

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (ICIAG)**

ADAILTON AGOSTINHO BARBOSA FREITAS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTE ORGANOFOSFATADO
ASSOCIADO A *Bacillus aryabhattai* NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CULTURA DO MILHO**

Uberlândia

2026

ADAILTON AGOSTINHO BARBOSA FREITAS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTE ORGANOFOSFATADO
ASSOCIADO A *BACILLUS ARYABHATAI* NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Área de concentração: Ciências Agrárias

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Camargo

Uberlândia

2026

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

F866 2026	Freitas, Adailton Agostinho Barbosa, 2004- Eficiência agronômica de fertilizante organofosfatado associado a <i>Bacillus aryabhattai</i> no desenvolvimento inicial da cultura do milho [recurso eletrônico] / Adailton Agostinho Barbosa Freitas. - 2026. Orientador: Reginaldo de Camargo. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. 1. Agronomia. I. Camargo, Reginaldo de, 1972-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Agronomia. III. Título. CDU: 631
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ADAILTON AGOSTINHO BARBOSA FREITAS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTE ORGANOFOSFATADO
ASSOCIADO A *BACILLUS ARYABHATAI* NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Área de concentração: Ciências Agrárias

Uberlândia, 23 de março de 2026.

Banca Examinadora:

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Dedico este trabalho a minha família, pelo
estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida, pela força e por me permitir chegar até a conclusão desta importante etapa da minha formação acadêmica.

Aos meus pais, Elisangela Cristina de Freitas e Adailton Barbosa Silva, por todo o apoio, incentivo, dedicação e confiança ao longo de toda a minha trajetória. Vocês foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui, e esta conquista também é de vocês.

Ao meu irmão, Diego Ângelo, pelo apoio, companheirismo e incentivo durante toda essa caminhada.

Agradeço, de forma especial, à minha namorada, Alice de Kárita, pelo apoio, carinho, compreensão e incentivo. Sua presença foi fundamental nos momentos difíceis, e sua confiança em mim foi uma grande motivação para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Reginaldo de Camargo, pela orientação, paciência, dedicação e pelos ensinamentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial não apenas para a realização deste estudo, mas também para a minha formação profissional.

Ao Grupo de Pesquisa em Fertilizantes Especiais, que teve um papel fundamental na minha formação como pesquisador ao longo da graduação, proporcionando aprendizado, experiência e crescimento.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

“A educação é a arma mais poderosa que você
pode usar para mudar o mundo.”
(Nelson Mandela, 2003)

RESUMO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando papel fundamental em processos fisiológicos como transferência de energia, divisão celular e formação de estruturas vegetativas. Entretanto, em solos tropicais, sua disponibilidade é frequentemente limitada devido à elevada fixação pelos constituintes do solo. Nesse contexto, alternativas que aumentem a eficiência de uso desse nutriente tornam-se relevantes para a produção agrícola sustentável. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência agrônômica de um fertilizante organofosfatado (FOF), aplicado isoladamente ou em associação com a rizobactéria *Bacillus aryabhattai*, comparando seu desempenho ao fertilizante mineral convencional fosfato monoamônico (MAP) no desenvolvimento inicial da cultura do milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento experimental em blocos casualizados, composto por dez tratamentos e quatro repetições, contemplando diferentes doses de P_2O_5 (75%, 100% e 125% da recomendação). Foram avaliadas variáveis de crescimento das plantas, incluindo altura, diâmetro do caule, área foliar, massa fresca e massa seca da parte aérea e do sistema radicular, além de análises químicas do solo e do tecido foliar. Os resultados indicaram que o MAP proporcionou maior crescimento inicial das plantas, em razão da rápida disponibilidade de fósforo. Por outro lado, o fertilizante organofosfatado apresentou desempenho agrônômico equilibrado, caracterizado pela liberação gradual de nutrientes ao longo do período avaliado. A associação com *Bacillus aryabhattai* não promoveu diferenças significativas nos parâmetros analisados, possivelmente em decorrência das condições controladas de umidade no ambiente de cultivo. Em relação aos atributos químicos do solo, ambos os fertilizantes mantiveram teores residuais semelhantes de fósforo, enquanto o fertilizante organofosfatado destacou-se pelo fornecimento adicional de cálcio e matéria orgânica. Conclui-se que o fertilizante organofosfatado apresenta potencial como alternativa ao MAP no manejo da adubação fosfatada, especialmente em sistemas de produção que priorizam práticas agrícolas mais sustentáveis. Entretanto, estudos complementares em condições de campo são necessários para validar esses resultados em ambientes de cultivo comerciais.

Palavras-chave: fósforo; rizobactérias promotoras de crescimento; eficiência agrônômica.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is an essential nutrient for plant growth and development, playing a key role in physiological processes such as energy transfer, cell division, and the formation of vegetative structures. However, in tropical soils, its availability is often limited due to strong fixation by soil constituents. In this context, alternatives that enhance the efficiency of phosphorus use are important for sustainable agricultural production. This study aimed to evaluate the agronomic efficiency of an organophosphate fertilizer (OPF), applied alone or in association with the rhizobacterium *Bacillus aryabhattai*, comparing its performance with the conventional mineral fertilizer monoammonium phosphate (MAP) in the initial development of maize. The experiment was conducted under greenhouse conditions using a randomized block design with ten treatments and four replications, including different P_2O_5 doses (75%, 100%, and 125% of the recommended rate). Plant growth variables were evaluated, including plant height, stem diameter, leaf area, fresh and dry biomass of shoots and roots, as well as soil and leaf chemical analyses. The results showed that MAP promoted greater initial plant growth due to its rapid phosphorus availability. In contrast, the organophosphate fertilizer exhibited a balanced agronomic performance, characterized by gradual nutrient release over time. The association with *Bacillus aryabhattai* did not significantly influence the evaluated parameters, possibly due to controlled moisture conditions in the growing environment. Regarding soil chemical attributes, both fertilizers maintained similar residual phosphorus levels, while the organophosphate fertilizer stood out by providing additional calcium and organic matter. It is concluded that the organophosphate fertilizer has potential as an alternative to MAP in phosphorus fertilization management, especially in production systems focused on sustainability. However, further field studies are required to validate these results under commercial cultivation conditions.

Keywords: phosphorus; plant growth-promoting rhizobacteria; agronomic efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Diâmetro médio do caule de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	22
Gráfico 2 – Altura média de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	24
Gráfico 3 – Área foliar média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	27
Gráfico 4 – Massa fresca e massa seca média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	29
Gráfico 5 – Massa fresca e massa seca média de raízes de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo depois da correção da acidez. Uberlândia-MG, 2025.....	16
Tabela 2 – Tratamentos e doses utilizadas no ensaio. Uberlândia-MG, 2025.....	18
Tabela 3 – Doses de P_2O_5 , K_2O e N das respectivas fontes utilizadas em cada tratamento. Uberlândia-MG, 2025.....	19
Tabela 4 – Diâmetro médio do caule de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	21
Tabela 5 – Altura média de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.....	23
Tabela 6 – Área foliar média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.....	26
Tabela 7 – Massa fresca e massa seca média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	28
Tabela 8 – Massa fresca e massa seca média de raízes de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	30
Tabela 9 – Teores de macronutrientes foliares em plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	32
Tabela 10 – Teores de micronutrientes foliares em plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	34
Tabela 11 – Teores de elementos, pH água, saturação de base e saturação de alumínio (V%) no solo aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Dinâmica do fósforo em solos tropicais	13
2.2	Fertilizantes fosfatados convencionais e alternativos	13
2.3	Sinergia entre fertilizantes orgânicos e microrganismos promotores de crescimento.....	14
2.4	Implicações para o manejo nutricional do milho.....	14
2.5	Lacunas e perspectivas de pesquisa	15
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	Localização e características do local experimental	16
3.2	Preparo do solo e calagem.....	17
3.3	Delineamento experimental e tratamentos	18
3.4	Adubação e manejo da cultura	18
3.4.1	<i>Adubação de base.....</i>	<i>18</i>
3.4.2	<i>Adubação de cobertura.....</i>	<i>19</i>
3.4.3	<i>Manejo fitossanitário e irrigação</i>	<i>19</i>
3.5	Variáveis avaliadas e análise estatística.....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
4.1	Desenvolvimento de parte aérea	21
4.1.1	<i>Diâmetro de caule</i>	<i>21</i>
4.1.2	<i>Altura de planta</i>	<i>23</i>
4.1.3	<i>Área foliar</i>	<i>26</i>
4.1.4	<i>Massa fresca e massa seca de parte aérea</i>	<i>27</i>
4.2	Desenvolvimento de sistema radicular.....	30
4.2.1	<i>Massa fresca e massa seca de raiz.....</i>	<i>30</i>
4.3	Diagnose química foliar.....	31
4.3.1	<i>Macronutrientes.....</i>	<i>31</i>
4.3.2	<i>Micronutrientes.....</i>	<i>33</i>
4.4	Análise química do solo após o corte das plantas	34
4.4.1	<i>Implicações agronômicas</i>	<i>36</i>
4.4.2	<i>Limitações e perspectivas.....</i>	<i>36</i>
5	CONCLUSÃO.....	38

REFERÊNCIAS39

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando papel fundamental em processos como fotossíntese, transferência de energia e formação de estruturas celulares (Agroteg, 2023). Entretanto, sua disponibilidade no solo é frequentemente limitada devido à fixação em formas indisponíveis, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos (Marschner, 2012). Diante desse desafio, a eficiência dos fertilizantes fosfatados tem sido amplamente estudada, destacando-se fontes convencionais, como o fosfato monoamônico (MAP), e alternativas, como fertilizantes orgânicos reativos associados a microrganismos promotores de crescimento vegetal (Costa, 2023; Gonçalves et al., 2023).

O fertilizante organofosfatado (FOF), é um composto orgânico obtido como subproduto do tratamento de dejetos de suínos em biodigestores, apresenta-se como alternativa sustentável ao MAP, combinando matéria orgânica e nutrientes em sua formulação. Além disso, sua associação com a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* pode potencializar a disponibilidade de P no solo, uma vez que microrganismos do gênero *Bacillus* são conhecidos por solubilizar fosfatos e produzir fitormônios que estimulam o crescimento radicular (Gonçalves et al., 2023). Estudos recentes demonstram que *B. aryabhattai* pode mitigar estresses abióticos, como a seca, por meio da produção de exopolissacarídeos que protegem as raízes (Leandro, 2024).

No contexto da cultura do milho (*Zea mays* L.), a eficiência no uso de P é crítica, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento, quando o sistema radicular está em formação e a demanda por nutrientes é elevada (Landau; Moura, 2020). Tradicionalmente, o MAP tem sido a fonte preferencial devido à sua alta solubilidade e rápida disponibilização de P (Martins, 2018). No entanto, fertilizantes como FOF, que podem liberar nutrientes de forma gradual, podem oferecer vantagens em termos de eficiência agronômica e redução de perdas por fixação. Sob aspecto da sustentabilidade, fertilizantes fosfatados de origem orgânica, apresentam-se como alternativa de extrema importância, quando comparados às fontes minerais, finitas e cuja extração causam impactos ambientais.

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência agronômica do fertilizante organofosfatado (FOF), isoladamente e em associação com *B. aryabhattai*, em comparação ao MAP, no desenvolvimento inicial do milho em condições de casa de vegetação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dinâmica do fósforo em solos tropicais

O fósforo (P) é um macronutriente essencial para o metabolismo vegetal, atuando diretamente na síntese de ATP, ácidos nucleicos e fosfolipídios de membranas celulares, além de modular processos como fotossíntese, respiração e divisão celular (Marschner, 2012). Em solos tropicais intemperizados, como os Latossolos, a disponibilidade de P é criticamente limitada devido à alta capacidade de fixação em óxidos de ferro e alumínio, formando complexos estáveis (Silva, 2023). Estima-se que apenas 10–30% do P aplicado via fertilizantes seja absorvido pelas plantas, com perdas superiores a 70% por adsorção, precipitação ou lixiviação (Prochnow et al., 2019). Essa dinâmica exige estratégias inovadoras para aumentar a eficiência de uso, especialmente em culturas de alto requerimento nutricional, como o milho (*Zea mays* L.).

Estudos recentes destacam que a baixa mobilidade do P no solo ($\leq 1 \text{ mm ano}^{-1}$) limita seu acesso às raízes, tornando crucial o posicionamento de fertilizantes fosfatados próximos ao sistema radicular (Pereira et al., 2021; Praça, 2023). Nesse contexto, fontes convencionais como o fosfato monoamônico (MAP) são amplamente utilizadas devido à alta solubilidade ($\geq 80\%$ de P solúvel em água) e rápida disponibilização de ortofosfatos (H_2PO_4^-), essenciais para o crescimento inicial das plantas (Cibra fertilizantes, 2023). No entanto, em solos ácidos ($\text{pH} < 5,5$), a eficiência do MAP é reduzida pela formação de fosfatos de Fe^{3+} e Al^{3+} , exigindo correção prévia com calcário (Veloso et al., 2020).

2.2 Fertilizantes fosfatados convencionais e alternativos

O MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), com 48–61% de P_2O_5 solúvel, é a fonte mineral mais utilizada na agricultura tropical, promovendo rápido crescimento vegetativo devido à liberação imediata de P. Contudo, seu uso contínuo está associado a impactos ambientais, como eutrofização de corpos hídricos e esgotamento de reservas de rochas fosfáticas, recurso não renovável (Jesus, 2021). Como alternativa, fertilizantes organofosfatados ganham destaque por combinar matéria orgânica estabilizada com nutrientes, proporcionando liberação gradual, reduzindo perdas por fixação e lixiviação.

O fertilizante organofosfatado, derivado de subprodutos da suinocultura tratados em biodigestores, necessita de mais estudos sobre a composição deste fertilizante e sobre os

elementos que melhoram a estrutura do solo e a atividade microbiana. Pesquisas demonstram que fertilizantes orgânicos reativos aumentam em 20–30% a eficiência agrônômica do P em comparação a fontes minerais, especialmente em solos com alta capacidade tampão (Lima, 2022). Esse efeito é atribuído à formação de quelatos orgânicos que protegem o P da fixação, além de estimular a microbiota solubilizadora de fosfatos.

2.3 Sinergia entre fertilizantes orgânicos e microrganismos promotores de crescimento

A associação de fertilizantes organofosfatados com rizobactérias, como *Bacillus aryabhattai*, representa uma estratégia promissora para sistemas agrícolas sustentáveis. *B. aryabhattai* é reconhecida por sua capacidade de solubilizar fosfatos via produção de ácidos orgânicos (ex.: cítrico, oxálico) e enzimas (fitases e fosfatases), liberando até 45% do P fixado em solos tropicais (Fuga et al., 2023). Além disso, essa rizobactéria sintetiza exopolissacarídeos (EPS) que formam biofilmas protetores nas raízes, mitigando estresses hídricos e aumentando a retenção de água na rizosfera em até 25% (Verde Agritech, 2023).

Estudos em condições controladas demonstram que a inoculação com *B. aryabhattai* aumenta em 15–20% a biomassa radicular do milho, favorecendo a exploração de zonas de solo com baixa disponibilidade de P (Ndoung, 2019). Em ensaios sob déficit hídrico, plantas tratadas com a bactéria apresentaram incremento de 32% no conteúdo relativo de água foliar, comparado a testemunhas (Godinho et al., 2019). Esses mecanismos são mediados pela regulação de fitormônios, como auxinas e giberelinas, que estimulam a divisão celular e alongamento radicular (Melo, 2002).

2.4 Implicações para o manejo nutricional do milho

Na cultura do milho, a exigência por P é crítica entre os estádios V3 (terceira folha) e V6 (sexta folha), quando ocorre a diferenciação de primórdios florais e o estabelecimento do potencial produtivo (Vasconcellos, 2000). Tradicionalmente, o MAP é aplicado no sulco de plantio para garantir disponibilidade imediata, porém, mais estudos comparativos devem ser realizados para evidenciar que fertilizantes organofosfatados podem ser alternativa para auxiliar a produtividade em estádios reprodutivos, com redução nas perdas de P, por sua propriedade de disponibilização gradual deste nutriente.

A matéria orgânica presente nos fertilizantes orgânicos promove aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, beneficiando a retenção de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Botelho et al.,

2020). Além disso, a liberação gradual de P sincroniza-se com a demanda da planta, evitando picos de disponibilidade que favorecem a fixação (Giacomini et al., 2024). Resultados de campo em Latossolos do Cerrado mostram que adubação fosfatada orgânica elevou o teor de P disponível no solo (Sousa et al., 2017).

2.5 Lacunas e perspectivas de pesquisa

Apesar dos avanços, persistem desafios na compreensão das interações entre fertilizantes organofosfatados e microbiota do solo. Estudos metabólicos são necessários para elucidar como compostos orgânicos do fertilizante organofosfatado modulam a expressão gênica de *B. aryabhattai* e outras rizobactérias (Fuga et al., 2023). Além disso, ensaios de longo prazo são essenciais para avaliar o acúmulo de metais pesados em solos tratados com fertilizantes derivados de resíduos animais (Barros et al., 2019).

Em síntese, a integração de fertilizantes orgânicos e microrganismos promotores de crescimento emerge como pilar para agricultura sustentável, combinando eficiência agronômica e redução de impactos ambientais.

3 METODOLOGIA

3.1 Localização e características do local experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizado no município de Uberlândia-MG (18°55' S, 48°17' O, altitude de 863 m). O clima da região é classificado como Aw (tropical úmido), segundo KöppenGeiger, com precipitação média anual de 1.500 mm e temperatura média de 22°C (Alvares et al., 2013).

Utilizou-se um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (667 g kg⁻¹ de argila), conforme análise prévia (Tabela 1). O solo foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, homogeneizado e peneirado (malha de 2 mm) para remoção de impurezas e torrões. A caracterização química e física do solo revelou baixo teor de matéria orgânica (1,1 dag kg⁻¹) e acidez moderada (pH em H₂O = 5,8), com saturação por bases (V%) de 58%, indicando a necessidade de calagem e adubação fosfatada para o adequado desenvolvimento do milho (Araújo et al., 2004).

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo depois da correção da acidez. Uberlândia-MG, 2025.

Características químicas			
pH H₂O 5,8	pH CaCl₂ 5,3	P meq⁻¹ mg dm⁻¹t 1,9	K mg dm⁻¹t 29
K cmolc dm⁻¹t 0,07	Ca cmolc dm⁻¹t 2,85	Mg cmolc dm⁻¹t 0,94	Al cmolc dm⁻¹t 0
T cmolc dm⁻¹t 6,69	V % 58	m % 0	
Al cmolc dm⁻¹t 0	H+Al cmolc dm⁻¹t 2,83	MO dag kg⁻¹ 1,1	SB cmolc dm⁻¹t 3,86
Características físicas			
g kg ⁻¹			
Areia grossa 114	Areia fina 92	Silte 127	Argila 667

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

3.2 Preparo do solo e calagem

A correção da acidez do solo foi realizada 60 dias antes do plantio, utilizando óxido de cálcio (CaO) na dose de $1,12 \text{ ton ha}^{-1}$, calculada com base na elevação da saturação por bases para 70% (Ribeiro et al., 1999). O corretivo foi incorporado ao solo e mantido em incubação para reação completa, conforme recomendação, que destacam a importância do período de incubação para a neutralização do Al^{3+} e disponibilização de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Os vasos com capacidade de 20 L foram preenchidos com 18 kg de solo corrigido, garantindo uniformidade na densidade do solo ($1,0 \text{ g cm}^{-3}$). A umidade foi mantida em 80% da capacidade de campo por meio de irrigações diárias. (Imagem 1).

Imagem 1 – Fases do ensaio em casa de vegetação



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2024).

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com 10 tratamentos e 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em: fertilizantes fosfatados MAP (fosfato monoamônico), fertilizante organofosfatado (FOF) e fertilizante organofosfatado em associação com a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* (Auras® 4%) em três dosagens, equivalentes a 75%, 100% e 125% da dose recomendada de P_2O_5 para a cultura do milho, além de uma testemunha sem adubação fosfatada (Tabela 2).

Tabela 2 – Tratamentos e doses utilizadas no ensaio. Uberlândia-MG, 2025.

Tratamento	Descrição
T1	Controle (Sem adubação fosfatada)
T2	Mineral convencional (MAP) 75%
T3	Mineral convencional (MAP) 100%
T4	Mineral convencional (MAP) 125%
T5	Fertilizante organofosfatado (FOF) 75%
T6	Fertilizante organofosfatado (FOF) 100%
T7	Fertilizante organofosfatado (FOF) 125%
T8	FOF + Auras 4% (<i>Bacillus aryabhattai</i>) 75%
T9	FOF + Auras 4% (<i>Bacillus aryabhattai</i>) 100%
T10	FOF + Auras 4% (<i>Bacillus aryabhattai</i>) 125%

*Valores de % são baseados em relação a dose de 100% recomendada para a cultura do milho.

**Equale: 13,43% de P_2O_5 (CNA+H₂O); 1,49% de K₂O; 3,81% de N; 16,6% de Ca; 1,06% Mg; 10,8% de COT; Relação C/N 3:1.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A dose de 100% de P_2O_5 foi baseada na 5ª Aproximação para Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999), enquanto a associação com *B. aryabhattai* buscou avaliar sinergias na solubilização de P e promoção de crescimento, conforme demonstrado por Fuga et al. (2023).

3.4 Adubação e manejo da cultura

3.4.1 Adubação de base

No plantio, aplicou-se P_2O_5 conforme os tratamentos (Tabela 3) e 50 kg ha⁻¹ de K₂O via KCl, distribuídos em sulcos a 5 cm de profundidade. O híbrido de milho AG1051 foi semeado com seis sementes por vaso, reduzidas para duas plantas após 10 dias (estádio V2), conforme metodologia de Magalhães et al. (2002).

Tabela 3 – Doses de P_2O_5 , K_2O e N das respectivas fontes utilizadas em cada tratamento. Uberlândia-MG, 2025.

Tratamento	Fonte de P_2O_5		Fonte de K_2O		Fonte de N	
	Kg ha ⁻¹	g vaso ⁻¹	Kg ha ⁻¹	g vaso ⁻¹	Kg ha ⁻¹	g vaso ⁻¹
1	0	0	250	2,25	335	3
2	231	2,08	250	2,25	335	3
3	308	2,77	250	2,25	335	3
4	385	3,46	250	2,25	335	3
5	893	8,04	250	2,25	335	3
6	1191	10,72	250	2,25	335	3
7	1489	13,40	250	2,25	335	3
8	893	8,04	250	2,25	335	3
9	1191	10,72	250	2,25	335	3
10	1489	13,40	250	2,25	335	3

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

3.4.2 Adubação de cobertura

Aos 30 dias após a semeadura (DAS), aplicou-se 335 kg ha⁻¹ de N (ureia) e 250 kg ha⁻¹ de K_2O (KCl), parcelados para evitar perdas por volatilização e lixiviação (Araújo et al., 2022).

3.4.3 Manejo fitossanitário e irrigação

O controle de insetos-praga foi realizado com inseticidas tiametoxam e lambdacialotrina, seguindo recomendações do Frac Brasil (2023). A irrigação foi automatizada (três vezes ao dia: 8h, 13h e 17h), mantendo 80% da capacidade de campo, monitorada diariamente.

3.5 Variáveis avaliadas e análise estatística

Foram realizadas três avaliações ao longo do desenvolvimento das plantas: aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura (DAS), correspondentes às datas de 04/03/24, 17/03/24 e 29/03/24, respectivamente. Em todas as avaliações, foram mensurados a altura da planta, determinada da superfície do solo até a inserção da última folha com auxílio de uma régua milimetrada, e o diâmetro do caule, medido a 2 cm do solo utilizando um paquímetro digital.

Na última avaliação (57 DAS), além desses parâmetros, foram determinados a massa fresca e seca da raiz e da parte aérea, obtidas por pesagem em balança de precisão. Para a massa seca, o material vegetal foi secado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Também foi medida a área foliar com o equipamento LI-COR 3100 e, após o corte das plantas, amostras de folhas e solo foram encaminhadas ao laboratório para análise de teores de nutrientes.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de médias ScottKnott ($p \leq 0,05$) no software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011). A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homocedasticidade pelo teste de Levene.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desenvolvimento de parte aérea

4.1.1 Diâmetro de caule

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciaram diferenças significativas no diâmetro do caule de plantas de milho em função das fontes e doses de P_2O_5 aplicadas. O fertilizante MAP (fosfato monoamônico) destacou-se desde a primeira avaliação (30 DAS), com as doses de 100% e 125% promovendo os maiores diâmetros (17,67 mm e 19,85 mm, respectivamente). Esse padrão se manteve nas avaliações subsequentes (45 e 57 DAS), indicando que o MAP, devido à sua alta solubilidade e rápida disponibilidade de fósforo (P), favoreceu o desenvolvimento inicial do colmo. Em contraste, os tratamentos com fertilizante organofosfatado independentemente da dose ou da associação com *Bacillus aryabhattai*, apresentaram diâmetros médios inferiores, porém significativamente semelhantes entre si, sugerindo uma liberação mais gradual de P pelo fertilizante.

Tabela 4 – Diâmetro médio do caule de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

Tratamentos	Diâmetro (mm)		
	30 DAS	45 DAS	57 DAS
T1 Controle	05,07 c	14,33 c	15,79 c
T2 MAP 75%	13,42 b	22,49 a	23,96 a
T3 MAP 100%	17,67 a	22,89 a	23,51 a
T4 MAP 125%	19,85 a	23,43 a	23,85 a
T5 FOF 75%	10,45 b	19,56 b	20,52 b
T6 FOF 100%	09,79 b	19,12 b	20,29 b
T7 FOF 125%	12,84 b	21,14 b	21,19 b
T8 FOF + AURAS 75%	09,11 b	19,35 b	19,91 b
T9 FOF + AURAS 100%	11,39 b	20,20 b	20,28 b
T10 FOF + AURAS 125%	12,44 b	19,31 b	19,60 b
CV (%)	21,29	7,59	8,91

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

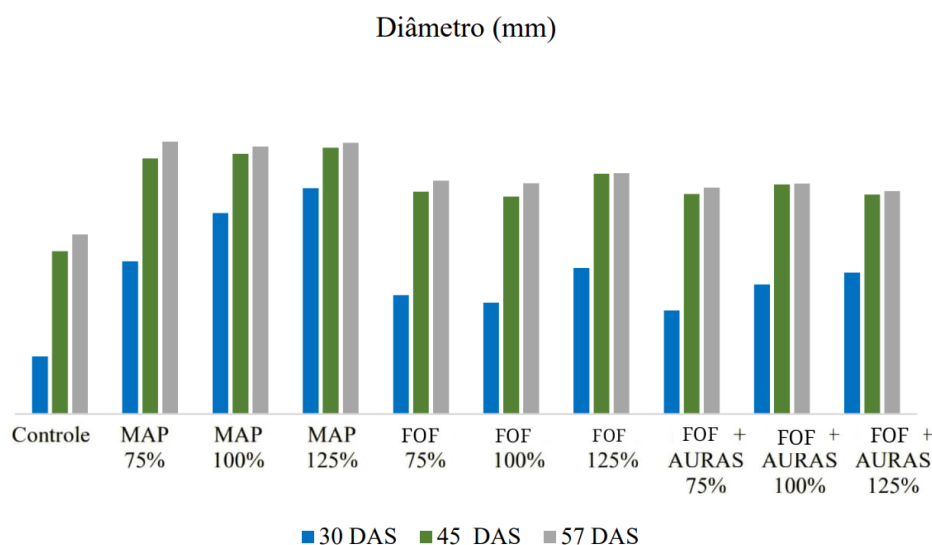
Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A superioridade do MAP pode ser atribuída à sua composição química, que garante um suprimento imediato de P, essencial para o crescimento celular e alongamento do caule nas

fases iniciais. Marschner (2012) destaca que a disponibilidade precoce de fósforo está diretamente correlacionada com o espessamento do colmo, fator crítico para suportar o desenvolvimento vegetativo posterior e a produção de grãos. Além disso, o diâmetro do caule é um indicativo da capacidade da planta em acumular reservas de carboidratos, as quais são mobilizadas durante o enchimento de grãos (Bressan, 2015).

Embora o fertilizante organofosfatado não tenha igualado o desempenho do MAP, seus resultados foram consistentes em todas as doses, indicando potencial para uso em sistemas que priorizam fertilizantes de liberação sustentável (Gráfico 1). Essa característica pode ser vantajosa em solos com alta capacidade de fixação de P, onde fertilizantes convencionais sofrem perdas por adsorção (Fontana et al., 2021). Contudo, a ausência de diferenças significativas entre as doses de FOF sugere que ajustes na formulação ou no manejo podem ser necessários para otimizar sua eficiência agrônômica.

Gráfico 1 – Diâmetro médio do caule de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A associação com *Bacillus aryabhattai* não influenciou significativamente o diâmetro do caule, divergindo de estudos que reportam o potencial da rizobactéria em promover o crescimento vegetativo sob estresse hídrico (Song et al., 2024). A ausência de efeito pode estar relacionada às condições controladas de umidade do ensaio, que não simularam situações de déficit hídrico, nas quais a bactéria é conhecida por atuar.

O MAP mostrou-se superior no desenvolvimento inicial do diâmetro do caule, enquanto o fertilizante organofosfatado apresentou desempenho equilibrado, porém inferior. Estudos

futuros devem avaliar o comportamento do fertilizante organofosfatado em condições de campo e em diferentes estádios fenológicos para validar seu potencial como alternativa ao MAP.

4.1.2 Altura de planta

A altura das plantas de milho foi significativamente influenciada pelas diferentes fontes e doses de fósforo aplicadas, conforme observado nas avaliações realizadas aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura (DAS). Na primeira avaliação (30 DAS), o tratamento com MAP na dose de 125% (T4) apresentou a maior altura média (68,75 cm), seguido pelos tratamentos com MAP 100% (T3) e MAP 75% (T2), que não diferiram significativamente entre si (Tabela 5). Os tratamentos com FOF (fertilizante organofosfatado), tanto isolado quanto associado à rizobactéria *Bacillus aryabhattai*, apresentaram alturas inferiores ao MAP, com exceção do FOF 125% (T7) e FOF + Auras 125% (T10), que se equipararam ao MAP 75% e 100%. O controle (T1), sem adubação fosfatada, registrou a menor altura (23,00 cm), evidenciando a importância do fósforo no desenvolvimento inicial da cultura (Ribeiro et al., 2023; Marschner, 2012).

Tabela 5 – Altura média de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

Tratamentos	Altura (cm)		
	30 DAS	45 DAS	57 DAS
T1 Controle	23,00 d	62,37 a	83,50 b
T2 MAP 75%	56,12 b	84,87 a	124,50 a
T3 MAP 100%	58,25 b	111,50 a	132,37 a
T4 MAP 125%	68,75 a	107,25 a	141,75 a
T5 FOF 75%	40,75 c	91,50 a	126,00 a
T6 FOF 100%	43,37 c	86,00 a	112,50 a
T7 FOF 125%	48,25 b	92,00 a	126,12 a
T8 FOF + AURAS 75%	37,12 c	90,25 a	123,62 a
T9 FOF + AURAS 100%	45,37 c	96,62 a	130,75 a
T10 FOF + AURAS 125%	52,00 b	94,25 a	122,87 a
CV (%)	18,32	17,08	9,35

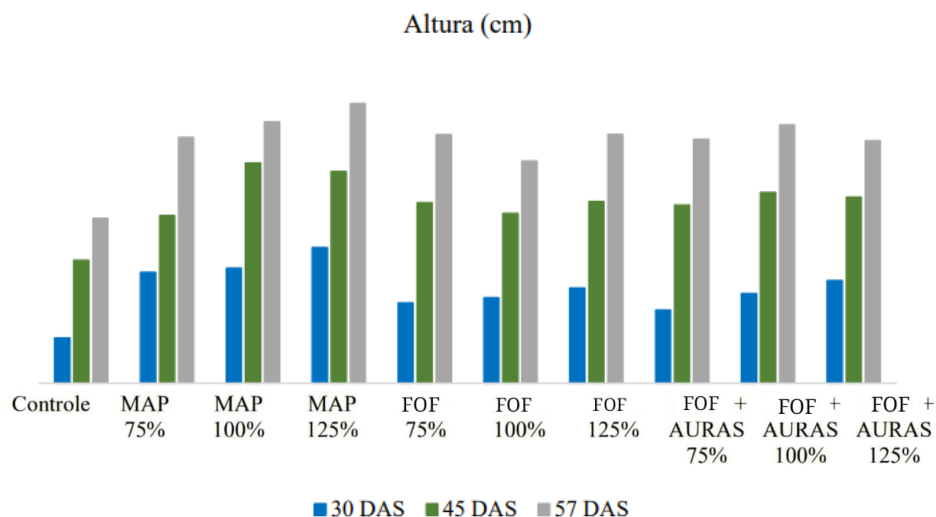
*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Aos 45 DAS, todos os tratamentos adubados apresentaram alturas semelhantes, variando entre 62,37 cm (controle) e 111,50 cm (MAP 100%), sem diferenças significativas

(Gráfico 2). Esse resultado sugere que, embora o MAP tenha proporcionado um crescimento inicial mais acelerado, o fertilizante organofosfatado demonstrou capacidade de suprir as demandas de fósforo em estádios mais avançados, equilibrando o desenvolvimento da cultura.

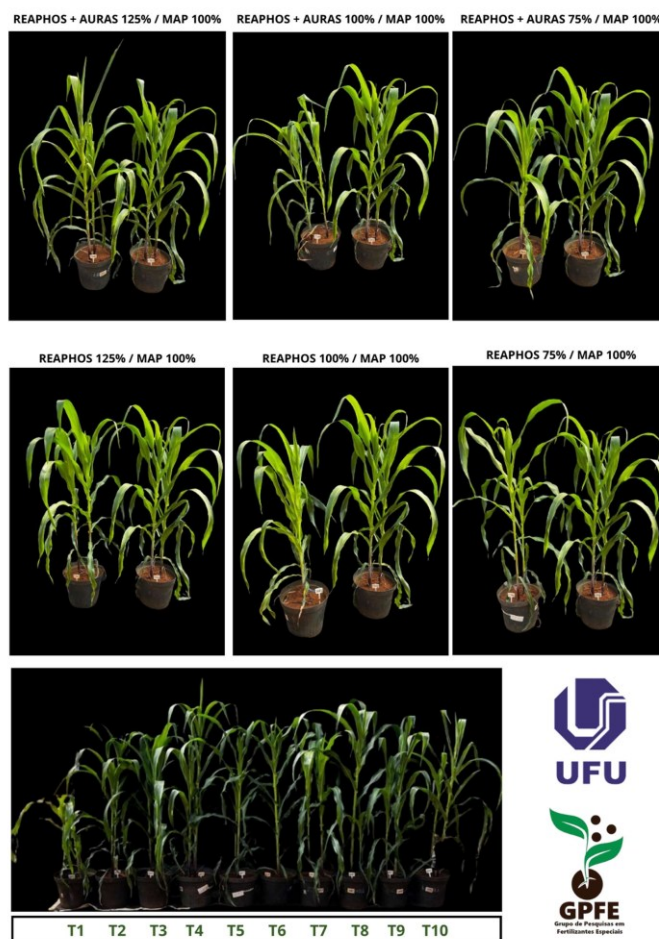
Gráfico 2 – Altura média de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Na última avaliação subsequente (57 DAS), observou-se uma convergência no desempenho entre os tratamentos, com exceção do controle, que se manteve significativamente inferior (Imagem 2).

Imagem 2 – Altura de plantas aos 57 DAS.



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2024).

A ausência de diferenças significativas entre as fontes de fósforo nas avaliações finais pode estar relacionada à dinâmica de disponibilidade do nutriente no solo. Enquanto o MAP, por sua alta solubilidade, garante um rápido suprimento inicial de fósforo, o fertilizante organofosfatado, por sua natureza orgânica reativa, pode liberar o nutriente de forma mais gradual, atendendo às demandas da planta em fases posteriores. Essa hipótese é corroborada por estudos que destacam a importância da sincronia entre a liberação de fósforo e a demanda da cultura, especialmente em solos com alta capacidade de fixação do nutriente (Machado; Souza, 2012).

Além disso, a associação do fertilizante organofosfatado com *Bacillus aryabhattai* não resultou em incrementos significativos na altura das plantas, possivelmente devido às condições adequadas de umidade do solo durante o ensaio, que podem ter limitado a expressão do potencial promotor de crescimento da rizobactéria. Pesquisas recentes demonstram que *B.*

aryabhatai pode melhorar a eficiência de uso de nutrientes e a tolerância ao estresse hídrico em milho, especialmente em condições de déficit hídrico (Song et al., 2024).

Em síntese, os resultados indicam que o MAP é mais eficiente no estímulo ao crescimento inicial do milho, enquanto o fertilizante organofosfatado apresenta desempenho comparável em estádios mais avançados. A ausência de efeitos significativos da rizobactéria sugere a necessidade de novos estudos sob condições ambientais distintas, como estresse hídrico ou solos com baixa fertilidade natural, para melhor avaliar seu potencial sinérgico com o fertilizante organofosfatado.

4.1.3 Área foliar

A área foliar é um parâmetro fundamental para avaliar o potencial fotossintético e, consequentemente, o desenvolvimento vegetativo das plantas de milho. Os resultados apresentados na Tabela 6 demonstram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos que receberam adubação fosfatada (MAP ou FOF, com ou sem *Bacillus aryabhatai*), exceto pelo tratamento controle, que apresentou valores inferiores. Isso indica que ambas as fontes de fósforo foram eficientes em promover o crescimento foliar, onde o FOF equiparou-se ao MAP, reconhecido por sua alta solubilidade e rápida disponibilidade de nutrientes (Oliveira et al., 2012).

Tabela 6 – Área foliar média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

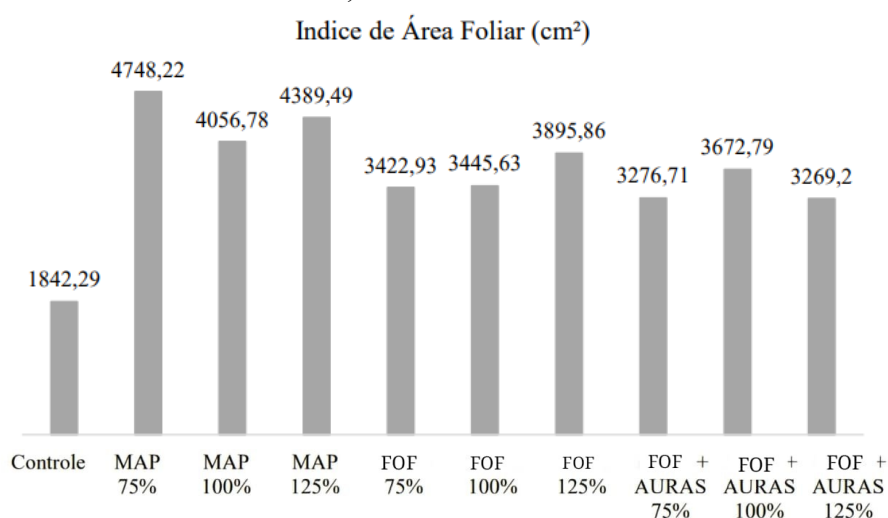
Tratamentos	Área foliar (cm ²)
	57 DAS
T1 Controle	1842,29 b
T2 MAP 75%	4748,22 a
T3 MAP 100%	4056,78 a
T4 MAP 125%	4389,49 a
T5 FOF 75%	3422,93 a
T6 FOF 100%	3445,63 a
T7 FOF 125%	3895,86 a
T8 FOF + AURAS 75%	3276,71 a
T9 FOF + AURAS 100%	3672,79 a
T10 FOF + AURAS 125%	3269,20 a
CV (%)	22,32

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A ausência de diferenças significativas entre os tratamentos sugere que o fertilizante organofosfatado, conseguiu suprir relativamente as demandas iniciais de fósforo da cultura, resultando em um desenvolvimento foliar semelhante ao proporcionado pelo MAP (Gráfico 3). Esse equilíbrio pode estar relacionado à liberação gradual de nutrientes pelo Equale, que, embora menos imediata que a do MAP, manteve a disponibilidade de fósforo ao longo do ciclo avaliado.

Gráfico 3 – Área foliar média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Vale destacar que a área foliar está diretamente associada à capacidade fotossintética e, portanto, ao acúmulo de biomassa e produtividade da cultura (Rezende, 2018). No entanto, embora os resultados tenham sido promissores em casa de vegetação, ensaios em campo são necessários para avaliar se essa equivalência se mantém em condições reais de cultivo, onde fatores como interações com o solo e variações climáticas podem influenciar a dinâmica de disponibilidade de nutrientes.

4.1.4 Massa fresca e massa seca de parte aérea

Os resultados obtidos para a massa fresca e seca da parte aérea das plantas de milho refletiram tendências semelhantes às observadas no diâmetro do caule, com valores significativamente superiores nos tratamentos que receberam o fertilizante MAP (Tabela 7). Esse comportamento pode ser atribuído à alta solubilidade do MAP em água e à sua rápida

disponibilização de fósforo (P) no solo, garantindo um suprimento inicial mais eficiente para as plantas (Campevo, 2023). No entanto, é importante destacar que, embora o MAP tenha promovido maior acúmulo de biomassa nas primeiras avaliações (30 DAS), os tratamentos com fertilizante organofosfatado apresentaram um desempenho mais equilibrado nas avaliações subsequentes (45 e 57 DAS), sugerindo uma liberação mais gradual de nutrientes por parte desse fertilizante.

Tabela 7 – Massa fresca e massa seca média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

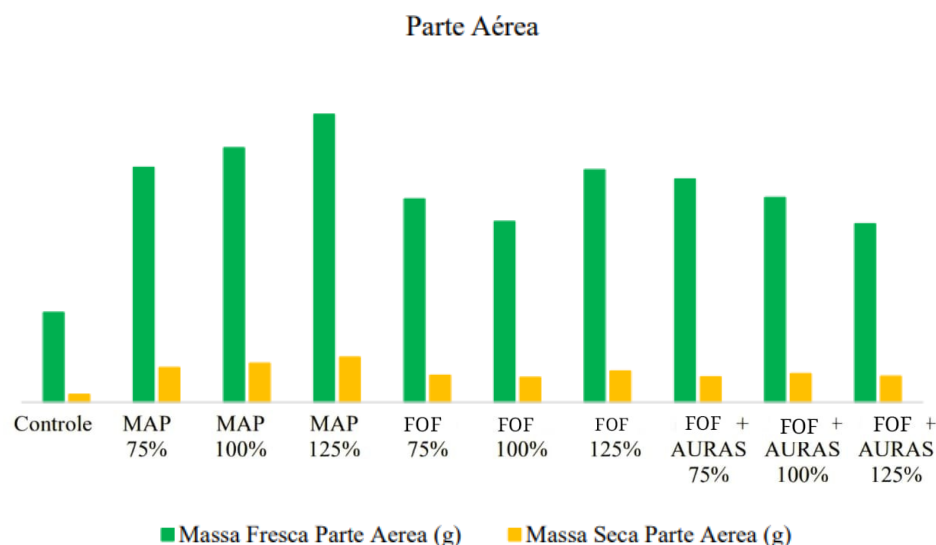
Tratamentos	Parte aérea (57 DAS)	
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
T1 Controle	190,06 d	16,56 c
T2 MAP 75%	496,44 b	73,23 a
T3 MAP 100%	537,88 b	82,45 a
T4 MAP 125%	608,63 a	95,20 a
T5 FOF 75%	429,72 c	56,78 b
T6 FOF 100%	382,07 c	52,42 b
T7 FOF 125%	491,42 b	65,91 b
T8 FOF + AURAS 75%	471,72 b	53,43 b
T9 FOF + AURAS 100%	432,73 c	60,48 b
T10 FOF + AURAS 125%	377,35 c	54,81 b
CV (%)	13,22	19,03

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A massa fresca da parte aérea foi significativamente maior no tratamento com MAP 125% (608,63g), seguido pelos tratamentos MAP 100% (537,88g) e MAP 75% (496,44g). Em contraste, os tratamentos com fertilizante organofosfatado, independentemente da dose ou da associação com *Bacillus aryabhattai*, apresentaram valores inferiores, variando entre 377,35g (FOF + Auras 125%) e 491,42g (FOF 125%) (Gráfico 4). Esses resultados corroboram estudos que demonstram a eficiência do MAP no fornecimento imediato de P, essencial para o crescimento inicial rápido em culturas de ciclo curto como o milho (Martins, 2018).

Gráfico 4 – Massa fresca e massa seca média de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Quanto à massa seca, o MAP também se destacou, com os maiores valores registrados nas doses de 125% (95,20g), 100% (82,45g) e 75% (73,23g). Os tratamentos com o fertilizante organofosfatado apresentaram massa seca significativamente menor, variando entre 52,42g (FOF 100%) e 65,91g (FOF 125%). A ausência de diferenças significativas entre as doses de fertilizante organofosfatado sugere que o produto pode ter uma dinâmica de liberação de P distinta, possivelmente relacionada à sua composição orgânica e reativa. Estudos recentes, devem verificar que fertilizantes orgânicos reativos, como o FOF, podem apresentar uma disponibilização mais lenta de nutrientes, o que pode ser vantajoso em condições de cultivo prolongado, mas menos eficiente em fases iniciais de crescimento.

A associação do fertilizante organofosfatado com *Bacillus aryabhattai* não resultou em incrementos significativos na massa fresca ou seca da parte aérea, o que pode estar relacionado às condições ótimas de umidade do solo durante o ensaio. Trabalhos como os de Vieira Júnior et al. (2013) e Amaral et al. (2017) destacam que os efeitos promotores de crescimento por rizobactérias são mais evidentes sob condições de estresse, como déficit hídrico, onde a produção de exopolissacarídeos e outros metabólitos pode melhorar a absorção de nutrientes e a tolerância ao estresse.

4.2 Desenvolvimento de sistema radicular

4.2.1 Massa fresca e massa seca de raiz

Os resultados obtidos para o desenvolvimento do sistema radicular demonstraram que os fertilizantes FOF e MAP promoveram desempenhos semelhantes em termos de massa fresca e seca de raízes (Tabela 8). Esse equilíbrio entre as fontes de fósforo sugere que o fertilizante organofosfatado apesar de ser um fosfato orgânico reativo, possui eficiência comparável ao MAP, fertilizante mineral amplamente utilizado na agricultura devido à sua alta solubilidade e rápida disponibilidade de fósforo.

Tabela 8 – Massa fresca e massa seca média de raízes de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

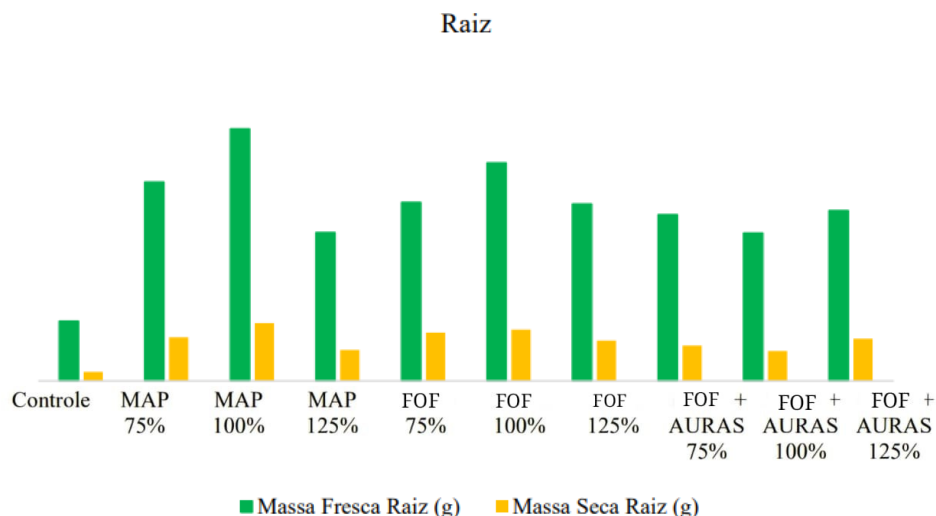
Tratamentos		Parte aérea (57 DAS)	
		Massa fresca (g)	Massa seca (g)
T1	Controle	114,19 c	17,06 c
T2	MAP 75%	379,41 a	83,30 a
T3	MAP 100%	480,79 a	110,3 a
T4	MAP 125%	283,20 b	59,20 b
T5	FOF 75%	340,38 b	92,33 a
T6	FOF 100%	415,96 a	97,69 a
T7	FOF 125%	337,62 b	76,84 a
T8	FOF + AURAS 75%	317,20 b	67,61 b
T9	FOF + AURAS 100%	281,73 b	57,04 b
T10	FOF + AURAS 125%	324,64 b	80,38 a
CV (%)		23,23	24,33

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A ausência de diferenças significativas na massa radicular entre os tratamentos com fertilizante organofosfatado e MAP pode estar relacionada à capacidade do FOF em liberar fósforo de forma gradual, atendendo às demandas da planta ao longo do ciclo inicial de desenvolvimento radicular (Gráfico 5). Estudos recentes destacam que fertilizantes orgânicos podem melhorar a eficiência de uso do fósforo, reduzindo perdas por fixação no solo e promovendo um crescimento radicular mais equilibrado (Rocha, 2018).

Gráfico 5 – Massa fresca e massa seca média de raízes de plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.



Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

A associação do fertilizante com a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* não resultou em incrementos significativos no desenvolvimento radicular. No entanto, pesquisas evidenciam que *B. aryabhattai* pode potencializar o crescimento radicular e a tolerância ao estresse hídrico em milho, especialmente em condições de déficit hídrico (May, 2019). Esses microrganismos produzem exopolissacarídeos que auxiliam na hidratação das raízes e na solubilização de nutrientes, mecanismos que podem não ter sido plenamente ativados em condições de umidade controlada (Vieira Júnior et al., 2013; Souza et al., 2025).

Vale ressaltar que, embora a massa seca de raízes tenha sido semelhante entre os tratamentos, o MAP apresentou tendência de maior acúmulo de massa fresca, o que pode estar associado à sua rápida disponibilização de fósforo nas fases iniciais do desenvolvimento vegetativo. Por outro lado, o FOF demonstrou maior equilíbrio na produção de massa seca, indicando uma possível eficiência na alocação de recursos para o crescimento sustentado das raízes.

4.3 Diagnóstico químico foliar

4.3.1 Macronutrientes

Os resultados obtidos para a análise dos teores de macronutrientes foliares nas plantas de milho aos 57 dias após a semeadura (DAS) indicaram diferenças significativas entre os

tratamentos, especialmente em relação ao nitrogênio (N). O tratamento controle, sem adubação fosfatada, apresentou os maiores teores de N ($37,07 \text{ g kg}^{-1}$) e potássio (K) ($39,25 \text{ g kg}^{-1}$), fenômeno atribuído ao efeito de concentração decorrente da baixa produção de biomassa (Tabela 9). Esse comportamento está alinhado com estudos que ressaltam que a limitação do crescimento vegetal em condições de deficiência nutricional pode levar a uma maior concentração relativa de nutrientes nos tecidos foliares (Ribeiro et al., 1999).

Tabela 9 – Teores de macronutrientes foliares em plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

Teores foliares de macronutrientes						
----- g kg ⁻¹ -----						
Tratamentos	N	P ^{ns}	K	Ca ^{ns}	Mg ^{ns}	S ^{ns}
Controle	37,07 a	1,45	39,25 a	3,84	2,65	2,17
MAP 75%	36,40 a	1,37	28,25 b	3,57	1,80	1,6
MAP 100%	32,45 a	1,50	28,50 b	3,32	2,00	1,52
MAP 125%	36,45 a	1,60	28,75 b	3,87	1,81	1,52
FOF 75%	36,72 a	1,40	30,25 b	3,87	2,21	1,67
FOF 100%	32,20 a	1,50	29,00 b	3,94	2,46	1,82
FOF 125%	30,97 a	1,57	27,25 b	4,37	2,50	1,85
FOF + AURAS 75%	26,62 b	1,57	31,00 b	3,91	2,36	1,9
FOF + AURAS 100%	23,17 b	1,50	32,50 b	4,11	2,25	1,85
FOF + AURAS 125%	24,75 b	1,35	30,00 b	4,74	3,03	1,87
CV (%)	15,84	21,64	11,43	17,01	22,13	15,13

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

^{ns}Não houve diferença significativa pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Em contraste, os tratamentos com fertilizantes fosfatados (MAP e FOF) apresentaram teores de N dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho ($2,75\text{--}3,25 \text{ dag kg}^{-1}$), conforme estabelecido por Coelho (2007). No entanto, observou-se que a associação do fertilizante organofosfatado com a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* resultou em teores de N significativamente inferiores, variando entre 26,62 e $34,75 \text{ g kg}^{-1}$. Esse efeito pode estar relacionado à competição por recursos entre a bactéria e a planta, que demonstrou que

interações microbianas podem alterar a dinâmica de absorção de nutrientes, especialmente em estágios iniciais de desenvolvimento.

Quanto aos demais macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S), não houve diferenças significativas entre os tratamentos com MAP e FOF, indicando que ambas as fontes de fósforo foram igualmente eficientes na disponibilização desses elementos. Esse equilíbrio é particularmente relevante para o fósforo (P), cujos teores foliares foram consistentes em todos os tratamentos adubados ($1,35\text{--}1,60\text{ g kg}^{-1}$), reforçando a eficácia do fertilizante organofosfatado como alternativa ao MAP. Resultados semelhantes foram reportados por Batista et al. (2018), que compararam fertilizantes orgânicos e minerais em cultivos de milho e não encontraram diferenças significativas nos teores foliares de P em condições de solo corrigido.

4.3.2 Micronutrientes

No que tange aos micronutrientes, destacou-se o cobre (Cu), cujos teores foram significativamente maiores no tratamento controle ($10,65\text{ mg kg}^{-1}$) e nos tratamentos com fertilizante organofosfatado ($9,15\text{--}10,57\text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 10). Esse acúmulo pode estar relacionado à origem da matéria-prima do fertilizante orgânico, embora análises do produto não tenham detectado cobre em sua composição, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo para evitar contaminação por metais pesados em fertilizantes derivados de resíduos animais.

Tabela 10 – Teores de micronutrientes foliares em plantas de milho aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

Teores foliares de micronutrientes						
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Tratamentos	B ^{ns}	Cu	Fe ^{ns}	Mn ^{ns}	Mo ^{ns}	Zn ^{ns}
Controle	9,37	10,65 a	170,25	143,00	0,4	29,55
MAP 75%	9,28	7,25 b	164,25	153,00	0,52	21,35
MAP 100%	8,45	6,75 b	137,00	144,00	0,5	20,12
MAP 125%	10,23	8,05 b	177,00	164,00	0,4	18,32
FOF 75%	9,37	9,85 a	142,25	150,00	0,3	23,47
FOF 100%	9,70	9,15 a	169,00	161,00	0,52	23,97
FOF 125%	11,37	9,22 a	145,75	166,25	0,7	23,95
FOF + AURAS 75%	9,28	10,57 a	171,25	166,75	0,45	21,25
FOF + AURAS 100%	10,70	9,15 a	157,00	160,00	0,37	26,15
FOF + AURAS 125%	11,39	7,95 b	180,00	194,50	0,55	28,17
CV (%)	17,88	17,99	13,20	20,34	59,47	21,56

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

^{ns}Não houve diferença significativa pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Em síntese, os resultados indicam que o fertilizante organofosfatado apresenta desempenho comparável ao MAP na nutrição foliar do milho, exceto pelo efeito negativo da rizobactéria *Bacillus aryabhattai* nos teores de nitrogênio. A ausência de diferenças significativas nos teores de P, K, Ca, Mg e S sugerem que o fertilizante orgânico reativo pode ser uma alternativa viável em sistemas agrícolas sustentáveis. Entretanto, estudos adicionais são necessários para esclarecer os mecanismos de interação entre a rizobactéria e a planta, bem como para avaliar o impacto desses fertilizantes em condições de campo e em diferentes estádios fenológicos da cultura.

4.4 Análise química do solo após o corte das plantas

A análise química do solo ao término do ensaio (57 DAS) revelou diferenças significativas nos teores de fósforo (P) e potássio (K) entre os tratamentos. O tratamento

controle (sem adubação fosfatada) apresentou os menores teores de P ($6,75 \text{ mg dm}^{-3}$), refletindo a baixa extração do nutriente devido ao desenvolvimento limitado das plantas. Em contrapartida, os tratamentos com MAP (100% e 125%) e FOF (125%) destacaram-se pelos maiores teores residuais de P no solo ($49,65$, $41,61$ e $52,49 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente), indicando maior disponibilidade do nutriente ou menor eficiência de absorção pelas plantas nesses tratamentos. (Tabela 11).

Tabela 11 – Teores de elementos, pH água, saturação de base e saturação de alumínio (V%) no solo aos 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2025.

Teores foliares de macronutrientes									
Tratamentos	---- mg dm^{-3} ----		----- cmolc dm^{-3} -----						
	Fósforo Mehlich- ¹	Potássio Mehlich- ¹	K	Ca	Mg ^{ns}	Al ^{ns}	pHH2 O	V% ^{ns}	Al m% ^{ns}
Controle	6,75 c	135,25 a	0,34 a	1,32	0,3	0,08	5,33 b	42,50	4,86
MAP 75%	25,88 b	63,25 b	0,15 b	1,01	0,22	0,15	5,24 b	32,00	10,71
MAP 100%	49,65 a	67,75 b	0,16 b	1,32	0,35	0,00	5,46 a	44,25	0,01
MAP 125%	41,61 a	76,25 b	0,18 b	1,32	0,29	0,01	5,43 a	42,50	1,10
FOF 75%	33,46 a	60,50 b	0,15 b	1,67	0,50	0,03	5,40 b	44,25	3,07
FOF 100%	34,47 a	57,00 b	0,14 b	1,39	0,31	0,02	5,46 a	42,75	1,78
FOF 125%	52,49 a	64,75 b	0,16 b	1,70	0,43	0,00	5,58 a	51,00	0,01
FOF + AURAS 75%	45,08 a	74,50 b	0,18 b	1,35	0,27	0,09	5,34 b	40,50	6,83
FOF + AURAS 100%	43,30a	59,25 b	0,14 b	1,55	0,32	0,01	5,51 a	46,00	1,19
FOF + AURAS 125%	32,00 a	69,25 b	0,17 b	1,81	0,51	0,00	5,57 a	53,75	0,00
CV (%)	29,3	37,3	38,7	37,8	59,1	57,9	11,7	25,7	77,9

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

^{ns}Não houve diferença significativa pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivos pessoais do autor (2025).

Quanto ao potássio, o tratamento controle registrou o maior teor residual ($135,25 \text{ mg dm}^{-3}$), refletindo a baixa demanda das plantas devido ao seu reduzido desenvolvimento. Nos demais tratamentos, os teores de K foram significativamente inferiores ($57,00$ – $76,25 \text{ mg dm}^{-3}$), indicando maior extração do nutriente pelas plantas adubadas, independentemente da fonte de fósforo utilizada. Esses resultados corroboram estudos que demonstram a sinergia entre P e K

na nutrição do milho, onde a adequada disponibilidade de P potencializa a absorção de K, essencial para o crescimento inicial e a tolerância a estresses (Costa, 2023).

O pH em água manteve-se estável na maioria dos tratamentos (5,24–5,58), com valores significativamente superior nos tratamentos com MAP (100% e 125%) e Equale (125%). Esse efeito pode estar associado à redução da acidez do solo pela liberação de íons básicos durante a mineralização dos fertilizantes. A saturação por bases (V%) variou de 32% a 53,75%, com os maiores valores observados nos tratamentos com FOF + AURAS 125% e FOF 125%, sugerindo um possível efeito residual positivo da matéria orgânica, presente no fertilizante organofosfatado, na fertilidade do solo.

A ausência de diferenças significativas nos teores de Ca, Mg e Al entre os tratamentos indica que as fontes de fósforo não influenciaram a dinâmica desses cátions no curto prazo. Contudo, a tendência de maior teor de Ca no solo sob uso do fertilizante organofosfatado (1,70–1,81 cmolc dm⁻³) em comparação ao MAP (1,01–1,32 cmolc dm⁻³) pode estar relacionada à composição do mesmo, que contém 16,6% de Ca em sua formulação. Esse resultado é relevante, pois o cálcio desempenha papel crucial na estabilidade estrutural do solo e no desenvolvimento radicular (Fortical, 2025).

4.4.1 Implicações agronômicas

Os resultados indicam que, embora o MAP tenha promovido maior disponibilidade inicial de fósforo, o fertilizante organofosfatado apresentou desempenho comparável em termos de fertilidade residual do solo, especialmente em doses elevadas (125%). Essa característica sugere que o FOF pode ser uma alternativa viável em sistemas que priorizam a sustentabilidade, devido ao seu potencial para melhoria gradual da fertilidade do solo, associado à presença de matéria orgânica e nutrientes secundários, como cálcio e magnésio. Estudos recentes destacam que fertilizantes orgânicos reativos, podem reduzir perdas por fixação de fósforo no solo, promovendo maior eficiência no longo prazo (Botelho et al., 2020).

4.4.2 Limitações e perspectivas

A curta duração do ensaio (57 DAS) limita a avaliação do efeito residual prolongado dos fertilizantes. Estudos de campo em ciclo completo são necessários para validar esses resultados, especialmente em condições de estresse hídrico, onde a interação entre *Bacillus aryabhattai* e a matéria orgânica do pode potencializar a disponibilidade de fósforo. Além disso,

a avaliação da microbiota do solo poderia elucidar os mecanismos de solubilização de fósforo mediados pela rizobactéria, contribuindo para o manejo integrado da fertilidade (Fuga et al., 2023).

5 CONCLUSÃO

O estudo comparou a eficiência agronômica de fertilizante organofosfatado, com e sem *Bacillus aryabhattai*, e do MAP no desenvolvimento inicial do milho. O MAP promoveu crescimento mais rápido devido à sua alta solubilidade, enquanto o fertilizante organofosfatado apresentou desempenho equilibrado, liberando nutrientes gradualmente. A associação com *B. aryabhattai* não influenciou significativamente os resultados, possivelmente pela ausência de estresse hídrico.

O fertilizante organofosfatado manteve teores residuais de fósforo no solo semelhantes aos do MAP, além de melhorar a fertilidade com aporte de cálcio. Embora o MAP seja mais eficiente no curto prazo, o fertilizante organofosfatado mostra potencial como alternativa sustentável, especialmente em solos com alta fixação de fósforo. Estudos em campo são necessários para validar esses resultados em condições reais de cultivo.

Assim, o FOF pode ser uma opção viável para sistemas agrícolas que priorizam a sustentabilidade, reduzindo a dependência de fertilizantes minerais convencionais.

REFERÊNCIAS

AGROTEG. **Mecanismos desenvolvidos pelas plantas para aumentar a absorção de fósforo**. 2023. Disponível em: <https://agroteg.com.br/mecanismos-desenvolvidos-pelas-plantaspara-aumentar-a-absorcao-de-fosforo/>. Acesso em: 16 maio 2025.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 16 maio 2025.

AMARAL, Mayan Blanc et al. **Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal: uma revisão de literatura**. In: **ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 17.; ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 7.**, 2017, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2017. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_0285_0242_01.pdf. Acesso em: 17 maio 2025.

ARAÚJO, Luiz Alberto Navarro de; FERREIRA, Manoel Evaristo; CRUZ, Mara Cristina Pessoa da. **Adubação nitrogenada na cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 8, p. 771-777, ago. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004000800007>. Acesso em: 18 maio 2025.

BARROS, E.C.; NICOLOSO, R.; OLIVEIRA, P.A.V.; CORRÊA, J.C. **Potencial agronômico dos dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 52 p.

BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., and MUNIZ, A.S. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>. Acesso em: 17 maio 2025.

BOTELHO, S. M. et al. **Fertilizantes orgânicos**. In: _____. **Recomendação de solo e nutrientes para o estado do Pará**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 7, p. 95-105. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127241/1/LVRecomendacaoSolo-2020-95-105.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2025.

BRESSAN, D. F. **Água de reuso e seu efeito sobre parâmetros fisiológicos em manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**. 2015. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2015.

CAMPEVO. **Para que serve o fósforo nas plantas?** 2023. Disponível em: <https://www.campevo.com.br/blog/para-que-serve-o-fosforo-nas-plantas/>. Acesso em: 16 maio 2025.

CIBRA FERTILIZANTES. **Fosfato Monoamônico (MAP): o que é e quais são seus benefícios?** [S. l.]: Cibra, 2023. Disponível em: <https://www.cibra.com/noticias->

agricolas/artigostecnicos/fosfato-monoamonico-map-o-que-e-e-quais-sao-seus-beneficios/. Acesso em: 19 maio 2025.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular Técnica, 96). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486122/1/Circ96.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

COSTA, A. S. V. da. **O fósforo no sistema solo-planta**. Governador Valadares: UNIVALE Editora, 2023. Disponível em: <https://editora.univale.br/o-fosforo-no-sistema-solo-planta/>. Acesso em: 16 maio 2025.

FERREIRA, D.F. **SISVAR: A computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FONTANA, A. et al. **Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 13, n. 3, p. 606-614, set. 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139672/1/Capacidade-deadsorcao-de-fosforo-em-solos-2021.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

FORTICAL. **A dinâmica do cálcio no solo: maximizando a produtividade agrícola**. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://fortcal.com.br/a-dinamica-do-calcio-no-solo-maximizando-afprodutividade-agricola/>. Acesso em: 17 maio. 2025.

FRAC BRASIL. **Lista de Fungicidas Classificados por Modo de Ação – Atualização 2023**. Disponível em: <https://www.frac-br.org>. Acesso em: 17 maio 2025.

FUGA, C. A. G.; CAIXETA, G. A. N.; CAIXETA, C. F.; MELO, I. S. DE. **Promoção de crescimento no milho (*Zea mays* L.) por *Bacillus aryabhattai* cepa CMAA 1363**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, [S. l.], v. 18, n. 3, p. e3340, 2023. DOI: 10.5039/agraria.v18i3a3340. Disponível em: <https://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v18i3a3340>. Acesso em: 17 maio. 2025.

GIACOMINI, D.; GONZATTO, R.; LEBOSO, G. **Dinâmica do fósforo em solos brasileiros**. Pastofert, 11 dez. 2024. Disponível em: <https://pastofert.com/dinamica-do-fosforo-em-solosbrasil/>. Acesso em: 19 maio 2025.

GODINHO, B. T. V. et al. **Isolamento e potencial uso de bactérias do gênero *Bacillus* na promoção de crescimento de plantas em condições de déficit hídrico**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 24 p. Il. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, n. 192, ISSN 1679-0154). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1114738/1/bol192.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

GONÇALVES, D. et al. **Aprimorando a gestão de nutrientes do solo com microrganismos solubilizadores de fosfato**. In: SILVA, F. A. et al. (Org.). Técnicas inovadoras em manejo sustentável de solos. São Paulo: Editora Científica, 2023. p. 112-129. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/aprimorando-a-gestao-de-nutrientesdo-solo-com-microrganismos-solubilizadores-de-fosfato>. Acesso em: 16 maio 2025.

- JESUS, M. S. de. **Métodos de avaliação de impactos ambientais: uma revisão bibliográfica / Environmental impact assessment methods: a literature review**. 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/95738212/M%C3%A9todos_de_avalia%C3%A7%C3%A3o_de_impactos_ambientais_uma_revis%C3%A3o_bibliogr%C3%A1fica_Environmental_impact_assessment_methods_a_literature_review. Acesso em: 19 maio 2025.
- LANDAU, E. C.; MOURA, L. **Evolução da produção de milho (*Zea mays*, Poaceae). In: Dinâmica da produção agrícola e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**. [S.l.]: Embrapa, 2020. p. 1129. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1122692/1/Cap35-EvolucaoProducaoMilho.pdf>. Acesso em: 16 maio 2025.
- LEANDRO, M. E. C. **Rizobactéria *Bacillus aryabhattai* como indutor de resistência à seca**. In: ANAIS DO [evento], 2024, Ourinhos. Anais... Ourinhos: Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos (UNIFIO), 2024. p. [número da página, se disponível]. Disponível em: <http://www.cic.fio.edu.br/anaisCIC/anais2024/pdf/02.02.pdf>. Acesso em: 16 maio 2025.
- LIMA, Wesley. **Tecnologias aumentam eficiência do uso de nutrientes no campo**. DUNA Press – O Periódico do Movimento Cultural Brasil Estado, 13 dez. 2022. Disponível em: https://sistemas.cppse.embrapa.br/clipping/9712_2022-12-13%20-%20Tecnologias%20aumentam%20eficiencia%20do%20uso%20de%20nutrientes%20no%20campo.pdf. Acesso em: 19 maio 2025.
- MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. de. **Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 28, suplemento 1, p. 1-7, mar. 2012. Disponível em: https://docs.bvshalud.org/biblioref/2018/09/912072/disponibilidade-de-fosforo-em-soloscom-diferentes-texturas-apo_gZTCnxy.pdf. Acesso em: 17 maio 2025.
- MAGALHÃES, P. C. et al. **Fisiologia do milho**. Embrapa, 2022.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. Disponível em: https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higherplants-Marschner-2012.pdf. Acesso em: 16 maio 2025.
- MARTINS, P. H. **Aplicação de MAP purificado via foliar na produtividade de grãos de milho (*Zea mays* L.)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Centro Universitário do Cerrado, Patrocínio, 2018. Disponível em: <https://www.unicerp.edu.br/public/docs/e7161a5a3c8b-5b63.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.
- MAY, A. **Promoção de crescimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhattai* em diferentes frequências de irrigação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4675; 80). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1107857/1/boletim80Andre.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.
- MELO, N. F. de. **Introdução aos hormônios e reguladores de crescimento vegetal**. In: SEMINÁRIO CODA DE NUTRIÇÃO VEGETAL, 1., 2002, Petrolina. Anais... Petrolina:

CODA, 2002. p. 37–54. Disponível em:
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/135451/1/HormonioseReguladoresdeCrescimentoVegetal.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

NDOUNG, O.C. Ngo. **Potencial de *Bacillus aryabhattai* para o controle de *Meloidogyne incognita* na cultura do milho**. 2019. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

OLIVEIRA, S. B. et al. **Fontes de fósforo no estabelecimento e produtividade de forrageiras na região de Alta Floresta - MT**. Global Science and Technology, Rio Verde, v.5, n. 1, p. 1-10, jan./abr. 2012. Disponível em:
https://www.academia.edu/107629483/Fontes_De_F%C3%B3sforo_No_Estabelecimento_e_Produtividade_De_Forageiras_Na_Regi%C3%A3o_De_Alta_Floresta_MT. Acesso em: 17 maio 2025.

PEREIRA, D. S.; COSTA, Y. K. S. da; CARVALHO, L. B. de. **Mecanismos das plantas para acessar o P do solo**. Revista Agronomia Brasileira, v. 5, n. 2021, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.29372/rab202123>. Acesso em: 19 maio 2025.

PRAÇA, N. M. P. **Frações de fósforo em solos de climas tropicais em função do intemperismo**. 2023. 124 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2023. Disponível em:
<https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wpcontent/uploads/sites/10/2024/10/NAYARA.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

PROCHNOW, L. I.; PETERSON, H.; BRUULSEMA, T. **Acesso das plantas ao legado de fósforo, com foco nos trópicos**. In: INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS NPCT, n. 1, mar. 2019, p. 9–11. Disponível em:
[https://www.npct.com.br/publication/iabrazil.nsf/0/B5CC3A954059C780832583ED005066C5/\\$FILE/Page9-11-1.pdf](https://www.npct.com.br/publication/iabrazil.nsf/0/B5CC3A954059C780832583ED005066C5/$FILE/Page9-11-1.pdf). Acesso em: 19 maio 2025.

REZENDE, L. S. de. **Metodologias de mensuração de área foliar e crescimento inicial de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. sob diferentes disponibilidades luminosas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

RIBEIRO, A. C. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Editores: Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V. Viçosa, MG, 1999. 359 p. Disponível em:
https://www.academia.edu/35345434/RECOMENDA%C3%87%C3%95ES_PARA_O_USO_DE_CORRETIVOS_E_FERTILIZANTES_EM_MINAS_GERAIS_5_a_APROXIMA%C3%87%C3%83O. Acesso em: 17 maio 2025.

RIBEIRO, L. T. et al. **Desenvolvimento morfológico inicial de milho a partir de fontes de fósforo posicionadas em sulco de plantio**. Revista FT, [S.l.], 2023. DOI: 10.5281/zenodo.10427828. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10427828>. Acesso em: 17 maio 2025.

ROCHA, T. A. L. C. G. **Efeito da adubação orgânica com diferentes compostos orgânicos na cultura do rabanete, no semiárido brasileiro**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifrn.edu.br/handle/1044/1793>. Acesso em: 17 maio 2025.

SILVA, J. O. **Efeito de bioestimulantes no crescimento e resistência de solanáceas sob estresse hídrico**. 2023. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2023.

SONG, C. et al. **Capacidade de promoção do crescimento de bactérias solubilizadoras de fosfato em sistemas de milho-soja**. Journal of Plant Nutrition, v. 47, n. 5, p. 678-690, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34389997/>. Acesso em: 17 maio 2025.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 8 p. (Circular Técnica, n. 33). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1061419/1/CT33.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

SOUZA, I. S. R. de; AGUIAR, L. de A.; REZENDE, C. F. A. **Inoculação do *Bacillus aryabhattai* e os efeitos na produtividade do milho**. Research, Society and Development, v. 14, n. 2, p. e10414248266, 24 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsdv14i2.48266>. Acesso em: 17 maio 2025.

VASCONCELLOS, C. A. **Fósforo na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 8 p. (Comunicado Técnico, n. 252). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/483399/1/Fosforomilho.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

VELOSO, C. A. C. et al. **Correção da acidez do solo**. In: BORGES, A. L. (ed.). Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 123–133. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127245/1/LVRecomendacaoSolo-2020-123-133.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

VERDE AGRITECH. **5 benefícios do *Bacillus aryabhattai* na agricultura**. [S. l.]: Verde Agritech, 2023. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/wp-content/uploads/2023/07/E-book-5-Beneficios-do-Bacillus-aryabhattai-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

VIEIRA JÚNIOR, J. R. et al. **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento de plantas**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2013. 15 p. (Documentos / Embrapa Rondônia, ISSN 0103-9865; 155). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1018841/1/doc155rizobacterias.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025