



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO *DEL-REI*
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
*CAMPUS SETE LAGOAS***

ISABELLA DE CÁSSIA BALDONI

**MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA**

Sete Lagoas - MG

2024

ISABELLA DE CÁSSIA BALDONI

**MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. José Carlos Moraes Rufini

Sete Lagoas - MG

2024

ISABELLA DE CÁSSIA BALDONI

**MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Sete Lagoas, 19 de fevereiro de 2024.

Banca avaliadora:

Dr. José Carlos Moraes Rufini, Orientador — UFSJ

Dr. Amilton Ferreira Silva — UFSJ

Dra. Ariana Elisei Vilela — Embrapa

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família, cujo apoio incondicional foi a luz que guiou meus passos durante essa jornada. Obrigado por compreenderem as noites dedicadas aos estudos, por encorajarem meus sonhos e por serem a base sólida que sustentou cada etapa deste caminho.

Ao meu orientador Prof. Rufini, meu profundo agradecimento por compartilhar seus conhecimentos, paciência e sabedoria. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, e cada conselho contribuiu significativamente para a minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também aos amigos que estiveram ao meu lado, proporcionando momentos de descontração e apoio mútuo. Além de me ajudar em todos os processos no desenvolvimento deste trabalho. Vocês foram a dose de ânimo necessária nos momentos desafiadores, tornando essa jornada mais leve e memorável.

À Universidade Federal de São João del-Rei, minha gratidão por oferecer um ambiente propício ao aprendizado, instigando meu pensamento crítico e incentivando a busca pelo conhecimento. Cada experiência vivida aqui contribuiu para a construção da profissional que me tornei.

Agradeço a Fundação Procafé por disponibilizar as sementes e a Embrapa Milho e Sorgo pela doação do inoculante, permitindo assim o desenvolvimento do experimento.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada palavra dita, cada conversa e cada gesto de apoio foram essenciais para o alcance deste marco em minha trajetória acadêmica.

Este trabalho não é apenas uma conclusão de curso, mas um reflexo de um esforço coletivo, de laços fortalecidos e de um comprometimento mútuo com o conhecimento. Que esta expressão de gratidão seja tão calorosa quanto o apoio que recebi ao longo dessa jornada.

Obrigado a todos que fizeram parte desta caminhada!

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 08 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 13 |
| 4 CONCLUSÃO | 19 |
| 5 AGRADECIMENTOS | 20 |
| 6 REFERÊNCIAS | 20 |

RESUMO

A cafeicultura brasileira lidera a produção mundial de grãos, o que impulsiona o mercado de mudas, fundamentais para a implantação de lavouras. A qualidade das mudas é essencial para o sucesso dos cafezais. Nesta fase inicial, a deficiência de fósforo pode impactar o desenvolvimento das plantas. A gestão integrada de fertilizantes, com o uso de microrganismos solubilizadores de fósforo, mostra-se promissora, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos. Além disso, a saturação de bases do solo é importante para a saúde das plantas, influenciando seu crescimento. Com isso, objetivou-se no presente trabalho avaliar o efeito da saturação de bases e de bactérias solubilizadoras de fósforo na produção de mudas de café arábica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial (2x5), sendo o solo com saturação de bases elevada a 70 e 100% e cinco doses (0, 3, 6, 9, 12 mL/L) de inoculante contendo cepas de bactérias solubilizadoras de fósforo, com quatro repetições e cinco plantas por parcela. Após 136 dias da semeadura foram avaliadas as características de desenvolvimento das plantas, incluindo a análise da relação entre a parte aérea e diâmetro do coleto, relação da matéria seca da parte aérea e da raiz, juntamente com o cálculo do Índice de Qualidade de Dickson. Sendo possível observar que a utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo apresenta eficiência para otimizar a absorção do nutriente na produção de mudas, sendo a dose de 12 mL/L a que contribuiu com o maior comprimento da raiz, altura da parte aérea, diâmetro do coleto, comprimento total da planta e com o Índice de Qualidade de Dickson. A saturação de bases a 70% foi mais eficaz sobre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto de mudas de café arábica.

Palavras-chave: solubilizador de fosfato; inoculação; bactéria; coffea arabica.

ABSTRACT

Brazilian coffee farming leads the world in grain production, which boosts the market for seedlings, which are essential for the establishment of crops. The quality of the seedlings is essential for the success of coffee plantations. At this early stage, phosphorus deficiency can impact plant development. Integrated fertilizer management, with the use of phosphorus-solubilizing microorganisms, shows promise, reducing dependence on synthetic fertilizers. Furthermore, soil base saturation is important for plant health, influencing their growth. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of base saturation and phosphorus-solubilizing bacteria on the production of Arabica coffee seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse, in a randomized block design, in a factorial scheme (2x5), with the soil having base saturation raised to 70 and 100% and five doses (0, 3, 6, 9, 12 mL/ L) of inoculant containing strains of phosphorus-solubilizing bacteria, with four replications and five plants per plot. After 136 days of sowing, the development characteristics of the plants were evaluated, including the analysis of the relationship between the aerial part and stem diameter, the dry matter ratio of the aerial part and the root, together with the calculation of the Dickson Quality Index. It is possible to observe that the use of phosphorus-solubilizing microorganisms is efficient in optimizing the absorption of the nutrient in the production of seedlings, with the dose of 12 mL/L being the one that contributed to the greatest root length, height of the aerial part, diameter of the stem. , total plant length and the Dickson Quality Index. Base saturation at 70% was more effective on the height of the aerial part and the diameter of the collection of Arabica coffee seedlings.

Keywords: phosphate solubilizer; inoculation; bacterium; coffea arabica.

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura no Brasil desempenhou um papel relevante no crescimento econômico ao longo de sua história, contribuindo para que o país se destacasse como o maior produtor de grãos do mundo. A área total de plantio no território brasileiro, teve aumento de 1,7% em relação à safra anterior, tendo aproximadamente 2,25 milhões de hectares plantados (CONAB, 2023). O comportamento histórico da cultura, juntamente com o contínuo aumento do valor de mercado da saca de café, impulsionam o mercado de mudas, devido ao crescimento das áreas de cultivo e a produtividade da cultura.

As mudas de *Coffea arabica* são geralmente produzidas em viveiros comerciais. As sementes utilizadas na produção de mudas, oferecem vantagens como a facilidade no plantio, crescimento radicular em profundidade e a redução nos valores de implantação da cultura. O café sendo uma cultura perene, necessita de mudas de qualidade que se desenvolvam adequadamente, tendo papel essencial na formação e no sucesso de um cafezal.

Um dos fatores que afetam o desenvolvimento do cafeeiro é a qualidade da muda, que pode ser influenciada pelo volume do recipiente, substrato utilizado e pela disponibilidade de água (Fernandes et al., 2019). Os nutrientes a serem fornecidos às mudas devem ser disponibilizados de acordo com a necessidade das mesmas, durante o período necessário para sua formação. A aplicação de adubações, não apenas é fundamental para o desenvolvimento saudável das mudas, mas também desempenha papel significativo na aceleração do crescimento, resultando na diminuição dos custos de produção (Oliveira et al., 2017).

Outro fator importante, no qual leva em consideração a fertilidade e saúde do solo, é a saturação de bases. Níveis adequados de saturação de bases garantem a disponibilidade de cátions essenciais, como cálcio, magnésio e potássio, para as raízes das plantas. Isso promove um ambiente propício para o crescimento contínuo e saudável das plantas, além de contribuir para a neutralização da acidez do solo e a retenção de água, como descrito por Kaminski et al. (2005).

Na produção de mudas de café, é comum empregar solo de barranco, caracterizado por seu baixo pH, saturação por bases e teor elevado de alumínio. A aplicação de calcário surge como uma alternativa viável para aprimorar a qualidade das

mudas. Esta prática beneficia as propriedades físicas de alguns solos, neutraliza a presença prejudicial de alumínio e manganês para as plantas, eleva os níveis de cálcio e magnésio, amplia a disponibilidade de fósforo e molibdênio, além de estimular a atividade da microbiota do solo (RONQUIM, 2010).

No café, a deficiência de fósforo provoca distúrbios imediatos no metabolismo e desenvolvimento das plantas, principalmente na fase de mudas, que apresentam sistema radicular pouco desenvolvido. A proporção de fósforo disponível no solo em relação ao recomendado, pode refletir em melhor desenvolvimento das plantas. Estima-se que cerca de 70% do fósforo aplicado via fertilizantes minerais ou orgânicos permanece acumulado no solo em formas pouco acessíveis às plantas (Pavinato et al., 2020).

Uma estratégia para a gestão integrada de fertilizantes se concentra na otimização da absorção e liberação de fósforo no solo, por meio da utilização de microrganismos que estimulam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, facilitando a disponibilização de formas solúveis desses nutrientes (Silva et al., 2022). Os microrganismos interagem, estimulando o crescimento, fornecendo nutrientes, protegendo contra patógenos e ajudando na tolerância à salinidade e à seca (FAO, 2021).

Os inoculantes produzidos a partir desses microrganismos são benéficos para o meio ambiente. Além de possuírem um custo acessível, também podem ser utilizados de forma complementar aos fertilizantes químicos sintéticos. Estudos têm demonstrado que o uso de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fósforo resulta em aumento significativo da disponibilidade de fósforo (P) e da absorção desse nutriente pelas plantas (Oliveira et al., 2019). Esses microrganismos do solo podem agir diretamente na solubilização do fósforo ou na liberação de fosfatos solúveis por meio de sua ação quelante sobre cátions (Gomes et al., 2018).

Nos últimos anos tem-se intensificado o uso de microrganismos solubilizadores de nutrientes, em especial o P e o N. Sendo notadamente as cepas de bactérias *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119). No qual, promove a eficiência na absorção de fósforo pelas plantas por meio da ação de microrganismos, dessa forma sendo possível reduzir a necessidade de doses mais elevadas de fertilizantes. Mehta e Nautiyal (2001), obteve aumento de até 30% na absorção de P por plantas de trigo inoculadas com *Bacillus subtilis*. Essa prática, culmina em uma

diminuição do consumo de energia associado à produção e ao transporte desses insumos.

A utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo, tem se mostrado uma alternativa promissora, pois são capazes de estimular o crescimento vegetal em diferentes estágios de desenvolvimento por meio de mecanismos diretos. A adoção dessa tecnologia na produção de mudas é essencial para promover a sustentabilidade, além de aumentar a produtividade.

Com isso, objetivou-se no presente trabalho avaliar o efeito da saturação de bases e de bactérias solubilizadoras de fósforo na produção de mudas de café arábica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área do viveiro de mudas da Universidade Federal de São João del-Rei - *campus* Sete Lagoas (UFSJ - CSL), na cidade de Sete Lagoas, localizada na região central de Minas Gerais, com altitude média de 776 m, latitude -19° 28' 33" e altitude -44° 11' 44". A região tem temperatura média de 22,1°C e precipitação média anual de 1340 mm. O clima, segundo Köppen, é do tipo AW, tropical estacional de savana, inverno seco.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), disposto em esquema fatorial 2x5, sendo dois tipos de calagem (saturação de base a 100% e 70%) e cinco doses de inoculante (0, 3, 6, 9, 12 mL/L), com cinco plantas por parcela experimental e quatro repetições, totalizando 400 plantas no experimento.

Realizou-se a análise de solo (Tabela 1) previamente, para calcular a necessidade de aplicação de calcário. O solo utilizado para a composição do substrato foi o Latossolos vermelho, corrigido com calcário dolomítico com PRNT 85%, 30 dias antes do preparo do substrato. Dessa forma, o solo foi peneirado e colocado em cima de uma lona, para evitar contato direto com o chão. No solo 1, foram adicionados 273,6 g de calcário para elevar a saturação de bases a 100%. No solo 2, adicionou-se 123g, necessário para elevar a saturação a 70%. Após a adição, misturou-se e umedeceu o solo, mantendo o mesmo sempre úmido para completa ação do calcário.

Tabela 1 — Resultado da análise física do solo, utilizado na preparação do substrato.

| pH | P | P-rem | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+ Al | C.O | Areia | Argila | Silte |
|------|--------------------|-------|----------------|---------------------|------------------|------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | mg/dm ³ | | | cmc/dm ³ | | | | dag/kg | | % | |
| 5,24 | 0,05 | 8,52 | 53,91 | 1,75 | 0,19 | 1,45 | 4 | 1,29 | 7,54 | 69,43 | 23,03 |

O inoculante comercial contendo microorganismos solubilizadores de fósforo utilizado foi o BiomaPhos®, um inoculante líquido, criado pela Embrapa em parceria com a empresa Bioma. Em sua composição possui cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119), sendo as doses inoculadas via semente. O plantio foi realizado no dia 11 de setembro de 2023.

Para a formação das mudas foram utilizadas sementes de café arábica, Catuaí Amarelo IAC-62, produzidas e comercializadas pela Fundação Procafé. As mudas foram acondicionadas em saquinhos de polietileno de 20 cm de altura por 10 cm de diâmetro. O substrato obtido seguindo a recomendação da Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais (CFSEMG - 1999), utilizando para cada m³ de substrato, a quantidade de 700 litros de solo, 300 litros de esterco de curral, adicionando 3,0 a 5,0 kg de superfosfato simples e 0,3 kg de cloreto de potássio. Nesse experimento, para cada fator solo, foram utilizados a quantidade de substrato descrito na tabela 2. Ademais, foi adicionado 5 litros de areia, pois o CFSEMG recomenda adição de 10 a 20% de areia grossa para solos com teor de argila acima de 60%.

Tabela 2: Resumo das proporções utilizadas de calcário, solo, esterco de curral, areia, KCl e Yoorin, para o preparo de substrato utilizado na produção das mudas.

| Saturação de Bases | Calcário dolomítico | Solo | Esterco de Curral | Areia | KCl | Yoorin |
|--------------------|---------------------|-------|-------------------|-------|-----|--------|
| % | gr | L | | | gr | |
| SB 100% | 273,6 | 55,25 | 16,5 | 5,5 | 56 | 280 |
| SB 70% | 123 | | | | | |

Proporção de substrato seguindo as recomendações do Conselho de Fertilidade do Estado de Minas Gerais, visando a quantidade necessária para completar os saquinhos utilizados no experimento.

Os saquinhos contendo substrato foram acomodados em canteiro, dentro do viveiro coberto por sombrite, com abertura de malha proporcionando 50% de sombra. Retirou-se o tegumento das sementes de forma manual, após as sementes foram

colocadas dentro de saquinhos plásticos, contendo o número necessário de cada tratamento. A inoculação das sementes foi realizada em capela de fluxo laminar, adicionando em cada saquinho o volume de BiomaPhos® correspondente a cada tratamento. Em seguida, os saquinhos foram agitados para completa homogeneização e as sementes foram depositadas sobre papel toalha para secagem. Semeou-se duas sementes em cada recipiente a 0,5 cm de profundidade, adicionando uma camada de vermiculita, para manter a umidade do substrato. A irrigação foi realizada através de sistema de aspersão fixos e turnos de rega diários, de forma a manter todos os substratos na capacidade de campo.

Após a germinação, quando as folhas cotiledonares alcançaram o tamanho máximo, denominado “orelha de onça”, foi realizado o desbaste, mantendo apenas as plantas mais vigorosas. Levando em consideração a qualidade do substrato e para analisar a eficiência das bactérias, não foi realizado adubação de cobertura. No tempo de viveiro, as mudas se desenvolveram apenas com os nutrientes disponibilizados no preparo do substrato.

A avaliação do crescimento vegetativo das mudas, foi realizado 136 dias após a semeadura, através da determinação das seguintes características: comprimento total das plantas (CTP), expresso em cm, medido do ápice da planta até o final da maior raiz, com régua milimetrada; comprimento da maior raiz (CR), expressa em cm, medido com régua milimetrada, da altura do coleto da planta até o final da maior raiz; altura da parte aérea (APA), expressa em cm, medida com régua milimetrada, a partir do coleto até a gema apical; diâmetro do coleto (DC), expresso em mm, medido com paquímetro analógico; número de folhas por planta (NF); matéria seca da parte aérea (MSA), a matéria seca das raízes (MSR) e a matéria seca total (MST) - obtida somando MSA e MSR - expressas em gramas e determinadas em uma estufa de circulação forçada a 75°C, por 72 horas, até atingirem peso constante. A partir dessas medidas, foi possível calcular as seguintes variáveis de qualidade: a relação entre a altura da planta e o diâmetro do colo (RAD); a relação entre a parte aérea e as raízes (RPAR), obtida a partir da relação entre MSA e MSR; o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), calculado pela fórmula
$$IQD = \frac{\text{matéria seca total}}{(\text{RAD} + \text{RPAR})}$$
 (DICKSON et al., 1960).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). O teste de Tukey foi utilizado para comparações

múltiplas entre as médias dos grupos, também com nível de significância de 5%. A análise de regressão foi realizada para verificar a relação entre as variáveis, com o auxílio do programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelaram a ausência de interação entre os fatores, saturação de bases (SB) e doses de bactérias solubilizadoras de fósforo, a 5% de probabilidade, para todas as variáveis avaliadas (Tabela 3). Isso indica que os fatores atuam de forma independente sobre essas características.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância (quadrado médio) referente à altura da parte aérea (APA), comprimento da raiz (CR), comprimento total da planta (CTP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) na produção de mudas de café arábica.

| FV | GL | APA | CR | CTP | DC | NF | MSA | MSR | MST |
|-----------|----|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Bloco | 3 | 11,071 ** | 11,027 ** | 50,110 ** | 0,263 ** | 1,195 ** | 2,293 * | 0,152 ns | 2,886 ns |
| SB | 1 | 10,691 * | 5,184 ns | 2,440 ns | 0,800 ** | 0,009 ns | 0,002 ns | 0,234 ns | 0,186 ns |
| Dose | 4 | 6,326 ** | 6,069 * | 21,646 ** | 0,272 ** | 0,451 ns | 0,310 ns | 0,213 ns | 0,904 ns |
| Dose x SB | 4 | 0,334ns | 0,344 ns | 1,264 ns | 0,027 ns | 0,351 ns | 0,121 ns | 0,076 ns | 0,305 ns |
| Resíduo | 27 | 1,470 | 1,572 | 2,729 | 0,019 | 0,196 | 0,738 | 0,146 | 1,230 |
| CV | | 8,23 | 6,66 | 4,93 | 6,15 | 5,59 | 19,12 | 20,08 | 17,34 |

SB: Soma de bases; CV%: Coeficiente de variação; *: Houve diferença significativa, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade; **: Houve diferença significativa entre as médias, do tratamento, pelo teste F, a um nível de significância de 1%; ns: Não foi observada diferença significativa entre as médias dos tratamentos, pelo teste F, com nível de significância de 5%.

Para a soma de bases foi detectada diferença significativa nas variáveis altura da parte aérea e diâmetro do coleto (Tabela 4). As médias mais elevadas foram registradas no solo corrigido com calcário para elevar a saturação de bases a 70%. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que a aplicação de calcário em doses superiores às recomendadas eleva o pH além do necessário, resultando na indisponibilidade de alguns nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Esse desequilíbrio contribui para um atraso no crescimento, tanto aéreo quanto radicular. Além de reduzir a

eficiência na utilização da água e na absorção de nutrientes, impactando negativamente no ganho de massa das plantas (SOUZA et al., 2007).

Tabela 4 – Médias referentes à altura da parte aérea (APA), comprimento da raiz (CR), comprimento total da planta (CTP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) na produção de mudas de café arábica em função da saturação por bases do solo.

| SB | Variáveis | | | | | | | |
|------|-----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | APA | CR | CTP | DC | NF | MSA | MSR | MST |
| 100% | 14,21 a | 19,19 a | 33,23 a | 2,12 a | 7,95 a | 4,50 a | 1,82 a | 6,32 a |
| 70% | 15,25 b | 18,47 a | 33,72 a | 2,40 b | 7,92 a | 4,48 a | 1,98 a | 6,46 a |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste F, a 5 % de probabilidade.

A análise prévia do solo revelou uma deficiência de fósforo, que foi suplementado com termofosfato Yoorin. Entretanto, quando o termofosfato é aplicado em solos com pH próximo de 7,0, há uma tendência de não ser prontamente disponibilizado para as plantas, ficando retido nos coloides do solo. O fósforo desempenha um papel crucial no desenvolvimento inicial das plantas, e sua ausência pode resultar em uma redução significativa no crescimento vegetal.

A análise de regressão foi realizada para avaliar as diferentes doses aplicadas nos tratamentos. Com isso observou que as variáveis comprimento da raiz, altura da parte aérea, comprimento total da planta e diâmetro do coleto, demonstraram responder ao modelo de regressão linear. Indicando que a concentração mais elevada do inoculante, teve impacto positivo nos tamanhos das mudas, aumentando progressivamente a medida das doses de bactérias solubilizadoras de fósforo.

O comprimento da raiz (Figura 1) demonstrou resultados superiores na maior dose do inoculante, aumentando aproximadamente 20% em relação à testemunha. Isso pode ser explicado pelo fato que as bactérias atuam no metabolismo das plantas, produzindo fitormônios, como as auxinas e giberelinas, que atuam no crescimento e desenvolvimento das plantas. Conforme apontado por Nibau et al. (2008), o aumento no desenvolvimento das raízes laterais pode exercer uma influência significativa na produção, uma vez que favorece uma adaptação mais eficaz das plantas às condições

desfavoráveis do solo, além de promover um aumento na absorção de nutrientes. Segundo Nakagawa (1999), a análise do comprimento da radícula serve como um indicativo, uma vez que os lotes de sementes que apresentam uma rápida emissão de radícula e hipocótilo são considerados mais robustos e adaptados a condições de estresse ambiental, proporcionando uma maior probabilidade de sobrevivência no ambiente de cultivo.

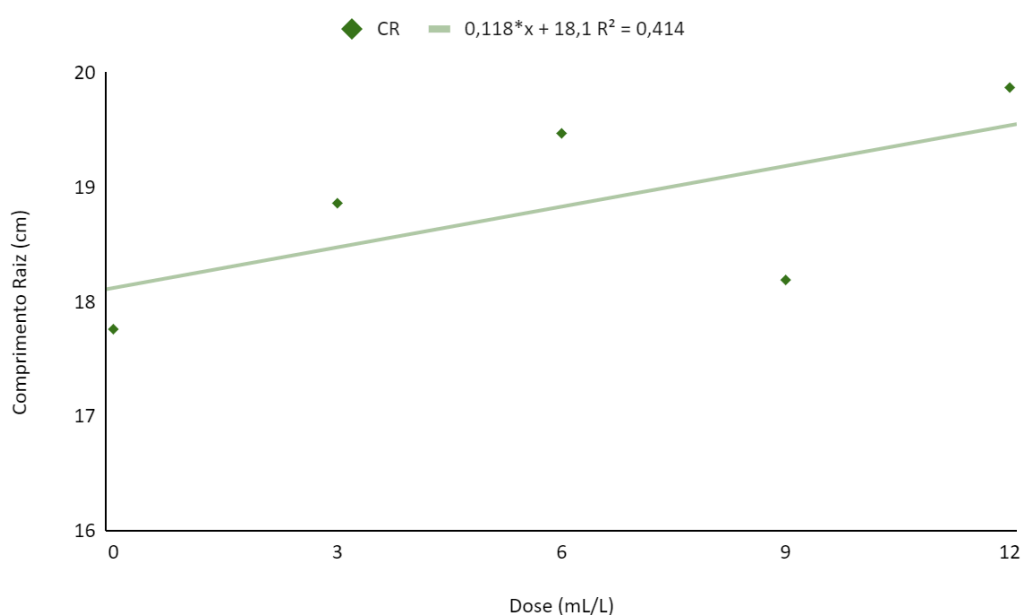


Figura 1 – Comprimento da raiz em função das doses de bactérias solubilizadoras de fósforo em mudas de café arábica.

O ajuste mais eficaz para a altura da parte aérea foi obtido por meio do modelo quadrático (Figura 2). Silva et al. (2022) analisando o efeito de *Bacillus* no crescimento inicial de melancias, obtiveram efeito positivo no aumento do diâmetro do caule das plantas. Isso sugere que a aplicação de inoculantes contendo cepas de bactérias, pode desempenhar um papel benéfico no desenvolvimento inicial das mudas. Oliveira et al. (2016), constataram a eficácia da inoculação de sementes de feijão, tendo aumento no crescimento das plantas. A análise da altura da parte aérea e do diâmetro do coleto (Figura 3), corroboram com os resultados obtidos por outros autores que destacaram que a inoculação promoveu aumento no tamanho da planta e no diâmetro do caule.

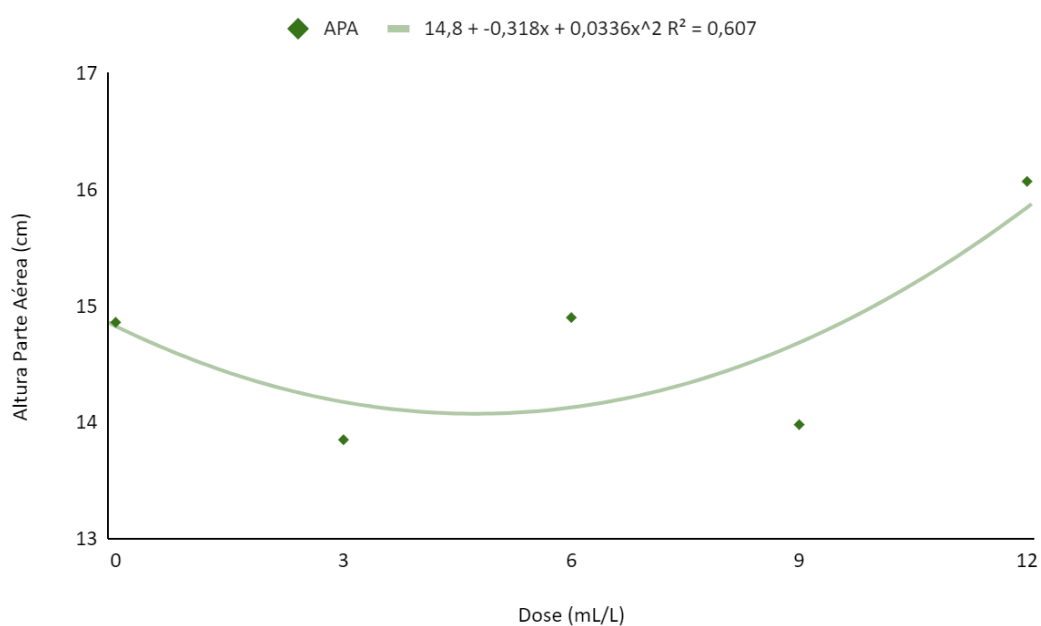


Figura 2 – Comprimento da parte aérea em função das doses de bactérias solubilizadoras de fósforo em mudas de café arábica.

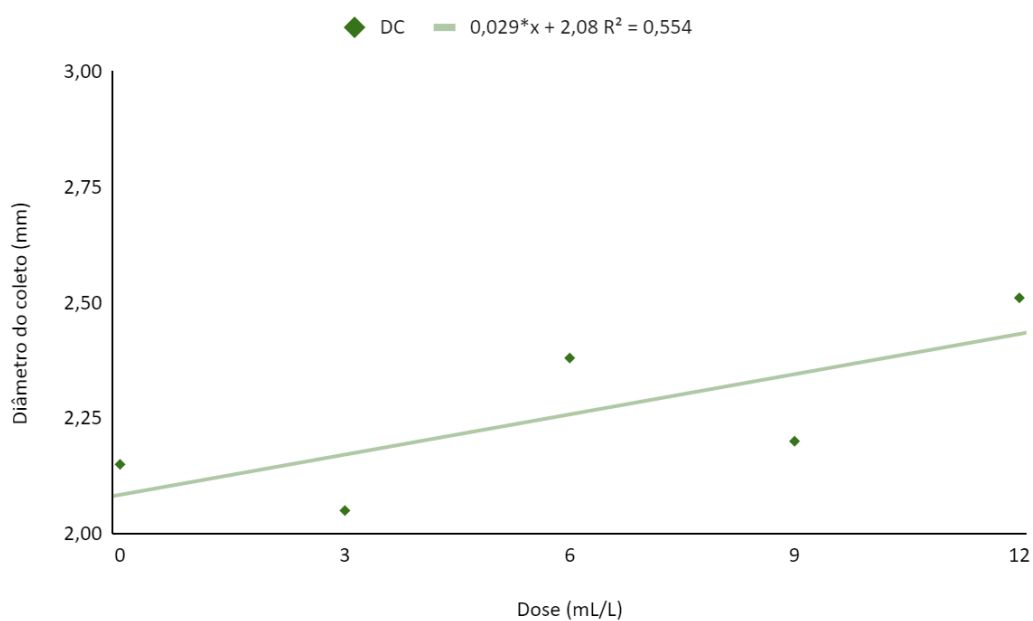


Figura 3 – Diâmetro do coleto em função das doses de bactérias solubilizadoras de fósforo em mudas de café arábica.

O comprimento total da planta (Figura 4) foi favorecido em até 4 cm em relação ao tratamento que não houve inoculação, demonstrando efeito benéfico das doses contendo as cepas de bactérias. Seguindo as mesmas diferenças significativas, pelo teste

F, das outras variáveis descritas anteriormente. Essa resposta positiva corrobora com os resultados alcançados por Oliveira et al. (2019), que observaram um aumento de 3,5 cm no comprimento de plantas de milho inoculadas com bactérias solubilizadoras de fósforo (BSF). Similarmente, Sharma et al. (2020) relataram um aumento de 5 cm no comprimento de plantas de tomate inoculadas com BSF. Esses resultados demonstram o potencial das bactérias em promover o crescimento das plantas.

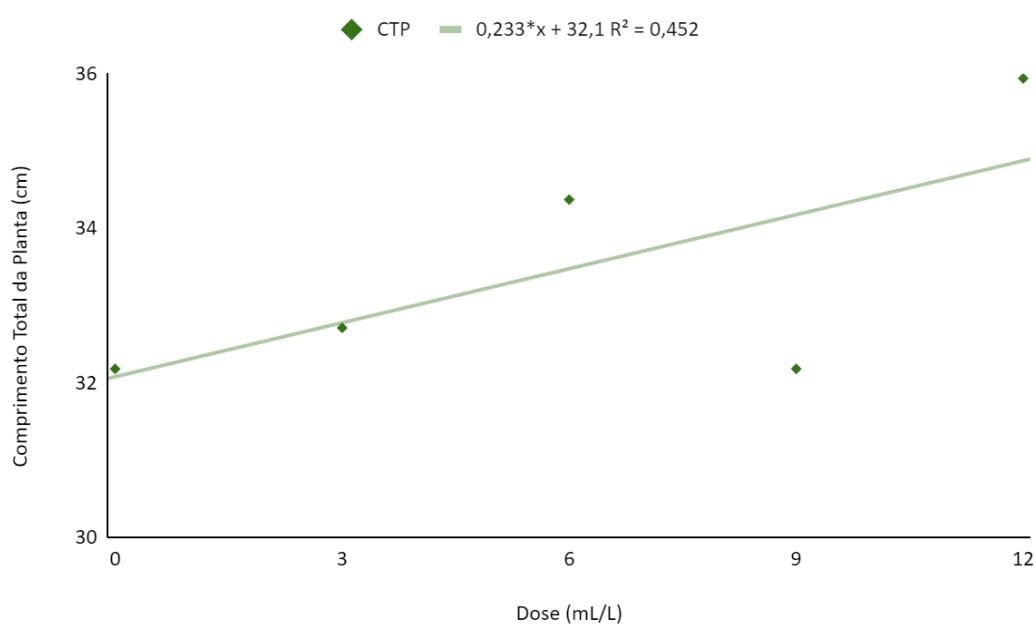


Figura 4 – Comprimento total da planta em função das doses de bactérias solubilizadoras de fósforo em mudas de café arábica.

O número de folhas (NF) não obteve diferença estatística, independentemente do tratamento empregado. O período propício para a realização do transplante das mudas no campo ocorre quando estas atingem aproximadamente 10 folhas verdadeiras, equivalentes a 5 pares. Assim, possibilitando que as mudas se ajustem às condições do ambiente externo, resultando em uma taxa de estabelecimento mais elevada. Na literatura, encontram-se alguns trabalhos relatando que com 180 dias após a semeadura, as mudas se encontravam com a mesma quantidade de folhas que encontrou-se neste experimento, com apenas 130 dias. Dessa forma obtendo resultado positivo, quando analisado o tempo gasto na ocupação das mudas dentro do viveiro até ao campo.

De acordo com a opinião de Matiello et al. (2005), a adubação do viveiro é dispensável, desde que seja utilizado um substrato de qualidade e que as mudas apresentem um bom desenvolvimento. Não é necessário acelerar o crescimento por meio de adubações suplementares, pois o ideal é manter um equilíbrio adequado entre a parte aérea e o sistema radicular das mudas. Essa abordagem sustenta a importância de garantir boas condições iniciais para as mudas, favorecendo seu desempenho ao longo do processo de estabelecimento no campo.

A relação entre a parte aérea e o diâmetro do coleto (RAD) não apresentou diferenças significativas, conforme demonstrado na Tabela 5. As médias oscilaram de 6,12 a 6,66 no solo com saturação de base 100% e de 6,40 a 7,28 no solo com SB 70%. Ao analisar a variável que correlaciona a matéria seca da parte aérea com a raiz (RPAR), observa-se que as médias seguem os mesmos padrões identificados na RAD, variando de 2,16 a 2,75. Marana et al (2008), ressaltaram que valores de RPAR inferiores a 4,7 indicam um desenvolvimento inadequado da parte aérea da muda, enquanto que, acima de 7,0, sugere-se que o crescimento do sistema radicular se apresenta, aparentemente, insuficiente.

Tabela 5 – Médias referentes à parte aérea sobre o diâmetro do coleto (RAD), relação da matéria seca da parte aérea com a raiz (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) na produção de mudas de café arábica, em função das doses.

| Saturação de bases | Doses | RAD | RPAR | IQD |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|
| SB 100% | 0 | 7,18 a | 2,75 a | 0,59 a |
| | 3 | 7,28 a | 2,68 a | 0,63 a |
| | 6 | 6,47 a | 2,55 a | 0,72 a |
| | 9 | 6,48 a | 2,52 a | 0,72 a |
| | 12 | 6,39 a | 2,25 a | 0,77 a |
| SB 70% | 0 | 6,65 a | 2,28 a | 0,71 a |
| | 3 | 6,35 a | 2,15 a | 0,70 a |
| | 6 | 6,12 a | 2,22 a | 0,79 a |
| | 9 | 6,23 a | 2,70 a | 0,69 a |
| | 12 | 6,36 a | 2,17 a | 0,83 a |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste F, a 5 % de probabilidade.

O índice de qualidade de Dickson (IQD), não teve diferença significativa entre os tratamentos. Mas foi possível observar um incremento no valor de acordo com o aumento nas doses do inoculante (Tabela 5). As médias variaram entre 0,59 a 0,77 na SB 100%, tendo uma elevação de 0,18 em relação à dose de 12 mL/L a testemunha. E na SB 70%, aumentou 0,12 quando comparado a maior dose inoculada com aquela sem inoculação, onde as médias variaram de 0,71 a 0,83. Marana et al. (2008) definiram os valores médios para mudas de café arábica, sendo 0,21. Já Silva et al. (2011), ao avaliar mudas de café arábica, encontraram um valor de 0,62 para o IQD, valor aproximado ao encontrado neste trabalho.

Conforme destacado por Carneiro (1995), a análise da qualidade das mudas comumente fundamenta-se em atributos como altura e diâmetro do colo. De maneira geral, mudas com um diâmetro mais substancial indicam uma maior capacidade de emitir novas raízes (LELES et al., 2001; NOVAES et al., 2002), o que se traduz em uma taxa inicial de sobrevivência mais elevada no campo (BARROSO et al., 2000; NOVAES et al., 2001). Ademais, Samôr (2003) emprega o parâmetro da RPAR, como indicador de qualidade, destacando que quanto maior a relação entre a matéria seca da parte aérea e da raiz, melhor é a qualidade da muda.

Ao analisar as distintas doses de fosfato, Sardinha (2019) observou que a média do índice de qualidade, considerando a mesma quantidade de pares de folhas presente neste estudo, foi significativamente inferior em comparação com as descritas na literatura. Essa constatação justifica a ausência de diferença significativa nos tratamentos avaliados, embora tenham sido obtidos resultados substancialmente superiores aos reportados na literatura.

CONCLUSÃO

A utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo, especialmente na dose de 12 mL/L, revelou-se eficaz na promoção do crescimento das mudas, enquanto a saturação de bases a 70% mostrou-se benéfica para características específicas das mudas de café arábica.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial (PET) e ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) por contribuir para o fortalecimento e promoção da excelência acadêmica, proporcionando oportunidades valiosas aos estudantes e colaborando para o avanço da educação em nosso país.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J. F. T., MARTINEZ, H. E. P., LAVIOLA, B. G., FERNANDES FILHO, E. I., CRUZ, C. D., 2011. **Eficiência na utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro.** Ciência do Solo • Ciência Rural, v.41, n.4, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000027>

ALVES, V. M. C. et al. 2008. **Efeito da calagem e do gesso na absorção de nutrientes por mudas de café arábica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, p. 591-600, 2008.

BARROSO, D.G.; CARNEIRO, J.G. A.; LELES, P.S.S. 2000. **Qualidade de mudas de Eucalyptus camaldulencis e E. urophylla produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes substratos.** Floresta e Ambiente, v. 7, n. 1, p. 238-250, 2000.

CARNEIRO, J. G. A. 1995. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CISNEROS-ROJAS, C. A.; SANCHEZ, M. P.; MENJIVAR-FLORES, J. C.. 2017. **Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café.** Agron. Mesoam [online]. 2017, vol.28, n.1, pp.149-158. ISSN 2215-3608. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB – **Primeiro levantamento da safra 2023 de café indica uma produção de 54,94 milhões de sacas.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4890-primeiro-levantamento-da-safra-2023-de-cafe-indica-uma-producao-de-54-94-milhoes-de-sacas> Acesso em: 23/10/2023.

DICKSON, A., LEAF, A. L., HOSNER, J. F., 1960. **Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries.** The Forestry Chronicle V. 36, n.1, pag. 10-13, 1960.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. **Microbial inoculants for sustainable agriculture.** Rome, Italy: FAO.

FAVARIN, J. L., DOURADO NETO, D., GARCIA Y GARCIA, A., VILLA NOVA, N. A., FAVARIN, M. G. G. V., 2002. **Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 37, no. 6, pp. 769-773. 2002

FERNANDES, A. et al. 2019. **Factors affecting the development of coffee arabica seedlings.** Scientia Agricola, 76(5), 701-710.

FERRARO, A. C., FRANÇA, A. C., MACHADO, C. M. M., AGUIAR, F. R., OLIVEIRA, L. L., BRAGA NETO, A. M., OLIVEIRA, R. G.. 2023. **Commercial characteristics of coffee seedlings produced with different sources of phosphorus and plant growth-promoting bacteria.** Original Article • Braz. J. Biol. 83 • 2023
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.270262>

KAMINSKI, J., DA SILVA, A. C. 2005. **Influência da saturação por bases no crescimento inicial de mudas de café.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29(4), 627-634. doi: 10.1590/S0100-06832005000400011

LELES, P.S. et al. 2000. **Qualidade de mudas de Eucalyptus spp. produzidas em blocos prensados e em tubetes.** Revista Árvore, v. 24, n. 1, p. 13-20, 2000.

LIMA, J. C. de et al. 2013. **Crescimento e desenvolvimento de mudas de café arábica em função da adubação fosfatada e do pH do solo.** Ciência e Agrotecnologia, v. 37, n. 5, p. 721-728, 2013.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P.; KAINUMA, R. H. 2008. **Índices de qualidade e crescimento demudas de café produzidas em tubetes.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 1, 2008.

MEHTA, S., e NAUTIYAL, C. S. 2001. **Um método eficiente para triagem qualitativa de bactérias solubilizadoras de fosfato.** Microbiologia Atual 43, no. 1 (2001): 51-56. doi:10.1007/s002840010259.

NAKAGAWA, J. 1999. **Testes de Vigor Baseados no Desempenho das Plântulas**. In F. C. Krzyzanowski, R. D. Vieira, J. B. França Neto (Eds.), *Vigor de sementes: conceitos e testes*(pp. 210-224). Londrina: Abrates

OLIVEIRA, A. C., ALVES, V. M. C., MARINHO, C. S., SILVA, E. B., & PAIVA, E. N. 2019. **Solubilization of phosphate and growth promotion of maize plants by bacteria isolated from the Amazon rainforest**. *Scientia Agricola*, 76(6), 742-749.

OLIVEIRA, A. et al. 2017. **Effect of fertilization on the growth of coffee arabica seedlings**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41(6), 1-10.

OLIVEIRA, A. et al. 2019. **Effect of phosphorus solubilizing bacteria on growth and phosphorus uptake of maize plants**. *Scientia Agricola*, 76(5), 711-718.

OLIVEIRA, A. C. de et al. 2014. **Produção e acúmulo de matéria seca em mudas de café arábica irrigado com diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 314-321, 2014.

PAIVA, C. A. O., ALVES, V. M. C., GOMES, E. A., SOUSA, S. M., LANA, U. G. P., MARRIEL, I. E., 2022. **Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja**. *Embrapa Milho e Sorgo*. p. 163-179. 2022.

PAVINATO, P. S., CHERUBIN, M. R., SOLTANGHEISI, A., ROCHA, G. C., CHADWICK, D. R., JONES, D. L., 2020. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil**. [Scientific Reports](https://doi.org/10.1038/s41598-020-15615-0) 10, Art. 15615, 2020.

RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ, V. V. H., 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

ROJAS, C. A. C., PRAGER, M. S., FLORES, J. C. M., 2017. **Effect of phosphate solubilizing bacteria on the development of coffee seedlings**. *Agronomía Mesoamericana* vol.28 n.1. 2017 <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>

RONQUIM, C. C. 2010. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa, Campinas, 2010.

SAMÔR, R. C. 2003. **Qualidade de mudas de Eucalyptus spp. avaliada por métodos biométricos e fisiológicos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

SARDINHA, L. T., 2019. **Fontes de fósforo no crescimento e fisiologia de mudas de café arábica**. Diamantina: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 60 p. 2019.

SCHMILDT, E. R., AMARAL, J. A. T., SANTOS, J. S., SCHMILDT, O., 2015. **Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (Coffea canephora)**. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 4, p. 740-748, 2015.

SHARMA, S. B., SHARMA, A., & KUMAR, V. 2020. **Phosphate solubilizing bacteria: Potential biofertilizers for sustainable agriculture**. In Phosphate solubilizing microorganisms (pp. 1-20). Springer, Singapore.

SILVA, A. et al. 2022. **Microbial inoculants for enhancing phosphorus uptake by plants: A review**. Applied Microbiology and Biotechnology, 106(12), 5311-5325.

SILVA, J. A. da et al. 2011. **Crescimento inicial de mudas de café arábica em função da adubação potássica e do pH do solo**. Ciência e Agrotecnologia, v. 38, n. 6, p. 835-842, 2011.

SILVA, K. R.C. et al. 2022. **Bacillus subtilis e Bacillus megaterium no crescimento inicial de melancia 'Sugar Baby'**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 13, pág. e96111335034, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35031.

SMITH, J. & Jones, R. 2023. **The importance of phosphorus uptake and release in soil for sustainable agriculture**. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 156(2), 201-210.