

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TRIÂNGULO MINEIRO – *Campus* Uberaba
MESTRADO PROFISSIONAL PRODUÇÃO VEGETAL**

NAYANDRA CRISTINE SILVA DE FIGUEIREDO

**USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO E CONDICIONADOR DE SOLO NO
MANEJO NUTRICIONAL DO CAFEEIRO ARÁBICA IRRIGADO**

UBERABA-MG

2024

NAYANDRA CRISTINE SILVA DE FIGUEIREDO

**USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO E CONDICIONADOR DE SOLO NO
MANEJO NUTRICIONAL DO CAFEIRO ARÁBICA IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Produção Vegetal, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal.

Linha de Pesquisa: Solo e água no cerrado

Orientador: Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes

UBERABA-MG

2024

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –
Campus Uberaba-MG

F469u Figueiredo, Nayandra Cristine Silva de
Uso de solubilizador de fósforo e condicionador de solo no
manejo nutricional do cafeeiro arábica irrigado / Nayandra
Cristine Silva de Figueiredo - 2024.
49 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Fernandes Teixeira.
Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) –
Instituto Federal do Triângulo Mineiro- *Campus Uberaba-MG*,
2024.

1. *Bacillus subtilis*. 2. *Bacillus megaterium*. 3. Firmicutes.
4. Microbiota do solo. 5. Cafeeiro. I. Teixeira, André Luís
Fernandes II. Título.

CDD 633.73

NAYANDRA CRISTINE SILVA DE FIGUEIREDO

“USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO E CONDICIONADOR DE SOLO NO MANEJO NUTRICIONAL DO CAFEEIRO ARÁBICA IRRIGADO”

FOLHA DE APROVAÇÃO DEFESA DISSERTAÇÃO

Data da aprovação: 27/11/2024

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente

Prof. Dr. André Luis Teixeira Fernandes

UNIUBE

Membro Titular

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

UFU

Membro Titular

Dr. Jefferson Vasconcelos Oliveira de Lima

BIOSFERA

Local: Sala de videochamada: meet.google.com/kod-hgck-nna

JEFFERSON VASCONCELOS OLIVEIRA DE LIMA
MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE QUALIFICAÇÃO E DEFESA DE MESTRADO



Documento assinado eletronicamente por JEFFERSON VASCONCELOS OLIVEIRA DE LIMA, MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE QUALIFICAÇÃO E DEFESA DE MESTRADO, em 29/11/2024, às 07:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

ANDRE LUIS TEIXEIRA FERNANDES
PROFESSOR ORIENTADOR - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL



Documento assinado eletronicamente por ANDRE LUIS TEIXEIRA FERNANDES, PROFESSOR ORIENTADOR - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL, em 29/11/2024, às 21:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

EUSIMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR
MEMBRO PERMANENTE - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL



Documento assinado eletronicamente por EUSIMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR, MEMBRO PERMANENTE - PROGRAMA DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL, em 29/11/2024, às 22:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador **B154D9A** e o código CRC **AB3A1946**.

Referência: NUP: 23200.009891/2024-94

DOCS nº 0000660140

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu a graça da vida, bem como seu infinito amor e as inúmeras bençãos que Ele me concede.

Em especial ao meu amado pai Edson Luiz de Figueiredo, que infelizmente não está mais entre nós, por todo amor que me deu desde a minha infância e por sempre ter me apoiado a realizar os meus sonhos.

Ao meu esposo, aos meus filhos, mãe, avós, madastra, tios, padrinhos, primos, irmãos, sobrinha, afilhados, cunhados e sogros que sempre me apoiarão com muito amor e dedicação.

A minha prima Carolina e sua família pelo acolhimento em sua casa.

A Biosfera Rural meu local de trabalho pelo incentivo e a disponibilidade de me liberar para alcançar o meu sonho.

Aos professores que cooperaram durante toda minha trajetória acadêmica até a formação. Em especial ao meu orientador André Luís Teixeira Fernandes e aos amigos e professores, Jefferson Vasconcelos, Adão de Siqueira Ferreira, Édimo Fernando Alves Moreira, Fabrício Junino, Eusímio Felisbino Fraga Junior, Jose Luiz Torres, Willgner Lopes, Guilherme Duarte e Marco Antônio que me ajudaram nesse período.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de algum modo, independente da distância, fizeram ou fazem parte da minha vida e torcem pela minha felicidade.

Muito obrigada!

RESUMO

Para garantir a sustentabilidade e a rentabilidade da produção de café, é essencial adotar práticas eficazes de manejo nutricional, principalmente para o fornecimento de fósforo. Sua influência direta na qualidade e no rendimento da safra e sua exigência em grandes quantidades pela cultura, tornam este elemento como de grande importância, maximizando a produtividade e a qualidade do café. O objetivo desta pesquisa foi analisar o solubilizador de fósforo Biomaphos e o condicionador de solo Microgeo como alternativas de manejo nutricional do cultivo de café arábica irrigado por gotejamento. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Os tratamentos foram aplicados por *drench*. Foram feitas avaliações químicas do solo (pH, nutrientes, M.O. e C.O), avaliações biológicas (atividade microbiana, carbono da biomassa e fosfatase ácida) e de produção do café (produtividade, classificação de maturação e beneficiamento). Os tratamentos Biomaphos e Microgeo se diferenciaram para as variáveis P (mehlich, resina e remanescente do solo); M.O e C.O dag Kg⁻¹; Ca²⁺; fosfatase ácida e a massa de grãos verdes. É possível recomendar o manejo através do uso isolado e ou combinado dos dois produtos. Devido à bienalidade do cafeeiro, sugere-se a condução de dos ensaios por mais safras consecutivas, para validação dos resultados.

Palavras-chave: *Bacillus subtilis*; *Bacillus megaterium*; Firmicutes; microbiota do solo; cafeicultura.

ABSTRACT

To ensure the sustainability and profitability of coffee production, it is essential to adopt effective nutritional management practices, especially for phosphorus supply. Its direct influence on crop quality and yield, along with the high demand for this element by the crop, makes phosphorus highly important for maximizing coffee productivity and quality. The objective of this research was to analyze the phosphorus solubilizer Biomaphos and the soil conditioner Microgeo as alternative nutritional management strategies for drip-irrigated Arabica coffee cultivation. The experimental design used was a randomized block design, with six treatments and four replications, totaling 24 experimental plots. The treatments were applied via drench. Chemical soil evaluations (pH, nutrients, organic matter, and organic carbon), biological assessments (microbial activity, biomass carbon, and acid phosphatase), and coffee production parameters (yield, maturation classification, and processing) were analyzed. The Biomaphos and Microgeo treatments differed in the variables P (Mehlich, resin, and remaining phosphorus in the soil); organic matter and organic carbon (dag Kg^{-1}); Ca^{2+} ; acid phosphatase, and green bean mass. The use of these products, either individually or in combination, can be recommended as a management strategy. Due to the biennial nature of coffee plants, it is suggested that trials be conduc

Keywords: *Bacillus subtilis*; *Bacillus megaterium*; Firmicutes; soil microbiota; coffee cultivation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Médias mensais de T (temperatura em ° C) médias, obtidas pelo site da Fundação Procafé, através do Boletim de avisos fitossanitários no período das avaliações realizadas	20
Figura 2. Croqui da área experimental com a disposição dos tratamentos no campo.....	22
Figura 3. Coleta de solo, amostragem feita de 0,20 cm e amostras identificadas para envio ao laboratório	23
Figura 4. Preparação das amostras para mensuração da atividade microbiana	24
Figura 5. Titulação das amostras.....	25
Figura 6. Croqui área útil de cada parcela experimental	26
Figura 7. Colheita café planta e colheita café chão.....	26
Figura 8. Avaliação dos estádios de maturação do café verde, verde cana, cereja, passa e Seco	27
Figura 9. Amostras secas ao ar livre	27
Figura 10. Equipamento descascador de amostras Pinhalense DRC 2 nº 4069	28
Figura 11. Preparação para amostragem em três peneiras.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos, dosagens e datas de aplicação.....	21
Tabela 2. Avaliações e período de avaliação	22
Tabela 3. Avaliação do pH do solo (pH H ₂ O e pH CaCl ₂) antes da aplicação dos tratamentos (APP), 60 dias após a aplicação (60 DAA) e 120 dias após a aplicação (120 DAA).....	30
Tabela 4. Avaliação dos teores de fósforo do solo com extração via Mehlich-1 ((P _{meh}), via resina (Pres) e fosforo Remanescente (Prem) antes da aplicação dos tratamentos (Zero dia), 60 e 120 dias após a aplicação, em Araguari, MG	31
Tabela 5. Avaliação dos teores de cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺) e alumínio (Al ³⁺) em cmol _c dm ⁻³ , antes da aplicação (APP) dos tratamentos, 60 dias após a aplicação (60 DAA) e aos 120 dias após a primeira aplicação (120 DAA).....	33
Tabela 6. Teores de matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O) em dag kg ⁻¹ antes da aplicação (APP) dos tratamentos, 60 dias após a aplicação (60 DAA) e aos 120 dias após a primeira aplicação (120 DAA)	35
Tabela 7. Avaliação do micronutriente ferro (Fe ²⁺), manganês (Mn ⁻) e zinco (Zn ²⁺) em mg dm ⁻³ , antes da aplicação (APP) dos tratamentos, 60 dias após a aplicação (60DAA) e aos 120 dias após a aplicação (120DAA).....	36
Tabela 8. Atividade microbiana aos 60 e aos 120 dias após a aplicação (AT 60 e AT 120) em µg C-CO ₂ solo seco ⁻¹ dia ⁻¹ , carbono da biomassa aos 60 e 120 (CB 60 e CB 120) dias após a aplicação em µg C g solo seco ⁻¹ e fosfatase ácida aos 60 e 120 (FA 60 e FA 120) dias após a aplicação em µg PNF g solo seco ⁻¹ h ⁻¹	38
Tabela 9. Produtividade em litros por planta (PROD) e produtividade em sacas por hectare (PROD2) em função dos tratamentos.	40
Tabela 10. Avaliação da massa e número de grãos entre os diferentes graus de maturação do café em função da aplicação dos tratamentos.....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 O cafeeiro	15
2.2 Fósforo	15
2.3 Solubilizadores de fósforo.....	17
3. METODOLOGIA	19
3.1 Caracterização do Local	19
3.2 Clima da região	19
3.3 Tipo de solo.....	20
3.4 Delineamento experimental e croqui da área	20
3.5 Amostragem do solo para análises químicas.....	23
3.6 Amostragem do solo para análises biológicas.....	24
3.7 Avaliações de produtividade	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Análises químicas.....	30
4.2 Análises Biológicas	37
4.3 Análises de produtividade	39
5. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O café, originário do Continente Africano, é uma planta que se expandiu para várias partes do mundo, tornando-se uma importante *commodity* agrícola (Guarçoni, 2011). Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo o *Coffea arabica* L a espécie mais cultivada. Segundo Favarin (2012), a dispersão do café está historicamente ligada à expansão das potências marítimas. No território brasileiro, a introdução do cafeeiro teve início pelo norte do país, posteriormente espalhando-se para regiões com condições mais propícias ao seu cultivo, sendo o Rio de Janeiro uma das primeiras áreas beneficiadas nesta expansão.

A cafeicultura no Brasil é predominantemente voltada para o cultivo do café arábica, abrangendo aproximadamente 81% da área total. A produção global de café para a safra 2023/24 está estimada em 171,4 milhões de sacas de 60 quilos, registrando um aumento de 4,2% em relação à safra anterior. Os três maiores países produtores de café, Brasil, Vietnã e Colômbia, sinalizam um crescimento na produção para a safra 2023/24, conforme dados da CONAB (2023). Como esta cultura é uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, seu impacto econômico e social é significativo, devido à sua contribuição para a geração de empregos formais, com papel fundamental na economia nacional (Sakiyama *et al.*, 2015). No entanto, para garantir a sustentabilidade e a rentabilidade da produção cafeeira, é essencial a adoção de práticas de manejo nutricional eficazes. Dentre essas práticas, podemos citar a utilização dos produtos biológicos.

O fósforo (P) é um elemento essencial ao metabolismo das plantas, desempenhando uma série de funções para o metabolismo, crescimento e desenvolvimento. Uma das principais funções do fósforo é a transferência de energia, atuando como um componente essencial do ATP (adenosina trifosfato) (Marschner, 2012).

Além disso, o fósforo desempenha um papel crítico na síntese de moléculas orgânicas essenciais, como proteínas, ácidos nucleicos (DNA e RNA) e fosfolipídios, componentes estruturais fundamentais das células vegetais. Durante o desenvolvimento dos grãos de café, a presença adequada de fósforo é necessária para a síntese de proteínas e enzimas envolvidas na formação dos tecidos e células dos frutos. O fósforo está diretamente ligado à síntese de ATP, composto este crucial para a atividade enzimática e a regulação do metabolismo celular, influenciando diretamente a eficiência da fotossíntese, a absorção de nutrientes e a resposta aos estresses ambientais (Taiz *et al.*, 2017).

Para o café arábica, o fósforo é de particular importância, devido à sua influência direta na qualidade e rendimento da safra. Durante o desenvolvimento dos frutos, a disponibilidade adequada de fósforo no solo é fundamental, de modo a garantir uma formação adequada dos grãos, assim como o desenvolvimento uniforme e saudável das sementes. Além disso, o fósforo desempenha um papel fundamental na regulação do florescimento e frutificação do cafeeiro, afetando diretamente a formação dos botões florais, a abertura das flores e o pegamento dos frutos. Portanto, otimizar a disponibilidade de fósforo no solo é um fator essencial para maximizar a produtividade e a qualidade da safra de café arábica, garantindo a rentabilidade e sustentabilidade da produção cafeeira (Damatta e Ramalho, 2016).

Os fertilizantes fosfatados mais usados, são os superfosfatos e ou fosfatos de amônio, oriundos da extração de rochas fosfáticas. Khan *et al.* (2010) enumeram como fatores limitantes para utilização do fósforo na agricultura, os altos custos com energia elétrica envolvidos no processamento das matérias primas, bem como o seu transporte e distribuição. Além disso, essas fontes tendem a se tornar insuficientes ao longo dos anos (Murrel e Fixen, 2006).

Há uma grande reserva de fósforo acumulado nos solos agrícolas. Caso sejam adotados recursos para aproveitá-lo melhor, tais quantidades seriam suficientes para suprir a produção agrícola mundial por volta de 100 anos, sem a necessidade de aplicações adicionais deste nutriente (Goldstein *et al.*, 1993).

A descoberta de bactérias e fungos capazes de solubilizar fosfatos insolúveis em meio de cultura sólido, abriu novas perspectivas para investigações mais aprofundadas e testes em condições de campo. Após essa descoberta, várias cepas de espécies bacterianas e fúngicas foram identificadas, sendo estudadas detalhadamente por suas capacidades de solubilização de fosfato inorgânico. Investigações de Kunwar *et al.* (2018) relataram que experimentos *in vitro* e em casa de vegetação demonstraram uma melhoria significativa nas mudas de café tratadas com bactérias solubilizadoras de fosfato isoladas da rizosfera.

As bactérias e fungos do solo utilizam importantes mecanismos para disponibilizarem nutrientes às plantas, como a decomposição, a mobilização e a mineralização de nutrientes, além da fixação e desnitrificação do nitrogênio. Os microrganismos também desempenham papel crucial na solubilização de fosfatos orgânicos, através da produção de ácidos orgânicos. A gestão do fósforo (mediada por microrganismos) é uma abordagem ecologicamente econômica, sendo uma alternativa viável para redução dos riscos ambientais e aumento da produtividade das culturas.

A agricultura sustentável e o acréscimo da fertilidade do solo são fundamentais para o sucesso das culturas. Devido à crescente demanda por produtos sustentáveis, fatores socioambientais e de segurança alimentar, o uso de bioinoculantes tem se tornado indispensável, especialmente nos países exportadores de commodities como o café. Neste contexto, conduziu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar o solubilizador de fósforo Biomaphos e o condicionador de solo Microgeo como alternativas de manejo nutricional do cultivo de café arábica irrigado por gotejamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O cafeeiro

O cafeeiro pertence à família das Rubiáceas e ao gênero *Coffea*, com diversas espécies, entre elas a *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, amplamente cultivadas e comercializadas (Guarçoni, 2011). Há relatos de que o café teve origem nas florestas tropicais da Etiópia, Sudão e Quênia. Todavia, sua difusão pelo mundo ocorreu por meio do povo árabe, sendo introduzido na Itália por volta do ano de 1615 e na América do Sul no ano de 1718 (Martins, 2008).

O café foi introduzido no Brasil em 1727 através do Sargento-Mor, que trouxe mudas que foram plantadas na região noroeste do país. Posteriormente, houve uma demanda crescente pelos grãos de café, o que condicionou um aumento da produção brasileira. Na região do Rio de Janeiro, o plantio de café foi iniciado em 1781 por João Alberto de Castello (Sakiyama *et al.*, 2015).

O cafeeiro é uma planta perene de clima tropical. Sua raiz possui um eixo central de 50-60 cm de profundidade e raio de 50-60 cm, com formato cônico. As folhas apresentam formato elíptico, enquanto as flores podem ser brancas, amareladas ou róseas, estando localizadas em inflorescências do tipo glomérulo. Cada flor possui cinco pétalas fixadas na base, formando a corola, e cinco sépalas compondo o cálice (Thomaziello *et al.*, 2000). Com relação ao fruto, Schneider (2011) explica que, ao amadurecer, sua casca fica com a cor vermelha, amarela ou roxa, com duas sementes em cada baga, envoltas pelo endocarpo e mucilagem.

O Brasil produz tanto as variedades de café arábica e robusta, sendo que a primeira apresenta maior valorização. O café arábica é comercializado a preços superiores aos da espécie robusta, destacando-se pelo sabor e aroma de sua bebida, com grande receptividade a este produto (Martins, 2008). Os fatores sazonais que influenciam no processo de produção do café são as condições edáficas e climáticas, que interagem sobre o crescimento e a produtividade das plantas e também sobre a qualidade do café produzido (Sakiyama *et al.*, 2015).

2.2 Fósforo

O fósforo desempenha um papel crucial na síntese de ATP (Adenosina Trifosfato), molécula essencial para o armazenamento e transferência de energia nas células. A deficiência

desse nutriente no cafeeiro resulta em sintomas visíveis, principalmente em folhas mais velhas, que perdem seu brilho e desenvolvem manchas amareladas irregulares, que podem evoluir para tonalidades vermelhas ou arroxeadas, muitas vezes abrangendo toda a área foliar. Durante períodos com deficiência mais graves, como no período seco pós-colheita, as folhas podem apresentar manchas marrons com bordas necrosadas, acarretando em desfolha e redução do sistema radicular (Matiello *et al.*, 2020).

De acordo com Halvin *et al.* (2005), o fósforo é encontrado na fase sólida do solo em formas orgânicas quanto inorgânicas, enquanto que na fase líquida é predominante encontrado em formas inorgânicas. A maioria dos solos possui deficiência de fósforo, pois contêm quantidades baixas de fosfato solúvel e imediatamente disponível às plantas, mesmo que os solos possuam níveis elevados de fósforo total. Portanto, o uso de fertilizantes fosfatados é essencial na superação das limitações dos solos, garantindo maiores produções (Roberts, 2009).

As rochas fosfáticas são a matéria-prima para a produção de fertilizantes fosfatados. As apatitas, provenientes da atividade vulcânica em regiões montanhosas, representam 15% da produção mundial, sendo encontradas no Canadá, Rússia, África do Sul e no Brasil. Por outro lado, as fosforitas contribuem com 85% da produção, tendo origem em depósitos sedimentares dos oceanos e em áreas costeiras rasas. Elas são encontradas em regiões como África, China, Oriente Médio e Estados Unidos (Lopes *et al.*, 2004).

Lana *et al.* (2004) destacam que, as fontes de fósforo na agricultura são classificadas como solúveis, pouco solúveis e insolúveis. De acordo com Cunha *et al.* (2014), aproximadamente metade do fósforo aplicado forma complexos com outros componentes do solo, o que o torna indisponível para as plantas.

Em solos ácidos, o fósforo tende a se ligar a ferro e alumínio, formando compostos insolúveis, enquanto em solos alcalinos, ele se une ao cálcio e magnésio, resultando em compostos moderadamente solúveis (Holford, 1997; López-Bucio *et al.*, 2002). Estima-se que entre 8% e 12% dos solos em todo o mundo apresentam alta capacidade de fixação de fósforo, com destaque para as regiões tropicais (Roy *et al.*, 2016). O problema com a fixação de fósforo, pode ser amenizado por meio de altas doses de adubos fosfatados. No entanto, a eficiência na utilização do fósforo permanece baixa. Além disso, a aplicação de altas taxas desses fertilizantes, geralmente resultam em impactos ambientais inesperados na estrutura do solo, assim como em sua composição, microbiota e outras propriedades (Akande *et al.*, 2005).

2.3 Solubilizadores de fósforo

O desenvolvimento de bactérias capazes de colonizar plantas específicas apresenta grande potencial para sistemas de fertilização biológica voltados à solubilização de fósforo (P). Essas bactérias podem aumentar a disponibilidade de fosfato inorgânico (Pi) na solução do solo, proporcionando um passo essencial para sua absorção pelas plantas ou por hifas micorrízicas. Um desafio estratégico seria a identificação e caracterização dos genes associados à solubilização de P mineral, aliados aos genes que atuam na solubilização de P orgânico. Essa combinação representa um avanço promissor para o desenvolvimento de abordagens biorracionais e sustentáveis para a fertilização fosfatada na agricultura (Goldstein, 1986).

Os microrganismos conhecidos como solubilizadores de fosfato (MSF) desempenham um papel essencial no ciclo do fósforo no solo. Eles estão envolvidos em processos como dissolução e precipitação de minerais, mineralização e imobilização, além de sorção e dessorção. Essas atividades contribuem para disponibilizar fósforo às plantas, transformando formas insolúveis de fósforo, tanto inorgânico (Pi) quanto orgânico (Po), em formas solúveis. Assim sendo, esses microrganismos regulam a ciclagem biogeoquímica do fósforo em ecossistemas agrícolas (Penn; Camberato, 2019).

No solo, compostos insolúveis de fósforo podem ser convertidos em formas disponíveis através da ação de ácidos orgânicos, fosfatases e agentes quelantes produzidos por plantas e microrganismos. Entre esses organismos, bactérias e fungos solubilizadores de fosfato se destacam por sua capacidade de aumentar a disponibilidade de fósforo (Son *et al.*, 2006). Segundo Chen *et al.* (2006), as bactérias representam de 1% a 50% da comunidade microbiana do solo, enquanto que os fungos solubilizadores correspondem a uma proporção menor, entre 0,1% e 0,5%. Dentre os principais gêneros de bactérias estão os *Bacillus*, as *Pseudomonas*, o *Azotobacter* e a *Burkholderia*. Já entre os fungos, destacam-se os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são frequentemente mencionados (Kalayu, 2019).

Outras bactérias conhecidas por sua capacidade de solubilizar fósforo incluem *Rhizobium*, *Agrobacterium* e *Erwinia* (Garg *et al.*, 2001). Esses organismos solubilizam fósforo inorgânico, como os compostos $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 e AlPO_4 , por meio da liberação de ácidos orgânicos, como o ácido glucônico e o ácido cítrico. Esses compostos atuam complexando cátions e acidificando o meio, o que facilita a liberação do fósforo em formas solúveis e prontamente disponíveis para as plantas (Rodriguez *et al.*, 2004; Kpombrekou e Tabatabai, 1994).

Os microrganismos solubilizadores de fosfato têm se destacado como uma tecnologia promissora para aumentar a eficiência no uso de nutrientes. Além disso, eles não causam danos ambientais, têm baixo custo e podem ser utilizados em conjunto com outros fertilizantes, complementando os químicos sintéticos (Kalayu, 2019; Oliveira *et al.*, 2020).

A absorção deste nutriente pelas plantas com a utilização de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fósforo, demonstra um aumento significativo do fósforo disponível em diversos estudos (Irshad et al., 2012).

3. METODOLOGIA

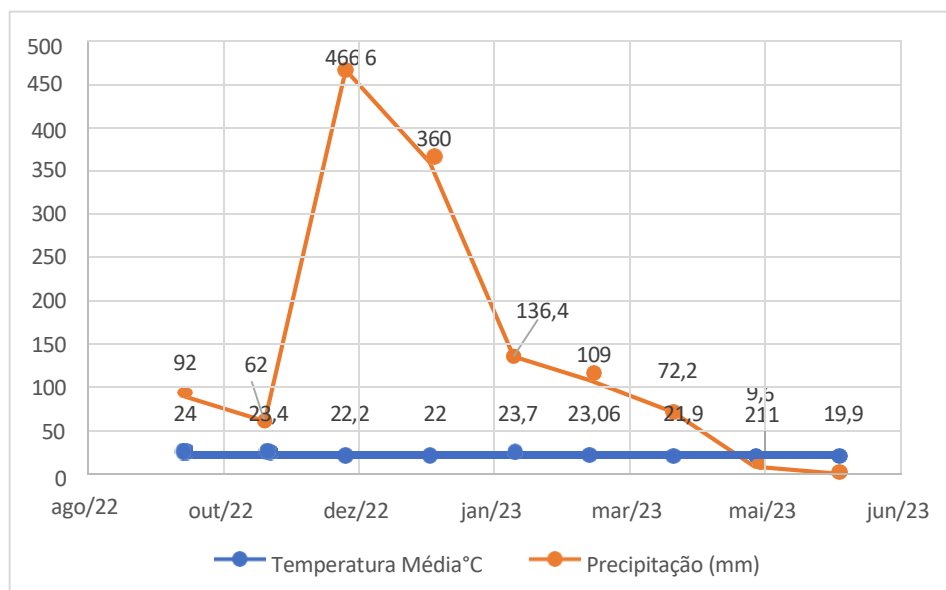
3.1 Caracterização do Local

O estudo foi conduzido na fazenda Francelina, de propriedade do Eng. Agr. Renan Battaglini Lavagnoli, que está localizada no município de Araguari- MG, entre as coordenadas geográficas de 18°41'00.4'' de latitude Sul e 48°07'08.2'' de longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 940 m, no período de outubro/2022 a fevereiro/2023, em uma lavoura comercial de café arábica, cultivar Mundo Novo IAC 379-19, irrigada por gotejamento, com cinco anos de idade.

3.2 Clima da região

O clima local é do tipo Aw, com base na classificação de Köppen e Geiger, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco, precipitação média anual na ordem de 1.566 mm e temperatura média anual de 21,2°C (Climate-Data, 2022). No periodo de condução dos estudos a temperatura média foi de 22,36°C e a precipitação acumulada foi de 1309,2 mm (Figura.1) (Fundação Procafé, 2024).

Figura 1 - Médias mensais de T (temperatura em ° C) médias, obtidas pelo site da Fundação Procafé, através do Boletim de avisos fitossanitários no período das avaliações realizadas.



Fonte: Adaptado pela autora, a partir de Fundação Procafé, 2024.

3.3 Tipo de solo

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de acordo com critérios descritos em (Santos *et al.*, 2018), textura argilosa, que apresentou 420, 100 e 480 g kg⁻¹ de argila, silte e areia na camada até 0,20 m, respectivamente. A média da análise química do solo referente às parcelas antes da implantação do estudo nesta mesma camada, pH H₂O 5,2; pH CaCl₂ 4,5; P meh 48,1 mg/dm⁻³; P remanescente 30 mg/dm⁻³; P resina 76 mg/dm⁻³; K⁺ 328 mg/dm⁻³; S-SO₄²⁻ mg/dm⁻³; Ca²⁺ 2,28 cmolc/dm⁻³; Mg²⁺ 0,4 cmolc/dm⁻³; Al³⁺ 0,39 cmolc/dm⁻³; H+Al 5,00 cmolc/dm⁻³; SB 3,54 cmolc/dm⁻³; t 3,93 cmolc/dm⁻³; T 8,54 cmolc/dm⁻³; V% 41; m% 10; M.O 2,4 dag/kg, C.O 1,4 dag/kg; B 0,24 mg/dm⁻³; Cu 5,3 mg/dm⁻³; Fe 18 mg/dm⁻³; Mn 8,6 mg/dm⁻³; Zn 5,4 mg/dm⁻³.

3.4 Delineamento experimental e croqui da área

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), onde foram avaliadas cinco doses de solubilizadores de fósforo, mais uma testemunha (sem aplicação do solubilizador) (Tabela 1), com parcelas subdivididas no tempo: 1) Antes da aplicação (Zero dia); 2) 60 dias após a aplicação dos produtos e; 3) 120 dias após a aplicação dos produtos para as análises químicas e 1) 60 dias após a aplicação dos produtos

e; 2) 120 dias após aplicação dos produtos para as análises biológicas, todos com quatro repetições.

A primeira aplicação dos tratamentos (Tabela 1) foi realizada dia 14 de outubro de 2022, para os tratamentos em que a dose foi parcelada, foi realizada em 14 de novembro de 2022 a segunda aplicação. A aplicação dos produtos foi feita via drench (aplicação líquida, em jato dirigido).

O Biomaphos[®] é a primeira tecnologia para a solubilização de fósforo do Brasil. Trata-se de um inoculante líquido recomendado para o tratamento de sementes ou aplicação via jato dirigido no sulco de semeadura. As bactérias das cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) presentes no produto se multiplicam e colonizam a rizosfera da planta, iniciando a produção de diferentes ácidos orgânicos. Esses ácidos, por sua vez, atuam na rizosfera, iniciando o processo de solubilização do fósforo retido ao cálcio, alumínio e ferro, tornando-o prontamente disponível para a absorção e assimilação pela planta (Bioma, 2020). As cepas apresentam características únicas de promoção do crescimento, incentivando a expansão da superfície e da área radicular (Sousa *et al.*, 2020; Velloso *et al.*, 2020).

O Microgeo[®] atua como substrato, alimentando os micro-organismos presentes no conteúdo ruminal bovino em Compostagem Líquida Contínua (CLC[®]). Sua aplicação na lavoura do café resulta na multiplicação de bactérias, actinomicetos, fungos e outros microrganismos, os quais desempenham diversas ações benéficas, apresenta até 89% de bactérias, sendo os principais filos: Proteobacterias, Bacteroidetes, Firmicutes e Acidobacterias (107 a 109 células de microrganismos mL⁻¹). Entre essas ações, destacam-se a decomposição e mineralização da matéria orgânica, o ciclo e a solubilização de nutrientes, reações de quelatação e complexação de minerais, além de associações biológicas benéficas, como simbioses radiculares, entre outros (Garcia *et al.*, 2015).

Tabela 1 - Tratamentos, dosagens e datas de aplicação

Tratamentos		1ª Aplicação (Lha ⁻¹)	2ª Aplicação (L ha ⁻¹)
		14/10/2022	14/11/2022
T1	TESTEMUNHA	-	-
T2	BIOMAPHOS	0.50	-
T3	BIOMAPHOS	0.25	0.25
T4	MICROGEO	300	-
T5	MICROGEO	150	150
T6	BIOMAPHOS + MICROGEO	0.25	150

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Na Tabela 2 é possível verificar um resumo das avaliações realizadas.

Tabela 2 - Avaliações e período de avaliação

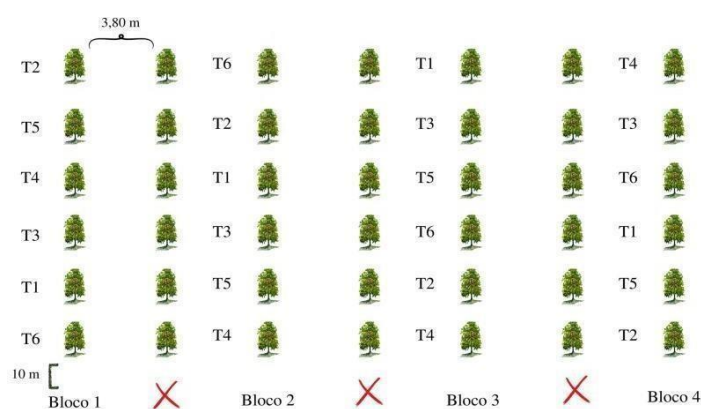
Avaliações		1ª Ava	2ª Ava	3ª Ava
		12/10/2022	13/12/2022	11/02/2023
Químicas	Análise completa	Antes Ap	60 D.A.A.	120 D.A.A.
Biológicas	Carbono da biomassa microbiana		60 D.A.A.	120 D.A.A.
	Fosfatase ácida		60 D.A.A.	120 D.A.A.
	Atividade microbiana		60 D.A.A.	120 D.A.A.
Produção	Produtividade		Junho/2023	
	Classificação de maturação			
	Beneficiamento			
	Qualidade de Bebida			

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Nota: Antes Ap - Antes da aplicação; 60 D.A.A - 60 dias após a primeira aplicação; 120 D.A.A - 120 dias após a primeira aplicação.

As parcelas apresentaram 3,8 metros (m) entre linhas e 0,75(m) entre plantas, com estande de 3509 mil plantas por hectare. Para cada rua com os tratamentos, foi deixado 10 metros no início da rua e outra rua como bordadura, que não recebeu os tratamentos (sendo descartadas das avaliações). Foram utilizadas quatro ruas intercaladas de cafeeiros, com seis unidades experimentais em cada rua. Cada unidade experimental foi constituída por 14 plantas, sendo descartadas as três plantas totalizando oito plantas úteis por parcela, ao todo o experimento foi constituído por 24 parcelas experimentais (Figura 2).

Figura 2 - Croqui da área experimental com a disposição dos tratamentos no campo

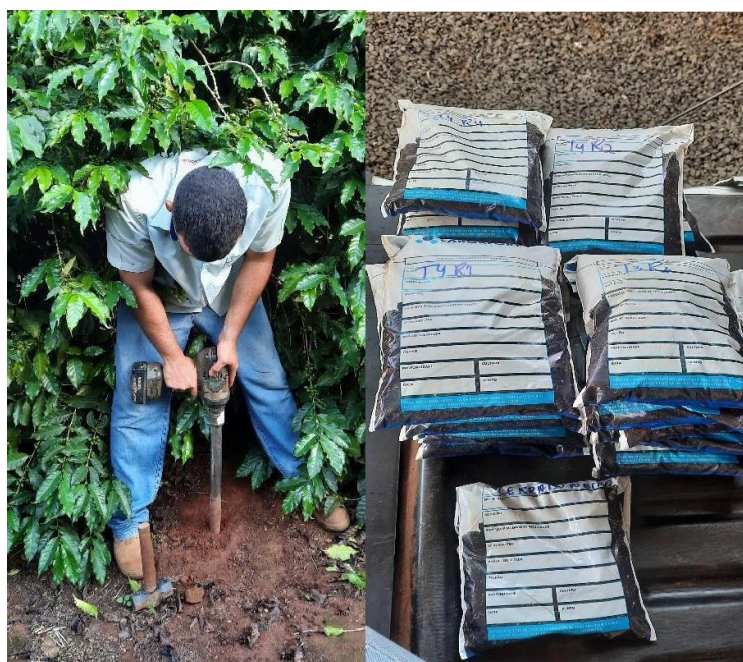


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.5 Amostragem do solo para análises químicas

As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2022, antes da aplicação dos tratamentos; em dezembro de 2022, 60 dias após a aplicação dos tratamentos e; em fevereiro de 2023, 120 dias após a aplicação dos tratamentos. Em cada parcela foram coletadas cinco pontos simples para uma amostra composta, na profundidade de 0-20 cm do solo, com o trado tipo sonda adaptado, totalizando 360 pontos coletados (5 pontos x 3 amostragens x 24 parcelas). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados fechados e levadas para o laboratório (Figura 3).

Figura 3 - Coleta de solo, amostragem feita de 0,20 cm e amostras identificadas para envio ao laboratório



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As metodologias realizadas pelo laboratório foram pH H₂O (1:2,5) e pH CaCl₂.2H₂O 0,01 mol l⁻¹; P, K = Mehlich⁻¹; S-SO₄²⁻ = Fosfato monobásico Cálcio 0,01 mol l⁻¹; Ca, Mg, Al = KCL 1 mol l⁻¹; B = BaCl₂.2H₂O 0,125% água quente; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA ou Mehlich⁻¹.

3.6 Amostragem do solo para análises biológicas

As amostras de solo foram coletadas em dezembro 60 dias após a aplicação dos tratamentos e em fevereiro 120 dias após a aplicação dos tratamentos. Em cada parcela foram coletadas 10 pontos simples para uma amostra composta, na profundidade de 0-20 cm do solo, com o trado tipo sonda adaptado, totalizando 480 pontos coletados (10 pontos x 2 amostragens x 24 parcelas). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificadas fechadas e levadas para o laboratório.

A atividade microbiana do solo foi estimada pela quantidade de CO_2 liberado de 100 g de solo ajustada para 60% da capacidade de campo em potes de 500 mL, hermeticamente fechados (Stotzky, 1965). Em repouso sobre o solo foi colocado um copo plástico (50 mL) contendo 10 mL de NaOH (1 M), cuja função era capturar o CO_2 liberado na forma de Na_2CO_3 (Figura 4).

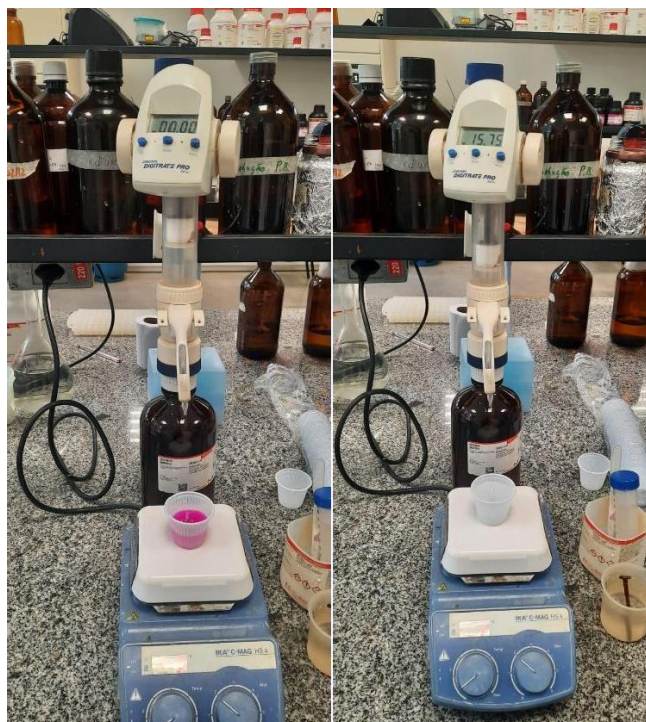
Figura 4 - Preparação das amostras para mensuração da atividade microbiana



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

No dia da leitura, o hidróxido não convertido a carbonato foi titulado com HCl (0,5 M) após adição de BaCl₂ (1M), três gotas do indicador fenolftaleína (1%) (Figura 5). A atividade microbiana foi expressa em $\mu\text{g C-CO}_2$ solo seco⁻¹ dia⁻¹.

Figura 5 - Titulação das amostras



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O carbono da biomassa microbiana foi extraído com K₂SO₄, pelo método irradiação proposto por Ferreira *et al.* (1999). O carbono da biomassa foi expresso em A atividade microbiana foi expressa em $\mu\text{g C g solo seco}^{-1}$.

A determinação da fosfatase ácida foi realizada conforme descrito por Tabatabai e Bremner (1969) com modificações e expressa em $\mu\text{g PNF g solo seco}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

3.7 Avaliações de produtividade

As avaliações de produtividade foram coletadas em junho de 2023. Para as avaliações de produtividade, foram consideradas como plantas úteis, os oito cafeeiros centrais da parcela, sendo descartadas três plantas em cada extremidade da parcela (Figura 6), coletando-se todos os frutos das plantas e do chão das oito plantas restantes (Figura 7).

Figura 6 - Croqui área útil de cada parcela experimental



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 7 - Colheita café planta e colheita café chão



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Deste volume total, foi retirada uma amostra de 10 L, sendo anotada sua massa. Após a pesagem em separado desta amostra de 10 L, foi retirado um volume de 300 mL, sendo segregados, contados manualmente e pesados todos os frutos em seus diferentes estádios de maturação (verde, verde cana, cereja, passa e seco), este volume de café analisado foi devolvido a amostra inicial (Figura 8).

Figura 8 - Avaliação dos estádios de maturação do café verde, verde cana, cereja, passa e seco



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Foram separados dois litros de café de cada parcela experimental, amostra esta que foi guardada em um saco plástico vazado, e secadas ao ar livre por três semanas, simulando a preparação feita no terreiro convencional (Figura 9).

Figura 9 - Amostras secas ao ar livre



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Após três semanas, todas amostras de café seco em coco foram pesadas, e submetidas ao beneficiamento no equipamento descascador de amostras Pinhalense DRC 2 nº 4069 (Figura

10).

Figura 10 - Equipamento descascador de amostras Pinhalense DRC 2 nº 4069



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Posteriormente a amostra já beneficiada foi novamente pesada, sendo separadas 100 gramas de cada uma delas, para classificação em três peneiras, conforme a regra do sistema de Classificação Oficial Brasileira (COB). Cafés com peneiras acima do nº 17/18 têm melhor remuneração ao cafeicultor, peneiras nº 16/15/14 têm remuneração menor e, cafés do tipomoca (MK) com formato arredondado e peneira nº 12, têm melhor aceitação no mercado consumidor Europeu (Figura 11).

Figura 11 - Preparação para amostragem em três peneiras



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para a verificação da normalidade e homocedasticidade dos dados obtidos, foram utilizados respectivamente os testes de Shapiro-Wilk (SW) e Bartlett (BA) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p\text{-valor} < 0,05$), com o auxílio do programa R (R development team, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises químicas

Conforme Tabela 3, não houve diferenças significativas no pH entre os tratamentos em nenhum dos períodos avaliados. O pH variou significativamente ao longo do tempo, a combinação entre tratamento x tempo não foi significativa para o pH. Em resumo, o pH do solo foi influenciado pelo tempo, mas não devido aos tratamentos aplicados.

Tabela 3 - Avaliação do pH do solo (pH H₂O e pH CaCl₂) antes da aplicação dos tratamentos (APP), 60 dias após a aplicação (60 DAA) e 120 dias após a aplicação (120 DAA)

Tratamentos	Dias após aplicação					
	pH H ₂ O			pH CaCl ₂		
	Zero	60	120	Zero	60	120
T1	5,62 aA	5,50 aA	5,45 aA	5,05 aA	4,67 aA	4,85 aA
T2	5,85 aA	5,32 aA	5,75 aA	5,35 aA	4,67 aA	4,75 aA
T3	5,87 aA	5,50 aA	5,80 aA	5,12 aA	4,72 aA	5,02 aA
T4	5,62 aA	5,25 aA	5,62 aA	4,87 aA	4,67 aA	4,92 aA
T5	5,65 aA	5,30 aA	5,55 aA	4,97aA	4,52 aA	5,00 aA
T6	5,67 aA	5,20 aA	5,60 aA	4,97 aA	4,55 aA	4,92 aA
Teste F D	0,51 ns			0,24 ns		
Teste F T	9,39 ***			10,91 ***		
Teste F D x T	0,39 ns			0,67 ns		
CV% D	7,85			8,44		
CV % T	5,45			6,51		

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha comparam distribuição no tempo e maiúsculas na coluna comparam os tratamentos e não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (* = p<0,05; ** p <0,01 = *** = p<0,001). D = Tratamentos; T = Dias após aplicação; CV = Coeficiente de variação. T1 = Testemunha sem aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

Alguns pesquisadores verificaram o efeito benéfico de bactérias e fungos do solo na solubilização de fosfato mineral de diversas fontes de P, como o fosfato de cálcio tribásico [Ca₃(PO₄)₂], fosfato de ferro (FePO₄) e fosfato de alumínio (AlPO₄). A aplicação dos tratamentos diminuiu o pH do solo ao liberar ácidos orgânicos como os ácidos glucônico e cetoglucônico (Cherchali *et al.*, 2019). A produção biótica de liberação de prótons/bicarbonato (equilíbrio ânion/cátion) e trocas gasosas (O₂/CO₂), que se correlacionam positivamente com a solubilização de P, e as fosfatases ácidas produzidas pelos solubilizadores de fosfato têm papéis

fundamentais na mineralização do P orgânico (Billah *et al.*, 2019).

Conforme Tabela 4, os tratamentos influenciaram significativamente os níveis de P_{meh}, P_{res} e P_{rem} ao longo do tempo após a aplicação (0, 60 e 120). De forma geral, foi observado um aumento consistente nos valores das variáveis com o passar do tempo, indicando a liberação gradual de nutrientes nos tratamentos aplicados. O tratamento T2 (dose cheia do Biomaphos, 0,5 L/ha) destacou-se como o mais eficiente, apresentando os maiores valores médios para P_{meh}, P_{res} e P_{rem}, especialmente aos 120 dias, o que evidencia sua capacidade de liberação sustentada de fósforo. Esse resultado sugere que a aplicação em dose comercial maximiza a disponibilidade do nutriente no solo ao longo do tempo.

Os tratamentos T3 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações e T5 - Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações, também mostraram incrementos significativos, mas inferiores ao T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹, indicando que o fracionamento pode comprometer a eficiência da liberação do nutriente. No entanto, o fracionamento ainda demonstrou um desempenho superior em relação à testemunha (T1), reforçando o benefício do uso dos produtos. Por outro lado, o tratamento T6 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ + Microgeo 150 L/ha⁻¹ apresentou desempenho intermediário, possivelmente devido à complementaridade dos produtos, mas com liberação menos expressiva em relação ao T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹.

Tabela 4 - Avaliação dos teores de fósforo do solo com extração via Mehlich-1 (P_{meh}), via resina (P_{res}) e fósforo Remanescente (P_{rem}) antes da aplicação dos tratamentos (Zero dia), 60 e 120 dias após a aplicação, em Araguari, MG

Tratamentos	Dias após a aplicação								
	P _{meh}			P _{res}			P _{rem}		
	Zero	60	120	Zero	60	120	Zero	60	120
mg dm ⁻³								
T1	47,6 bB	54,9 bB	140,4 aB	77,3 bA	79,7 bB	157,7 aA	17,5 bB	28,2 aB	29,3 aA
T2	80,2 bA	60,0 bB	220,8 aA	81,7 bA	88,3 bB	175,2 aA	23,3 bA	32,5 aA	31,7 aA
T3	46,0 bB	50,3 bB	146,5 aB	87,2 bA	78,0 bB	138,5 aB	22,0 bA	28,1 aB	29,2 aA
T4	52,9 bB	64,2 bB	115,2 aC	76,7 bA	117,6 aA	130,9 aB	22,3 bA	26,4 aB	27,9 aA
T5	46,0 cB	86,8 bA	127,9 aB	99,5 bA	127,0 aA	118,1 aC	24,5 bA	31,9 aA	30,8 aA
T6	48,5 bB	82,9 aA	97,90 aC	77,3 bA	108,9 aB	101,9 aC	23,8 bA	30,2 aA	28,3 aA
Teste FD		11,08*			3,52*			4,58*	
Teste FT		155,81*			92,82*			42,06*	
Teste FDxT		8,00*			10,89*			0,91 ^{ns}	
CV% D		19,89			13,51			10,55	
CV % T		21,37			12,76			11,76	

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha comparam distribuição no tempo e maiúsculas na coluna comparam os tratamentos e não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (* = p<0,05; ** p <0,01 = *** = p<0,001). D = Tratamentos; T = Dias após aplicação; CV = Coeficiente de variação. T1 = Testemunha sem aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

Das várias formas químicas de fósforo, as plantas absorvem apenas os íons ortofosfato primários e secundários carregados negativamente (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) como nutrientes (Rahman *et al.*, 2018). No entanto, a maior parte do fósforo na natureza existe em diversas formas orgânicas e inorgânicas. Portanto, a disponibilidade de fósforo depende da solubilidade desse elemento, que pode ser influenciada pela atividade dos exudatos radiculares e dos microrganismos no solo (Mahanta, 2018).

A biodisponibilidade do fosfato orgânico e inorgânico depende da eficiência dos microrganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera do café (Nyalemegbe *et al.*, 2009). O papel desses microrganismos é converter o fosfato insolúvel em formas solúveis, por meio da produção de ácidos orgânicos que acidificam a rizosfera, além de processos de quelatização e reações de troca (Satyaprakash *et al.*, 2017). Na complexa rizosfera do café, os fertilizantes fosfatados aplicados quimicamente podem ser solubilizados por microrganismos benéficos do solo, desempenhando um papel fundamental na disponibilização do fósforo para a nutrição das plantas (Wey *et al.*, 2018). Resultados de Alori *et al.* (2017), comprovam que bactérias e fungos solubilizadores de fosfato podem oferecer uma alternativa promissora para resolver os problemas atuais de deficiência de fósforo na agricultura.

Os tratamentos deste trabalho não apenas aumentaram a disponibilidade de fósforo (P) no solo, mas também atuaram como promotores de crescimento de plantas. Walpola *et al.* (2020) afirmaram que os organismos solubilizadores de fosfato melhoram a nutrição de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), além de funcionarem como agentes de biocontrole de fungos fitopatogênicos que sintetizam fitohormônios na rizosfera, promovendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Os solubilizadores de fosfato desempenham um papel vital na disponibilidade de P a partir de fontes orgânicas e minerais. Esse papel é atribuído à capacidade desses organismos em produzir ácidos de baixo peso molecular, como ácido fórmico, acético, propiônico, láctico, glicólico, fumárico e succínico, que utilizam seus grupos carboxila e hidroxila para quelar cátions como Ca^{2+} e Mg^{2+} (Olanrewaju, 2017). Essa quelatização solubiliza o fósforo insolúvel do solo. Os organismos solubilizadores de fosfato produzem fosfatase, ácidos minerais e sideróforos, que aumentam a solubilização do P. As reações de quelatização, acidificação e troca são as principais responsáveis pela liberação de P de fontes insolúveis pelos solubilizadores (Walpola *et al.*, 2020).

Neste contexto, os fungos solubilizadores de fosfato (PSF) são extremamente importantes, pois constituem um grupo funcional de microrganismos que desempenham um

papel essencial no ciclo do fósforo. A atividade desses fungos permite que as plantas aproveitem as vastas reservas de fósforo insolúvel presentes nos minerais do solo.

Sobre o cálcio, os teores variaram entre os tratamentos ao longo do tempo. Entre os tratamentos, T3 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 - Microgeo 300 L/ha⁻¹ e T5 – Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações houve aumento mais expressivo aos 120 DAA. Apesar da interação entre dias e tratamentos não ser significativa, o aumento no teor de cálcio ao longo do tempo indica que os tratamentos tiveram influência na disponibilidade do nutriente.

Os teores de magnésio apresentaram pouca variação temporal dentro de cada tratamento, sendo mais consistentes em relação ao cálcio. Entretanto, entre os tratamentos, o T2 teve redução significativa no teor de magnésio aos 60 e 120 DAA, caindo de 0,80 cmolc dm⁻³ (zero) para 0,47 cmolc dm⁻³ aos 60 DAA. Os teores de alumínio, variaram de 0,03 a 0,49 cmolc dm⁻³, sem diferenças estatísticas significativas.

O comportamento estável dos valores de Al³⁺ sugere que os tratamentos não influenciaram de maneira expressiva a concentração desse elemento, indicando que o uso dos produtos avaliados não promoveram a acidificação do solo ao longo do experimento.

Tabela 5 - Avaliação dos teores de cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e alumínio (Al³⁺) em cmolc dm⁻³, antes da aplicação (APP) dos tratamentos, 60 dias após a aplicação (60 DAA) e aos 120 dias após a primeira aplicação (120 DAA)

Tratamentos	Dias após a aplicação								
	Ca ²⁺			Mg ²⁺			Al ³⁺		
	Zero	60	120	Zero	60	120	Zero	60	120
cmolc dm ⁻³								
T1	2,32 aA	2,17 aA	3,15 aA	0,50 aA	0,45 aA	0,60 aA	0,13 aA	0,49 aA	0,24 aA
T2	3,12 aA	2,29 aA	2,83 aA	0,80 aA	0,47 bA	0,60 bA	0,12 aA	0,24 aA	0,14 aA
T3	2,70 bA	2,31 bA	3,98 aA	0,70 aA	0,50 aA	0,80 aA	0,11 aA	0,23 aA	0,24 aA
T4	2,13 bA	2,31 bA	3,55 aA	0,52 aA	0,47 aA	0,65 aA	0,12 aA	0,23 aA	0,03 aA
T5	2,37 bA	2,10 bA	3,42 aA	0,62 aA	0,42 aA	0,65 aA	0,14 aA	0,41 aA	0,06 aA
T6	2,58 aA	2,42 aA	3,06 aA	0,55 aA	0,50 aA	0,60 aA	0,12 aA	0,33 aA	0,12 aA
Teste F D	0,47 ns			0,75 ns			0,88 ns		
Teste F T	17,87***			7,46 **			7,08 **		
Teste F DxT	1,11 ns			0,75 ns			0,51 ns		
CV% D	28,76			38,43			100,56		
CV % T	23,69			29,51			105,49		

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha comparam distribuição no tempo e maiúsculas na coluna comparam os tratamentos e não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (* = p<0,05; ** p <0,01 = *** = p<0,001). D = Tratamentos; T = Dias após aplicação; CV = Coeficiente de variação. T1 = Testemunha sem

aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

A redução do pH do solo aumentou a solubilidade e mineralização de P. A aplicação de adubos orgânicos a longo prazo resulta na formação de Ca-P solúvel, como monetita e brushita, mas não na formação de Ca-P mais estável, como a hidroxiapatita (HAP). Essa ausência de formação estável de Ca-P pode ser atribuída à presença de ânions orgânicos (como os ácidos húmico, fúlvico, tânico e cítrico), que retardam a cristalização e transformações de Ca-P estável, aumentando assim a disponibilidade de P no solo (Martinez *et al.*, 2024; Rokhmah *et al.* 2023). Alori *et al.* (2017) descobriram que solubilizadores de fosfato produzem a enzima fosfatase, que desempenha um papel fundamental na solubilização do P.

Para a M.O. os teores variaram entre 2,45 e 3,12 dag kg⁻¹ antes da aplicação dos tratamentos (zero), com valores semelhantes aos 60 DAA. No entanto, aos 120 DAA, observou-se um incremento significativo em todos os tratamentos, destacando-se os tratamentos com doses fracionadas e combinações de produtos. O maior teor foi registrado no T6 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ + Microgeo 150 L/ha⁻¹ (3,85 dag kg⁻¹), seguido por T3 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações (3,45 dag kg⁻¹) e T5 (3,42 dag kg⁻¹). Os tratamentos com doses cheias, como T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ (3,05 dag kg⁻¹) e T4 - Microgeo 300 L/ha⁻¹ (3,32 dag kg⁻¹), também apresentaram incrementos aos 120 DAA, embora em menor magnitude em comparação com os tratamentos fracionados. O tratamento testemunha (T1), sem aplicação de produtos, obteve o menor incremento no período, com 3,12 dag kg⁻¹ aos 120 DAA. Esse resultado reforça a relevância da aplicação de insumos no manejo da matéria orgânica do solo. A ausência de diferenças significativas aos 60 DAA sugere que os efeitos das aplicações são mais evidentes em médio prazo (120 DAA), indicando que o tempo é um fator determinante para o aumento da matéria orgânica nos sistemas tratados.

Os teores de C.O. também apresentaram uma tendência de aumento ao longo do tempo, acompanhando o comportamento da M.O. Inicialmente (zero), os valores variaram entre 1,42 e 1,80 dag kg⁻¹. Aos 120 DAA, o maior teor foi observado no T6 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ + Microgeo 150 L/ha⁻¹ (2,22 dag kg⁻¹), seguido por T3 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações e T5 - Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações (ambos com 2,00 dag kg⁻¹). Os tratamentos com doses cheias, como T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ (1,77 dag kg⁻¹) e T4 - Microgeo 300 L/ha⁻¹ (1,92 dag kg⁻¹), apresentaram incrementos mais modestos. A testemunha sem aplicação (T1) apresentou o menor teor de C.O. aos 120 DAA (1,80 dag kg⁻¹),

corroborando a menor eficiência desse manejo em comparação com os tratamentos que utilizaram produtos. Assim como para a M.O, os efeitos mais pronunciados nos teores de C.O. foram observados aos 120 DAA, destacando a relevância do tempo para a incorporação do carbono no solo.

Tabela 6 - Teores de matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O) em dag kg⁻¹ antes da aplicação (APP) dos tratamentos, 60 dias após a aplicação (60 DAA) e aos 120 dias após a primeira aplicação (120 DAA)

Tratamentos	Dias após aplicação					
	M.O			C.O		
dag kg ⁻¹					
	Zero	60	120	Zero	60	120
T1	2,45 bA	2,4 bA	3,12 aA	1,42 bA	1,40 bA	1,80 aA
T2	2,47 aA	2,37 aA	3,05 aA	1,45 aA	1,40 aA	1,77 aA
T3	3,07 aA	2,25 bA	3,45 aA	1,80 aA	1,30 bA	2,00 aA
T4	2,47 bA	2,47 bA	3,32 aA	1,45 bA	1,42 bA	1,92 aA
T5	2,57 bA	2,60 bA	3,42 aA	1,50 bA	1,50 bA	2,00 aA
T6	3,12 bA	2,72 bA	3,85 aA	1,77 bA	1,57 bA	2,22 aA
Teste F D	2,44 ns			2,13 ns		
Teste F T	29,5***			28,76 ***		
Teste F DxT	0,70 ns			0,73 ns		
CV% D	17,23			17,23		
CV % T	14,84			14,96		

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha comparam distribuição no tempo e maiúsculas na coluna comparam os tratamentos e não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (* = p<0,05; ** p <0,01 = *** = p<0,001). D = Tratamentos; T = Dias após aplicação; CV = Coeficiente de variação. T1 = Testemunha sem aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

Conforme podemos observar na tabela 7, os tratamentos apresentaram teores de ferro variando de 21,0 mg dm⁻³ T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ a 31,3 mg dm⁻³ T1 – Testemunha, sem grandes diferenças entre os tratamentos. No entanto, aos 60 dias após a aplicação, houve uma queda generalizada no teor de ferro, com T1 (testemunha) apresentando a maior redução (14,25 mg dm⁻³), o que pode indicar uma menor eficácia na liberação ou absorção de ferro neste tratamento. Já o tratamento T2 – Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ apresentou o menor valor inicial de ferro (21,0 mg dm⁻³), mas ao final do experimento, aos 120 DAA, houve um aumento significativo nos teores de ferro (35,5 mg dm⁻³), sugerindo uma liberação gradual e eficaz de

ferro neste tratamento. A interação significativa entre tratamentos e tempo indica que, embora os tratamentos tenham efeitos similares no início, suas eficiências de liberação e disponibilidade de ferro diferem ao longo do tempo.

Os teores de manganês apresentaram uma variação significativa entre os tratamentos, com o T2 – Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ mostrando os maiores valores de Mn²⁺, especialmente no início (16,0 mg dm⁻³) e aos 120 DAA (18,27 mg dm⁻³). Este tratamento apresentou uma liberação contínua de manganês ao longo do tempo. Já o tratamento T6 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ + Microgeo 150 L/ha⁻¹ teve os menores valores de manganês aos 60 e 120 DAA (10,75 e 21,00 mg dm⁻³, respectivamente).

Os teores de zinco também apresentaram variação significativa entre os tratamentos, sendo que o T1 - Testemunha e o tratamento T6 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ + Microgeo 150 L/ha⁻¹ mostraram os menores valores de Zn²⁺ aos 120 DAA (12,07 e 9,45 mg dm⁻³, respectivamente), enquanto o T5 – Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações e o T3 – Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações tiveram os maiores teores de zinco ao final do experimento (15,15 e 14,72 mg dm⁻³, respectivamente).

Tabela 7 - Avaliação dos micronutrientes: ferro (Fe²⁺), manganês (Mn²⁺) e zinco (Zn²⁺) em mg dm⁻³, antes da aplicação (APP) dos tratamentos, 60 dias após a aplicação (60DAA) e aos 120 dias após a aplicação (120DAA)

Tratamentos	Dias após a aplicação								
	Fe ²⁺			Mn ²⁺			Zn ²⁺		
	Zero	60	120	Zero	60	120	Zero	60	120
mg dm ⁻³								
T1	31,3 aA	14,25 cA	24,00 bA	12,8 bA	8,9 bA	19,3 aA	0,13 aA	0,49 aA	12,07 aB
T2	21,0 bA	14,75 cA	35,50 aA	16,0 aA	9,4 bA	18,3 aA	0,12 aA	0,24 aA	12,35 aB
T3	21,3 bA	13,50 cA	28,25 aA	14,8 bA	9,3 cA	24,7 aA	0,11 aA	0,23 aA	15,15 aA
T4	22,0 bA	14,00 cA	32,50 aA	10,9 bA	8,5 bA	20,3 aA	0,12 aA	0,23 aA	11,14 aB
T5	20,5 bA	11,25 cA	28,00 aA	9,2 bA	8,80 bA	21,3 aA	0,14 aA	0,41 aA	14,72 aA
T6	23,0 bA	10,75 cA	21,00 bA	12,4 bA	9,02 bA	17,4 aA	0,12 aA	0,33 aA	9,45 aB
Teste FD	1,76 ns			1,15 ns			1,71 ns		
Teste FT	80,26 ***			80,99 ***			65,41 ***		
Teste FDxT	3,67 **			1,67 ns			1,50 ns		
CV% D	26,62			29,69			33,31		
CV % T	19,57			22,27			26,78		

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha comparam distribuição no tempo e maiúsculas na coluna comparam os tratamentos e não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (* = p<0,05; ** p <0,01 = *** = p<0,001). D = Tratamentos; T = Dias após aplicação; CV = Coeficiente de variação. T1 = Testemunha sem

aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

4.2 Análises biológicas

Conforme tabela 8, os resultados de atividade microbiana não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos aos 60 e 120 dias após a aplicação. No entanto, o efeito do tempo foi significativo ($p < 0,001$), com um aumento notável da atividade microbiana aos 120 dias em comparação com os 60 dias, indicando uma resposta microbiana mais intensa após a aplicação. Embora os tratamentos não tenham diferido significativamente entre si, a dinâmica da atividade microbiana foi mais pronunciada após 120 dias. O tratamento T2 – Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ apresentou o maior aumento de atividade microbiana aos 120 dias (42,97 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), sugerindo que esse tratamento pode ter favorecido um ambiente mais propício à atividade microbiana ao longo do tempo. O tratamento T1 (testemunha) manteve uma atividade constante durante o período (31,86 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ aos 60 dias e 37,73 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ aos 120 dias), sem grandes variações.

O carbono da biomassa também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos aos 60 dias, mas as diferenças se tornaram mais evidentes aos 120 dias. O efeito do tempo foi significativo, com o aumento do carbono da biomassa de maneira geral. Onde o tratamento T5 - Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações, obteve o maior teor de carbono da biomassa tanto aos 60 dias (232,97 $\mu\text{g C g solo seco}^{-1}$) quanto aos 120 dias (208,25 $\mu\text{g C g solo seco}^{-1}$), indicando uma maior presença de matéria orgânica microbiana disponível no solo. Os tratamentos T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ e T3 - Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações, também apresentaram valores elevados de carbono da biomassa, especialmente aos 60 dias, mas não tão expressivos quanto T5 – Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações.

Para a fosfatase ácida, que mede a atividade de desfosforilação no solo, os resultados foram significativamente afetados pelo efeito do tempo. Aos 60 dias, a atividade da fosfatase foi mais baixa em todos os tratamentos, com uma grande elevação observada aos 120 dias. Esse aumento pode ser interpretado como uma resposta microbiana ao aumento da disponibilidade de fósforo ou a maior atividade das enzimas relacionadas ao ciclo de fósforo. O tratamento T2 - Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ a maior atividade de fosfatase ácida aos 120 dias (355,75 $\mu\text{g PNF g solo seco}^{-1} \text{ h}^{-1}$), indicando um efeito positivo da aplicação deste produto sobre a atividade enzimática relacionada ao fósforo. O tratamento T6 – Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ + Microgeo 150

L/ha⁻¹, teve o menor valor de fosfatase ácida aos 120 dias (314,00 µg PNF g solo seco⁻¹ h⁻¹), sugerindo que a combinação pode ter tido um impacto menos expressivo na fosfatase ácida em comparação com outros tratamentos.

Tabela 8 - Atividade microbiana aos 60 e aos 120 dias após a aplicação (AT 60 e AT 120) em µg C-CO solo seco⁻¹ dia⁻¹, carbono da biomassa aos 60 e 120 (CB 60 e CB 120) dias após a aplicação em µg C g solo seco⁻¹ e fosfatase ácida aos 60 e 120 (FA 60 e FA 120) dias após a aplicação em µg PNF g solo seco⁻¹ h⁻¹

Tratamentos	Dias após a aplicação					
	Atividade Microbiana		Carbono da Biomassa		Fosfatase ácida	
	60	120	60	120	60	120
	µg C-CO ₂ solo seco ⁻¹ dia ⁻¹		µg C g solo seco ⁻¹		µg PNF g solo seco ⁻¹ h ⁻¹	
T1	31,86 aA	37,73 aA	190,40 aA	168,00 aA	91,17 bA	323,75 aB
T2	21,97 bA	42,97aA	203,05 aA	200,00 aA	112,62 bA	355,75 aA
T3	29,78 bA	42,32 aA	219,87 aA	187,25 aA	93,67 bA	347,00 aA
T4	26,77 bA	39,16 aA	216,75 aA	200,75 aA	100,60 bA	333,75 aB
T5	31,96 aA	37,54 aA	232,97 aA	208,25 aA	97,97 bA	351,25 aA
T6	26,15 aA	37,03 aA	239,02 aA	211,75 aA	94,65 bA	314,00 aB
Teste F D	0,55 ns		1,25 ns		3,37**	
Teste F T	25,17***		1,09 ns		2352,83 ***	
Teste F D xT	1,13 ns		0,22 ns		1,22 ns	
CV% D	16,5		20,04		7,8	
CV % T	22,47		15,15		7,83	

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha comparam distribuição no tempo e maiúsculas na coluna comparam os tratamentos e não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (* = p<0,05; ** p <0,01 = *** = p<0,001). D = Tratamentos; T = Dias após aplicação; CV = Coeficiente de variação. T1 = Testemunha sem aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

A fixação e mineralização de nitrogênio, fósforo e enxofre, decomposição da matéria orgânica e a fertilidade natural do solo são influenciados pela atividade dos microrganismos (Bhattarai, *et al.*, 2017). O uso extensivo de microrganismos na agricultura é considerado uma abordagem promissora, pois eles podem ter efeitos benéficos em fertilizantes, bioreguladores e no crescimento de plantas (Martinez *et al.*, 2024).

Embora haja poucas informações sobre os mecanismos de toxicidade do alumínio para os microrganismos do solo, essa pode ser uma importante limitação sobre a atividade microbiana em solos ácidos. Bactérias e fungos podem ser capazes de modular seu ambiente local para criarmicroambientes favoráveis. Segundo Koch *et al.* (2018) fatores como

temperatura do solo, umidade, aeração e presença de metais pesados também desempenham um papel crucial na determinação da atividade microbiana. A introdução de microrganismos solubilizadores de fosfato ao solo podem representar aumento na disponibilidade de fósforo às culturas, já que esses microrganismos poderão solubilizar o P presente do solo por diferentes mecanismos, como produção de fosfatases, ácidos orgânicos, sideróforos e prótons resultando em uma maior atividade enzimática quando comparados aos solos de cerrado nativo (Abreu *et al.*, 2017; Gomes *et al.*, 2023).

O desempenho e a eficácia dos biofertilizantes em culturas agrícolas são influenciados por diversos fatores, incluindo a capacidade dessas bactérias de colonizarem as raízes das plantas, a exsudação pelas raízes e a saúde do solo (Martinez *et al.*, 2024).

A atividade da fosfatase reflete a atividade da microflora viável do solo e está diretamente relacionada à variação na biomassa microbiana e às atividades decorrentes da aplicação de biofertilizantes. Essa atividade enzimática no solo é de origem microbiana, sendo derivada de enzimas intracelulares, associadas às células ou livres (Tabatai, 1994). As maiores atividades biológicas no solo pela inoculação de biofertilizantes como os utilizados nesse trabalho, levaram ao aumento das atividades dessa enzima (El-deen *et al.*, 2020).

A produtividade e a sustentabilidade na produção do café dependem fortemente de um manejo nutricional adequado (Rahman *et al.*, 2018). Utilizando-se fertilizantes orgânicos e biofertilizantes, as plantas de café necessitam dos macronutrientes N, P e K, além de micronutrientes como Fe, Cu, Mn, Zn, B, Na, Mo, Cl. Como o grão de café é rico em vários nutrientes, há uma demanda significativa por diversos insumos, assim como por fertilizantes orgânicos.

Os resultados obtidos neste trabalho reforçam que os insumos derivados de fontes biológicas, podem ser uma importante ferramenta acessória à produção de cafés especiais em sistemas de agricultura orgânica, sendo complementados por biofertilizantes (Walpola *et al.*, 2020).

4.3 Análises de produtividade

Com relação à análise da produtividade, os tratamentos não tiveram respostas significativas (tabela 9).

Tabela 9 - Produtividade em litros por planta (PROD) e produtividade em sacas por hectare (PROD2) em função dos tratamentos

Tratamentos	Produtividade	
	L/planta	Sacas/ha ⁻¹
T1	10,47	73,45
T2	10,45	73,34
T3	11,41	80,03
T4	11,72	82,22
T5	10,28	72,13
T6	10,3	72,24
F	0,98 ns	0,98 ns
CV(%)	11,69	11,69
p-valor SW	0,2605	0,2605
p-valor BA	0,613	0,613

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: No teste F, “ns” indica não significativo a 5% de probabilidade (p-valor > 0,05), “*” indica significativo a 5% de probabilidade (p-valor < 0,05). No agrupamento de Scott-Knott, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação; SW - Shapiro-Wilk ; BA – Bartlett. T1 = Testemunha sem aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações ; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

Embora não significativo nesse experimento, indiretamente, o uso de biofertilizantes na cultura do café pode enriquecer o teor de matéria orgânica do solo, melhorando suas propriedades físicas e químicas, favorecendo o ambiente para a atividade de diversos microrganismos fundamentais, como os da camada superficial do solo. Estudos indicam que solos enriquecidos com fertilizantes orgânicos apresentam maior macrofauna (31,4%), população microbiana (34%) e índices de diversidade microbiana, se comparação com solos tratados com fertilizantes químicos (Walpola *et al.*, 2020; Elden *et al.*, 2020). A longo prazo, os biofertilizantes orgânicos têm um impacto mais positivo nas propriedades do solo do que os fertilizantes químicos, podendo melhorar a produção e o crescimento do café. (Rokhmah *et al.*, 2023).

O tratamento T3 - Biomaphos na dose parcelada, promoveu um aumento na massa de grãos de café verdes e maior número de grãos cereja. Este comportamento se repetiu na aplicação do tratamento T4 – Microgeo 300 L/ha⁻¹ e T5 – Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações, porém somente para a massa de grãos verdes.

Tabela 10 - Avaliação da massa e número de grãos entre os diferentes graus de maturação do café em função da aplicação dos tratamentos

Massa de grãos verdes					
Graus de Maturação					
Tratamentos	Verde	Verde Cana	Cereja	Passa	Seco
T1	28,50 b	51,7	45,3	90,8	83,5
T2	25,25 b	43,7	45,7	89,5	95,7
T3	37,00 a	32	56,7	98,5	75,7
T4	34,00 a	41	50	97	78
T5	35,25 a	41	42,5	101	79,7
T6	31,25 b	42	51,7	88,2	86,7
F	3,8*	1,4 ns	1,5 ns	0,5 ns	0,7 ns
CV(%)	14,23	25,7	17,28	16,11	21,65
p-valor SW	0,95	0,94	0,67	0,49	0,94
p-valor BA	0,63	0	0,11	0,5	0,5

Número de grãos					
Graus de Maturação					
Tratamentos	Verde	Verde Cana	Cereja	Passa	Seco
T1	17,5	33,5	29,2 b	96	168,2
T2	12,3	22,8	27,7 b	112,2	189
T3	21,5	31,5	38,2 a	97,5	144,2
T4	17,1	29,3	31,7 b	101,9	167,2
T5	11,5	27,8	25,2 b	113,7	173,2
T6	15,6	27,8	30,7 a	106,3	168,4
F	1,3 ns	0,9 ns	2,59*	0,6 ns	0,8 ns
CV(%)	41	31,4	22,7	22	25,9
p-valor SW	0,1	0,54	0,22	0,35	0,86
p-valor BA	0,21	0,28	0,1	0,97	0,94

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: No teste F, “ns” indica não significativo a 5% de probabilidade (p-valor > 0,05), “*” indica significativo a 5% de probabilidade (p-valor<0,05). No agrupamento de Scott-Knott, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação; SW - Shapiro-Wilk ; BA – Bartlett. T1 = Testemunha sem aplicação; T2 = Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹; T3 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ em duas aplicações; T4 = Microgeo 300 L/ha⁻¹; T5 = Microgeo 150 L/ha⁻¹ em duas aplicações ; T6 = Biomaphos 0,250 L/ha⁻¹ na primeira aplicação e Microgeo 150 L/ha⁻¹ na segunda aplicação.

Muito do conhecimento que se tem hoje sobre os efeitos dos bioestimulantes são limitados às casas de vegetação e também em experimentos de longo prazo. A identificação e caracterização de microrganismos associados ao *Coffea arabica* em relação às suas características funcionais para a promoção do crescimento das plantas ainda são incipientes. Araújo *et al.* (2020), relatam que poucos ensaios foram realizados sobre o crescimento de plantas de café em campo. Baptistella (2022) explica que são necessários mais estudos para se avaliar a sobrevivência de bactérias e fungos em condições de campo, bem como sobre o sinergismo do *Coffea arabica* com a aplicação de inoculantes biológicos (Bager; Lambin, 2020).

Os resultados apresentados evidenciam a complexidade das interações entre os

tratamentos aplicados, o tempo de avaliação e as características químicas e biológicas do solo. As análises realizadas demonstraram a relevância do manejo nutricional utilizando biofertilizantes e insumos orgânicos na promoção da solubilização de nutrientes, na atividade microbiana e no aumento da matéria orgânica, refletindo em melhorias na fertilidade do solo e na sustentabilidade da cultura do café. Tais efeitos foram observados especialmente em tratamentos que utilizaram doses plenas ou combinações estratégicas de produtos, com destaque para o tratamento T2 – Biomaphos 0,500 L/ha⁻¹ que apresentou a maior eficiência na liberação gradual de fósforo e na atividade enzimática ao longo do tempo. Este trabalho reforça, assim, a importância de práticas agrícolas inovadoras e sustentáveis, apontando para novos caminhos no manejo de solos e na produção de café.

5. CONCLUSÃO

A aplicação do Biomaphos e do Microgeo apresentaram efeitos positivos no aumento do teor de fósforo disponível no solo e no aumento da atividade da enzima fosfatase ácida. A intervenção microbiana na solubilização do fósforo pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a disponibilidade deste nutriente no solo. Sugere-se a realização do ensaio por mais safras, de modo a para confirmar os resultados obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. S. *et al.* Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2017. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1065208>. Acesso em: 22 abr. 2024.
- AKANDE, M. O.; ADEDIRA, J. A.; OLUWATOYINBO, F. I. Effects of rock phosphate amended with poultry manure on soil available P and yield of maize and cowpea. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 5, p. 444–448, maio 2005. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/15120>. Acesso em: 11 abr. 2025. [Jornais Africanos Online](#)
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 971, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>. Acesso em: 22 jan. 2023.
- ARAÚJO, V. C. *et al.* Enhanced growth in nursery of coffee seedlings inoculated with the rhizosphere fungus *Aspergillus niger* for field transplantation. **Rhizosphere**, v. 15, p. 100236, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219820301488>. Acesso em: 26 jun. 2023.
- BAGER, S. L.; LAMBIN, E. F. Sustainability strategies by companies in the global coffee sector. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, p. 3555–3570, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bse.2596>. Acesso em: 24 jan. 2023.
- BAPTISTELLA, J. L. C. *et al.* Phosphorus cycling by *Urochloa decumbens* intercropped with coffee. **Experimental Agriculture**, v. 58, p. e36, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363847175_Phosphorus_cycling_by_Urochloa_decumbens_intercropped_with_coffee. Acesso em: 17 abr. 2023.
- BHATTARAI, K. P.; MANDAL, T. N. Relationship between soil microbial biomass and fine roots in Tarai and Hill Sal (*Shorea robusta* Gaertn.) forests of Eastern Nepal. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 42, p. 19–28, 2017. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173224967>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- BILLAH, M. *et al.* Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. **Geomicrobiology Journal**, v. 36, p. 904–916, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01490451.2019.1654043>. Acesso em: 8 abr. 2023.
- BIOMA. *BiomaPhos*. Disponível em: <https://bioma.ind.br/produto/bioma-phos>. Acesso em: 7 nov. 2021.
- CHEN, Y. P. *et al.* Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. **Applied Soil Ecology**, v. 34, p. 33–41, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139306000047>. Acesso em: 1 jan.

2024.

CHERCHALI, A. *et al.* Isolation and identification of a phosphate-solubilizing *Paenibacillus polymyxa* strain GOL 0202 from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) rhizosphere and its effect on some seedlings morphophysiological parameters. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187881811830433X>. Acesso em: 13 nov. 2023.

CLIMATE-DATA (BRASIL). **Clima: Minas Gerais 2022**. Elaborado por Köppen e Geiger. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais203/>. Acesso em: 13 set. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Último levantamento da safra 2023/2024 estima produção de grãos em 298,41 milhões de toneladas**. Brasília, DF: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5728-ultimolevantamento-da-safra-2023-2024-estima-producao-de-graos-em-298-41-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 06 out. 2024.

CUNHA, J. F. *et al.* Balanço de nutrientes na agricultura brasileira – 2014. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 145, p. 1-13.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/bDfpJwLr4xLcznSwy4b9zkl/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

EL-DEEN, R. O. S. *et al.* Effects of phosphate solubilizing microorganisms on wheat yield and phosphatase activity. **Egyptian Journal of Microbiology**, p. 71-86, 2020. Disponível em: https://ejm.journals.ekb.eg/article_98703.html. Acesso em: 21 maio 2022.

FAVARIN, J. L. **Botânica, morfologia e zoneamento agrícola do cafeeiro**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, 2012. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/53179597/botanica-morfologia-e-zoneamento-agricola-do-cafeeiro>. Acesso em: 9 abr. 2024.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 991-996, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rxFZGbfmkv3dmbY78GcVjQr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 1 abr. 2023.

GARCIA, A. L. A. *et al.* **Efeito do adubo biológico Microgeo® na dinâmica do fósforo, na cultura do café**. 2015. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/7097>. Acesso em: 13 out. 2023.

GARG, S. K. *et al.* *In vitro* fixation, phosphate solubilization, survival and nutrient release by *Azotobacter* strains in aquatic system. **Bioresource Technology**, Fayetteville, v. 80, p. 101-109, 2001. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11563699/>. Acesso em: 17 jun. 2022.

GOLDSTEIN, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 51-57, 1986. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/44506926>. Acesso em: 20 mar. 2023.

GOLDSTEIN, A. H.; ROGERS, R. D.; MEAD, G. Mining by microbe. **Nature Biotechnology**, v. 11, n. 11, p. 1250–1254, 1993.

GOMES, E. A. *et al.* Role of phosphate solubilizing microbes on phosphorous availability and yield attributes of millet. In: PUDAHE, R. N.; KUMARI, M.; SAPKAL, D. R.; SHARMA, A. K. (ed.). **Millet Rhizosphere - Rhizosphere Biology**. Springer, Singapore, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373848899_Role_of_Phosphate_Solubilizing_Microbes_on_Phosphorous_Availability_and_Yield_Attributes_of_Millet. Acesso em: 2 jun. 2023.

GUARÇONI, M. A. Características da fertilidade do solo influenciadas pelo plantio adensado de café conilon. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 949-958, 2011. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/1679-0359.2011v32n3p949>. Acesso em: 13 abr. 2024.

HAVLIN, J. L. *et al.* Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. **Pearson Prentice Hall**, 2005. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2613443>. Acesso em: 10 de abr. 2023.

HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Soil Research**, v. 35, n. 2, p. 227-239, 1997. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/s96047>. Acesso em: 26 out. 2023.

IRSHAD, U. *et al.* Phosphorus acquisition from phytate depends on efficient bacterial grazing, irrespective of the mycorrhizal status of *Pinus pinaster*. **Plant Soil**, v. 321, p. 213–233, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1161-3>. Acesso em: 6 abr. 2024.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, ID 4917256, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2019/4917256>. Acesso em: 1 fev. 2023.

KOCH, M. *et al.* Phosphorus stocks and speciation in soil profiles of a long-term fertilizer experiment: evidence from sequential fractionation, P K-edge XANES, and ³¹P NMR spectroscopy. **Geoderma**, v. 316, p. 115–126, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706116310382>. Acesso em: 17 ago. 2024.

KPOMBLEKOU, A. K.; TABATABAI, M. A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. **Soil Science**, v. 158, p. 442-453, 1994. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/abstract/1994/15860/effect_of_organic_acids_on_release_of_phosphorus.6.aspx. Acesso em: 15 fev. 2024.

KUNWAR, V. S. *et al.* Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere of coffee plant and evaluating their effects on growth and development of coffee seedlings. **Biotechnology Industrial Journal**, v. 14, n. 5, p. 173, 2018. Disponível em: <https://www.tsijournals.com/articles/isolation-and-characterization-of-phosphate-solubilizing-bacteria-from-rhizosphere-of-coffee-plant-and-evaluating-their-effects-on-growth-and-development-of-coffee-seedli-13846.html>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LANA, R. M. Q. *et al.* Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/9tPhqW7dYkXqSBSnY5jPnKd/>. Acesso em: 8 set. 2023.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P. da; BASTOS, A. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (org.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2024. Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 13–34.

LÓPEZ-BUCIO, J. L. *et al.* Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiology**, v. 129, n. 1, p. 244–256, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.010934>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article-abstract/129/1/244/6110161?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 1 maio 2024.

MAHANTA, D. *et al.* Modification of root properties with phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhiza to reduce rock phosphate application in soybean-wheat cropping system. **Ecological Engineering**, v. 111, p. 31-43, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857417305918>. Acesso em: 21 mar. 2025.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MARTINEZ, H. E. P. *et al.* Agronomic practices toward coffee sustainability. **Sci. Agric.**, v. 81, e20220277, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/gSjPY5zFDvxCPQYt894khHm/>. Acesso em: 05 ago. 2024.

MARTINS, D. R. **Estado nutricional e qualidade de bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo (IAC), 2008. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/pdf/pb1859701.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2023.

MATIELLO, J. B. *et al.* **Características e recomendações de cultivares de café**. 1. ed. São Paulo: Fundação Procafé, 2020. p. 253-354.

MURREL, T. S.; FIXEN, P. E. Improving fertilizer P effectiveness: challenges for the future. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM. Uberlândia. **Anais [...]**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. p. 150-151.

NYALEMEGBE, K.; OTENG, e; ASUMING-BREMPPONG, J. Integrated organic inorganic fertilizer management for rice production on the vertisols of the Accra Plains of Ghana. **W.**

Afric. J. App. Ecol., v. 16, p. 23-33, 2009. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/wajae/article/view/55866>. Acesso em: 12 out. 2023.

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 33, p. 1-16, 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5686270/>. Acesso em: 13 set. 2022.

OLIVEIRA, C. A. *et al.* **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 260).

PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. **Agriculture**, v. 9, p. 120, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/9/6/120>. Acesso em: 21 mar. 2024.

R DEVELOPMENT core team. r: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 21 maio 2023.

RAHMAN, M. *et al.* Effect of acidulated levels and application techniques of rock phosphate on phosphorus use efficiency and yield of wheat in calcareous soil of Peshawar- Pakistan. **Pure and Applied Biology**, v. 7, p. 1094-1103, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327559471_Effect_of_acidulated_levels_and_application_techniques_of_rock_phosphate_on_phosphorus_use_efficiency_and_yield_of_wheat_in_calcareous_soil_of_Peshawar-Pakistan. Acesso em: 01 jul. 2024.

ROBERTS, T. L. The role of fertilizer in growing the world's food. **Better Crops**, v. 93, p. 12-15, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/253809451_The_Role_of_Fertilizers_in_Integrated_Plant_Nutrient_Management. Acesso em: 13 mar. 2024.

RODRIGUEZ, H. *et al.* Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum spp.* **Naturwissenschaften**, v. 91, p. 552–555, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15502903/>. Acesso em: 13 mar. 2024.

ROKHMAH, D. D. N.; SUPRIADI, H.; HERYANA, R. N. Sustainable specialty coffee production: an agronomy perspective (A review). **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 1230, 012067, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374070293_Sustainable_specialty_coffee_production_An_Agronomy_perspective_A_review. Acesso em: 13 mar. 2024.

ROY, E. D. *et al.* The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, n. 5, p.

16043, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2016>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nplants201643>. Acesso em: 18 maio 2023.

SAKIYAMA, N. S. *et al.* **Café arábica**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015.

SATYAPRAKASH, M. *et al.* Phosphorus and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, v. 6, p. 2133–2144, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/316264917_Phosphorous_and_Phosphate_Solubilising_Bacteria_and_their_Role_in_Plant_Nutrition. Acesso em: 13 mar. 2024.

SON, H. *et al.* Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 2, p. 204-210, 2006. Disponível em:

<https://www.scilit.com/publications/5ffe9b81cbc92f45ebbf3555589a464>. Acesso em: 13 mar. 2024.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK (ed.) **Methods of Soil Analysis**, part 2. ASA, Madison, WI, 1965. p. 1550–1570. Disponível em:

<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr9.2.c62>. Acesso em: 13 mar. 2024.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (ed.). p. 775-833. **Madison**, WI: Soil Science Society of America, 1994. Disponível em:

<https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=2322633>. Acesso em: 13 mar. 2024.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. Cap. 13 – Absorção e assimilação de nutrientes minerais, de ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. p. 369-370.

THOMAZIELLO, R. A. *et al.* **Café arábica**: cultura e técnicas de produção. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 86 p.

WALPOLA, B. C.; HETTIARACHI, R. H. A. N. Organic Manure amended with phosphate solubilizing bacteria on soil phosphorous availability. **The Journal of Agricultural Sciences - Sri Lanka**, v. 15, n. 2, p. 153-163, 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/341280773_Organic_Manure_Amended_with_Phosphate_Solubilizing_Bacteria_on_Soil_Phosphorous_Availability. Acesso em: 13 mar. 2024.

WEI, Y. *et al.* Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate solubilizing bacteria inoculation. **Bioresource Technology**, v. 24, p. 190-199, 2018.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417316577>. Acesso em: 13 mar. 2024.