kg.vaso ⁻¹ -----					
100%PR	0,941 B	0,832 B	1,854 B	0,135 B	0,111 B	0,424 B
50%PR+50%SFS	1,235 A	0,961 A	2,192 A	0,161 A	0,121 AB	0,488 A
100%SFS	1,294 A	0,990 A	2,291 A	0,186 A	0,132 A	0,522 A
CV (%)	20,3	10,9	8,9	30,4	26,3	15,1

OBS: MFC.- massa fresca de colmo; MFF. – massa fresca de folha; MFTP. – massa fresca total da planta; MSC.- massa seca de colmo; MSR. – massa seca de raízes; MSTP. – massa seca total da planta. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna indicam não haver diferença significativa entre os tratamentos ao teste de Tukey ao nível de 5,0% de probabilidade.

Ao se analisar conjuntamente estas variáveis, observa-se que a substituição de 50% da

quantidade de P solúvel pelo carbonatito fosfático torna-se agronomicamente atrativo, uma vez que até o momento da coleta do experimento, tem proporcionado produção de massa similar ao uso de fontes solúveis. Estes dados indicam tecnicamente que esta substituição pode ser uma alternativa viável, porém é necessário que estudos a campo sejam desenvolvidos para verificar se este padrão de resposta se mantém na produtividade da cana-de-açúcar.

Esse resultado corrobora com evidências de que para a cana-de-açúcar, o tipo de fonte fosfatada pode não alterar o rendimento quando o sistema de manejo favorece a disponibilidade de P no ambiente radicular (p. ex., integração com orgânicos como torta de filtro), e que arranjos organominerais tendem a sustentar a eficiência agrônoma e otimizar a relação custo-benefício (Soltangheisi et al., 2019; Crusciol et al., 2020).

Complementarmente, Lopes et al. (2021), apontam que o efeito residual do uso de remineralizadores de solo proporciona ganhos quando associado a matéria orgânica e a atividade microbiana do solo, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, no qual a mistura de uma fonte imediata de P + uma fonte de disponibilidade lenta (efeito residual) proporcionou produção de massa similar ao uso somente de SFS, o que torna esta alternativa de adubação interessante do ponto de vista agrônomo, quando se visa reduzir o uso de fertilizantes fosfatados solúveis (importados e de elevado custo de aquisição) e ambiental, uma vez que pode proporcionar maior sustentabilidade do processo produtivo.

Quanto ao efeito da interação dos microrganismos inoculados e das fontes de P utilizados na produção de massa seca de raízes por planta (Figura 4), ao se utilizar uma fonte solúvel como o super fosfato simples (100%SFS), maior produção de massa seca de raízes foi observado com a inoculação de *Bacillus amyloliquefaciens* (Amy) e de *Trichoderma harzianum* de forma isolada. Já quando em coinoculação (aplicados simultaneamente), maior massa seca do sistema radicular das plantas foi observado com *Priestia aryabhattai* (Ary) + *Clamidosporium cladosporioides* (Cla). Por outro lado, quando houve a substituição de 50% do fósforo solúvel por Carbonatito (50%PR + 50% SFS), maior desenvolvimento e produção de raízes foi observado com a coinoculação de Amy + Ary + Cla. Já quando se utilizou somente o carbonatito fosfático como fonte de P para as plantas, quando comparado com a testemunha (sem inoculação), houve uma redução significativa na massa seca de raízes das plantas quando inoculadas com *Priestia aryabhattai* (Ary), *Clamidosporium cladosporioides* (Cla) e com a coinoculação de com a coinoculação de Amy + Ary + Cla. Estes resultados sugerem que a fonte de P utilizada é um fator que influencia a atividade e multiplicação dos organismos testados, e consequentemente, o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, devendo este fator ser considerado no momento de optar pelo organismo a ser utilizado na cana-de-açúcar.

No caso de ser utilizada uma fonte de fósforo solúvel como o SFS, a inoculação com *Bacillus amyloliquefaciens* (Amy), *Trichoderma harzianum* a coinoculação com *Priestia aryabhatai* (Ary) + *Cladosporium cladosporioides* (Cla), demonstrou ser mais promissora, favorecendo para maior produção de massa seca de raízes. Já quando há a substituição de 50% da fonte solúvel por Carbonatito, o uso de *B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum* e a coinoculação de Ary + Cla, demonstrou ser mais promissor. Por outro lado, ao se utilizar o Carbonatito, devido sua liberação de P ser mais lenta, o uso dos microrganismos *Priestia aryabhatai*, *Cladosporium cladosporioides* e coinoculação de Amy + Ary + Cla, não demonstrou ser agronomicamente atrativo, uma vez que proporcionou redução da massa radicular, quando comparado com as plantas que não foram inoculadas (testemunhas). Este fato pode estar associado a baixa disponibilidade de P devido a liberação mais lenta deste nutriente por esta fonte de fósforo, limitando desenvolvimento das raízes das plantas nesta condição.

Nos tratamentos com 100% PR, o desenvolvimento inicial da planta e de seu sistema radicular mais discreto é compatível com a menor disponibilidade imediata de P, associado a necessidade dos microrganismos também utilizarem este nutriente para produção da biomassa microbiana, resultando na imobilização de parte do P que foi disponibilizado no solo (Santoyo et al. 2024; Lei et al., 2025). Esse padrão é coerente com o uso destes microrganismos, uma vez que há evidências de que sua coinoculação amplia a disponibilidade de P e a biomassa quando há oferta de P no sistema (Ríos-Ruiz et al., 2024).

Entre os agentes isolados, *Bacillus amyloliquefaciens* apresenta traços PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), que atua na produção de AIA, enzimas e ácidos orgânicos, os quais favorecem o enraizamento e o crescimento vegetal (Kim et al., 2017). De modo semelhante, *Priestia aryabhatai* tem sido descrito como promotor de crescimento, com efeitos fisiológicos e transcriptômicos compatíveis com maior vigor das plantas (Xu et al., 2022). O desempenho do consórcio também se explica pelo papel biostimulante e solubilizador de P de *Cladosporium cladosporioides*, descrito em ensaios de promoção de crescimento e testes funcionais (Raut et al., 2021). Ademais, Bononi et al. (2020) relatam que *Trichoderma* spp. possuem capacidade de solubilizar fosfatos e incrementar a absorção de P, contribuindo para um maior crescimento das plantas em diferentes culturas.

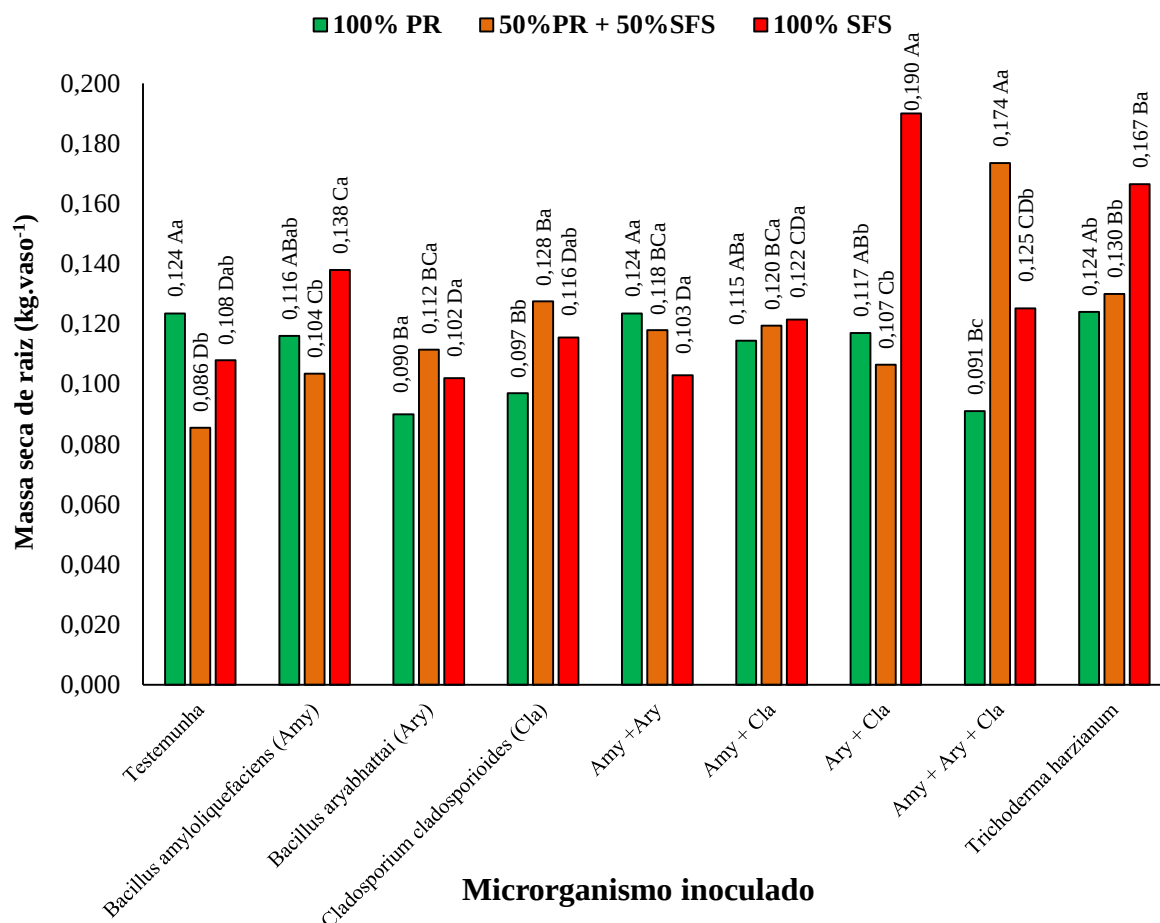


Figura 4. Massa seca de raiz da cana-de-açúcar “cultivar CTC 4” aos 95 dias após o plantio em função das fontes de fósforo testadas (100% PR – pó de rocha derivado de carbonatito fosfático, 100% SFS – Super Fosfato Simples e 50% PR + 50% SFS) e dos microrganismos inoculados no momento do plantio. Iporá, Goiás. 2025. Letras maiúsculas comparam o efeito das fontes de fósforo entre os microrganismos inoculados e letras minúsculas comparam o efeito das fontes de fósforo dentro de cada tratamento microbiológico testado.

O fósforo (P), por ficar retido em formas pouco disponíveis (Ca–P em solos alcalinos; Fe/Al–P em solos ácidos), é um dos nutrientes mais limitantes na agricultura. Microrganismos biossolubilizadores de P aumentam a fração lábil de P e, adicionalmente, modulam hormônios vegetais, afetando a arquitetura e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, elevando a eficiência de uso de P (Pan e Cai, 2023; Silva et al. 2023). Neste contexto, considerando os dados obtidos, na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar (até 95 dias após o plantio) quando utilizado somente uma fonte de P pouco solúvel como o Carbonatito, a inoculação das plantas, mesmo nos tratamentos que apresentaram melhores resultados, estes não diferiram estatisticamente da testemunha quanto a massa de raiz produzida.

Por outro lado, com o uso de uma fonte solúvel de P com o Super Fosfato Simples (100% SFS), o maior desenvolvimento do sistema radicular (Figura 4) nos tratamentos com

Bacillus amyloliquefaciens (Amy), *Trichoderma harzianum* a coinoculação com *Priestia aryabhattai* (Ary) + *Clamidosporium cladosporioides* (Cla) resultou em maior produção de fitomassa seca total da planta (Figura 5). Considerando os microrganismos utilizados, ao se comparar a produção de fitomassa seca obtida com com 100%SFS, com as obtidas usando 50%PR+50%SFS e 100% PR, com a inoculação de *B. Amyloliquefaciens*, esta foi respectivamente de 12,8 e 28,9% superior. Já quando coinoculado com Ary + Cla, foi respectivamente de 9,8 e 45,0 % superior e quando inoculado com *T. harzianum*, foi respectivamente de 16,2 e 48,7% superior.

No entanto, quando há a substituição de metade do P solúvel por uma fonte natural (50%SFS + 50% PR), a inoculação de *Priestia aryabhattai*, *Clamidosporium cladosporioides* e coinoculação de Amy + Ary + Cla, proporcionou maior produção de fitomassa seca na parte aérea das plantas, sendo nestes tratamentos, os valores similares aos obtidos com o uso de 100% de SFS, indicando que nesta situação, é possível substituir parte do P solúvel pelo carbonatito sem comprometer o a produção de fitomassa da cana nesta fase inicial de desenvolvimento.

Silva et al. (2023), mencionam que além de disponibilizar P, os microrganismos também podem promover o crescimento das plantas de maneiras complementares, corroborando com os dados obtidos neste estudo. Eles possuem mecanismos de ação diretos e indiretos para a promoção do crescimento das plantas, incluindo a fixação biológica de nitrogênio (Sing et al., 2020) e a produção de fitohormônios (Nadal et al., 2022). Também podem estimular a tolerância a estresses ambientais, como a seca e a baixa fertilidade do solo (Marulanda et al., 2009), induzir a defesa da planta hospedeira contra a produção de antibióticos e metabólitos secundários (Moura et al., 2021) e compostos biossurfactantes, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das plantas.

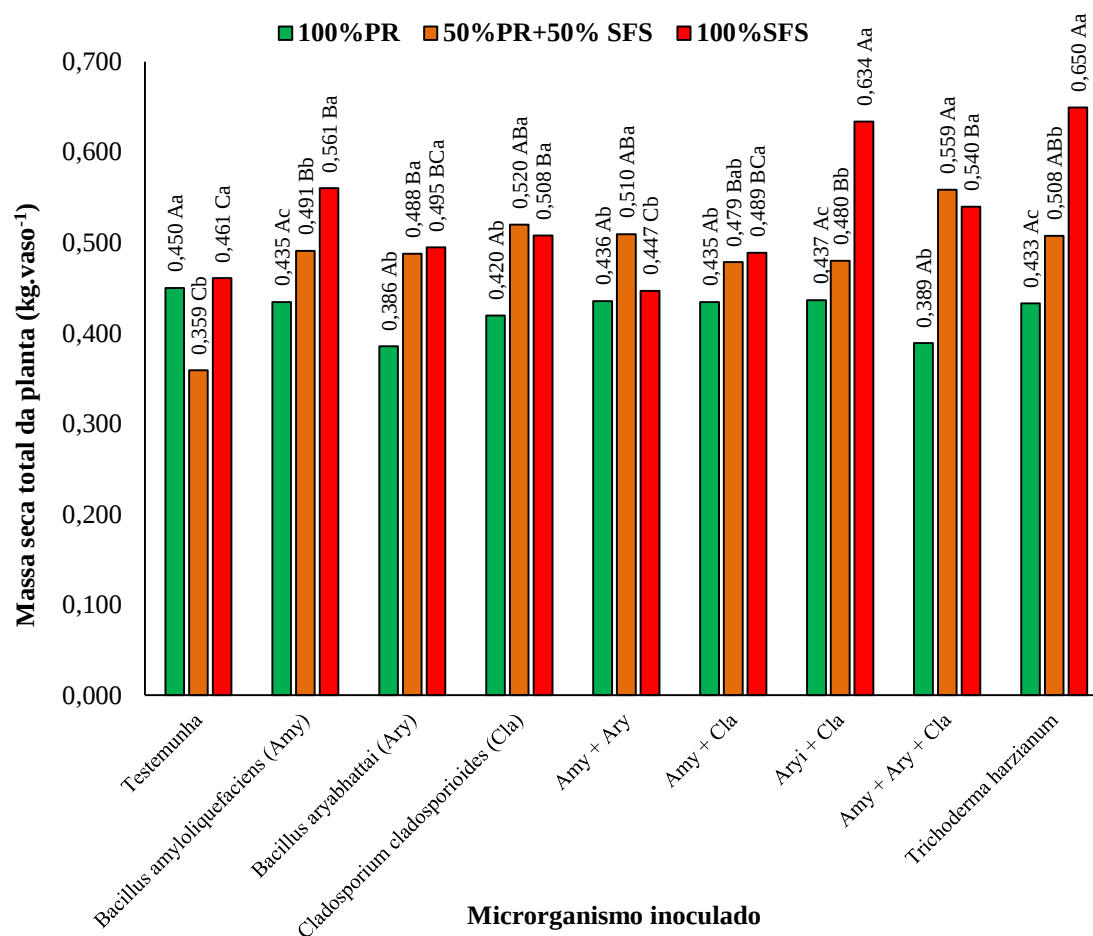


Figura 5. Massa seca total da cana-de-açúcar “cultivar CTC 4” aos 95 dias após o plantio em função das fontes de fósforo testadas (100% PR – pó de rocha derivado de carbonatito fosfático, 100% SFS – Super Fosfato Simples e 50% PR + 50% SFS) e dos microrganismos inoculados no momento do plantio. Iporá, Goiás. 2025. Letras maiúsculas comparam o efeito das fontes de fósforo entre os microrganismos inoculados e letras minúsculas comparam o efeito das fontes de fósforo dentro de cada tratamento microbiológico testado.

Neste contexto, o uso destes microrganismos isolados ou em coinoculação pode modular a resposta fisiológica das plantas e auxiliar seu crescimento, proporcionando maior acúmulo de massa da parte aérea e das raízes das plantas (Moura et al., 2022). Assim, para estas fontes de P (100 SFS e 50%PR+50%SFS) a inoculação destes microrganismos, desempenhou um papel notável no desenvolvimento da cana-de-açúcar, favorecendo para e o acúmulo de massa da planta (Figura 5), além de aumentar o crescimento das raízes das plantas (Figura 4), demonstrando serem promissores quando utilizados na cultura da cana-de-açúcar.

Por outro lado, ao se utilizar com fonte de P somente o carbonatito (100%PR), não houve efeito significativo dos microrganismos na produção de fitomassa seca pela parte aérea (Figura 5), fato que pode estar associado lenta liberação de P desta fonte de fósforo para a solução, a competição destes organismos pelo fósforo liberado, resultando temporariamente em menor

disponibilidade deste elemento para as plantas (Silva et al. 2023; Moura et al., 2022), o que pode ter limitado o desenvolvimento da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, sua produção de fitomassa pela parte aérea.

4. CONCLUSÕES

O uso do carbonatito fosfático como adubação fosfatada demonstrou ser eficiente para a cana-de-açúcar. Considerando o período experimental, foi possível substituir 50% da adubação fosfatada de base pelo carbonatito sem resultar em prejuízos para o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar.

A substituição de 50% do P solúvel pelo carbonatito fosfático (50%PR+50%SFS) resultou em produção de biomassa das plantas similar a obtida com 100%SFS, indicando sua eficiência como fertilizante natural fosfatado no cultivo da cana-de-açúcar.

Os microrganismos apresetaram respostas diferenciadas quanto as fontes de P testadas. Quando utilizado somente fontes solúveis com SFS (100%SFS), a inoculação de *Trichoderma harzinaum* demonstrou ser mais promissora. Já quando há mistura de fontes solúveis e pouco solúveis (50%PR+50%SFS), a inoculação de *Trichoderma harzinaum* e *Cladosporium cladosporioides* e a coinoculação de Amy. + Ary e Amy. + Ary. + Cla foram as que proporcionaram melhor produção de biomassa nas plantas de cana.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRO INSPER. **Dependência brasileira de fertilizantes: panorama e desafios para o agro**. São Paulo: Insper Agro Global, 2025. Acesso em: 04 set. 2025.

BONONI, L.; BARBOSA, L.; ARAÚJO, W. L.; et al. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. **Scientific Reports**, v. 10, e17576, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-59793-8.

BRASIL. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil**. Brasília: MDIC/SDIC, 2022. ISBN 978-65-981379-4-6. Acesso em: 04 set. 2025.

CAIONE, G.; PRADO, R. de M.; CAMPOS, C. N. S.; et al. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i1.8497.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: **Cana-de-açúcar, Safra 2024/25, 2º levantamento**. Brasília: Conab, 2024. Acesso em: 04 set. 2025.

CRUSCIOL, C. A. C.; ROSSATO, O. B.; PARIZ, C. M. Adubação organomineral fosfatada na cana-de-açúcar: desempenho agrônomo e sustentabilidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 102-121, 2020. DOI: 10.32358/gebct.v9i2.768.

EMBRAPA. **Fertilidade do solo e adubação em cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2024. Acesso em: 04 set. 2025.

ESTRADA-BONILLA, G. A.; DURRER, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. **Applied Soil Ecology**, v. 157, art. 103760, 2021. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103760.

FENG, Y.; HE, J.; ZHANG, H.; et al. Phosphate-solubilizing microorganisms: a sustainability strategy to improve urban ecosystems. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2024.103389.

GARCÍA-BERUMEN, J. A.; FLORES DE LA TORRE, J. A.; VILLALOBOS, S. S.; et al. Phosphorus dynamics and sustainable agriculture: the role of microbial solubilization and innovations in nutrient management. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 8, art. 100326, 2025. DOI: 10.1016/j.crmicr.2025.100326.

ILSA BRASIL. **Cana-de-açúcar no Brasil: relevância econômica e produtiva**. 2023. Acesso em: 04 set. 2025. CropLife.

KAYOUMU, A.; DUBEY, N.; LEI, Y.; et al. Chlorophyll content and SPAD values as indicators of plant physiological status: recent advances and perspectives. **Antioxidants**, v. 12, n. 8, 1521, 2023. DOI: 10.3390/antiox12081521.

KIM, M.-J.; RYU, R.-J.; LEE, J.-Y.; et al. Plant growth-promoting effect of *Bacillus amyloliquefaciens* isolated from soybean rhizosphere. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE B**, v. 18, n. 5, p. 369-376, 2017. DOI: 10.1631/jzus.B1600290.

LOPES, C. M.; MIRANDA SILVA, A. M.; ESTRADA-BONILLA, G. A.; et al. Improving the fertilizer value of sugarcane wastes through phosphate rock amendment and phosphate-solubilizing bacteria inoculation. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, 126821, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126821.

MARTINS, É. S.; RESENDE, Á. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos... In: **Agrominerais para o Brasil**. CETEM/MCT, 2010. p. 89–104. Disponível em: capítulo (cap. 5) / livro completo.

OGINO, A. C.; LOPES, A. S.; LANA, M. A. P.; et al. **Dependência brasileira de fertilizantes e oportunidades de investimento**. Brasília: Ipea, 2023. (Texto para Discussão). Acesso em: 04 set. 2025.

PAN, F.; CAI, G. Phosphate-solubilizing bacteria: from mechanisms to application in sustainable agriculture. **Plants**, v. 12, n. 22, 3917, 2023. DOI: 10.3390/plants12223917.

RESENDE, Á. V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo... *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 3, p. 453–466, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000300011.

RÍOS-RUIZ, W. F.; TARRILLO-CHUJUTALLI, R. E.; ROJAS-GARCÍA, J. C.; et al. The biotechnological potential of plant growth-promoting rhizobacteria isolated from maize cultivations in Peru. **Plants**, v. 13, n. 15, 2075, 2024. DOI: 10.3390/plants13152075.

SARMAH, R.; SARMA, A. K. Phosphate solubilizing microorganisms: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, p. 1306-1315, 2023. DOI: 10.1080/00103624.2022.2142238.

SANTOS, V. R. dos; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009. DOI: 10.1590/S1415-43662009000400004.

SANTOS, V. R. dos; ROSENDO DOS SANTOS, V.; et al. Phosphate sources and their placement affecting soil chemical properties. **Agronomy**, v. 8, n. 12, 283, 2018. DOI: 10.3390/agronomy8120283.

SOLTANGHEISI, A.; FRANCO, H. C. J.; CHERUBIN, M. R.; et al. Phosphate sources and filter cake amendment affecting sugarcane yield and soil phosphorus fractions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180227, 2019. DOI: 10.1590/1806-9657-2019v43e0180227.

SUNDARA, B.; NATARAJAN, V.; HARI, K. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. **Field Crops Research**, v. 77, n. 1, p. 43-50, 2002. DOI: 10.1016/S0378-4290(02)00048-5.

XU, H.; GAO, J.; PORTIELES, R.; et al. Endophytic bacterium *Bacillus aryabhattai* induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. **Plos One**, v. 17, n. 8, e0272500, 2022. DOI: 10.1371