

## EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FERTILIZANTE EQUALE NA CULTURA DO FEIJOEIRO

João Joaquim Assis Rezende<sup>1,2</sup>, Caique Azevedo Cintra<sup>1,2</sup>, Guilherme Bessa Cintra Junqueira<sup>1,2</sup>, Igor Cruvinel Pena<sup>1,2</sup>, Pedro Henrique Pereira Munhoz<sup>1,2</sup>, Raíssa Vívian Dellani Reis<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais;

<sup>2</sup> Grupo de Pesquisa em Fertilizantes Especiais - GPFE;

(joao.joaquim@ufu.br)

**RESUMO:** A fixação do fósforo (P) por óxidos de ferro e alumínio é um dos principais fatores que limitam a eficiência dos fertilizantes fosfatados em solos tropicais, prejudicando culturas como o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta agronômica do fertilizante orgânico Equale, aplicado isoladamente ou em associação com o fosfato monoamônio (MAP), em diferentes proporções. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distrófico, sob delineamento de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. Foram avaliadas variáveis de crescimento vegetativo, rendimento de grãos, nutrição foliar e teor de fósforo disponível no solo após a colheita. O tratamento com 85% Equale e 15% MAP destacou-se no desenvolvimento vegetativo, enquanto a combinação com 80% Equale e 20% MAP resultou na maior produtividade de grãos. O Equale 100% foi o que mais preservou fósforo no solo após a colheita, indicando menor fixação do nutriente. Esses resultados sugerem que o uso combinado de fontes fosfatadas com diferentes velocidades de liberação pode beneficiar tanto o crescimento inicial quanto a produção final da cultura. Além disso, o uso de fertilizantes organofosfatados como o Equale se mostra uma alternativa promissora para aumentar a eficiência do uso do fósforo em ambientes tropicais, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis. O equilíbrio entre liberação imediata e residual do nutriente é essencial para otimizar o desempenho do feijoeiro.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L.; organofosfatado; fósforo.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é de grande importância socioeconômica no Brasil, sendo fonte essencial de proteína, fibras e minerais para a alimentação humana. No entanto, sua produtividade ainda está abaixo do potencial genético, principalmente devido à baixa eficiência da adubação fosfatada em solos tropicais (Taiz et al., 2023). Solos como os Latossolos apresentam elevada fixação de fósforo (P) por óxidos de ferro e alumínio, o que reduz drasticamente sua disponibilidade para as plantas (Praça, 2023). Fertilizantes solúveis como o fosfato monoamônio (MAP) apresentam boa resposta inicial, mas têm baixa persistência no solo, resultando em perdas por imobilização (Fageria, 2014).

Como alternativa, fertilizantes organofosfatados vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de melhorar a eficiência de uso do fósforo. Dentre eles, o Equale, à base de resíduos orgânicos tratados da suinocultura, tem se destacado por promover liberação gradual de nutrientes e menor fixação no solo (Franco Júnior et al., 2024). Estudos recentes sugerem que a combinação de fontes de fósforo com diferentes velocidades de liberação pode otimizar a nutrição ao longo do ciclo da cultura (Novais et al., 2021). No entanto, ainda há lacunas no conhecimento quanto à proporção ideal entre fontes orgânicas e minerais que maximize o desenvolvimento e a produtividade do feijoeiro.

Diante desse contexto, a hipótese é de que a combinação do fertilizante Equale com MAP, em proporções específicas, melhora a eficiência agrônômica e a sustentabilidade da adubação fosfatada. Assim, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar a eficiência agrônômica do fertilizante Equale, isolado e em combinação com MAP, em diferentes proporções, na cultura do feijoeiro, considerando parâmetros de crescimento, produtividade e fertilidade do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Água Limpa da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada às margens do Km 18 da rodovia MG 455, município de Uberlândia-MG. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, conforme classificação oficial (Santos *et al.*, 2018).

A região apresenta clima tropical (Aw, classificação de Köppen), caracterizado por inverno seco e verão chuvoso (Alvares *et al.*, 2013). Durante o período experimental (2024), a temperatura média anual foi de 22,5°. A precipitação pluviométrica anual variou entre 1500 e

1600 mm, com o mês mais chuvoso registrando aproximadamente 250 mm e o mais seco cerca de 60 mm.

O preparo do solo consistiu em uma aração seguida de duas gradagens niveladoras. A abertura dos sulcos de plantio foi realizada com sulcador ajustado para profundidade de 5 cm. A calagem foi realizada com dose de 500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico PRNT 100%, distribuídos em 50% no sulco de plantio e 50% em área total 60 dias antes da semeadura (Novais *et al.*, 2021).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída por seis linhas de 5,0 metros de comprimento, espaçadas em 0,5 m, totalizando 15 m<sup>2</sup>. A área útil compreendeu as quatro linhas centrais, com espaçamento de 1 m entre parcelas.

Os tratamentos avaliados consistiram em diferentes proporções do fertilizante organofosfatados Equale (00-13-00) e fosfato monoamônio (MAP - 11-52-00) (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos do ensaio a campo com fertilizante Equale na cultura do feijoeiro Uberlândia-MG, 2025.

Tratamento	Fertilizante fosfatado
T1	Testemunha absoluta (Sem fertilizante fosfatado)
T2	Equale 100%
T3	MAP 100%
T4	Equale 95% + MAP 5%
T5	Equale 90% + MAP 10%
T6	Equale 85% + MAP 15%
T7	Equale 80% + MAP 20%

Nota: A porcentagem em frente ao nome do produto corresponde ao nível de adubação fosfatada em relação a dose 100% recomendada para a cultura do feijoeiro (Ribeiro *et al.*, 1999). As adubações de cobertura foram comuns a todos os tratamentos. Fontes isoladas de fertilizantes minerais via solo foram utilizados Ureia, KCl e suprimento com micronutrientes via solo e foliar, comum a todos os tratamentos.

A semeadura foi realizada manualmente em julho de 2024, utilizando gabaritos para uniformização do espaçamento, seguida de recobrimento com 2 a 3 cm de solo. A adubação de plantio foi distribuída manualmente na superfície do solo de cada parcela.

Os tratamentos aplicados na cultura do feijoeiro envolveram diferentes proporções de fósforo utilizando as fontes fertilizantes Equale (00-13-00) e MAP (11-52-00), mantendo a dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> constante em 110 kg ha<sup>-1</sup>. Os tratamentos foram: T1 (Controle), sem aplicação de fósforo; T2, Equale 100%; T3, MAP 100%; T4, Equale 95% + MAP 5%; T5, Equale 90% + MAP 10%; T6, Equale 85% + MAP 15%; T7, Equale 80% + MAP 20%.

Na adubação de plantio da cultura do feijoeiro, foram utilizadas duas fontes de fertilizantes: cloreto de potássio (KCl), com formulação 00-00-60, aplicado na dose de 83,33

kg ha<sup>-1</sup> (equivalente a 150 g por parcela), e ureia, com formulação 45-00-00, aplicada na dose de 88,89 kg ha<sup>-1</sup> (correspondente a 160 g por parcela). As adubações de cobertura com ureia foram realizadas aos 20 e 30 dias após a emergência (DAE), aplicando-se 66,67 kg ha<sup>-1</sup> de adubo (equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N) em cada ocasião (Fageria, 2014).

O manejo da irrigação foi realizado por sistema de microaspersão, com aplicações a cada dois dias até o início da senescência das plantas, até que o solo atingisse aproximadamente 80% da capacidade de campo.

O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência, combinando capina manual e aplicação de herbicidas seletivos. Para o controle de insetos-praga, foram realizadas cinco pulverizações alternando os inseticidas Acefato (sistêmico) e Metomil (de contato). A dessecação das plantas foi realizada com herbicida Diquat quando 80% das plantas atingiram maturação natural.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: crescimento vegetativo - índice SPAD (medidor SPAD-502 Plus) aos 30 DAE, altura de plantas e diâmetro de caule aos 40 DAE, massa fresca e seca da parte aérea aos 95 DAE; parâmetros reprodutivos - produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>, corrigida para 13% de umidade) e peso de mil grãos (g); e fertilidade do solo pós-colheita - teor de fósforo disponível (P-resina) na camada de 0-20 cm.

As amostragens foliares para análise nutricional foram realizadas no estágio de florescimento (40 DAE), coletando-se trifólios do terço médio das plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa estatístico SISVAR, com as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Ferreira, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os parâmetros de crescimento vegetativo do feijoeiro, tais como altura de plantas, diâmetro de caule, índice SPAD, massa fresca e massa seca, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados (Tabela 2).

O tratamento com fertilizante Equale na proporção de 85% combinado com 15% de fosfato monoamônio (MAP) (T3) e o tratamento com MAP 100% (T6) destacaram-se, apresentando os maiores valores para altura de plantas (45,00 cm e 45,93 cm, respectivamente), diâmetro de caule (5,69 mm e 5,63 mm), massa fresca (494 g e 495,41 g) e seca (96,99 g e 97,99 g). Esses resultados indicam que a combinação de fontes fosfatadas de liberação gradual (Equale) e rápida (MAP) pode potencializar o desenvolvimento vegetativo do feijoeiro, devido à sinergia entre a disponibilidade imediata e sustentada do fósforo (Rajj, 2011).

Tabela 2. Análise de variância para médias de altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm) e índice SPAD aos 40 DAE e massa fresca e massa seca de plantas (gramas) da parcela útil aos 95 DAE em função de fontes de fertilizantes fosfatados. Uberlândia-MG, em 2025.

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	SPAD	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)
Controle	40,23 d	5,09 d	50,38 b	334,36d	68,97c
Equale 100%	43,27 b	5,50 b	49,46 c	418,00b	84,26b
MAP 100%	45,00 a	5,69 a	46,60 e	494,00a	96,99a
Equale 95%	43,62 b	5,35 c	48,32 d	429,70b	83,66b
Equale 90%	41,05 d	5,30 c	50,39 b	404,91c	79,44b
Equale 85%	45,93 a	5,63 a	51,29 a	495,41a	97,99a
Equale 80%	42,57 c	5,32 c	48,40 d	406,32c	82,40b

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

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Os parâmetros reprodutivos do feijoeiro, como produtividade de grãos e peso de mil grãos (PMG), variaram significativamente conforme a fonte e proporção de fertilizantes fosfatados. O tratamento com 80% Equale + 20% MAP apresentou a maior produtividade (4.476,60 kg ha<sup>-1</sup>), seguido por Equale 100% e MAP 100%, que não diferiram entre si. O PMG foi maior com Equale 80%, 95% e 100%, enquanto o MAP 100% teve o menor valor, reforçando a importância da disponibilidade contínua de P. Estes resultados confirmam o efeito sinérgico entre Equale e MAP, otimizando a disponibilidade de fósforo (P) nas fases críticas da cultura e, conseqüentemente, produtividade (Fageria, 2014).

Nos teores de P disponível no solo (P-Resina), Equale 100% se destacou (24,10 mg dm<sup>3</sup>), e MAP 100% não diferiu da testemunha. Combinações intermediárias, como Equale 85% + MAP 15%, apresentaram bons resultados (21,17 mg dm<sup>3</sup>). Esses dados corroboram a importância da disponibilidade contínua de fósforo para o desenvolvimento adequado dos grãos, prevenindo estresses nutricionais que comprometem seu peso final (Taiz *et al.*, 2023).

Apesar da alta produtividade, o tratamento Equale 80% + MAP 20% teve baixo teor residual de P, sugerindo maior exportação do nutriente pela colheita. Estudos indicam que até 60% do P absorvido pelo feijoeiro é alocado na parte aérea, sendo removido integralmente durante a colheita (Fageria, 2014; Malavolta, 2006).

Nas análises foliares, não houve diferenças estatísticas significativas, mas observaram-se tendências: Equale 100% apresentou o maior teor foliar de P (2,47 g kg<sup>-1</sup>) e o MAP 100% o menor (2,19 g kg<sup>-1</sup>). Todos os valores estiveram dentro das faixas adequadas para N, P e K, na cultura do feijoeiro, segundo Malavolta (2006) e Raij (2011). O uso combinado de Equale e MAP se mostrou promissor para manter o equilíbrio nutricional da cultura.

## 4 CONCLUSÕES

A combinação de Equale (fertilizante organofosfatado) com MAP demonstrou ser eficiente no cultivo do feijoeiro em solos tropicais. A proporção de 85% Equale + 15% MAP favoreceu o crescimento vegetativo, enquanto 80% Equale + 20% MAP resultou na maior produtividade (4.476,60 kg ha<sup>-1</sup>). O uso isolado de Equale apresentou maior teor residual de fósforo no solo, indicando menor fixação e maior eficiência. A associação de fontes de P com liberação rápida (MAP) e gradual (Equale) otimizou o suprimento nutricional, aumentou a produtividade e reduziu perdas por fixação. Novos estudos são recomendados para validar os resultados em diferentes ambientes e ciclos de cultivo.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

FAGERIA, N. K. Growth and mineral nutrition of field crops. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

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

FRANCO JÚNIOR, C. A. *et al.* Disponibilidade de fósforo no solo em semanas sob diferentes fontes. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 10, e47154, 2024.

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

NOVAIS, R. F. *et al.* Fósforo no solo e plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2021.

PRAÇA, N. M. P. Frações de fósforo em solos de climas tropicais em função do intemperismo. 2023. 128 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2023.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

SANTOS, H. G. dos *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2023.