



Crescimento inicial do cafeeiro em função de diferentes fontes de fósforo

Eduardo Lucas de Souza¹, Cleber Kouri de Souza²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, Discente. eduardo.lucas@alunos.ifsuldeminas.edu.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, Docente. cleber.souza@ifsuldeminas.edu.br

Recebido em : 11/12/2024

Aceito em: 25/02/2025

RESUMO

A cafeicultura tem grande importância econômica para o Brasil, principalmente para o sul de Minas Gerais. Para o plantio da cultura, são necessários cuidados iniciais como práticas corretivas do solo visando ao adequado estabelecimento da lavoura. A definição da melhor fonte fosfatada para implantação é um desses cuidados. Sendo assim, objetivou-se com este estudo definir a melhor fonte fosfatada a ser utilizada na implantação de uma lavoura cafeeira visando ao maior crescimento vegetativo das mudas em campo. Para isso, foi montado um experimento com mudas de café cultivadas em vaso, cujo o delineamento experimental foi em blocos casualizados com sete tratamentos (estruvita, fosfato monoamônico, fosfato natural reativo, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfato e testemunha) e cinco repetições. Foi utilizada a cultivar Catuaí vermelho com aproximadamente cinco meses de idade. Foram realizadas avaliações como: diâmetro do coleto, altura de plantas, massa seca de raízes, massa seca de caule, massa seca de folhas, massa seca total, teor de fósforo foliar, além do índice de qualidade de Dickson. Houve diferença significativa para altura de plantas apenas para a fonte superfosfato simples e testemunha; porém, para diâmetro de coleto e matéria seca de caule, os melhores resultados foram observados com fosfato natural reativo; e para massa seca de raízes e massa seca total, destacaram-se o fosfato natural reativo e o fosfato monoamônico. Essas fontes também proporcionaram os melhores índices de qualidade de Dickson, indicando serem as melhores opções no que se refere ao crescimento inicial de mudas de café. Portanto, para o plantio de café, recomenda-se a adoção de fosfato natural reativo e fosfato monoamônico.

Palavras-chave: Cafeicultura; Implantação de lavoura; Fertilizante fosfatado

Introdução

A cultura do café tem grande importância econômica para o Brasil, sendo responsável por uma grande parte das exportações do país. As regiões do centro e sul de Minas Gerais são as principais produtoras de café, representando 34,38% da produção nacional, com produtividade média de 24,5 sacas ha⁻¹ (FAEMG, 2020). Sendo assim, dada a importância da cultura para a economia nacional, com destaque para Minas Gerais, é fundamental a definição de práticas de manejo eficientes na implantação da lavoura, principalmente no que diz respeito às fontes de fósforo.

Os solos do sul de Minas Gerais são constituídos predominantemente por latossolos e cambissolos (Scolforo, Carvalho, Oliveira, 2008), nos quais estão as lavouras cafeeiras. A dinâmica do fósforo nessas classes de solo é influenciada por sua mineralogia, ou seja, pela presença de

óxidos de ferro e alumínio que fixam fortemente o fósforo (Pinto *et al.*, 2013), afetando sua disponibilidade. Sendo assim, são necessárias estratégias de manejo que maximizem a disponibilidade desse nutriente para garantir a sustentabilidade das lavouras.

O fósforo é um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, compondo o DNA, o RNA, o ATP, as membranas plasmáticas (fosfolipídeos) e outras moléculas vitais. Além disso, desempenha papel crucial na fotossíntese e na produção de energia das plantas (Marschner, 2012). Na cultura do café, esse nutriente é fundamental para o desenvolvimento das raízes, que são responsáveis pela absorção eficiente de água e nutrientes do solo, garantindo o crescimento saudável e produtivo da planta.

Segundo Sakiyama *et al.* (2015), o fósforo na cultura do café é requerido em doses menores

quando comparado ao nitrogênio e ao potássio, no entanto, desempenha grande importância no momento de implantação da lavoura, quando a muda necessita do nutriente para o desenvolvimento pleno das raízes, para adequada estruturação e, posteriormente, para obter desempenho satisfatório ao longo de seu ciclo.

Apesar da importância do fósforo para o desenvolvimento das plantas, a sua disponibilidade no solo muitas vezes é limitada (Santini *et al.*, 2020). Por isso, é comum a utilização de fertilizantes fosfatados para suprir as necessidades das plantas. No entanto, nem todas as fontes de fósforo são igualmente eficientes na promoção do crescimento e desenvolvimento vegetativo. Reconhecidamente, a eficiência dos fertilizantes fosfatados pode variar de acordo com a fonte utilizada (Moreira, Gonçalves, 2022), assim como a origem, solubilidade e acessibilidade dessas fontes.

Fontes comumente utilizadas, como superfosfato triplo (SPT) e o superfosfato simples (SPS), possuem diferentes graus de solubilidade, sendo que o SPS é menos solúvel e de ação rápida, enquanto o SPT é mais solúvel e de ação mais prolongada. O fosfato monoamônico (MAP), semelhante ao SPS, possui alta solubilidade e maior eficiência na absorção pelas plantas (Franco Júnior, Dias, Ribeiro, 2024).

Embora o SPS tenha concentração menor de fósforo em comparação a o SPT, ele ainda pode ser eficaz para o desenvolvimento inicial das plantas. O uso do SPS tem alcançado resultados positivos em termos de aumento da altura de plantas (Cândido, 2013).

O SPT é uma das fontes mais concentradas de fósforo disponíveis, com alta solubilidade, e seu uso também tem proporcionado resultados positivos no desenvolvimento inicial das plantas de café (Chagas *et al.*, 2016). Entretanto, o SPT tem capacidade de acidificação, caso utilizado em excesso, por isso seu uso deve ser realizado com cautela.

Outra fonte que também pode ser utilizada, mas que é pouco difundida na agricultura, é a estruvita, pois tem grande potencial como fonte de nutrientes para as plantas, já que é uma fonte de fósforo de liberação lenta e pode ser obtida a partir de resíduos orgânicos (Silva, 2022). Em estudo realizado pela Embrapa (2022), observou-se que a estruvita promove aumentos significativos no desenvolvimento radicular das plantas além de proporcionar maiores produtividades. Além de ser uma fonte de fósforo, ela fornece outros nutrientes essenciais, tornando-se uma opção interessante para a nutrição vegetal e a otimização da produção agrícola.

O fosfato natural reativo (PNR), por sua vez, é uma fonte que possui baixa solubilidade, embora possa ser benéfico em solos com pHs adequados (5,5 a 6,5). Sua eficácia pode ser limitada em solos ácidos, nos quais a disponibilidade é reduzida devido à adsorção por óxidos de ferro e alumínio. Em estudo realizado por Silvério *et al.* (2019), foi observado que a utilização dessa fonte, na cultura do café, resultou em ganhos de produtividade satisfatórios quando comparada a outras fontes de fósforo.

Em contrapartida, Moreira e Gonçalves (2022) demonstraram que o MAP possui elevada eficiência na promoção do crescimento, é altamente solúvel e fornece tanto fósforo quanto nitrogênio, sendo bastante eficaz nas fases iniciais de crescimento das plantas, promovendo desenvolvimento radicular mais saudável. As plantas de café fertilizadas com MAP tendem a crescer com mais vigor e melhor desenvolvimento foliar em comparação àquelas que não receberam fósforo. Além disso, sua rápida disponibilidade pode ajudar a corrigir deficiências nutricionais rapidamente.

O termofosfato (TP) combina características dos fosfatos naturais com processos térmicos para aumentar a solubilidade. Ele oferece a liberação gradual de fósforo ao longo do tempo, sendo benéfico em solos ácidos (Melo *et al.*, 2005).

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de definir a melhor fonte fosfatada a ser utilizada na implantação de uma lavoura cafeeira visando ao maior crescimento vegetativo inicial de mudas de cafeeiro.

Material e métodos

O experimento foi realizado durante o período de fevereiro a maio de 2023, em vasos plásticos, em ambiente a céu aberto, no Sítio São José, Soledade do Mogi – Inconfidentes, Minas Gerais (22° 19' 29.08"S, 46° 15' 46.17" O e 896m de altitude). O município tem temperatura média histórica (30 anos) anual de 17,5°C e precipitação média anual acumulada de 1864mm (Clima Tempo, 2025).

Para este estudo, foi utilizada a cultivar Catuaí vermelho da espécie *Coffea arabica* L., de aproximadamente quatro a cinco meses de idade, contendo de cinco a sete pares de folhas. Foi utilizado solo do horizonte B de um latossolo vermelho-amarelo distrófico de textura argilosa, cujas características químicas são apresentadas na Tabela 1.

Foi adotado o delineamento experimental de blocos casualizados, com sete tratamentos (Tabela 2) e cinco repetições, totalizando trinta e cinco parcelas. Cada parcela foi constituída por um vaso de 8 dm³ (20cm de diâmetro da base por 23cm de altura com furos para drenagem) com uma muda de café. A análise do solo foi interpretada conforme os critérios estabelecidos por Guimarães *et al.* (1999), e as recomendações para a aplicação de fertilizantes

e corretivos foram baseadas nesses critérios. Assim, visando elevar a saturação por bases a 60%, foram adicionados 18g vaso⁻¹ de calcário (CaO = 43,50%, MgO = 8,00%, PRNT = 80%) e as doses de fósforo, conforme a Tabela 2.

Os fertilizantes fosfatados, segundo os tratamentos e as doses, e o húmus de minhoca (1L vaso⁻¹) foram misturados ao solo dos vasos momentos antes do plantio, que ocorreu em fevereiro de 2023. Após a estabilização das mudas, foram aplicados 1,4g vaso⁻¹ de ureia protegida (46% N), correspondente a 5g planta⁻¹ N, e 2,1g vaso⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O), equivalente a 10g planta⁻¹ K₂O; realizadas em três aplicações, com intervalo de 30 dias (Guimarães *et al.*, 1999).

Todos os tratamentos receberam irrigações diárias durante o período do experimento, exceto em dias com a ocorrência de chuvas. O controle fitossanitário foi realizado manualmente, no entanto, em casos de ocorrência de plantas daninhas, pragas e doenças que pudessem causar danos às plantas, medidas adicionais seriam tomadas com utilização de produtos registrado para cultura.

Foram realizadas avaliações do diâmetro do coleto e altura das plantas no dia de implantação do experimento e, posteriormente, no final do experimento. A altura das plantas foi aferida utilizando-se uma trena graduada, e, para o diâmetro do coleto, utilizou-se um paquímetro digital.

A partir dessas medidas, foram determinadas as seguintes variáveis de qualidade:

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado no experimento.

pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	MO	P-rem
H ₂ O	mg dm ⁻³		-----		cmol _c dm ⁻³	-----			%	dag dm ⁻³	mg L ⁻¹
5,26	1,6	29,9	0,0	0,6	0,09	6,34	0,79	7,13	11,1	1,14	10,27

pH = acidez ativa; P = fósforo disponível; K = potássio disponível; Al = acidez trocável; Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; T = CTC_{pH 7}; V = saturação por bases; MO = matéria orgânica; P-rem = fósforo remanescente.

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo do IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes (2024).

Tabela 2. Concentração de P_2O_5 e dose das fontes utilizadas no estudo

Fonte	Dose*		Concentração (%)**					
	g vaso ⁻¹	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S	Si
Estruvita***	46	--	22	--	1	8	--	--
Fosfato Monoamônico	21	9	48	--	--	--	--	--
Fosfato Natural Reativo	37	--	27	--	28	--	--	--
Superfosfato Simples	56	--	18	--	16	--	10	--
Superfosfato Triplo	25	--	41	--	10	--	--	--
Termofosfato	59	--	17	--	16	4	--	8
Testemunha	--	--	--	--	--	--	--	--

* Dose correspondente a 80g cova⁻¹ P_2O_5 (64 dm³) ou 10g cova⁻¹ P_2O_5 (8 dm³)

** Brasil (2018)

*** Valle et al. (2021)

Fonte: autores (2025).

a) Relação entre altura da planta e diâmetro do coleto (RAD);

$$RAD = \frac{\text{AlturadePlantas}}{\text{Diâmetrodo Coleto}} \quad \text{Eq. (1)}$$

b) Relação da parte aérea/raízes (RPAR), obtida pela fórmula:

$$RPAR = \frac{\text{Massasecaparteaérea}}{\text{Massasecaderaiz}} \quad \text{Eq. (2)}$$

c) IQD: índice de qualidade de Dickson (Dickson, Leaf, Hosner, 1960), obtido pela fórmula:

$$IQD = \frac{\text{Massasecatotal}}{(RAD + RPAR)} \quad \text{Eq. (3)}$$

Ao final do experimento, foi feita a separação das folhas, parte aérea e sistema radicular. O material radicular colhido foi colocado em uma peneira de malha de 2mm e passou por separação hidráulica com auxílio de uma mangueira para soltar a terra das raízes.

Para a determinação da matéria seca, o material foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel e seco em estufa com circulação forçada de ar a 60°C por 72 horas ou até atingir massa constante. Posteriormente, o material foi pesado em balança analítica. Amostras de folhas foram enviadas ao laboratório IBRA megalab para a determinação do teor de fósforo foliar (Malavolta, Vitti, Oliveira, 1997).

Para verificar a normalidade e homogeneidade de variância, os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett e, em seguida, à análise de variância ($p < 0,05$). Quando significativo, foi realizado o teste de agrupamento de médias (Scott-Knott), utilizando-se o pacote “ExpDes.pt” no compilador RStudio (R TEAM, 2022).

Resultados e discussão

Na Tabela 3, são apresentados os resultados do teste de médias para as variáveis estudadas em função das diferentes fontes de fósforo utilizadas no desenvolvimento inicial de mudas de cafeeiro. Foram observados baixos valores de CV (Pimentel-Gomes, 2022), indicando baixa variabilidade dos dados, sendo um sinalizador de baixa dispersão.

Para a variável altura das plantas (AP), entre as diferentes fontes de fósforo testadas, observa-se que os melhores resultados foram obtidos com uso de estruvita, fosfato monoamônico, fosfato natural reativo, superfosfato triplo e o termofosfato. Em contrapartida, a fonte superfosfato simples (SS) foi a única que resultou em valores inferiores, sendo superior, apenas, à testemunha. Este menor desempenho na utilização de SPS deve ser atribuído ao fato de que quando se utiliza essa

fonte após o uso de calcário, sem aguardar o tempo de reação, pode ocorrer incompatibilidade (Bonfim-Silva *et al.*, 2021).

Para o diâmetro do caule (DC), os resultados podem ser classificados em dois grupos distintos. No primeiro grupo, as fontes que mais se destacaram foram: fosfato monoamônico, PNR, superfosfato triplo e termofosfato. O PNR, devido à sua solubilidade gradual, proporciona a liberação contínua de fósforo, favorecendo o crescimento do caule. Já o termofosfato, por se tratar de um fertilizante térmico, oferece liberação eficiente de fósforo, favorecendo o crescimento mais vigoroso (Tabela 3).

Ainda no primeiro grupo, encontram-se o SPT e o MAP. Esses fertilizantes fornecem fósforo de maneira rápida, resultando no crescimento moderado do caule. A rápida disponibilidade de fósforo pode ter sido suficiente para o desenvolvimento adequado, embora não tão eficiente para se destacar esses fertilizantes.

Por fim, no segundo grupo, com os menores diâmetros observados, estão a estruvita, o

superfosfato simples e a testemunha. A estruvita e o superfosfato simples, devido à solubilidade limitada, restringem a disponibilidade de fósforo, resultando em menor diâmetro do caule. Essas fontes, com a testemunha sem adição de fósforo, tiveram o menor desenvolvimento, destacando a importância desse nutriente para o crescimento do cafeeiro (Tabela 3).

Resultados semelhantes para AP e DC, na cultura do café, foram obtidos por Candido *et al.* (2013). Nesse sentido, a utilização do PNR para a implantação de lavoura cafeeira é importante para o crescimento, o estabelecimento e a manutenção das mudas em estágio inicial.

Observa-se que não houve diferença significativa no teor foliar de fósforo, estando todos os resultados dentro dos limites considerados adequados, entre 1,2 a 1,6g kg⁻¹ (Martinez *et al.*, 2004; Guimarães *et al.*, 1999), indicando que todas as fontes disponibilizaram fósforo e que o nutriente foi transportado (Tabela 3). O teor de fósforo da testemunha explica-se pelo efeito residual desse elemento e pela adição de húmus no preparo do substrato para produção das mudas.

Tabela 3. Altura de plantas (AP), Diâmetro de Caule (DC) e Fósforo Foliar (P_Foliar) em plantas de cafeeiro submetidas a diferentes fontes de fósforo. Inconfidentes, MG, 2025.

Tratamentos	AP	DC	P_Foliar
	cm	mm	g kg ⁻¹
Estruvita	33,3 a	5,51 b	1,67
Fosfato Monoamônico	33,8 a	6,27 a	1,61
Fosfato Natural Reativo	35,6 a	6,67 a	1,53
Superfosfato Simples	30,5 b	5,71 b	1,68
Superfosfato Triplo	34,0 a	6,17 a	1,72
Termofosfato	32,9 a	6,29 a	1,47
Testemunha	28,3 b	5,27 b	1,64
Média geral	32,6	4,51	1,64
DMS	3,82	0,87	0,21
p-valor	0,013*	0,030*	0,249 ^{ns}
CV	8,97	10,96	10,21

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

DMS = diferença mínima significativa; F para tratamentos; CV = coeficiente de variação (%).

*efeito significativo $< 0,05\%$; ns = não significativo.

Fonte: autores (2025).

Para a massa seca do sistema radicular (Tabela 4), os melhores resultados foram obtidos com a utilização do MAP e PNR, sem diferenças significativas entre eles. Resultados semelhantes foram observados para a massa seca total. No entanto, para a massa seca do caule, a fonte que proporcionou os melhores índices foi o PNR. Tendo em vista que a matéria seca é um indicador direto de qualidade no desenvolvimento da planta, nota-se que as fontes de fósforo PNR e o MAP auxiliam no melhor desenvolvimento das plantas.

Para a massa seca da folha, não houve diferença estatística entre as fontes testadas. Todas as fontes foram administradas na dosagem recomendada e atenderam adequadamente às necessidades nutricionais da planta de café (Tabela 4).

Vaz e Souza (2021) observaram que a utilização de diferentes fontes de fósforo não resultou em diferenças significativas na massa seca da parte aérea, na massa seca das raízes, na altura das plantas e no diâmetro do caule;

esses autores atribuem variações às doses e não às fontes utilizadas. Contrariamente, neste estudo, todas as fontes de fósforo foram administradas na mesma dose de P_2O_5 , e as diferenças observadas foram decorrentes das distintas fontes de fósforo utilizadas.

Silvério *et al.* (2019) demonstraram que as fontes superfosfato triplo, multifosfato, termofosfato e fosfato de araxá contribuíram para o aumento do diâmetro do caule e o número de folhas, evidenciando a importância de definir a melhor fonte a ser utilizada no plantio do café.

Em geral, as fontes testadas foram suficientes para fornecer fósforo para o desenvolvimento das plantas, no entanto, evidencia-se a importância na determinação da melhor fonte na fase inicial das plantas (Tabelas 3 e 4). Diante do exposto, foi possível concluir que a utilização de PNR foi a melhor opção entre todas as variáveis estudadas. Tal resultado corrobora a recomendação em utilizar fosfato natural no plantio do cafeeiro (Guimarães *et al.*, 1999).

Tabela 4. Massa Seca de Raízes (MSR), Massa Seca de Caule (MSC), Massa Seca de Folhas (MSF) e Massa Seca Total (MST) em plantas de cafeeiro, submetidas a diferentes fontes de fósforo. Inconfidentes, MG, 2025.

Tratamentos	MSR	MSC	MSF	MST
	-----g-----			
Estruvita	16,17 c	36,59 b	34,97 a	87,73 b
Fosfato Monoamônico	21,05 a	37,49 b	34,86 a	93,40 a
Fosfato Natural Reativo	20,31 a	40,51 a	33,68 a	94,50 a
Superfosfato Simples	17,50 c	37,32 b	31,67 a	86,49 b
Superfosfato Triplo	18,47 b	37,13 b	33,40 a	88,99 b
Termofosfato	16,90 c	38,50 b	33,56 a	88,96 b
Testemunha	14,06 d	33,98 c	28,30 b	76,34 c
Média geral	17,50	37,32	33,56	88,96
DMS	1,39	1,95	2,26	3,45
p-valor	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CV	6,02	4,00	5,26	3,00

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

DMS = diferença mínima significativa; F para tratamentos; CV = coeficiente de variação (%).

**efeito significativo $< 0,01\%$; ns = não significativo.

Fonte: autores (2025).

Na Tabela 5, são apresentados os valores médios dos parâmetros de qualidade das mudas de café em função das diferentes fontes de fósforo utilizadas no desenvolvimento inicial das plantas. Pode-se observar alta confiabilidade nos resultados (medido pelo CV), uma vez que, de acordo com Pimentel-Gomes (2022), valores menores do que 10% são classificados com alta precisão, podendo a média representar a população.

Foi possível organizar os valores de RPAR em dois grupos, sendo aqueles com maiores valores para os tratamentos com estruvita, TP e a Testemunha. O segundo grupo foi composto pelas demais fontes (Tabela 5). Como o fósforo está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento radicular, valores menores de RPAR indicam maior crescimento das raízes, sendo assim, os tratamentos do segundo grupo proporcionaram maior sistema radicular e, em contrapartida, menor crescimento de parte aérea. Segundo Marana *et al.* (2008), resultados menores do que 4,7 são indicativos de adequado desenvolvimento do sistema radicular.

Sendo assim, plantas com raízes mais desenvolvidas possuem maior tolerância a intempéries climáticas, como escassez de chuvas, por conseguirem explorar maior volume de solo, não sendo essas mudas, também, afetadas por ventos fortes devido à sua melhor fixação ao solo.

A análise da RAD, em função das diferentes fontes de fósforo, não resultou em diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5). Isso indica que não houve efeito para essa variável para qualquer que seja a fonte utilizada, não impactando na relação. Portanto, conclui-se pela uniformidade entre os tratamentos, e, segundo Rudek (2013), os resultados são considerados aceitáveis.

Neste estudo, foi possível observar valores de IQD (Dickson, Leaf, Hosner 1960) superiores a oito, exceto para testemunha. No entanto, com diferenças significativas entre as fontes, sendo os maiores valores observados para os tratamentos com MAP e PNR, seguidos de SPS, SPT e TP; enquanto a estruvita e a testemunha não foram diferentes entre si. De acordo com Marana *et al.* (2008), valores superiores a 0,2 correspondem

Tabela 5. Parâmetros de crescimento e qualidade de mudas de café: relação parte aérea raiz (RPAR), relação altura da planta e diâmetro do coleto (RAD) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em função de diferentes fontes de fósforo. Inconfidentes, MG, 2025

Tratamentos	RPAR	RAD	IQD
Estruvita	4,45 a	6,09	8,34 c
Fosfato Monoamônico	3,45 b	5,40	10,58 a
Fosfato Natural Reativo	3,66 b	5,40	10,49 a
Superfosfato Simples	3,95 b	5,35	9,30 b
Superfosfato Triplo	3,83 b	5,51	9,53 b
Termofosfato	4,23 a	5,25	9,36 b
Testemunha	4,46 a	5,40	7,77 c
Média	4,00	5,48	9,33
DMS	0,39	0,52	0,73
p-valor	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CV	7,55	7,31	6,01

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

DMS = diferença mínima significativa; F para tratamentos; CV = coeficiente de variação (%).

**efeito significativo $< 0,01\%$; ns = não significativo.

Fonte: autores (2025).

ao adequado desenvolvimento das plantas. Esses resultados estão de acordo com os apresentados nas Tabelas 3 e 4, em que o uso das fontes MAP e PNR seguiram essa mesma tendência.

No geral, os parâmetros de crescimento e qualidade das mudas de café fornecem informações que podem ser aplicadas agronomicamente, ou seja, a não utilização de fósforo no plantio das mudas ou o uso da estruvita como fonte fosfatada não são boas opções, uma vez que foi para esses tratamentos que foram obtidos os maiores valores de RPAR, indicando maior crescimento da parte aérea e menor desenvolvimento radicular.

Por outro lado, a utilização do MAP e do PNR é a melhor opção para otimizar a qualidade das plantas no campo no estágio inicial de desenvolvimento. Porém, práticas que antecedem à definição da fonte, como uma boa amostragem, correção do solo na época correta, manejo apropriado do solo e escolha de mudas de qualidades também devem ser levadas em consideração.

Conclusões

O fosfato natural reativo e o fosfato monoamônico foram as fontes que alcançaram os melhores índices de qualidade de Dickson;

O fosfato monoamônico e o fosfato natural reativo proporcionaram maior crescimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas, oferecendo maior resistência às mudas nos primeiros meses pós-plantio;

Para o plantio de mudas de café, recomenda-se, prioritariamente, o uso do fosfato natural reativo ou do fosfato monoamônico.

Referências

- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, I. D. F.; RIBEIRO, J., M.; FERNANDES, W. S. NONATO, J.J. Calagem e adubação fosfatada no cultivo rabanete em Latossolo Vermelho. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 78970-78986, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 ago. 2018. Seção 1, p. 19.
- CÂNDIDO, A. O. **Desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica sob fontes de fósforo**. 66 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo. 2013.
- CÂNDIDO, A. O.; TOMAZ, M. A.; SOUZA, A. L.; AMARAL, J. F. T.; RANGEL, O. J. P. Fertilizantes organominerais no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador - BA. **Anais...** Salvador: Consócio Pesquisa Café, 2013. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/consorcio/separador2/simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/549-anais-do-viii-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- CHAGAS, W. F. T.; GUELF, D. R.; CAPUTO, A. L. C.; DOMINGHETTI, A. W.; FAQUIN, V.; LOPES, R. M.; CHAGAS, R. M. R. Eficiência agrônômica do superfosfato triplo revestido por polímeros no crescimento inicial do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 426 - 434, 2016.
- CLIMA TEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Inconfidentes, BR**. 2025. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/2644/inconfidentes-mg>. Acesso em: 02 fev. 2025.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

EMBRAPA. **Potencial da estruvita como fertilizante de liberação lenta para o manejo sustentável de fósforo na agricultura brasileira**. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/221428/potencial-da-estruvita-como-fertilizante-de-liberacao-lenta-para-o-manejo-sustentavel-de-fosforo-na-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

FAEMG. **Produção de café em Minas Gerais: dados e estatísticas**. Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais. 2020. Disponível em: <<https://www.faemg.com.br/producao-de-cafe-em-minas-gerais-dados-e-estatisticas>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

FRANCO JÚNIOR, K. S.; DIAS, M. S.; RIBEIRO, V. M. Availability of phosphorus in the soil in weeks under different sources. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 10, e87131047154, 2024.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; VENEGAS, V. H. A.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. **Cafeeiro**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZAI, E.; FONSECA, E. P.; KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Academic Press, 2012. 649 p.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. Belo Horizonte, EPAMIG, 2004. 60 p. (Boletim Técnico, 72)

MELO, B.; MARCUZZO, K. V.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H. P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p. 315-321, 2005.

MOREIRA, D. A. C.; GONÇALVES, D. A. R. Influência de diferentes fontes de fósforo e tamanho do tolete no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum*). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 27, n. 2, p. 1-4, 2022.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 2022. 451p.

PINTO, F. A.; SOUZA, E. D.; PAULINO, H. B.; CURI, N.; CARNEIRO, M. A. C. P-sorption and desorption in savanna Brazilian soils as a support for phosphorus fertilizer management. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 6, p. 521–530, 2013.

R TEAM. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

RUDEK, A.; GARCIA, F. A. O.; PERES, F. S. B. Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 5-6, 2013.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa-MG: UFV, 2015. 316 p.

SANTINI, J. M. K.; BUZETTI, S.; PERIN, A.; CASTRO, C. F. S.; FURQUIM, L. C.; NUNEZ, D. N. C.; CABRAL, A. C. Dinâmica do fósforo em solos de alta fertilidade: fontes e doses fosfatadas em cultivo da cultura de soja no Cerrado. **Cientific@ - Multidisciplinary Journal**, v. 6, n. 2, 14–23, 2020.

SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 204p.

SILVA, J. **Novo fertilizante fosfatado aumenta a produtividade da soja**. EMBRAPA Instrumentação, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71692246/novo-fertilizante-fosfatado-aumenta-a-produtividade-da-soja>. Acesso em: 04 dez. 2024

SILVÉRIO, F. A. S.; PRADA NETO, I.; CANEDO, E. J.; PINHEIRO, L. M. Desenvolvimento inicial de cafeeiro em função de diferentes fontes de fósforo em condições de campo. **Cerrado Agrociências**, v. 10, número único, p. 58-65, 2019.

VALLE, S. F.; GIROTO, A. S.; REIS, H. P. G.; GUIMARÃES, G. G. F.; RIBEIRO, C. Synergy of phosphate-controlled release and sulfur oxidation in novel polysulfide composites for sustainable fertilization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 69, n. 8, p. 2392–2402, 2021.

VAZ, L. E. D.; SOUZA, C. H. E. Desenvolvimento inicial do cafeeiro submetido a diferentes fontes e doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia de liberação. **Revista Perquirere**, v. 2, n. 18, p. 49-58, 2021.