

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FERTILIZANTE EQUALE ASSOCIADO A *BACILLUS ARYABHATAI* NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO

Adailton Agostinho Barbosa Freitas^{1,2}, Alex Alves Justino^{1,2}, Anna Julia Araujo Souza^{1,2}, Emanuelle Neves da Silva^{1,2}, Gustavo Rodrigues Cunha^{1,2}, Sheyla Barbosa Machado Oliveira^{1,2}

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais; ² Grupo de Pesquisa em Fertilizantes Especiais - GPFE; (adailton.agostinho@ufu.br)

RESUMO: O fósforo é um nutriente crucial para o desenvolvimento das plantas, mas frequentemente escasso em solos tropicais. O estudo investigou a eficácia agronômica do fertilizante organofosfatado Equale, individualmente e em associação com a rizobactéria *Bacillus aryabhatai*, em comparação com o fertilizante mineral convencional MAP, em fase inicial do cultivo. Realizado em casa de vegetação, o experimento utilizou um delineamento em blocos casualizados com 10 tratamentos e 4 repetições, avaliando diversos parâmetros de crescimento. Os resultados mostraram que o MAP favoreceu um crescimento inicial mais pronunciado, devido à rápida liberação de fósforo, enquanto o Equale apresentou desempenho equilibrado, com liberação gradual de nutrientes. A associação com *B. aryabhatai* não demonstrou efeitos significativos, provavelmente devido às condições controladas do experimento. Ambos os fertilizantes apresentaram teores residuais similares de fósforo, com o Equale se destacando pela adição de cálcio e matéria orgânica. Assim, conclui-se que o Equale representa uma alternativa sustentável ao MAP, embora seja necessário realizar estudos em campo para validar esses achados em situações reais de cultivo.

Palavras-chave: fósforo; organofosfatado; map.

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, atuando diretamente na fotossíntese, no metabolismo energético e na formação de estruturas celulares. Em solos tropicais, como os Latossolos, sua disponibilidade é severamente limitada devido à forte adsorção por óxidos de ferro e alumínio (Silva, 2023). Para suprir essa limitação, o uso de fertilizantes fosfatados é indispensável, sendo o fosfato monoamônico (MAP) a fonte mais

utilizada na agricultura devido à sua alta solubilidade (Cibra Fertilizantes, 2023). No entanto, o uso contínuo de fontes minerais está associado a impactos ambientais e à dependência de recursos finitos.

Nesse cenário, fertilizantes organofosfatados, produzidos a partir de resíduos da suinocultura, surgem como alternativas sustentáveis. Esses fertilizantes não apenas fornecem fósforo de forma gradual, como também contribuem com matéria orgânica e nutrientes secundários, promovendo melhorias na estrutura do solo (Lima, 2022). Além disso, a associação com rizobactérias, como *Bacillus aryabhatai*, reconhecidas por solubilizar fosfatos e produzir compostos bioativos, pode potencializar a eficiência agrônômica do fósforo aplicado (Fuga et al., 2023). Estudos indicam que essa bactéria também aumenta a tolerância ao estresse hídrico e estimula o crescimento radicular por meio da produção de exopolissacarídeos (Verde Agritech, 2023).

Entretanto, ainda há lacunas quanto à eficácia dessa interação em ambientes controlados e sob diferentes condições edafoclimáticas. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência agrônômica do fertilizante organofosfatado Equale, isoladamente e associado à rizobactéria *Bacillus aryabhatai*, em comparação ao MAP, no desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.) em condições de casa de vegetação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, coletado na profundidade de 0 a 20 cm, seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm e caracterizado quimicamente. Para correção da acidez, aplicou-se óxido de cálcio (CaO) na dose de 1,12 toneladas por hectare, conforme recomendado por Ribeiro et al. (1999), com o objetivo de elevar a saturação por bases a 70%. Após um período de incubação, 18 kg de solo foram colocados em vasos com capacidade de 20 litros, sendo a umidade mantida em 80% da capacidade de campo com auxílio de tensiômetros.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na aplicação de três fontes de fósforo: fosfato monoamônico (MAP), o fertilizante organofosfatado Equale, e o Equale associado à rizobactéria *Bacillus aryabhatai* (Auras® 4%), aplicados em doses correspondentes a 75%, 100% e 125% da recomendação de P₂O₅ para a cultura do milho, conforme a 5ª Aproximação, além de um tratamento controle sem adubação fosfatada. No

momento da sementeira, foram aplicadas as respectivas doses de P_2O_5 , juntamente com 250 kg ha^{-1} de K_2O , fornecido via cloreto de potássio (KCl), e 335 kg ha^{-1} de nitrogênio, na forma de ureia. As doses foram adaptadas para a escala de vasos. Utilizou-se o híbrido de milho AG1051, com sementeira de seis sementes por vaso e posterior desbaste para duas plantas aos 10 dias após a sementeira. A adubação de cobertura com N e K foi realizada aos 30 dias após a sementeira. A irrigação foi automatizada, três vezes ao dia (às 8h, 13h e 17h), mantendo-se 80% da capacidade de campo, e o controle fitossanitário seguiu as recomendações do FRAC-Brasil (2023), com aplicação de tiametoxam e lambda-cialotrina.

As avaliações foram realizadas aos 30, 45 e 57 dias após a sementeira, sendo analisadas a altura das plantas, o diâmetro do caule, bem como as massas fresca e seca da parte aérea. O material vegetal foi seco em estufa com circulação de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante. Foram também determinados os teores de macro e micronutrientes nas folhas e realizada análise química do solo ao final do experimento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e agrupados pelo teste de médias de Scott-Knott a 5% de significância, com o auxílio do software SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2011). A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Todos os métodos utilizados foram referenciados e seguiram o Sistema Internacional de Unidades.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que o fertilizante MAP, principalmente nas doses de 100% e 125%, promoveu maior diâmetro de caule e altura de plantas nas primeiras avaliações (30 DAS). Esse desempenho está relacionado à alta solubilidade e disponibilidade imediata de fósforo do MAP. Por outro lado, o Equale apresentou crescimento mais gradual, com destaque para as doses de 125%, que se igualaram ao MAP nos períodos de 45 e 57 DAS (Tabela 1). Esses dados indicam que o Equale tem liberação mais lenta de fósforo, o que pode ser vantajoso em fases posteriores do desenvolvimento da cultura. A associação com *Bacillus aryabhatai* não resultou em ganhos significativos no crescimento inicial, provavelmente devido às condições ideais de umidade, não havendo estresse que estimulasse a ação da rizobactéria, como apontado por Song et al. (2024).

Tabela 1 - Altura média (cm) de plantas de milho aos 30, 45 e 57 dias após a semeadura em função de fontes e doses de P₂O₅.

	Tratamento	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	Equale 75%	40,75 c	91,50 a	126,00 a
T6	Equale 100%	43,37 c	86,00 a	112,50 a
T7	Equale 125%	48,25 b	92,00 a	126,12 a
T8	Equale + Auras 75%	37,12 c	90,25 a	123,62 a
T9	Equale + Auras 100%	45,37 c	96,62 a	130,75 a
T10	Equale + Auras 125%	52,00 b	94,25 a	122,87 a
	CV (%)	18,32	17,08	9,35

Nota: Médias seguidas com letras iguais, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: elaborado pelos autores.

Quanto à biomassa da parte aérea, os tratamentos com MAP apresentaram maior massa fresca e seca, especialmente na dose de 125%. O Equale, embora com valores inferiores, mostrou capacidade de sustentar crescimento considerável nas doses mais altas. A diferença entre os fertilizantes pode ser atribuída ao perfil de liberação do fósforo, mais imediato no MAP e mais progressivo no Equale. A associação com *B. aryabhatai* também não resultou em aumentos significativos, reforçando a hipótese de que seu efeito é mais expressivo sob estresse hídrico.

A análise do solo aos 57 DAS revelou que os tratamentos com Equale 125% e MAP 125% apresentaram os maiores teores de P, enquanto o controle teve o menor valor (6,75 mg dm⁻³). O Equale também favoreceu a saturação por bases e aumentou os teores de cálcio, com impacto positivo na estrutura e fertilidade do solo. O pH variou entre 5,24 e 5,58, sendo mais elevado nas doses maiores de Equale e MAP. A combinação de Equale com *B. aryabhatai* não alterou significativamente os atributos químicos, mas manteve padrões similares aos demais tratamentos adubados.

De maneira geral, o MAP apresentou melhor desempenho inicial, enquanto o Equale mostrou-se eficiente em fases posteriores, com potencial para uso em sistemas sustentáveis. Sua composição orgânica e capacidade de melhorar a fertilidade do solo são diferenciais importantes. A eficácia da associação com *B. aryabhatai* requer mais investigações em condições de estresse hídrico e ciclos completos, incluindo a avaliação da microbiota do solo e interações com a matéria orgânica (Fuga et al., 2023; Vieira Júnior et al., 2013; Rocha, 2018).

4 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que o fertilizante organofosfatado Equale apresenta desempenho agrônômico satisfatório no desenvolvimento inicial do milho, sendo comparável ao fertilizante mineral MAP em diversos parâmetros, especialmente no crescimento radicular e acúmulo de biomassa nas fases mais avançadas. Embora o MAP tenha proporcionado um crescimento inicial mais vigoroso, o Equale mostrou liberação gradual de fósforo, mantendo o suprimento nutricional ao longo do ciclo e contribuindo com a elevação do teor de matéria orgânica e cálcio no solo. A associação com *Bacillus aryabhattai* não promoveu incrementos significativos nos parâmetros avaliados, possivelmente devido às condições controladas de umidade que limitaram o potencial de ação da rizobactéria. Diante dos resultados, conclui-se que o Equale é uma alternativa viável e sustentável ao MAP, especialmente em sistemas de produção que priorizam práticas agrícolas menos dependentes de insumos minerais. No entanto, recomenda-se a realização de ensaios em condições de campo para validar os efeitos observados em ambientes controlados, bem como estudos complementares sobre a interação do fertilizante orgânico com microrganismos promotores de crescimento vegetal.

REFERÊNCIAS

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/artigos-tecnicos/fosfato-monoamonico-map-o-que-e-e-quais-sao-seus-beneficios/>. Acesso em: 19 maio 2025.

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

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.

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.

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.

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.

VERDE AGRITECH. *5 benefícios do Bacillus aryabhatai 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-aryabhatai-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.