

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO  
FEDERAL DE MINAS GERAIS CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA

Amanda de Souza Costa

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL COMO FONTE DE FÓSFORO PARA  
PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

São João Evangelista  
2020

AMANDA DE SOUZA COSTA

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL COMO FONTE DE FÓSFORO PARA  
PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais Campus São João Evangelista como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto de Paula

São João Evangelista  
2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

C837a Costa, Amanda de Souza.  
2020

Aplicação de resíduo industrial como fonte de fósforo para produção de mudas de café (*coffea arabica L.*). / Amanda de Souza Costa. – São João Evangelista: IFMG, 2020.

35fl; il.

Dr. José Roberto de Paula.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2020.

1. Adubação fosfatada. 2. Borra de fosfato. 3. Resíduo metalúrgico. I. Costa, Amanda de Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 641.3373

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais  
Campus São João Evangelista  
Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

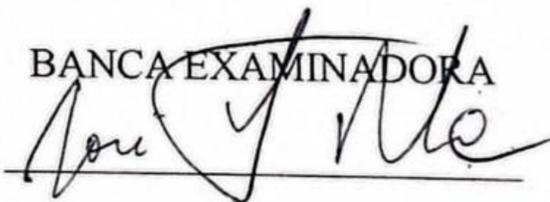
**AMANDA DE SOUZA COSTA**

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL COMO FONTE DE FÓSFORO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE  
CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São  
João Evangelista como exigência parcial para  
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em 14 / 05 / 2020

BANCA EXAMINADORA



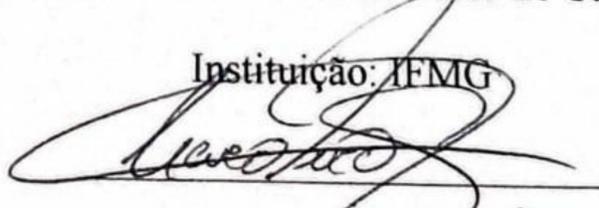
Orientador Prof. Dr. José Roberto de Paula

Instituição: IFMG



Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho

Instituição: IFMG



Prof. Dr. Cícero Teixeira da Silva

Instituição: Pesquisador UFVJM

Dedico essa monografia aos meus familiares que são meus maiores incentivadores.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela graça de alcançar mais uma vitória em minha vida.

A minha família em especial aos meus pais, Coraci e Acácia por todo o apoio e conselhos recebidos durante essa etapa da minha vida.

Aos meus tios, Sebastião e Marilene por terem me acolhido em sua casa, permitindo que eu pudesse concluir mais essa etapa.

Ao meu orientador, Doutor José Roberto de Paula e a todos os professores do campus que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

A Mestra Thaís Helena de Oliveira Norte, por toda ajuda e apoio recebidos durante a condução desse trabalho.

AUFMG pela doação da amostra de lama de fosfato testada nesse trabalho.

Aos funcionários do campus por toda ajuda recebida, em especial ao Mestre Valdevino Pereira da Silva por todo o conhecimento que me foi proporcionado durante o período em que atuei com aprendiz no Laboratório de Análises de Solo.

Aos meus colegas Alisson, Luanna e João Paulo por toda a ajuda durante a realização desse trabalho.

A todas as pessoas que sempre estiveram ao meu lado me apoiando para que eu chegasse até aqui.

Tente mover o mundo – o primeiro passo será mover a si mesmo.

Platão

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da aplicação de uma fonte de fósforo à base da lama de fosfato (LF) sobre a produção de mudas de café (*Coffea arabica* L.) e comparar o seu efeito com o do superfosfato simples (SS). A indústria metalúrgica, durante os processos de fabricação, gera resíduos que devem ser tratados e encaminhados para a disposição final ambientalmente adequada. Um desses resíduos é a lama de fosfato que possui uma quantidade significativa, 46% de fósforo em sua composição. Para a condução do experimento foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, contendo 7 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pela testemunha, por aplicações no substrato, de SS nas doses de 450 e 900 mg.dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; pela aplicação conjunta de SS e LF, nas doses de 450 mg.dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e por aplicações de LF nas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 450, 900 e 1800 mg.dm<sup>-3</sup>. Com os resultados obtidos, concluiu-se que a melhor dosagem para a produção de mudas de café foi a de 900 mg.dm<sup>-3</sup> de SS; não se recomenda a utilização da LF como única fonte de P para a produção de mudas de café; em condições específicas, visando a produção de mudas de café de qualidade razoável, pode-se recomendar a utilização da LF como fonte de liberação lenta de P associada ao superfosfato simples.

**Palavras-chave:** Adubação fosfatada. Borra de fosfato. Resíduo metalúrgico.

## ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the technical feasibility of applying a phosphorus source based on phosphate sludge (LF) on the production of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) and to compare its effect with that of simple superphosphate (SS). The metallurgical industry, during the manufacturing processes, generates waste that must be treated and sent to the environmentally appropriate final disposal. One of these residues is the phosphate sludge which has a significant amount, 46% of phosphorus in its composition. To conduct the experiment, a randomized block design was used, containing 7 treatments and 4 repetitions. The treatments were constituted by the control, by applications in the substrate, of SS in the doses of 450 and 900 mg.dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; by the joint application of SS and LF, in the doses of 450 mg.dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and by applications of LF in the doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> of 450, 900 and 1800 mg.dm<sup>-3</sup>. With the results obtained, it was concluded that the best dosage for the production of coffee seedlings was 900 mg.dm<sup>-3</sup> of SS; the use of LF as the only source of P for the production of coffee seedlings is not recommended; under specific conditions, aiming to produce coffee seedlings of reasonable quality, the use of LF as a source of slow release of P associated with simple superphosphate can be recommended.

**Keywords:** Phosphate fertilizer. Phosphate sludge. Metallurgical residue

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografia de uma planta de cada tratamento. ....	23
Figura 2. Representação gráfica para número de par de folhas e altura da muda. ....	24
Figura 3. Representação gráfica para massa fresca da parte aérea, massa fresca radicular, massa seca da parte aérea e massa seca radicular.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do lama de fosfato gerada na empresa. ....	19
Tabela 2. Tratamentos realizados. ....	20
Tabela 3. Quantidades de fertilizantes que foram utilizadas em 20,0 dm <sup>3</sup> de substrato. ....	21
Tabela 4. Resumo da análise de variância para número de pares de folhas (NPF) e altura da muda (AM). ....	23
Tabela 5. Médias dos tratamentos para número de pares de folhas (NPF) e altura de mudas (AM). ....	24
Tabela 6. Médias dos tratamentos para massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR). ....	25
Tabela 7. Médias dos tratamentos para MFPA, MFR, MSPA, MSR. ....	26

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABIC - Associação Brasileira da Indústria do Café

AM – Altura da muda

CMAP – Capacidade máxima da adsorção de fósforo

CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas-IBGE

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

ETEI - Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

Fed – Ferro disponível

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K – Potássio

LF – Lama de Fosfato

m – Saturação por alumínio

MFPA – Massa fresca da parte aérea

MFR – Massa fresca da raiz

MOS – Matéria Orgânica do Solo

MSPA – Massa seca da parte aérea

MSR – massa seca da raiz

N – Nitrogênio

NPF – Número de pares de folhas

P – Fósforo

PNRS - Plano Nacional de Resíduos Sólidos

SS – Superfosfato simples

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1 Resíduo industrial fosfatado .....	15
2.2 Adubação fosfatada nos solos .....	16
2.3 Produção de mudas de café .....	17
2 MATERIAL E MÉTODO .....	19
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	23
5 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS .....	30
ANEXO A – Análise química do solo utilizado.....	33
ANEXO B – Imagens da condução do experimento.....	34

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas de Minas Gerais, em sua maioria, são ácidos e pobres e não há como cultivá-los racionalmente sem correções e adubações, sendo que uma das causas principais pela baixa produção agrícola na maioria dos solos é a deficiência de fósforo (P) (RIBEIRO, 1999).

De acordo com Resende *et al.*(2016), solos da região do cerrado são naturalmente ácidos e apresentam graves limitações ao desenvolvimento das plantas, por apresentarem baixa disponibilidade de nutrientes catiônicos, baixo teor de matéria orgânica (MOS), alta saturação por alumínio (m) e alta capacidade de fixação de fósforo e dessa forma tem-se a necessidade de realizar a construção de sua fertilidade, como a calagem, gessagem, adubações com P, K, e micronutrientes antes do cultivo.

Em regiões tropicais o P é o nutriente que mais limita a produção (LIMA, 2019). O P é um dos elementos mais importantes para o metabolismo vegetal, sendo essencial para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Quando aplicado na quantidade certa, o P estimula a germinação, o desenvolvimento das raízes e melhora a produção das culturas (ALVES DA SILVA *et al.*, 2015).

De acordo com Grant *et al.*, (2001), o P desempenha um papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, além de outras funções durante o ciclo de desenvolvimento como: divisão das células, intensificando-a; entra na composição de algumas substâncias de reserva, como os albuminóides e o amido; oferece força e rigidez aos caules dos cereais; facilita a floração; aumenta a frutificação; apressa a maturação; intensifica a resistência das plantas às moléstias; contribui para o desenvolvimento do sistema radicular e para a saúde geral da planta.

Melo *et al.*, (2005), afirmam que devido a baixa disponibilidade de P nos solos, são necessárias aplicações de elevadas doses de fertilizantes fosfatados por ocasião do plantio, mas são extraídas pelas plantas quantidades relativamente pequenas de P, indicando que grande parte dos fosfatos adicionados estaria indisponível para o cafeeiro em crescimento.

Diferente do processo de fabricação de alguns fertilizantes comerciais em que se utilizam recursos naturais e insumos químicos para sua obtenção, alguns produtos e resíduos gerados em processos industriais devem ser testados na agricultura, se apresentando como alternativos no fornecimento de nutrientes às plantas, reduzindo, substancialmente, os impactos causados no meio ambiente.

Na indústria metalúrgica, um dos processos empregados é o revestimento fosfático ou fosfatização das superfícies metálicas. Este processo consiste no tratamento das peças metálicas e suas ligas a fim de aumentar a resistência à corrosão e melhorar a adesão à tinta (Guerreiro, 2009). Ainda segundo o autor a partir do banho de fosfatização, é gerado um resíduo no processo que contém íons metálicos que vêm da superfície metálica e da própria solução do banho chamado lama de fosfato.

Este resíduo por sua vez, é encaminhado para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) da empresa onde é incorporado ao lodo da ETEI o qual, também, constitui um resíduo sólido.

Segundo preconiza o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), as indústrias devem, ao realizar a disposição final de resíduos, dar prioridade à sua reutilização ou reciclagem e, na inviabilidade de realização desses processos, deve encaminhar os resíduos para a disposição final ambientalmente correta em aterros industriais ou incineração ou coprocessamento em fornos de cimento, o que acontece, majoritariamente, apesar de ser bastante oneroso para as empresas.

O resíduo estudado nesse trabalho é oriundo do processo de fosfatização de uma empresa multinacional com unidade em Minas Gerais – Betim e possui em sua constituição, quantidades expressivas de fósforo (46%), apresentando, assim, grande potencial de ser reciclado e ser utilizado no solo para fornecer nutrientes às plantas diminuindo a necessidade de fertilizantes sintéticos.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da aplicação de uma fonte de fósforo à base de borra de fosfato na produção de mudas de *Coffea arabica* L. e comparar os efeitos da aplicação com o fertilizante comercial superfosfato simples.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Resíduo industrial fosfatado

O Setor Metalúrgico está enquadrado na Classificação Nacional de Atividades Econômicas-IBGE (CNAE) como Indústrias de Transformação e abarca cinco atividades industriais: produção de ferro-gusa e de ferroligas, siderurgia, produção de tubos de aço, exceto sem costura; metalurgia dos metais não ferrosos e fundição. Em 2019, o Brasil fechou o ano com uma produção de 32,2 milhões de toneladas de aço bruto (ESTADÃO DE MINAS, 2020).

Em 2018, o país ocupava o 9º lugar no ranking mundial com uma produção de 34,4 milhões de toneladas (Estadão de Minas, 2019). Entretanto, isso significa também que houve alto impacto ambiental, pois se estima uma média de 435 kg de resíduos gerados por tonelada de aço produzido (DO NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Um dos processos utilizados na indústria metalúrgica que gera resíduo sólido é o revestimento fosfático ou fosfatização de superfícies metálicas (Guerreiro, 2009). O banho de fosfatização consiste na aplicação principalmente de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) e cátions de metais bivalentes como Manganês ( $Mn^{2+}$ ), Níquel ( $Ni^{2+}$ ), Cobalto ( $Co^{2+}$ ), Cobre ( $Cu^{2+}$ ), Cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) (GUERREIRO, 2009).

A solução é inerentemente agressiva ao substrato e o ataque ácido das superfícies metálicas leva ao aumento local do pH e concentração de íons metálicos. A maior parte das carrocerias de automóveis são fosfatizadas antes da pintura para aumentar a resistência à corrosão e melhorar a adesão á tinta (LUZ, 2011).

Durante o banho de fosfatização, ocorre precipitação de fosfato nas formas de  $FePO_4$  e  $Zn_3(PO_4)_2$ , por exemplo, gerando um resíduo denominado lama de fosfato ou borra de fosfato. Esse resíduo, por sua vez, é encaminhado para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) da empresa onde será incorporado ao lodo da ETEI o qual, também, constitui um resíduo sólido.

A baixa solubilidade do fósforo total em água pode ser favorável para aplicação na agricultura porque reduz a disponibilidade imediata do nutriente e por consequência minimiza a perda por adsorção. A solubilidade em ácido cítrico simula a disponibilidade do nutriente quando associado a raízes com micorrizas, ou seja, nesta condição, o fósforo disponibilizado é absorvido pela planta, obtendo maior aproveitamento do mesmo, logo, esta característica é favorável para produção fertilizante.

O resíduo final gerado na Indústria Metalúrgica deve ser encaminhado para aterros industriais ou para o coprocessamento que são considerados destinos ambientalmente corretos para a disposição final desse resíduo sólido. O coprocessamento baseia-se na queima e destruição do resíduo em fornos de cimento.

No entanto, segundo o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, deverão ser estabelecidas metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final. Além disso, é importante recordar que os resíduos sólidos são, na realidade, ou deveriam ser considerados matéria-prima para produção de outros artefatos, evitando, assim, a exploração de mais recursos naturais (ANDREOLI, 2001). É importante destacar que o resíduo é classificado como resíduo de Classe II – A (não perigoso e não inerte).

Migliolaro *et al.* (2014), relataram a utilização de dois tipos de resíduo para o plantio de soja: escória de aciaria e lama cal, em quatro tratamentos diferentes. Constataram que a aplicação superficial dos resíduos em solo sob sistema de plantio direto favoreceu o desenvolvimento da cultura da soja, não havendo contaminação por metais pesados, atendendo a legislação vigente.

Altafin *et al.* (2004), avaliaram a utilização do lodo de fosfatização no preparo de mudas de espécies nativas. De acordo com os resultados obtidos, o lodo de fosfatização possui alto potencial para utilização na agricultura, mas os autores consideram que se fazem necessários mais estudos para dimensionar a dosagem adequada.

## **2.2 Adubação fosfatada nos solos**

A grande maioria dos solos de Minas Gerais e os da região de vegetação de cerrado apresentam características químicas inadequadas, como elevada acidez e deficiência de nutrientes, especialmente de fósforo, de cálcio e de magnésio (RIBEIRO, 1999).

De acordo com Lopes (2016), esses solos, em condição natural, são altamente lixiviados, possuem elevada acidez e saturação por alumínio, baixa capacidade de retenção de cátions e alta capacidade de fixação de fósforo.

Dentre os macronutrientes, o P é o que apresenta a maior variação quanto aos tipos de fertilizantes disponíveis no mercado. Esses produtos podem ser classificados quanto à sua solubilidade em água, em citrato neutro de amônio e em ácido cítrico. Conhecendo-se o produto e suas solubilidades, pode-se, de maneira geral, prever sua eficiência agrônômica

(capacidade de fornecimento de P para as culturas) e a melhor forma de utilização (DE SOUSA E LOBATO, 2004).

Os superfosfatos simples (18%  $P_2O_5$ ) e triplo (41%  $P_2O_5$ ), os fosfatos monoamônico (48%  $P_2O_5$ ) e diamônico (45%  $P_2O_5$ ) e alguns fertilizantes complexos possuem mais de 90% do P total solúvel em citrato neutro de amônio, dissolvem-se rapidamente no solo e são muito eficientes quanto à capacidade de fornecimento de P para as plantas.

As fontes solúveis de P são utilizadas principalmente na forma de grãos, com a finalidade de diminuir o volume de solo com o qual reagem, reduzindo o processo de insolubilização. São produtos de reconhecida e elevada eficiência agrônômica, correspondendo a mais de 90% do  $P_2O_5$  utilizado na agricultura brasileira (DE SOUSA E LOBATO, 2004).

Os fosfatos naturais chamados reativos, fosforitas de origem sedimentar, (Gafsa, Daouy, Arad, Carolina do Norte, dentre outros), cuja dissolução no solo é muito lenta possuem eficiência agrônômica muito baixa, em média de 25% para culturas anuais, em relação aos fosfatos solúveis em água, nos primeiros anos depois da aplicação (KAMINSKI, 1997).

Em geral, esses fosfatos naturais apresentam entre 10 a 12% de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico e teores de  $P_2O_5$  total de 28 a 30%, contudo, são fontes comparáveis aos fosfatos acidulados (superfosfato simples e triplo), quando finamente moídos para passar 85% em peneira de 0,075 mm, e aplicados em área total, em solos com pH até 5,5.

Essa eficiência tende a aumentar com as operações de aração e gradagem nos anos subsequentes e até superando os fosfatos acidulados, em sistemas de cultivo convencional (RIBEIRO, 1999). Isso se deve ao fato de que, ao longo do tempo os microrganismos do solo como as micorrizas tendem a aumentar a solubilização desses elementos.

### **2.3 Produção de mudas de café**

O Brasil é o maior exportador de café no mercado mundial e ocupa a segunda posição, entre os países consumidores da bebida. O Brasil responde por um terço da produção mundial de café, o que o coloca como maior produtor mundial, posto que detém há mais de 150 anos, segundo a Associação Brasileira da Indústria do Café – ABIC.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2019), a área total cultivada no país com café, considerando as espécies *C. arabica* e *C. canephora*, totaliza

2,16 milhões de hectares no ano de 2018. Desse total, 316,6 mil hectares (14,7%) estão em formação e 1,84 milhões de hectares, em produção, o que representa 85,3% da área.

Em relação às espécies, a produção de café arábica, contribuiu com 36,12 milhões a 38,16 milhões de sacas em 2018. Já o *C. canephora* apresentou produção estimada entre 14,36 milhões e 16,33 milhões no mesmo ano. Dessa forma, o café arábica vêm apresentando maior produção e também maior área plantada no país (CONAB, 2019).

O cafeeiro é uma planta perene de clima tropical. Pertence a família das *Rubiaceas* e ao gênero *Coffea* que reúne diversas espécies. A *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (robusta) são as de maior interesse econômico, constituindo respectivamente, 70% e 30% da produção mundial. O café arábica é um produto de qualidade superior (aroma e sabor mais apreciado no mundo), mais fino e de maior aceitação em todos os mercados, sendo por isso mais valorizado comercialmente (MOREIRA, 2013).

Há duas formas para se produzir mudas de café, através da propagação sexuada e assexuada. Na propagação sexuada é realizada a semeadura direta nas sacolinhas de polietileno ou indireta em bancos de areia e posterior repicagem. Já na propagação assexuada as mudas são obtidas através de estacas ou micro estacas produzidas, respectivamente, de ramos ortotrópicos e gemas induzidas, conduzidas em viveiros sob microaspersão (MATIELLO; BARROS, 1991).

As sementes para formação de mudas podem ser adquiridas junto aos órgãos oficiais, cujas linhagens ou cultivares são adaptados, apresentam elevado padrão genético e fitossanitário, ou diretamente em lavouras locais, onde deverão ser coletadas preferencialmente em plantas que apresentem boas características vegetativas e produtivas, observadas ao longo de, pelo menos, quatro ciclos de produção (EMBRAPA 2005).

Segundo Vallone (2010), os tipos de mudas mais comumente utilizados são as produzidas em sacolas de polietileno, utilizando substrato constituído por terra e esterco bovino e as produzidas em tubetes plásticos, de diferentes tamanhos, utilizando substrato comercial.

É notória a importância da adubação fosfatada na produção de mudas de café. No estudo conduzido por De Oliveira *et al.*, (2012), observou-se que na ausência desse nutriente, as plantas tiveram seu crescimento reduzido, as folhas inferiores apresentaram-se com uma coloração amarelo-bronzeada, com pontos necróticos evidenciados e posterior abscisão.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi realizado sob cultivo protegido em casa de vegetação no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, no município de São João Evangelista, situado na região Leste do Estado de Minas Gerais. A casa de vegetação encontra-se na latitude 18°33'9.42" Sul e longitude 42°45'11.15" Oeste. A condução do experimento ocorreu durante um período de seis meses, entre os meses de julho de 2017 a fevereiro de 2018.

Segundo Köppen, a região apresenta características climáticas distintas, específicas para região de clima tropical, sendo o inverno seco e o verão chuvoso, tendo uma temperatura média mínima de 21°C e sua média máxima de 27°C por ano, a altitude média é de 692 m, com uma precipitação anual de cerca de 1180 mm (SILVA, 2013).

A lama de fosfato foi doada pela Universidade Federal de Minas Gerais que a recebeu de uma indústria metalúrgica situada em Betim-MG. O resíduo veio em forma pastosa, a qual passou pelo processo de secagem em estufa a 40 °C por 48 horas e triturado até formar um pó fino.

O resíduo possui em sua constituição quantidades expressivas de fósforo na forma P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 1).

Tabela 1. Composição do lama de fosfato gerada na empresa.

Elementos dosados* (%)	Lama de fosfato
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31
ZnO	17
SiO <sub>2</sub>	4
CaO	0,8
NiO	0,1
MnO	0,08
K <sub>2</sub> O	<0,01
SrO	<0,01

\*Fonte: Análises de fluorescência de Raio-X realizadas na Universidade Federal de Minas Gerais.

Além disso, por meio de ensaios de solubilização, sabe-se que a solubilidade do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em água é de 5,37% e que a solubilidade em Ácido Cítrico 2% é de 13,83%. Essas características do resíduo são muito semelhantes às dos fosfatos naturais reativos.

O cultivar de café utilizado foi o topázio MG 1190. O delineamento utilizado foi o delineamento em blocos casualizados - DBC, apresentando sete tratamentos (dose de  $P_2O_5$ ) distribuídos com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por 16 mudas (4x4), sendo consideradas úteis apenas as quatro centrais como uma unidade experimental, totalizando 28 unidades experimentais.

Segundo Ribeiro *et al.* (1999), a dose de superfosfato simples (SS) para o cultivo de mudas de café é de  $5 \text{ g.dm}^{-3}$  ( $900 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$ ). Os tratamentos e as doses foram estabelecidos tendo como base esse valor. Os tratamentos encontram-se descritos na tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos realizados.

Tratamento	Dose de $P_2O_5$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no substrato		
	Superfosfato simples (SS)	Lama de fosfato (LF)	Total
T1	0	0	0
T2	450	0	450
T3	900	0	900
T4	450	450	900
T5	0	450	450
T6	0	900	900
T7	0	1800	1800

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os tratamentos compreendem a testemunha (T1) com dose de  $0 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$ , T2 e T3 realizados com o Superfosfato simples ( $450$  e  $900 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$ ), T4 feito com  $450 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$  proveniente do SS e  $450 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$  do resíduo e os demais tratamentos (T5, T6 e T7) utilizaram o adubo à base de resíduo industrial com as seguintes doses de  $P_2O_5$ :  $450$ ,  $900$  e  $1800 \text{ mg.dm}^{-3}$ .

As sementes de café foram submetidas a imersão em água por 24 h para a quebra da dormência. Em seguida, elas foram colocadas em leitos de areia para iniciar o processo de germinação (emissão da radícula), visando uma maior uniformidade das mudas, e foram regadas duas vezes ao dia, no início da manhã e no final da tarde.

A emissão das radículas iniciou-se 30 dias após a semeadura em areia. Posteriormente, as sementes foram transferidas para os tubetes cilíndricos (448) com capacidade de  $290 \text{ cm}^3$  cada, que foram previamente lavados e esterilizados com hipoclorito de sódio a 2% diluído em água.

O substrato foi preparado de acordo com as recomendações de Ribeiro *et al.* (1999), onde recomenda-se o uso de terra peneirada, esterco de curral curtido, cloreto de potássio e superfosfato simples.

Para não interferir nos resultados da pesquisa, o esterco não pôde ser acrescentado ao substrato porque é fonte de nutrientes como o P. A fonte de N utilizada foi a ureia, uma vez que possui menor custo e apresenta alto teor de N solúvel em água em sua composição (45%).

As quantidades de nutrientes e corretivos utilizados foram determinadas de acordo com análise de solo (ANEXO A). Não foi utilizado substrato comercial, pois nestes podem conter nutrientes que interfiram no resultado desejado. Dessa forma, utilizou-se terra de barranco peneirada proveniente de um Latossolo Vermelho distrófico, cloreto de potássio, ureia e calcário dolomítico. O substrato foi preparado inicialmente sem a fonte de fosfato.

Com base na literatura, foram aplicadas, como fatores constantes, uma dose de  $1 \text{ g.dm}^{-3}$  de KCl (RIBEIRO, 1995) misturado ao solo, uma dose de  $1,32 \text{ g.dm}^{-3}$  de  $\text{CaCO}_3$  (para elevação da saturação de bases a 55%) (CORRÊA *et al.*, 2007) e uma dose de  $250 \text{ mg.dm}^{-3}$  de N, na forma de ureia (quatro parcelamentos em cobertura). Os valores das quantidades do superfosfato simples (16-18% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , solúvel em  $\text{CNA}+\text{H}_2\text{O}$ ), do resíduo (46% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , solúvel em Ácido Cítrico) encontram-se na tabela 3.

Tabela 3. Quantidades de fertilizantes que foram utilizadas em  $20,0 \text{ dm}^3$  de substrato.

Tratamento	Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg.dm}^{-3}$ )	Quantidade de SS (g)	Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg.dm}^{-3}$ )	Quantidade LF (g)	KCl (g)	Ureia (g)	Calcário (g)
	SS		LF				
<b>T</b>	0	0	0	0	20	36,6	26,38
<b>2</b>	450	56,25	0	0	20	36,6	26,38
<b>3</b>	900	112,50	0	0	20	36,6	26,38
<b>4</b>	450	56,25	450	19,56	20	36,6	26,38
<b>5</b>	0	0	450	19,56	20	36,6	26,38
<b>6</b>	0	0	900	39,13	20	36,6	26,38
<b>7</b>	0	0	1800	78,25	20	36,6	26,38

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

O substrato foi preparado misturando-se de forma homogênea o cloreto de potássio e o calcário dolomítico com 7 partes de solo separadamente. O solo de cada tratamento foi disposto em vaso de 30 L e incubado por 30 dias (ANEXO B). Esse processo de incubação foi necessário devido à incompatibilidade entre o SS e o calcário que torna o P indisponível

quando aplicados ao mesmo tempo, dessa forma o calcário foi adicionado antes para que não houvesse a indisponibilidade do P.

Concluído o período de incubação, foram adicionadas as dosagens de  $P_2O_5$  (proveniente da LF e do SS) e o substrato foi distribuído nos tubetes onde foram colocadas as sementes de café. As plantas foram cultivadas no período de agosto de 2017 a fevereiro de 2018, com irrigação por microaspersão. A irrigação por microaspersão foi programada para quatro vezes ao dia: 9 h, 12 h, 15 h, 18 h. Em cada irrigação foram aplicados 5 mm de água durante 5 minutos.

As variáveis analisadas correspondem ao número de par de folhas das mudas (NPF), altura da muda (AM), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca do sistema radicular (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca do sistema radicular (MSR). Após 180 dias foi realizada a coleta dos dados e os resultados foram submetidos à análise de variância, adotando-se o nível de 1% de significância para os dados quantitativos, onde a validação da análise de variância foi realizada com a aplicação do teste Tukey a 5% de significância.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na figura 1 são apresentadas mudas de café representativas de cada tratamento.

Figura 1. Fotografia de uma planta de cada tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os dados da tabela 4 indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para número de pares de folhas (NPF) e altura da muda (AM).

FV	GL	QM	
		NPF	AM
<b>Bloco</b>	3	0,7847	1,6488
<b>Tratamento</b>	6	31,5714**	231,2225**
<b>Erro</b>	102	1,4677	3,8029
<b>Total corrigido</b>	111		
<b>CV (%)</b>		37,72	20,64
<b>Média geral</b>		3,1786	9,4464

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020; \* \* significativo a 1% pelo teste F.

Observando-se isoladamente as médias obtidas para a variável NPF, verifica-se que os T3, T2 e T4, apresentaram as maiores médias, sem diferenças significativas. Já para a variável AM, observa-se que o T3, com aplicação de  $900 \text{ mg.dm}^{-3}$  de SS, proporcionou a obtenção das maiores médias de altura de mudas de café que os demais tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Médias dos tratamentos para número de pares de folhas (NPF) e altura de mudas (AM).

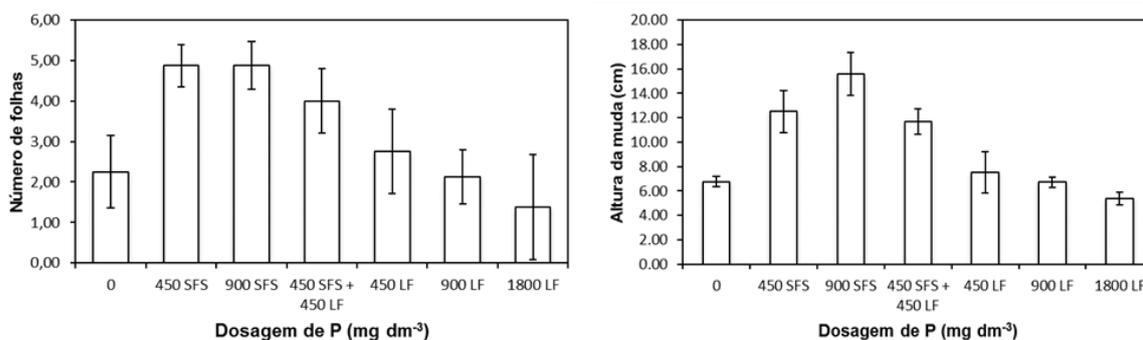
Tratamentos	Médias	
	NPF	AM
T3 (900 mg.dm <sup>-3</sup> SS)	4,875 a	15,563 a
T2 (450 mg.dm <sup>-3</sup> SS)	4,875 a	12,5 b
T4 (450 mg.dm <sup>-3</sup> SS+450 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	4,00 ab	11,688 b
T5 (450 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	2,75 bc	7,531 c
T1 (Testemunha)	2,25 cd	6,75 cd
T6 (900 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	2,125 cd	6,719 cd
T7 (1800 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	1,375 d	5,375 d

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020; Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo Teste Tukey (P>0,05)

Os parâmetros normalmente utilizados para avaliar a condição das mudas visando a instalação da cultura de café no campo, são a altura da muda e número de pares de folhas por muda. Nas condições deste estudo, levando-se em consideração as duas variáveis NPF e AM, os melhores resultados foram proporcionados pelo T3, com a aplicação de 900 mg.dm<sup>-3</sup> de SS.

Em razão da igualdade estatística das médias de NPF para T3, T2 e T4 e de AM, para T2 e T4, na perspectiva de redução de custos e da disposição adequada da LF, pode-se vislumbrar a utilização desse resíduo industrial para a produção de mudas de café (Figura 2).

Figura 2. Representação gráfica para número de par de folhas e altura da muda.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Dessa forma, tem-se uma alternativa para a utilização do resíduo, considerando um destino ambientalmente correto de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o que pode acarretar em redução no custo de produção das mudas de café, uma vez que o custo de obtenção de um adubo à base do resíduo é menor do que o custo de obtenção do SS.

A utilização conjunta dos dois fertilizantes pode proporcionar a obtenção de mudas de boa qualidade, pois com o SS tem-se uma disponibilidade imediata de fósforo devido à sua

maior solubilidade. Já devido a menor solubilidade do resíduo, tem-se uma liberação de fósforo, mais lenta e em médio prazo.

Segundo Marana *et al* (2008), os nutrientes a serem fornecidos às mudas devem ser disponibilizados de acordo com a necessidade das mesmas, durante o período de cinco meses, necessário à sua formação. Segundo estes autores, o uso de um adubo com liberação lenta atende a essa questão, podendo assim servir para a produção de mudas de café em tubetes, com qualidade necessária para a comercialização.

Pelas médias de NPF e AM proporcionadas pelos T1, T5, T6 e T7, não se recomenda a utilização da LF como única fonte de fósforo para produção de mudas de café. Não se observou benefícios da aplicação do resíduo (T5, T6 e T7), fato evidenciado pela ausência de diferença estatística destes tratamentos em relação ao T1, tratamento sem adição de fósforo (Tabela 5; Figura 2).

As demais variáveis testadas MFPA, MFR, MSPA e MSR também consideradas como alguns dos índices de qualidade de mudas em diversos experimentos de campo, apresentaram diferença estatística entre si (Tabela 6).

Tabela 6. Médias dos tratamentos para massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR).

FV	GL	QM			
		MFPA	MFR	MSPA	MSR
<b>Bloco</b>	3	0,9667	0,2829	0,0595	0,0023
<b>Tratamento</b>	6	22,091**	16,3945**	2,4582**	0,4959**
<b>Erro</b>	102	0,485	0,4313	0,0586	0,0138
<b>Total corrigido</b>	111				
<b>CV (%)</b>		53,30	43,81	48,02	43,97
<b>Média geral</b>		1,3067	1,4991	0,5039	0,2677

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020; \* \* significativo a 1% pelo teste F.

De acordo com os dados analisados não houve diferença significativa entre os tratamentos T2, T3 e T4 para a variável MFPA. Para as demais variáveis (MFR, MSPA e MSR) houve diferença entre esses tratamentos, sendo que o T3, com a aplicação de 900 mg.dm<sup>-3</sup> de SS se destacou entre os demais, indicando ser a dosagem recomendada de SS nessas condições (Tabela 7).

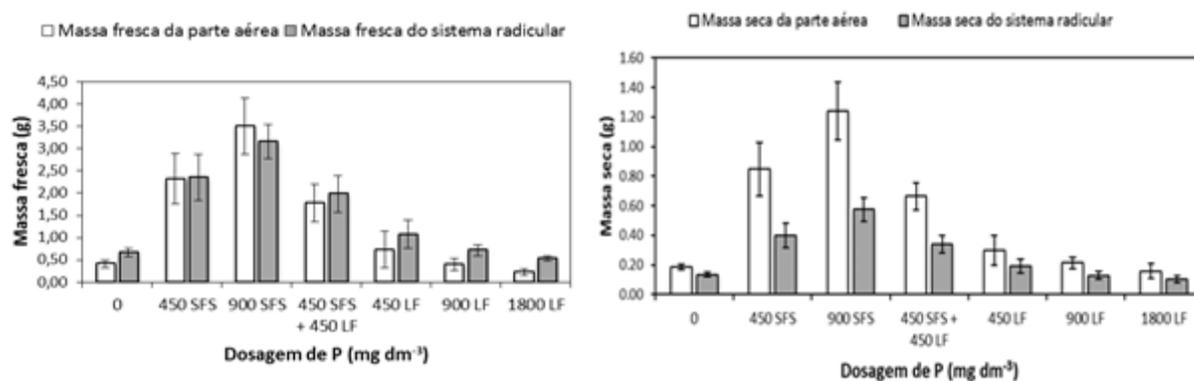
Tabela 7. Médias dos tratamentos para MFPA, MFR, MSPA, MSR.

Tratamentos	Médias			
	MFPA	MFR	MSPA	MSR
T3 (900 mg.dm <sup>-3</sup> SS)	3,283 a	3,158 a	1,16 a	0,574 a
T2 (450 mg.dm <sup>-3</sup> SS)	2,321 ab	2,36 b	0,848 b	0,399 b
T4 (450 mg.dm <sup>-3</sup> SS+450 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	1,779 ab	1,983 b	0,663 b	0,341 b
T5 (450 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	0,726 c	1,078 c	0,3 c	0,192 c
T1 (Testemunha)	0,411 c	0,664 c	0,183 c	0,134 c
T6 (900 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	0,404 c	0,72 c	0,213 c	0,129 c
T7 (1800 mg.dm <sup>-3</sup> LF)	0,223 c	0,53 c	0,158 c	0,104 c

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020; Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo Teste Tukey (P>0,05).

Os tratamentos T2 e T4 não diferiram entre si para as variáveis MFR, MSPA e MSR. Esse resultado aponta novamente, para a viabilidade de utilização do resíduo combinado com o SS, sempre na perspectiva de redução de custos de produção das mudas e também do descarte adequado da LF, com seu uso na agricultura. As menores médias, para essas mesmas variáveis, para T1, T5, T6 e T7, sem diferença estatística indicam que a presença do resíduo não beneficiou o desenvolvimento das mudas (Figura 3).

Figura 3. Representação gráfica para massa fresca da parte aérea, massa fresca radicular, massa seca da parte aérea e massa seca radicular.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Uma justificativa para a obtenção de menores média para as variáveis estudadas nos tratamentos com a aplicação do resíduo pode estar relacionada à alta concentração de íons de ferro (Fe) presente na LF (31% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Estudos mostram que a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) está diretamente relacionada com óxidos de ferro e alumínio presentes nos coloides do solo (FONTES & WEED, 1996 *apud* SILVA *et al.* 2015 ).

Ainda segundo Silva *et al.* (2015), as classes de solo com maior teor de ferro na forma cristalina (ferro ditionito, Fed), a qual expressa o teor total de Fe pedogenético, apresentaram maior adsorção de P.

As reações de adsorção de P são dinâmicas, sendo assim, uma pequena parcela do fósforo adsorvido torna-se reversível, fenômeno conhecido com histerese, ou seja, a quantidade de fósforo desorvida é inferior à quantidade adsorvida (SOUZA *et al.* 2006), desta forma, o solo perde a função de fonte de P para as plantas e, desempenha papel de dreno, fixando o P na fase sólida, configurando um fator limitante para a produtividade agrícola do Brasil (NOVAIS *et al.*, 2007).

Outra justificativa é a baixa solubilização do resíduo (13,83 % em Ácido Cítrico a 2%). Pereira *et al.* (2017), fizeram um estudo com o mesmo resíduo realizando um tratamento do material com bactérias acidófilas e conseguiram aumentar a solubilidade do resíduo em até 28%. Sendo assim, talvez o resíduo tratado por essas bactérias solubilizadoras apresente um melhor desempenho na produção de mudas de café.

Tomaz (2009) avaliou a adubação fosfatada da cana-de-açúcar utilizando diferentes fontes, doses e formas de aplicação. Uma das fontes utilizadas foi o Salmatec que é um resíduo industrial com origem semelhante ao resíduo utilizado nesse trabalho. Segundo o autor a aplicação desse resíduo teve efeito positivo para produtividade. Em uma de suas conclusões ele recomenda a aplicação de Salmatec na dosagem de 100 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para plantio da cana-de-açúcar, uma vez que apresenta menor custo que as outras fontes testadas. Em falta do mesmo o autor recomenda o Superfosfato Triplo que teve resultado semelhante, porém com um custo maior. Isso mostra que resíduos industriais fosfatados podem sim ser utilizados como fertilizantes desde que sejam testadas as dosagens corretas.

Na literatura, encontram-se outros tipos de resíduos industriais testados como fontes alternativas de nutrientes na cultura do café, como é o caso do resíduo de beneficiamento do granito. Martins & Fontan (2011), em um experimento utilizando amostras superficiais e subsuperficiais de um solo corrigido com este resíduo constataram que as plantas de café Conilon cultivadas em amostra superficial do solo corrigido absorveram maiores quantidades de P, Ca e Mg do que as cultivadas na amostra subsuperficial do solo. Isso se deve ao fato que por apresentar menor capacidade de adsorção de P, a amostra superficial (SUP) do solo disponibilizou maior quantidade de P para as plantas, em menor período de tempo, mesmo que as doses de fertilizante fosfatado aplicadas tenham sido iguais para ambas as amostras de solo, explica Rheinheimer *et al.* (2003).

Já Almeida *et al.* (2017), identificaram melhor desenvolvimento e crescimento de mudas de café em substratos que receberam adubações silicatadas junto com a adubação fosfatada, onde os autores constataram que a presença do silício aumentou a porcentagem de P disponível para as plantas, bloqueando os sítios de adsorção.

Neste experimento, não foi utilizada adubação silicatada, fato esse que também pode contribuir para a explicação dos resultados obtidos, uma vez que boa parte do P aplicado pode ter sido adsorvida pelos coloides do solo.

## 5 CONCLUSÃO

Nas condições de desenvolvimento deste estudo conclui-se que:

- A melhor dosagem para a produção de mudas de café foi a de  $900 \text{ mg.dm}^{-3}$  de superfosfato simples;
- Não se recomenda a utilização da lama fosfática como única fonte de P para a produção de mudas de café;
- Em condições específicas, visando a produção de mudas de café de qualidade razoável, pode-se recomendar a utilização da lama fosfática como fonte de liberação lenta de P, associada ao superfosfato simples.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.H.C. et al. **Silício e disponibilidade de fósforo no crescimento e desenvolvimento de mudas de café**. Revista Cultura Agronômica, Ilha Solteira, vol. 26, ed. 2. 2017. Disponível em: <<https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/viewFile/2388/1802>>. Acesso em: 31 de março de 2020.
- ALTAFIN, V. L. et al. **Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1, p. 45-50, 2004.
- ALVES DA SILVA, J. T.; RODRIGUEZ SIMÃO, F.; MOREIRA ALVES, J. J. **Desenvolvimento vegetativo e produção do pinhão-mansão em resposta à adubação fosfatada**. Revista Ceres, v. 62, n. 3, 2015. ISSN 0034-737X.
- ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001.
- Corrêa, J.B., Reis, T.H.P., Pozza, A.A.A., Guimarães, P.T.G., de Carvalho, J.G., 2007. **Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros ‘Catuaí Vermelho’(Coffea arabica L.)**. Coffee Science 2, 159-167.
- DE OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; DE MO, C. S. F. T. **Cultivo do café: fases do desenvolvimento e algumas técnicas de manejo**. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, v. 5, n. 4, 2012.
- DE SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Fosforo na Agricultura Brasileira, Yamada, T. and SRS Abdalla (Eds.), p. 157-196, 2004.
- DE SOUZA PRATES, F. B. et al. **Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha**. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 2, p. 207-213, 2011. ISSN 1806-6690.
- DO NASCIMENTO, R. S. D. M. et al. **Extração e fitodisponibilidade de zinco e chumbo em latossolo tratado com resíduos de siderurgia**. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, v. 9, n. 3, p. 322-329, 2014.
- EMBRAPA 2015. **Café Atualmente**. Site disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3854040/ministerio-daagricultura-pecuaria-e-abastecimento---mapa-divulga-dados-do-desempenhoda-cafeicultura-brasileira-no-1-semester-de-2015>. Acessado em 09 de jun. de 2020.
- GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura**. Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006. ISBN 8589819019.
- GUARCONI M., André; FANTON, César José. **Resíduo de beneficiamento do granito como fertilizante alternativo na cultura do café**. Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 16-26, Mar. 2011. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-66902011000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902011000100003&lng=en&nrm=iso)>. access on 31 Mar. 2020.

GUERREIRO, M. A. V. **Avaliação de processo de fosfatização.** 2009.

International Plant Nutrition Institute, **Evolução do consumo aparente de N, P, K e Total de NPK no Brasil.** Disponível em <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>>. Acesso no dia 18/05/2017 às 16:00 h.

KAMINSKI, J. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo.** Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. **Transformation of vegetable waste into value added products::(A) the upgrading concept;(B) practical implementations.** Bioresource Technology, v. 87, n. 2, p. 167-198, 2003. ISSN 0960-8524.

LIMA, Tatiane Melo de. **Diagnóstico da fertilidade do solo e do nível tecnológico de propriedades rurais no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.** 2019. 138 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.1>

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil.** In: SPARKS, D. (ed.). Advances in Agronomy 137. Cambridge: Academic Press, p. 1-72, 2016.

LUZ, Ana Maria Pimenta Ribeiro da. **Fosfatização de peças de metalom para utilização na construção civil.** Educação & Tecnologia, [S.l.], v. 7, n. 2, jan. 2011. ISSN 2317-7756. Disponível em: <<https://seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/46>>. Acesso em: 21 maio 2020.

MARANA, João Paulo et al . Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Cienc. Rural**, Santa Maria , v. 38, n. 1, p. 39-45, Feb. 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782008000100007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000100007&lng=en&nrm=iso)>. access on 09 June 2020.

MATIELLO, J. B.; BARROS, U. V. O café: do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. p 320.

MATIELLO, J. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações.** Ciência e Prática (Brasil) v. 15 (2) p. 177-185, 2005, Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento, Brasília, DF (Brasil).

MELO, Benjamim de et al . **Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio - MG.** Ciênc. agrotec., Lavras , v. 29, n. 2, p. 315-321, Apr. 2005 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542005000200007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542005000200007&lng=en&nrm=iso)>. access on 20 May 2020.

MIGGIOLARO, A. E. et al. **Diagnose foliar da cultura da soja em função da aplicação superficial de lodos de esgoto e resíduos industriais sob diferentes doses em sistema plantio direto.** Journal of Agronomic Sciences, p. 258-273, 2014. ISSN 2316-1809.

MORAGADO, A. **Produção de café no brasil: uma visão produção arábica e robusta.** Revista Cafeicultura, Patrocínio, p. 1-5, 2008.

MOREIRA, M. E. D. C. **Avaliação do potencial farmacológico de café (Coffea arabica L.) verde e torrado.** 2013.

NOVAIS, R.F. & MELLO, J.W.V. **Relação solo-planta.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.276-374.

PEREIRA, Júlia Pimenta; Moreira, Fernando Augusto; Lago, Rochel Montero; Marriel, Ivanildo Evódio; Souza, Francisco Adriano de; **"USO DA BORRA DE FOSFATO COMO FONTE DE FÓSFORO PARA AGRICULTURA, A PARTIR DA SOLUBILIZAÇÃO DE P POR BACTÉRIAS ACIDÓFILAS."**, p. 1450-1459 . In: . São Paulo: Blucher, 2017.

**PRODUÇÃO DE AÇO BRUTO EM 2019 NO BRASIL CAI 9%, DIZ IABR,** Estadão de Minas, 2020. Disponível em:

<[https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2020/01/23/internas\\_economia,1116511/producao-de-aco-bruto-em-2019-no-brasil-cai-9-diz-iabr.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2020/01/23/internas_economia,1116511/producao-de-aco-bruto-em-2019-no-brasil-cai-9-diz-iabr.shtml)>. Acesso em: 12/02/2020.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JR., A.; BORIN, A. L. D. C. **Solos de fertilidade construída:** características, funcionalidades e manejo. Informações Agronômicas, Piracicaba: POTAFOS, v. 156, p. 1-19, 2016.

RHEINHEIMER, D. S. et al. **Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional.** Ciência Rural, v. 33, n. 06, p. 1053-1059, 2003.

RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação.** Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

SILVA, Laércio santos; JÚNIOR, José Marques; BAHIA, Angélica Santos de Souza; CAMARGO, Lívia Arantes; PEREIRA, Gener Tadeu;. **Capacidade máxima de adsorção de fósforo em solos do nordeste do estado de São Paulo.** Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 35. Natal, RN. 2015. Disponível em:<

<https://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/348.pdf>>. Acesso em: 04/06/2020.

SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; TORRES, P.R.F. & BALIZA, D.P. **Calagem e adubação orgânica:** Influência na adsorção de fósforo em solos. R. Bras. Ci. Solo, 30:975-983, 2006.

TOMAZ, Halan Vieira de Queiroz. **Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo na cana-de-açúcar.** 2009. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. doi:10.11606/D.11.2010.tde-24022010-093150. Acesso em: 2020-03-30.

VALLONE, Haroldo Silva et al . Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciênc. agrotec.**, Lavras , v. 34, n. 1, p. 55-60, Feb. 2010 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542010000100006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000100006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 10/06/2020.

## ANEXO A – Análise química do solo utilizado

<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>H+AL</b>	<b>SB</b>	<b>t</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>m</b>	<b>MO</b>	<b>P rem</b>
H <sub>2</sub> O	mg.dm <sup>-3</sup>							cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>			%	dag.Kg <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>
<b>4.53</b>	<b>2.25</b>	<b>20</b>	<b>0.4</b>	<b>0.15</b>	<b>1.25</b>	<b>4.57</b>	<b>0.6</b>	<b>1.85</b>	<b>5.17</b>	<b>11.63</b>	<b>67.53</b>	<b>0.85</b>	<b>13.06</b>

pH em água - Relação 1:2,5

P - K - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl 1N

H + Al - Extrator: SMP

SB = Soma de bases trocáveis

CTC (t) - Capacidade de troca catiônica efetiva

CTC (T) - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0

V = Índice de saturação de bases

m = Índice de saturação de Alumínio

P-rem = Fósforo remanescente

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO 10N

## ANEXO B – Imagens da condução do experimento

- Imersão das sementes em areia para germinação.



- Incubação do solo.



- Emergência das plântulas após a transferência para os tubetes.



- 3 meses depois.



- 6 meses depois.

