

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

SABRINA COSTA NAVES

COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE MUDAS DE CAFEEIRO PRODUZIDAS EM
TUBETES CONTENDO SUBPRODUTO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

MONTE CARMELO

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

SABRINA COSTA NAVES

COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE MUDAS DE CAFEEIRO PRODUZIDAS EM
TUBETES CONTENDO SUBPRODUTO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Enio Tarso de Souza
Costa

MONTE CARMELO

2026

SABRINA COSTA NAVES

COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE MUDAS DE CAFEEIRO PRODUZIDAS EM
TUBETES CONTENDO SUBPRODUTO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia,
Campus Monte Carmelo, da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do grau
de Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, ____ de _____ de 2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Enio Tarso de Souza Costa
Orientador

Prof. Dr. Edson Simão
Membro da Banca

Profa. Dra. Gleice Aparecida de Assis
Membro da Banca

MONTE CARMELO

2026

AGRADECIMENTOS

Início agradecendo primeiramente a Deus, que é minha fonte de força e até aqui me sustentou, sem Ele, nada seria possível. Agradeço aos meus queridos pais, Clécio Eduardo Costa Eugênio e Dinamar Naves de Carvalho que tornaram a trajetória da graduação mais fácil, sendo minha base e meu alicerce, sempre me apoiando e me dando forças para continuar, me fazendo acreditar que tudo dará certo e que sou capaz. Aos meus avós, Joaquim Naves de Carvalho (*in memoriam*), que sempre foi meu apoiador e incentivador e se tornou minha grande inspiração para escolha da minha profissão, Vicentina Miranda Borges (*in memoriam*), que auxiliou na minha criação com amor, carinho e dedicação, sendo responsável por grande parte do que me tornei, Margarida Costa Araújo, que para mim, é representação de força, amor, cuidado e amparo, José Eugênio Filho (*in memoriam*), que mesmo não tendo o conhecido em vida, faz parte de quem eu sou. Ao meu namorado, Daniel Alves Santos, que divide a vida comigo e ajudou a tornar a jornada da graduação mais leve, sempre acreditando no melhor de mim. Ao meu orientador, Enio Tarso de Souza Costa, que foi essencial no processo de realização deste trabalho, agradeço por toda paciência e dedicação. Agradeço por fim, aos meus amigos e familiares que dividiram essa importante etapa da minha vida comigo. À FAPEMIG, ao CNPq, à CAPES, à PROPP, ao ICIAG, à UFU, aos proprietários do Comércio de Mudas Ilha Grande e da Fazenda Pirapitinga e a toda equipe do Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas Ltda (LABRAS) pelo apoio da pesquisa e pela colaboração na quantificação dos elementos.

SUMÁRIO

RESUMO	6
1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVO	9
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 - A cultura do cafeeiro e sua importância para o Brasil.....	9
3.2 – Produção de mudas do cafeeiro	12
3.3 – Composição elementar das mudas de cafeeiro	14
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6 CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

RESUMO

O setor de produção de mudas de café tem passado por inovações tecnológicas e demandas por matérias-primas que apresentam potencial para compor substratos. Nesse contexto, o subproduto da indústria cerâmica (SIC) destaca-se como um material alternativo de baixo custo e fácil obtenção devido ao grande volume gerado pelo setor cerâmico. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar as concentrações de macro e micronutrientes na matéria seca de raiz e de folhas de mudas de café produzidas em tubetes contendo SIC na composição do substrato. O experimento foi conduzido em um viveiro credenciado de produção de mudas de café, localizado no município de Monte Carmelo, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois níveis de granulometria e 6 doses, com três repetições e três plantas por parcela. A amostra do SIC foi coletada em uma indústria cerâmica também localizada no mesmo município. Após a coleta dos cacos de telhas e de tijolos, esse material foi macerado e tamisado para obtenção de materiais com partículas no diâmetro médio equivalente menores que 2 mm (0 a 2 mm) e entre 1 a 2 mm. A semeadura foi realizada em areia disposta em canteiros suspensos utilizando sementes selecionadas de *Coffea arabica* L., cultivar Arara. Após a emergência, as mudas, no estágio “orelha de onça”, foram transplantadas para os tubetes (175 cm³). O substrato foi formado por diferentes proporções (0; 2,5; 5,0; 10; 20 e 40% em base volume) e granulometria dos SICs (0 a 2 mm e de 1 a 2 mm de diâmetro médio equivalente) na mistura com substrato comercial contendo vermiculita e materiais orgânicos. Foi realizada a adubação de plantio com adubo de liberação lenta e adubações de cobertura. A irrigação foi realizada por aspersão e os tratos culturais realizados de acordo com as necessidades apresentadas durante a condução das mudas, seguindo o manejo padrão adotado pelo viveiro. Após 98 dias do transplante, as mudas com cinco pares de folhas foram conduzidas para o laboratório para separação, lavagem e secagem das raízes e parte aérea. Após a secagem, as raízes e folhas foram moídas para análise elementar em bloco digestor utilizando a solução nitroperclórica. As quantificações dos macro (P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn) foram realizadas no ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente). Os resultados foram submetidos a análise estatística, sendo os resultados apresentados por meio de tabelas, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Conclui-se que o subproduto da indústria cerâmica apresentou potencial para utilização na composição de substratos para mudas de café, conforme a granulometria e as doses aplicadas. As doses de até 20% na granulometria de 0 a 2 mm e até 10% na granulometria de 1 a 2 mm favoreceram principalmente os teores de P e K, além de contribuírem para concentrações adequadas de Ca, Mg, S e Mn. Já a dose de 40% promoveu redução nos teores de P, Ca e Mn em alguns tratamentos, além de maior concentração de Fe e Cu nas raízes. Dessa forma, o uso do SIC em doses moderadas mostra-se uma alternativa sustentável e viável para a produção de mudas de café.

Palavras-chave: Nutriente, Reaproveitamento, Café, Produção, Tubete.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das atividades agrícolas mais importantes para a economia brasileira e essencial para a movimentação do agronegócio. O Brasil é o maior produtor e exportador de café (FAO, 2024) e o segundo maior consumidor da bebida no mundo. Além disso, de acordo com dados publicados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization – FAO*), no ano de 2024, o café foi o 4º produto mais exportado pelo Brasil e alcançou um valor de 11,34 bilhões de dólares. A produção estimada para o ano de 2026 será de 66,2 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, o que representa um crescimento de 17,1% em relação à safra anterior (CONAB, 2026).

O sucesso da cultura do cafeeiro no Brasil decorre das diferenças climáticas no território, associadas às variações na altitude e no tipo de solo, as quais possibilitam a produção de grãos de Norte a Sul que originam cafés com bebidas variadas. Os variados padrões de qualidade e aroma da bebida são obtidos de duas espécies de cafeeiro, *Coffea arabica* L. (arábica) e *C. canephora* Pierre (canéfora, robusta, conilon), as quais apresentam uma grande variedade de cultivares (Brasil, 2022). No Brasil e em Minas Gerais, a espécie *C. arabica* L. é a mais cultivada quando comparada com a espécie *C. canephora* Pierre (CONAB, 2026).

A cafeicultura brasileira apresenta diversas formas de produção e manejo, as quais variam de região para região. Essas variações vão desde sistemas familiares pouco tecnificados como nas montanhas capixabas, até modelos altamente mecanizados e irrigados, como no oeste da Bahia. Há também, situações intermediárias em regiões como Sul de Minas, Mogiana Paulista e Cerrado Mineiro (Frederico, 2017). A cafeicultura do Cerrado Mineiro é altamente mecanizada e irrigada, apresentando produtividade acima da média nacional, por utilizar esses recursos de forma eficiente (Fernandes *et al.*, 2012).

Considerando as taxas de renovação das lavouras e a expansão das áreas cafeeiras no Brasil, a produção de mudas é de suma importância para atender essas demandas em todo país. Produzir mudas de qualidade é um fator relevante, pois, quando essa etapa é conduzida de forma adequada, se obtém mudas saudáveis, bem nutridas e vigorosas que favorecem a implantação, o desenvolvimento e a longevidade da lavoura. Uma lavoura bem implantada, conseqüentemente, torna a atividade mais sustentável, pois as plantas produzirão mais precocemente, apresentarão menor suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças, maior resistência às adversidades climáticas e maior produtividade

com menor custo. Tudo isso, são considerados fatores importantes para o sucesso de uma lavoura (Souza; Kaulz; Almeida, 2022).

O setor de produção de mudas de cafeeiro tem se inovado e beneficiado com os avanços tecnológicos. Nesse sentido, a incorporação de tubetes no processo produtivo se mostrou promissor devido às suas vantagens comparadas ao uso de saquinhos. Dentre as vantagens do uso tubete tem-se: facilidade operacional, redução de mão-de-obra, menor imobilização de área para construção de viveiros e redução do volume de substrato (Freitas *et al.*, 2006).

Além do uso de recipientes adequados, como os tubetes, a escolha do substrato também é um fator que impacta na qualidade da produção de mudas de cafeeiro. Os substratos são constituídos por materiais orgânicos e inorgânicos, sendo a proporção e a qualidade de cada um desses materiais determinantes para imprimir características favoráveis à planta (Dias *et al.*, 2009). Para composição do substrato é essencial a utilização de matérias-primas que possuam, além das características favoráveis para as plantas, atributos que favoreçam o manejo no sentido de facilitar a operacionalização do processo de produção das mudas, tais como: facilidade de obtenção, baixo custo e outras características relacionadas a praticidade operacional de transporte e plantio (Mesquita *et al.*, 2016). Entre as características relacionadas a praticidade operacional de transporte e plantio destacam-se: menor densidade, granulometria compatível com o tamanho do recipiente, porosidade que proporcione uma boa aeração, elevada capacidade de retenção de água, pH ideal, elevada capacidade de troca de cátions e isenção de patógenos (Jorge *et al.*, 2020).

Tendo em vista as características ideais de um substrato, o SIC (subproduto da indústria cerâmica) é uma matéria-prima a ser considerada, devido ao seu baixo custo e alta quantidade de material produzido (Silva, 2024). Esse subproduto é originado nas indústrias cerâmicas de telhas e tijolos e consiste de fragmentos de peças rejeitadas por não atenderem aos padrões de qualidade exigidos pelas empresas para sua comercialização (FEAM, 2012). Como esses fragmentos resultam do reaproveitamento de telhas e tijolos descartados, eles apresentam em sua composição minerais da argila que passaram por tratamento térmico, o qual confere maior estabilidade aos minerais a liberação de determinados nutrientes, como o potássio (Silva, 2024).

A avaliação da qualidade de um substrato deve levar em consideração todas as características supramencionadas. Quanto à capacidade do substrato de proporcionar condições adequadas para a germinação das sementes e o desenvolvimento das mudas,

essa característica pode ser avaliada por meio da composição elementar das raízes e da parte aérea das plantas, principalmente das folhas (Gonçalves *et al.*, 2009). O crescimento e desenvolvimento adequado de uma planta possui correlação positiva com a concentração e o equilíbrio dos nutrientes nos tecidos radiculares e foliares (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Mudas que possuem concentrações maiores e mais equilibradas de nutrientes na raiz e na parte aérea terão maior índice de qualidade, menor susceptibilidade a pragas e doenças, maior pegamento no campo, crescimento mais acelerado, maior longevidade, maior precocidade e produtividade. Essa concentração e equilíbrio depende da composição do substrato e do manejo correto da adubação. A adubação pode ser realizada em parte via substrato antes da semeadura ou do transplantio e, posteriormente, via parte aérea por meio de pulverizações foliares e fertirrigação.

Nesse sentido, esse trabalho avaliou se a inclusão do SIC no substrato influenciou positivamente no aumento da concentração e do equilíbrio de nutrientes na matéria seca de raiz e das folhas das mudas de café. Desejou-se também conhecer qual proporção foi mais indicada para inclusão do SIC como matéria-prima para a composição do substrato para produção de mudas de qualidade para implantação das lavouras cafeeiras.

2 OBJETIVO

Avaliar as concentrações de macro e micronutrientes na matéria seca de raiz e de folhas de mudas de cafeeiro produzidas em tubetes contendo subproduto da indústria cerâmica na composição do substrato.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - A cultura do cafeeiro e sua importância para o Brasil

O café foi introduzido no Brasil em 1727, na região Norte (Pará), por meio de sementes e mudas de café de Caiena, trazido da Guiana Francesa por Francisco de Mello Palheta (Matiello; Carvalho, 1980). A partir do Norte, a cultura se expandiu para o Maranhão e, posteriormente, para o Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná e outros estados (Moreli, 2010). Em 1887, D. Pedro II fundou o Instituto Agrônomo de Campinas com o objetivo de desenvolver estudos referentes à cultura cafeeira no Brasil (Matiello; Carvalho, 1980). De acordo com esses autores, a evolução

da cultura do café no Brasil ocorreu em ciclos de expansão e retração.

O panorama histórico e econômico do setor cafeeiro no Brasil possui uma série de desafios e superações desde o momento que a cultura foi implantada no país até os dias atuais (Amaral *et al.*, 2025). Os efeitos causados pela falta de conhecimento e de tecnologia foram evidentes durante as crises econômicas (Matiello; Carvalho, 1980). De acordo com esses autores, a tomada de consciência propiciou a elaboração de um planejamento integral para a cultura cafeeira e a utilização de uma metodologia de trabalho convergiu os fatores responsáveis pelo desenvolvimento da cultura no Brasil: Pesquisa, Assistência Técnica e Crédito. O envolvimento do Brasil na regulação do mercado de café e as mudanças no cenário de produção e comercialização teve grande efeito local e global (Amaral *et al.*, 2025). Esses resultados foram, em parte, frutos do incentivo à pesquisa que possibilitou a transferência da tecnologia cafeeira desenvolvida no país (Matiello; Carvalho, 1980).

Atualmente, o Brasil ocupa a primeira posição na produção e exportação de grãos de café no mundo (FAO 2024). De acordo com a *Food and Agriculture Organization - FAO*, com base no valor, o café em grão aparece em 4º lugar como produto mais exportado, atingindo, no ano de 2024, 11,34 bilhões de dólares, e perdendo somente para a soja (42,94 bilhões de dólares), o açúcar bruto de cana-de-açúcar ou beterraba (15,93 bilhões de dólares) e carne bovina desossada (11,62 bilhões de dólares). A produção estimada para o ano de 2026 será de 66,2 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado (CONAB, 2026). Em relação ao ano de 2025 (56,5 milhões de sacas de 60 quilos), a estimativa indica um crescimento de 17,1% acima da safra colhida. Em Minas Gerais, estado com maior área destinada para a produção de arábica, é esperada uma colheita de 41,87 milhões de sacas de café arábica, no ano de 2026. Para a produtividade média nacional de café arábica e canéfora, a estimativa prevê 34,4 sacas por hectare, ganho de 12,4% em relação à safra anterior (30,4 sacas por hectare). Para a espécie arábica, é estimada 28,5 sacas por hectare, aumento de 18,4% sobre a safra de 2026, que obteve uma produtividade de 24,1 sacas por hectare (CONAB, 2026).

No Brasil, a área cultivada com a espécie *C. arabica* L. é de 1.548.371,0 (1,5 milhão) de hectares e com a espécie *C. canephora* Pierre é de 386.825,7 hectares (CONAB, 2026). De acordo com Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em Minas Gerais, no ano de 2026, a área cultivada com arábica é de 1.122.043 (1,1 milhão) hectares e com conilon é de 11.114 hectares (CONAB, 2026).

A evolução do café como *commodity* no Brasil está intrinsecamente ligada às

políticas governamentais e ao cenário econômico global (Amaral *et al.*, 2025). Por ser uma *commodity*, os produtores brasileiros pouco investiram no segmento de cafés especiais, que apresentam preços diferenciados e mais elevados no mercado externo (Dias; Silva, 2015). Mesmo com a volatilidade causada por variações nos preços do café e eventos climáticos extremos, as exportações de grãos de café no Brasil continuam em forte crescimento, devido à escassez de oferta global e à demanda crescente, especialmente por cafés premium e especiais (Wang, 2025). De acordo com o autor, a indústria cafeeira brasileira permanece altamente competitiva, no entanto desafios como a incerteza econômica mundial, mudanças climáticas e aumento dos custos de produção representam riscos para o desenvolvimento futuro do setor.

Apesar dos riscos, o crescimento e desenvolvimento da cafeicultura no Brasil é promissor, mas é necessário, conforme já descrito, se preparar para cenários ruins causados pelas adversidades climáticas e aumento no custo de produção. Para isso, o país deve investir em promoção comercial participando em feiras internacionais e utilizando ações de *marketing* direcionadas ao consumidor final para garantir e aumentar a parcela do mercado atendida pelo café brasileiro e também como estratégia para obtenção de melhores preços. Paralelamente, pode-se estimular por meio de uma política industrial que incentive a instalação de plantas de processamento do café em grão no Brasil voltadas para exportação (Campos, 2021).

Em meio às incertezas, os cafeicultores brasileiros também poderão aumentar suas receitas, conquistando novos mercados, por meio de diversificação produtiva, investimento em produtos diferenciados de maior valor agregado e adoção de práticas de qualificação e profissionalização dos agentes da cadeia produtiva, visando à criação de governança e sinergias (Dias; Silva, 2015). A vulnerabilidade da comercialização da *commodity* de café também pode ser superada pela estratégia de diferenciação do produto e geração de valor no crescente segmento de mercado de cafés especiais. Esse mercado, muitas vezes, está associado à verticalização da produção com fins de atender as expectativas de mercado mais específico (Albieri; Terra, 2022).

Estudo com o objetivo analisar a cadeia produtiva do café especial no Brasil, destacando os desafios e oportunidades, foi verificado que produção de cafés especiais ainda é limitada a um número reduzido de produtores, devido aos custos mais elevados relacionados a investimentos em equipamentos, certificações e rastreabilidade (Sera *et al.*, 2025). De acordo com os autores, a produção de cafés especiais ainda é limitada a um número reduzido de produtores, devido aos custos mais elevados relacionados a

investimentos em equipamentos e infraestrutura pós-colheita, aos processos de certificações e aos sistemas de rastreabilidade. As certificações desempenham papel crucial na garantia da qualidade e sustentabilidade, fatores essenciais para diferenciar os cafés especiais brasileiros no mercado internacional, aumentando seu valor e preço de venda. Essas questões têm importantes implicações para as políticas públicas e para a gestão da cadeia de suprimentos, pois é essencial permitir uma inclusão mais ampla no segmento de cafés especiais por meio da ampliação ao acesso à assistência técnica, ao crédito rural e aos investimentos em infraestrutura. Incentivos que apoiem a formação de cooperativas, simplifiquem os procedimentos de certificação e promovam o consumo interno de cafés especiais também podem contribuir para o fortalecimento do setor.

Diante da relevância histórica, econômica e produtiva da cafeicultura no Brasil, é de extrema importância um bom manejo desde o início do sistema produtivo. Dessa forma, a produção de mudas de café assume papel fundamental, uma vez que mudas de alta qualidade, com bom padrão genético, sanidade e vigor, contribuem diretamente para a formação de lavouras mais produtivas, resultando assim, em um maior retorno econômico.

3.2 – Produção de mudas do cafeeiro

A propagação da cultura cafeeira pode ser realizada tanto de forma sexuada, por meio de sementes, quanto de forma assexuada, por meio de partes vegetativas, como estacas (Souza; Kaulz; Almeida, 2022). Cada estado possui a própria legislação quanto à produção, ao comércio, ao trânsito, ao armazenamento e à sanidade de mudas de café. Cabe ao produtor procurar o órgão responsável, realizar o registro do viveiro, o seu registro como produtor de mudas e contratar um responsável técnico (SENAR, 2017). Na etapa inicial da produção de mudas, a escolha das cultivares adequadas a cada região possui grande relevância e deve ser muito bem planejada. Todas as boas práticas de manejo devem ser muito bem conduzidas para produção de mudas de qualidade.

Com relação a escolha da cultivar adequada para plantio em cada região, o produtor deve ter conhecimento detalhado das condições ambientais, do sistema de cultivo e das demais tecnologias de produção que serão possíveis de serem adotadas (Moreli, 2010). De acordo com o autor, o cafeicultor deverá buscar aquelas cultivares avaliadas e recomendadas pela pesquisa, que apresentem um equilíbrio entre os seguintes fatores: bom vigor; alto potencial produtivo; baixo porte; resistência às principais pragas

e doenças; uniformidade de maturação e tolerância a seca. A escolha criteriosa de cultivares adaptadas à região é essencial, pois influenciará diretamente no desempenho das plantas no campo após o plantio (Matiello *et al.*, 2005).

Com relação a qualidade das mudas de café, essa variável é de extrema importância para o sucesso na implantação de uma lavoura. A qualidade de uma muda está relacionada aos parâmetros morfológicos da parte aérea, como a altura da planta, diâmetro do coleto, área foliar e massa seca, bem como as características do sistema radicular, incluindo comprimento, volume e massa seca das raízes, que refletem a capacidade de absorção de água e nutrientes e o potencial de estabelecimento no campo. Além disso, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), integra essas variáveis, expressando o vigor e o equilíbrio morfológicos das mudas (Passos *et al.*, 2020). A produção de mudas de qualidade deve ser suficiente para suprir as necessidades de expansão de áreas, as taxas de renovação das lavouras, maior densidade de plantas por hectare, e o plantio de novas cultivares em substituição das antigas lavouras.

Alguns fatores interferem na produção de uma muda de qualidade, e dentre eles, destaca-se o substrato. A escolha do substrato é de suma importância, pois ele determinará o crescimento e vigor vegetativo da muda até o momento de seu plantio para o campo (Andrade; Nunes; Gedanken, 2017). Vários estudos têm sido desenvolvidos em busca de um substrato ideal (Lana *et al.*, 2002) e da nutrição adequada de mudas de cafeeiro (Gogo; Silva; Campos, 2012). A Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais recomenda um substrato padrão que consiste na seguinte mistura: 700 a 800 L de terra de barranco peneirada, 200 a 300 L de esterco curtido, 1,0 a 2,0 kg de calcário dolomítico, 5,0 kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio por metro cúbico de substrato (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999).

O uso de palha de café, capim-elefante e cana-de-açúcar, isolados ou combinados, foram avaliados para utilização como substratos para mudas clonais de *C. canephora* (Balbino *et al.*, 2021). Os resultados desse trabalho foram promissores quando utilizaram uma combinação de palha de café, de cana-de-açúcar e de capim-elefante, entre si e com vermiculita ou substrato comercial. A palha de café foi viável como substrato apenas quando combinada, principalmente com vermiculita em até 50%. A combinação de palha de café, de cana-de-açúcar e de capim-elefante com o substrato padrão (solo) melhora a qualidade das mudas.

O uso de substratos comerciais na produção de mudas de cafeeiro tem se tornado cada vez mais comum em viveiros quando comparado aos substratos tradicionais à base

de solo e esterco, pois os substratos comerciais podem favorecer o crescimento e a qualidade das mudas (Andrade *et al.*, 2021). Esses autores compararam o substrato comercial constituído de casca de pinus processada, vermiculita e turfa, com um substrato padrão composto por 70% de terra, 30% de esterco bovino, 5 Kg de superfosfato simples e 1 Kg de cloreto de potássio. Foi constatado que o substrato padrão limitou o crescimento das raízes e o substrato comercial, proporcionou mudas de melhor qualidade. Os autores ainda concluíram que a escolha do recipiente e substrato para a produção de mudas de café é uma etapa muito importante para se proporcionar uma melhor qualidade nas lavouras. Cabe destacar que a utilização de substratos isentos de solo representa uma importante estratégia fitossanitária na produção de mudas, pois reduz o risco de infestação por pragas e patógenos de solo, especialmente nematoides fitoparasitas, proporcionando maior sanidade, vigor e qualidade às mudas produzidas.

O substrato aliado às práticas de adubação de plantio e pós-plantio irá interferir diretamente na composição elementar das mudas de cafeeiro. Essa composição dos macro e micronutrientes na raiz e parte aérea contribui substancialmente para o pegamento e desenvolvimento das mudas de cafeeiro pós-plantio. Isso ocorre, porque um bom estado nutricional das mudas de cafeeiro está associado a maior resistência às adversidades bióticas e abióticas que ocorrem no campo, uma vez que a adequada nutrição mineral favorece o vigor vegetativo, o equilíbrio fisiológico e a tolerância a estresses (Malavolta, 2006).

3.3 – Composição elementar das mudas de cafeeiro

A composição elementar é fundamental para avaliar o estado nutricional das plantas e, conseqüentemente, prever o seu desempenho após o plantio no campo, pois há uma relação entre crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas com o teor de nutrientes nos tecidos vegetais (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997; Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999; Silva, 2009). Por esse motivo, quantificar os nutrientes e verificar o equilíbrio nutricional das mudas do cafeeiro na fase final de viveiro, antes de serem encaminhadas para o plantio no campo pode colaborar com o produtor que produz as mudas e que irá utilizá-las na implantação da lavoura.

As faixas críticas de teores foliares para macronutrientes em mudas de café arábica, Acaiá Cerrado, MG 1474, cultivadas em tubetes de polietileno, com capacidade para 120 mL, utilizando substrato padrão para tubetes, composto por casca de pinus

processada e enriquecida, vermiculita e turfa processada e enriquecida, foram os seguintes, em dag kg^{-1} : nitrogênio de 2,26 a 2,62; fósforo de 0,22 a 0,25; potássio de 2,59 a 2,92; cálcio de 0,69 a 0,76; magnésio de 0,11 a 0,12; e enxofre de 0,15 a 0,24 (Gonçalves *et al.*, 2009). Para micronutrientes, as faixas críticas de teores foliares para mudas de café arábica, Acaiá Cerrado, MG 1474, cultivadas em substrato padrão (700 litros de terra de subsolo + 300 litros de esterco curral + 5,0 kg de superfosfato simples + 0,5 kg de cloreto de potássio) coletadas no estágio de quatro pares de folhas, foram os seguintes, em mg kg^{-1} : boro de 39,74 a 39,94; cobre de 6,94 a 9,29; ferro de 209,01 a 213,88; manganês de 33,05 a 37,21; zinco de 3,68 a 4,08 (Gontijo *et al.*, 2007).

Os nutrientes a serem fornecidos às mudas de cafeeiro devem ser disponibilizados de acordo com a necessidade da planta, durante o período correspondente ao tempo necessário para a formação das mudas. No sistema de produção, é fundamental não somente identificar se as mudas estão sendo conduzidas de maneira adequada por meio da avaliação nutricional, mas também fitossanitária, pois, se as mudas se encontram saudáveis, terão o máximo potencial para sobrevivência e posterior desenvolvimento no campo (Marana *et al.*, 2008).

O conceito da avaliação quantitativa parte do ponto de que mudas com maior tamanho tendem a apresentar melhor qualidade. No entanto, para evitar interpretações equivocadas decorrentes do excesso de nitrogênio ou do crescimento exagerado da parte aérea devido a problemas relacionados ao sistema radicular, utilizam-se índices de qualidade, os quais se baseiam nas relações entre diferentes parâmetros de crescimento, que foram: altura e diâmetro, parte aérea e raiz e o índice de qualidade de Dickson. (Marana *et al.*, 2008). Aliado a isso, também é importante quantificar o teor de nutrientes e o equilíbrio entre eles, uma vez que uma planta bem equilibrada nutricionalmente terá um desenvolvimento mais equilibrado de raiz e parte aérea, além de resistir mais aos estresses bióticos e abióticos no momento de pós-plantio e durante o seu desenvolvimento e produção.

Diante disso, a quantificação de macro e micronutrientes em raízes e folhas de mudas de cafeeiro, mostra-se essencial para a adoção de um manejo nutricional e uma composição de substratos adequada, de modo a suprir todas as necessidades da planta em cada estágio de desenvolvimento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um viveiro de produção de mudas no município de Monte Carmelo (18°43'28" S. 47°29'54" O), Minas Gerais, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 12 tratamentos e três repetições, sendo cada parcela composta por três plantas. Para a produção de mudas do cafeeiro (*C. arabica* L.) utilizou-se um substrato comercial contendo vermiculita e materiais orgânicos com adições de quantidades crescentes do SIC nas proporções de 0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0 e 40,0% medidos com base em volume. O SIC foi coletado no pátio de disposição dos cacos de telhas e tijolos em uma indústria cerâmica também localizada no município supracitado. Os cacos de telhas e tijolos utilizados foram resultantes das perdas que ocorrem durante o processo de produção, resultantes de peças que ultrapassam o ponto ideal de queima, entortam, trincam ou apresentam outros defeitos que não atendem ao padrão de qualidade da empresa, além daquelas que quebram durante as etapas de retirada do forno, triagem, embalagem, armazenamento e carregamento.

Após a coleta dos cacos de telhas e de tijolos, esse material foi macerado em almofariz de porcelana e passado em peneiras com aberturas de malha igual a 2 e 1 mm. Após tamisagem, foram separadas partículas com diâmetro médio equivalente menor que 2 mm (0 a 2 mm) e entre 1 a 2 mm. Após o preparo, os SICs foram adicionados ao substrato nas proporções: 100% substrato e 0% SIC; 97,5% substrato e 2,5% SIC; 95% substrato e 5% SIC; 90% substrato e 10% SIC; 80% substrato e 20% SIC; e 60% substrato e 40% SIC.

As sementes do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) foram obtidas pela coleta seletiva e despolpa dos frutos da cultivar Arara, no estágio cereja. Essa cultivar foi escolhida em função de sua alta produtividade, resistência natural à ferrugem e excelente qualidade de bebida. Além disso, é uma planta de porte médio, vigor elevado e maturação tardia que tem tido uma boa aceitação e procura para o plantio na região. Após a coleta seletiva dos frutos e a despolpa, as sementes foram secas à sombra até atingirem 13% de umidade. Foi realizada uma nova seleção, descartando as sementes defeituosas, e um tratamento químico preventivo com fungicida sistêmico e de contato, do grupo químico Acilalaninato (Metalaxil-M) e Fenilpirrol (Fludioxonil) e com fertilizante mineral misto com aminoácido (168 g L⁻¹ de N, 11,2 g L⁻¹ de K₂O, 50,4 g L⁻¹ de carbono orgânico total).

A semeadura foi realizada na areia acondicionada em canteiros suspensos. Após a emergência, quando as mudas atingiram o estágio “orelha de onça”, elas foram

transplantadas para os tubetes, contendo 175 cm³ de volume, preenchido com substrato contendo as diferentes proporções e granulometrias dos SICs (menor que 2 mm e entre 1 a 2 mm). No transplântio, realizou-se a abertura da cova posicionada no centro do tubete a uma profundidade superior ao tamanho da raiz com o auxílio de um “chucho”. Também foi realizada a poda da ponta da raiz principal para favorecer seu posicionamento em linha reta, evitar o enovelamento e, conseqüentemente, a formação da muda com o “pião torto”. Após o posicionamento correto da muda na cova no centro do tubete, apertou-se o substrato lateralmente com a finalidade de promover o pleno contato da raiz. Logo após o transplântio, as mudas foram irrigadas para melhor acomodação do substrato e remoção de ar favorecendo o seu pegamento. Os tubetes acondicionados nas bandejas foram mantidos sob telas de sombreamento (sombrite) e suspensos para evitar contaminação com solo. Para aumentar a segurança, as bandejas foram mantidas sobre uma lona.

Antes do transplântio, foi realizada a adubação no substrato, com adubo de liberação lenta (6,4 g de Osmocote 15-06-12 por L de substrato). Após o transplântio, foi realizada via fertirrigação a adubação de cobertura (3 - 5 g L⁻¹ de 20-05-20 para 50 mudas). O adubo de liberação lenta denominado osmocote continha em sua composição: 15% de N, 6% de P₂O₅, 12% de K₂O, 1,3% de Mg, 6% de S e micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Mo). Logo após a adubação foliar, foi realizada a aspersão com água para lavagem das folhas com a finalidade de evitar a queima. A irrigação foi realizada por aspersão e os tratos culturais foram realizados de acordo com as necessidades apresentadas durante a condução das mudas.

Após o transplântio, as mudas foram conduzidas no viveiro por 98 dias, incluindo o período de aclimação, caracterizado pela remoção gradual do sombrite. Ao final desse período, quando apresentavam aproximadamente 5 pares de folhas, as mudas foram conduzidas para o laboratório para a separação e o processamento das raízes e parte aérea. A parte aérea foi lavada somente com água deionizada e as raízes lavadas com água de torneira até a remoção do solo, mergulhadas em solução de HCl 1 mol L⁻¹ e depois enxaguadas com água deionizada. A parte aérea (caule e folhas) e as raízes foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura de, aproximadamente, 60 °C. Após a secagem, as folhas e raízes foram moídas em moinho do tipo Willey, com peneira de abertura de 1 mm de diâmetro.

Para análise elementar, foi realizada a abertura das amostras de folhas e raízes em bloco digestor utilizando a solução nitroperclórica na proporção de 2:1 (400 mL de HNO₃ e 200 mL de HClO₄). Para abertura das amostras, foram pesados 0,5 g de matéria seca

de raiz e folhas e transferidas para os tubos de ensaio. Na sequência foram adicionados 6 mL de solução nitro-perclórica e as amostras foram mantidas a frio por 16 horas. Na sequência, os tubos foram colocados em bloco digestor para aquecimento, sendo a temperatura elevada de 50 em 50 °C a cada 30 minutos até a temperatura de 200 °C, sendo mantidas nessa temperatura por mais 30 a 40 minutos até o extrato apresentar-se incolor (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Observou-se que na fase inicial ocorreu o desprendimento do vapor acastanhado (100 a 150 °C) e na fase final do vapor branco (150 a 200 °C). Terminado tempo de digestão de 2,5 horas, as amostras foram retiradas do bloco digestor para resfriamento e, na sequência foi adicionado H₂O destilada sobre os extratos completando o volume para 50 mL aferidos com base em peso (densidade do extrato igual a 1,019 g cm⁻³). As quantificações dos elementos P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn foram realizadas no ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente) (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997; Silva, 2009).

Os resultados foram submetidos a análise estatística utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2011) e as médias foram comparadas por meio do teste de Scott-Knott a 5% de significância. Foi também realizada uma análise descritiva dos dados. Apesar do caráter quantitativo das variáveis estudadas, a análise de regressão não foi apresentada devido à ausência de ajuste adequado dos dados aos modelos matemáticos (lineares e polinomiais). Os baixos valores do coeficiente de determinação (R²) observados revelaram uma elevada dispersão dos dados e a incapacidade dos modelos em explicar a variação observada, inviabilizando o estabelecimento de equações preditivas confiáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a influência das adições (0; 2,5; 5,0; 10; 20 e 40%) das diferentes granulometrias de SIC, de 0 – 2 mm e de 1 – 2 mm na composição do substrato em relação às concentrações de cada um dos macro e micronutrientes nas folhas e nas raízes, foram constatadas influências tanto da granulometria quanto das proporções do SIC na composição dos substratos.

Com relação ao P, a granulometria e as doses de SIC influenciaram no teor desse macronutriente, tanto na matéria seca de folhas, quanto de raízes (Tabela 1). Para o SIC na granulometria de 0 a 2 mm observou-se que, a concentração de P na matéria seca de folhas reduziu mediante a adição do SIC na dose de 40%. Na matéria seca de raiz, as concentrações de P não foram influenciadas pela adição do SIC. Para o SIC na

granulometria de 1 a 2 mm, observou-se que a concentração de P na matéria seca de folha reduziu mediante a adição de SIC nas doses de 20 e 40%. Enquanto na matéria seca de raiz, não se observaram diferenças no teor desse nutriente.

Dessa forma constata-se que a incorporação do SIC não influencia nas concentrações de P na matéria seca de folhas quando adicionado até 20% na granulometria de 0 a 2 mm e até 10% na granulometria de 1 a 2 mm. Observa-se que, mesmo com as reduções nas concentrações de P na matéria seca de folhas, os valores se encontram acima dos limites superiores de referência propostos para a cultura do cafeeiro, cuja faixa varia de 1,1 a 1,5 g kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999) e de 1,2 a 2,0 g kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

Tabela 1. Fósforo (P, g kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplante para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folha - P (g kg⁻¹)		
0	3,1 a	3,4 a
2,5	2,9 a	3,2 a
5,0	2,9 a	3,2 a
10,0	3,0 a	3,1 a
20,0	3,0 a	2,8 b
40,0	2,5 b	2,6 b
Matéria seca de raiz - P (g kg⁻¹)		
0	2,0 a	2,2 a
2,5	2,3 a	2,3 a
5,0	2,2 a	2,2 a
10,0	2,2 a	2,1 a
20,0	2,4 a	1,9 a
40,0	1,9 a	1,9 a

* Teste F a 5% de significância ($p < 0,05$): coeficiente de variação igual a 8,16% para folhas e 9,08% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Ao analisar as concentrações de K (Tabela 2), verificou-se que os valores desse nutriente na matéria seca de folhas e de raízes não foram influenciadas pelo aumento das doses de SIC nas granulometrias de 0 a 2 mm e 1 a 2 mm. A única exceção, foi observada

na dose de 20% de SIC, na granulometria de 0 a 2 mm, em que houve incremento na concentração de K na matéria seca de raízes.

Embora as concentrações de K na matéria seca de folhas não tenham diferido entre si, os valores ficaram próximos ao limite superior do valor de referência cuja faixa varia de 23,3 – 30,9 g kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), e superior ao valor de referência para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997), cujas faixas variam de 18 a 25 g kg⁻¹.

Tabela 2. Potássio (K, g kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplante para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - K (g kg⁻¹)		
0	27,1 a	29,7 a
2,5	29,2 a	29,4 a
5,0	30,0 a	33,2 a
10,0	28,9 a	32,6 a
20,0	30,2 a	33,7 a
40,0	27,4 a	31,2 a
Matéria seca de raízes - K (g kg⁻¹)		
0	32,2 b	36,6 a
2,5	31,2 b	39,8 a
5,0	32,8 b	41,6 a
10,0	36,4 b	40,2 a
20,0	42,7 a	43,1 a
40,0	35,7 b	38,1 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 9,06% para folhas e 10,89% para raízes; ** Medias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A concentração de Ca foi mais elevada na matéria seca de folha quando se utilizou o SIC na granulometria de 0 - 2 mm, nas doses de 0, 5, 10 e 20% (Tabela 3). Na matéria seca de raiz, a concentração de Ca não diferiu em função das adições de SIC no substrato. Para o SIC de 1 - 2 mm, também não houve diferenças nas concentrações de Ca na matéria seca de folhas e nem de raízes. Portanto, constata-se que o SIC na granulometria de 0 a 2 mm somente afeta o Ca na matéria seca de folha.

As concentrações de Ca na matéria seca de folhas ficaram abaixo dos limites inferiores dos valores de referência, cujas faixas variam de 10,7 – 12,9 g kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), e de 10 a 15 g kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

Tabela 3. Cálcio (Ca, g kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - Ca (g kg⁻¹)		
0	9,7 a	10,7 a
2,5	8,7 b	11,2 a
5,0	9,3 a	10,3 a
10,0	10,3 a	11,3 a
20,0	10,7 a	10,5 a
40,0	7,6 b	10,2 a
Matéria seca de raízes - Ca (g kg⁻¹)		
0	3,2 a	3,3 a
2,5	4,1 a	3,9 a
5,0	3,8 a	3,8 a
10,0	3,3 a	3,6 a
20,0	3,2 a	3,3 a
40,0	3,3 a	3,3 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 10,27% para folhas e 17,47% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Ao analisar as concentrações de Mg (Tabela 4) e S (Tabela 5), em função do aumento de doses de SIC nas granulometrias de 0 – 2 e de 1 – 2 mm, observou-se que as concentrações desses nutrientes não foram afetadas pela adição de SIC no substrato independente de sua granulometria.

As concentrações de Mg ficaram inferiores ao limite mínimo de referência cuja faixa varia de 4,3 – 6,3 g kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999). No entanto, os valores ficaram próximos ao limite inferior, mas dentro das faixas de referência de 3,5 a 5,0 g kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e de 3,0 a 5,0 para o estado de São Paulo (Raij et al.,

1997). Para o S, as concentrações médias desse nutriente ficaram próximas aos limites superiores de referência cujas faixas variam de 1,4 – 1,8 g kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), e de 1,5 a 2,0 g kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

Tabela 4. Magnésio (Mg, g kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - Mg (g kg⁻¹)		
0	3,6 a	3,8 a
2,5	3,5 a	3,7 a
5,0	3,6 a	3,9 a
10,0	3,6 a	3,9 a
20,0	3,8 a	3,8 a
40,0	3,5 a	4,0 a
Matéria seca de raízes - Mg (g kg⁻¹)		
0	5,4 a	5,9 a
2,5	6,1 a	5,4 a
5,0	5,6 a	5,3 a
10,0	5,2 a	4,9 a
20,0	5,3 a	5,0 a
40,0	5,2 a	5,8 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 7,91% para folhas e 8,33% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tabela 5. Enxofre (S, g kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - S (g kg⁻¹)		
0	1,8 a	1,9 a
2,5	1,7 a	2,0 a
5,0	1,7 a	2,0 a
10,0	1,8 a	2,0 a
20,0	1,8 a	1,9 a
40,0	1,5 a	1,9 a
Matéria seca de raízes - S (g kg⁻¹)		
0	3,1 a	3,5 a
2,5	3,4 a	3,5 a
5,0	3,6 a	3,8 a
10,0	3,6 a	3,3 a
20,0	3,9 a	3,6 a
40,0	2,7 a	3,2 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 8,36% para folhas e 14,75% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Ao analisar a concentração de Cu (Tabela 6), observou-se que na matéria seca de folhas, o aumento das doses do SIC, adicionado na granulometria de 0 – 2 mm, não influenciou na concentração desse nutriente, enquanto que na adição do SIC na granulometria de 1 – 2 mm, a maior concentração de Cu foi determinada para a dose de 40%. As concentrações desse nutriente na matéria seca de folhas ficaram acima dos limites superiores de referência cujas faixas variam de 26 – 27 mg kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), e de 10 a 20 mg kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

Na matéria seca de raiz, a adição de SIC na granulometria de 0 – 2 mm, elevou a concentração de Cu. A maior concentração desse nutriente foi obtida para a dose de 40% seguida das doses de 2,5; 5; 10 e 20%, não tendo essas últimas quantidades adicionadas diferidas entre si. Já a adição de SIC na granulometria de 1 – 2 mm não alterou a concentração de Cu na matéria seca de raiz.

Tabela 6. Cobre (Cu, mg kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - Cu (mg kg⁻¹)		
0	34,7 a	28,2 b
2,5	28,9 a	29,9 b
5,0	29,8 a	31,8 b
10,0	29,3 a	28,5 b
20,0	30,7 a	30,0 b
40,0	34,5 a	38,5 a
Matéria seca de raízes - Cu (mg kg⁻¹)		
0	6,6 c	7,4 a
2,5	9,6 b	8,9 a
5,0	11,2 b	8,9 a
10,0	11,9 b	9,5 a
20,0	9,8 b	9,4 a
40,0	14,1 a	10,0 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 12,53% para folhas e 16,69% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Quanto à concentração de Fe (Tabela 7), pôde-se observar que não houve diferença entre os tratamentos na concentração desse elemento matéria seca de folhas em função das doses e da granulometria de 0 – 2 mm e de 1 – 2 mm do SIC. Entretanto, para matéria seca de raízes, as maiores concentrações de Fe foram obtidas pela adição de 40% do SIC na granulometria de 0 – 2 mm, seguidas das doses de 20 e 10%, cujas concentrações desse nutriente foram menores e não diferiram entre si. Por fim, as menores concentrações desse nutriente foram observadas na adição de SIC a 5% e a 2,5% e 0%, não tendo essas últimas adições diferidas entre si. Para o SIC na granulometria de 1 – 2 mm, a maior concentração de Fe na matéria seca de raízes ocorreu na dose de 40%. As doses inferiores (20; 10; 5,0; 2,5 e 0%) não diferiram entre si e resultaram em menores concentrações desse nutriente. Constata-se que adição de SIC altera a concentração de Fe radicular e o aumento de sua proporção no substrato eleva a concentração de Fe.

Tabela 7. Ferro (Fe, mg kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - Fe (mg kg⁻¹)		
0	371,4 a	231,1 a
2,5	318,9 a	260,9 a
5,0	299,9 a	307,7 a
10,0	299,7 a	269,8 a
20,0	327,8 a	281,0 a
40,0	261,4 a	274,5 a
Matéria seca de raízes - Fe (mg kg⁻¹)		
0	353,4 d	254,8 b
2,5	299,0 d	284,5 b
5,0	503,7 c	272,6 b
10,0	606,7 b	253,8 b
20,0	662,9 b	346,9 b
40,0	875,2 a	477,8 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 11,54% para folhas e 19,12% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

As concentrações de Fe na matéria seca de folhas ficaram acima dos limites superiores de referência cujas faixas variam de 86 – 159 mg kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), e de 50 a 200 mg kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

A concentração de Mn (Tabela 8) na matéria seca de folhas reduziu apenas na dose de 40% de SIC na granulometria de 0 – 2 mm, enquanto as demais doses não diferiram entre si. Para a adição de SIC na granulometria de 1 – 2 mm, as maiores concentrações de Mn na matéria seca de folhas ocorreram nas doses de 0 e 10%, superando os tratamentos de 2,5; 5,0; 20 e 40%. Para matéria seca de raízes não houve diferenças nas concentrações desse nutriente entre as doses de SIC em nenhuma das granulometrias (0 – 2 mm e 1 – 2 mm).

Tabela 8. Manganês (Mn, mg kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - Mn (mg kg⁻¹)		
0	175,8 a	199,3 a
2,5	179,3 a	172,2 b
5,0	166,8 a	158,3 b
10,0	158,4 a	194,8 a
20,0	164,0 a	177,4 b
40,0	130,7 b	166,2 b
Matéria seca de raízes - Mn (mg kg⁻¹)		
0	68,8 a	84,1 a
2,5	78,9 a	90,1 a
5,0	82,3 a	87,4 a
10,0	86,1 a	82,9 a
20,0	108,0 a	80,4 a
40,0	53,2 a	70,6 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 8,78% para folhas e 26,84% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

As concentrações de Mn na matéria seca de folhas ficaram acima dos limites superiores de referência cujas faixas variam de 60 – 142 mg kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999). No entanto, as concentrações desse nutriente ficaram dentro dos limites de referência, cuja faixa varia de 50 a 200 mg kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

Analisando o Zn (Tabela 9), a concentração desse micronutriente na matéria seca de folhas não alterou em função do aumento das doses de SIC, na granulometria de 0 – 2 mm. Já para adição do SIC na granulometria de 1 – 2 mm, a concentração de Zn na matéria seca de folhas foi menor nas doses 0 e 2,5% comparada às outras adições de 5,0; 10; 20 e 40%. Para matéria seca de raízes não constatou efeito das adições de SIC em nenhuma das granulometrias avaliadas (0 – 2 mm e 1 – 2 mm).

Tabela 9. Zinco (Zn, mg kg⁻¹) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) aos 98 dias após o transplântio para tubetes contendo substrato vegetal misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%

Dose (% em v/v)	SIC 0 - 2	SIC 1 - 2
Matéria seca de folhas - Zn (mg kg⁻¹)		
0	29,6 a	23,5 b
2,5	32,7 a	27,0 b
5,0	39,7 a	37,0 a
10,0	39,1 a	34,4 a
20,0	44,3 a	38,7 a
40,0	39,9 a	42,2 a
Matéria seca de raízes - Zn (mg kg⁻¹)		
0	26,2 a	34,5 a
2,5	50,0 a	40,9 a
5,0	58,9 a	38,1 a
10,0	52,0 a	48,7 a
20,0	53,1 a	61,9 a
40,0	72,5 a	58,5 a

* Teste F a 5% de significância: coeficiente de variação igual a 18,03% para folhas e 29,71% para raízes; ** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

As concentrações de Zn na matéria seca de folhas tenderam a ficar mais próximas do limite superior, com alguns valores ultrapassando esse limite superior de referência, cujas faixas variam de 11 – 30 mg kg⁻¹ para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999). Quando se compara as concentrações desse nutriente com outros valores de referência observa-se que as concentrações ficaram todas acima dos limites de referência, cuja faixa varia de 10 a 20 mg kg⁻¹ para a região do Cerrado (Souza; Lobato, 2004) e para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

Ao analisar as folhas e raízes das plantas cultivadas nos substratos contendo o SIC nas granulometrias de 0 – 2 mm e de 1 – 2 mm, independente das doses, observa-se que o padrão de distribuição dos macro e micronutrientes nos órgãos vegetais foi idêntico (Tabela 10). As folhas das plantas cultivadas em substrato contendo o SIC nas granulometrias de 0 – 2 mm e de 1 – 2 mm apresentaram maiores concentrações de P, Ca, Cu e Mn, enquanto as raízes apresentaram maiores concentrações de K, Mg, S, Fe e Zn.

Diante dessas semelhanças, constata-se que as granulometrias avaliadas do SIC mantiveram as tendências de translocação ou transporte dos macro e micronutrientes na planta.

Tabela 10. Macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas e raízes de mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara) cultivada em substrato comercial contendo subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2)

Nutriente	Unidade	MSR *	MSF *	CV (%) *	Pr > Fc
SIC de 0 a 2 mm **					
P	g kg^{-1}	2,1876 b	2,8956 a	10,95	0,0000
K	g kg^{-1}	35,2235 a	28,7872 b	11,48	0,0000
Ca	g kg^{-1}	3,4953 b	9,3811 a	13,77	0,0000
Mg	g kg^{-1}	5,5024 a	3,5872 b	8,75	0,0000
S	g kg^{-1}	3,4353 a	1,7017 b	14,77	0,0000
Cu	mg kg^{-1}	10,5453 b	31,3306 a	17,55	0,0000
Fe	mg kg^{-1}	531,0100 a	313,1783 b	32,52	0,0000
Mn	mg kg^{-1}	81,0882 b	162,5000 a	17,04	0,0000
Zn	mg kg^{-1}	50,9335 a	37,5767 b	31,72	0,0001
SIC de 1 a 2 mm **					
P	g kg^{-1}	2,0784 b	3,06333 a	10,95	0,000
K	g kg^{-1}	39,5716 a	31,6400 b	11,48	0,0000
Ca	g kg^{-1}	3,5089 b	10,7100 a	13,77	0,0000
Mg	g kg^{-1}	5,3716 a	3,8411 b	8,75	0,0000
S	g kg^{-1}	3,4426 a	1,9400 b	14,77	0,0000
Cu	mg kg^{-1}	9,1116 b	31,1450 a	17,55	0,0000
Fe	mg kg^{-1}	323,6326 a	270,8278 b	32,52	0,0000
Mn	mg kg^{-1}	80,2048 b	178,0544 a	17,04	0,0000
Zn	mg kg^{-1}	47,6968 a	33,8028 b	31,72	0,0001

* MSR – matéria seca de raízes; MSF - matéria seca de folhas; CV – coeficiente de variação. Plantas colhidas aos 98 dias após o transplante para tubetes contendo substrato comercial misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%. ** Teste F a 5% de significância ($p < 0,05$). Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

A granulometria do SIC (0 – 2 mm e de 1 – 2 mm) alterou a composição elementar do tecido vegetal (Tabela 11). Nas folhas, o SIC na granulometria de 0 – 2 mm proporcionou maiores concentrações de Fe em comparação às granulometrias de 1 – 2 mm. Por outro lado, o SIC nas granulometrias de 1 – 2 mm resultou em maiores

concentrações de K, Ca, Mg, S e Mn. Já as concentrações de P, Cu e Zn não foram influenciados pela granulometria do SIC (0 – 2 mm e de 1 – 2 mm).

Tabela 11. Subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) adicionado ao substrato comercial e macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas e raízes em mudas de café (*Coffea arabica* L., cultivar Arara)

Nutriente	Unidade	SIC 0 – 2 *	SIC 1 - 2 *	CV (%) *	Pr > Fc
Matéria seca de folhas **					
P	g kg^{-1}	2,8956 a	3,0633 a	8,16	0,0493
K	g kg^{-1}	28,7872 b	31,6400 a	9,06	0,0046
Ca	g kg^{-1}	9,3811 b	10,7100 a	10,27	0,0007
Mg	g kg^{-1}	3,5872 b	3,8411 a	7,91	0,0160
S	g kg^{-1}	1,7017 b	1,9400 a	8,36	0,0001
Cu	mg kg^{-1}	31,3306 a	31,1450 a	12,53	0,8881
Fe	mg kg^{-1}	313,1783 a	270,8278 b	11,54	0,0009
Mn	mg kg^{-1}	162,5000 b	178,0544 a	8,78	0,0047
Zn	mg kg^{-1}	37,5767 a	33,8028 a	18,03	0,0912
Matéria seca de raiz **					
P	g kg^{-1}	2,1876 a	2,07842 a	9,08	0,1035
K	g kg^{-1}	35,2235 b	39,5716 a	10,89	0,0040
Ca	g kg^{-1}	3,4953 a	3,5089 a	17,47	0,9473
Mg	g kg^{-1}	5,5024 a	5,3716 a	8,33	0,3952
S	g kg^{-1}	3,4353 a	3,4426 a	14,75	0,9658
Cu	mg kg^{-1}	10,5453 a	9,1116 b	16,69	0,0147
Fe	mg kg^{-1}	531,0100 a	323,6326 b	19,12	0,0000
Mn	mg kg^{-1}	81,0882 a	80,2084 a	26,84	0,9041
Zn	mg kg^{-1}	50,9335 a	47,6968 a	29,71	0,5138

* CV – coeficiente de variação. Plantas colhidas aos 98 dias após o transplante para tubetes contendo substrato comercial misturado com subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) nas seguintes proporções com base volume: 0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%; ** Teste F a 5% de significância ($p < 0,05$). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si.

Nas raízes, a menor granulometria do SIC (0 – 2 mm) resultou em menor concentração de K e contribuiu para o aumento das concentrações de Cu e Fe. Contudo, esse incremento refletiu-se na parte aérea, apenas por meio da maior concentração foliar de Fe. Essa resposta pode ser explicada em função do Cu apresentar uma forte tendência a se ligar a polímeros da parede celular e a proteínas nas raízes, o que limita sua translocação para a parte aérea. Já o Fe, embora também tenha baixa mobilidade, é

transportado de forma mais eficiente pelo xilema pela ligação a quelatos orgânicos (Marschner, 2012; Taiz *et al.*, 2017).

Diante dos resultados apresentados, a análise descritiva das concentrações mínimas, médias e máximas dos macro e micronutrientes (Tabela 12) permite avaliar a amplitude de cada elemento em relação aos valores de referência. Contata-se que, independentemente da granulometria (0 – 2 mm e de 1 – 2 mm) e da dose de SIC (0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%) utilizadas, os coeficientes dos macro e micronutrientes na matéria seca de folhas foram inferiores aos observados para a matéria seca de raízes.

Tabela 12. Concentrações mínimas, médias e máximas e coeficientes de variação dos macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas e raízes de mudas de café (Coffea arabica L., cultivar Arara) cultivadas em tubetes contendo subproduto da indústria cerâmica nas granulometrias de 0 a 2 mm (SIC 0 – 2) e de 1 a 2 mm (SIC 1 – 2) adicionado ao substrato comercial

Nutrientes	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)*
Matéria seca de folhas *					
P	g kg^{-1}	2,3	3,0	3,7	11,0
K	g kg^{-1}	23,3	30,2	35,9	10,1
Ca	g kg^{-1}	7,3	10,0	12,4	13,4
Mg	g kg^{-1}	3,2	3,7	4,4	8,0
S	g kg^{-1}	1,4	1,8	2,1	10,6
Cu	mg kg^{-1}	24,7	31,2	45,1	14,2
Fe	mg kg^{-1}	200,4	292,0	401,7	15,6
Mn	mg kg^{-1}	123,0	170,3	230,9	12,5
Zn	mg kg^{-1}	22,1	35,7	50,2	22,9
Matéria seca de raízes *					
P	g kg^{-1}	1,7	2,1	2,7	11,0
K	g kg^{-1}	28,1	37,5	45,6	13,8
Ca	g kg^{-1}	2,4	3,5	5,2	16,7
Mg	g kg^{-1}	4,5	5,4	6,6	9,1
S	g kg^{-1}	2,6	3,4	4,3	15,1
Cu	mg kg^{-1}	6,4	9,8	18,0	25,1
Fe	mg kg^{-1}	60,9	421,6	911,9	44,7
Mn	mg kg^{-1}	37,6	80,6	128,5	27,6
Zn	mg kg^{-1}	18,3	49,2	84,0	34,7

* CV – coeficiente de variação; ** Referência: valores propostos para a região do entorno da cidade de Patrocínio, no estado de Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999). Plantas colhidas aos 98 dias após o transplante.

Ao comparar as concentrações médias na matéria seca de folhas e de raízes, constatou-se que as concentrações de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) foram, aproximadamente, 74 vezes superiores aos de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn). Essas concentrações corroboram com as próprias definições de macro e micronutrientes (Malavolta, 2006). De acordo com esses autores, os macronutrientes são elementos essenciais exigidos pelas plantas e aplicados no solo em maiores quantidades comparados aos micronutrientes.

Para os macronutrientes primários (P e K) e secundários (Ca, Mg e S), comparando as concentrações médias das folhas das mudas de cafeeiros com os valores de referência da cultura do cafeeiro para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), observou-se que: a concentração média de P ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$) foi o dobro do limite superior de referência ($1,1 - 1,5 \text{ g kg}^{-1}$); a concentração média de K ($30,2 \text{ g kg}^{-1}$) ficou com valor próximo ao limite superior ($23,3 - 30,9 \text{ g kg}^{-1}$), portanto dentro do limite de referência; a concentração média de Ca ($10,0 \text{ g kg}^{-1}$) foi inferior aos limites mínimo de referência ($10,7 - 12,9 \text{ g kg}^{-1}$); a concentração média de Mg ($3,7 \text{ g kg}^{-1}$) também foi inferior ao limite mínimo de referência ($4,3 - 6,3 \text{ g kg}^{-1}$); e a concentração média de S ($1,8 \text{ g kg}^{-1}$) foi igual ao limite superior ($1,4 - 1,8 \text{ g kg}^{-1}$), dentro do limite de referência.

As faixas críticas de teores foliares para macronutrientes em mudas de cafeeiro arábica, Acaiá Cerrado, MG 1474, cultivadas em tubetes de polietileno, utilizando substrato padrão composto por casca de pinus processada e enriquecida, por vermiculita e turfa processada e enriquecida, foram de: $2,2$ a $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P; $25,9$ a $29,2 \text{ g kg}^{-1}$ K; $6,9$ a $7,6 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca; $1,1$ a $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg; e $1,5$ a $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ de S (Gonçalves *et al.*, 2009). Embora o substrato e o manejo não tenham sido os mesmos do presente estudo, constata-se que os valores dos macronutrientes foliares determinados para a cultivar Arara cultivada em substrato comercial contendo o SIC em diferentes proporções e granulometria foram superiores às concentrações das faixas críticas encontradas para a cultivar Acaiá Cerrado, MG 1474, com exceção para o S cujo valor está dentro da faixa crítica avaliada.

Para os micronutrientes, comparando as concentrações médias das folhas das mudas de cafeeiros com os valores de referência para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), para a cultura do cafeeiro, observou-se que: a concentração média de Cu ($31,2 \text{ mg kg}^{-1}$) ficou dentro do limite de referência ($26,0 - 74,0 \text{ mg kg}^{-1}$); a concentração média de Fe ($292,0 \text{ mg kg}^{-1}$)

ficou 1,8 vezes mais elevada que o valor superior do limite de referência (86,0 – 159,0 mg kg⁻¹); a concentração média de Mn (170,3 mg kg⁻¹) ficou 1,2 vezes mais elevada que o valor superior do limite de referência (60,0 – 142,0 mg kg⁻¹); e a concentração média de Zn (35,7 mg kg⁻¹) também ficou 1,2 vezes mais elevada que o valor superior do limite de referência (11,0 – 30,0 mg kg⁻¹).

Para micronutrientes, as faixas críticas de teores foliares para mudas de café arábica, Acaiá Cerrado, MG 1474, cultivadas em substrato padrão (700 litros de terra de subsolo + 300 litros de esterco curral + 5,0 kg de superfosfato simples + 0,5 kg de cloreto de potássio) coletadas no estádio de quatro pares de folhas, foram os seguintes: 6,94 a 9,29 mg kg⁻¹ de Cu; 209,01 a 213,88 mg kg⁻¹ de Fe; 33,05 a 37,21 mg kg⁻¹ de Mn; e 3,68 a 4,08 mg kg⁻¹ de Zn (Gontijo *et al.*, 2007). Embora o substrato e o manejo não tenham sido os mesmos do presente estudo, constatam-se também que as concentrações dos micronutrientes encontradas para a cultivar Arara foram superiores às concentrações das faixas críticas encontradas para a cultivar Acaiá Cerrado, MG 1474.

Com base nos valores de referência para a cultura do cafeeiro propostos para a região do entorno da cidade de Patrocínio, em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), as mudas da cultivar Arara, para os macronutrientes, tiveram a concentração de P classificada como alta, as concentrações de K e S classificadas como adequadas e as concentrações de Ca e Mg classificadas como baixas. Para os micronutrientes, a concentração de Cu foi classificada como adequada e as concentrações de Fe, Mn e Zn foram classificadas como altas (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999).

Cabe ressaltar que as concentrações dos macro e micronutrientes na matéria seca das folhas da cultivar Arara foram quantificadas pela secagem e maceração de todos os pares de folhas das mudas. Em contrapartida, os valores de referência da literatura utilizados para comparação correspondem a matéria seca obtida pela secagem e maceração exclusiva de folhas diagnóstico. As folhas diagnóstico correspondem às folhas coletadas no terceiro ou quarto pares de folhas, contadas a partir do ápice de ramos produtivos, situados na parte mediana das plantas, e coletados quando os frutos do cafeeiro se encontram no estádio de chumbinho. Apesar dessa diferença, constata-se que os teores de nutrientes nas mudas do cafeeiro Arara superaram os padrões de referência em relação à cultura cafeeira e à cultivar Acaiá Cerrado, MG 1474. Uma vez que o maior acúmulo de macro e, principalmente, de micronutrientes não provocou sintomas visíveis de toxicidade, essa condição pode indicar exigências nutricionais diferentes em função do material genético e ainda conferir vantagens ao cafeeiro. Entre os benefícios,

destacam-se o maior pegamento das mudas no plantio, maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, rápido desenvolvimento pós-plantio e maior precocidade da lavoura (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997).

A concentração de nutrientes na matéria seca de folhas e raízes não foi a mesma para todos os elementos. Desconsiderando a granulometria (0 – 2 mm e de 1 – 2 mm) e as doses do SIC (0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%) utilizadas, observou-se uma partição preferencial de P, Ca, Cu e Mn nas folhas, com valores 1,4; 2,9; 3,2 e 2,1 vezes superiores aos das raízes. Inversamente, as raízes retiveram maiores concentrações de K, Mg, S, Fe e Zn, com valores 1,2; 1,5; 1,9; 1,4 e 1,4 vezes superiores aos das folhas. Observam-se comportamentos distintos de translocação ou transporte dos nutrientes das raízes para as folhas. Esse padrão é caracterizado pela intensa atividade do sistema radicular na extração dos nutrientes mais relacionados à transferência de energia (e.g. Fe), ao metabolismo da planta e ao crescimento (e.g. Zn). No caso específico do K, a maior concentração no sistema radicular pode estar relacionado a uma estratégia da planta na regulação osmótica com a finalidade de assegurar maior eficiência na absorção de água, uma vez que a disponibilidade de água no tubete tende a variar mais ao longo do dia em função do menor volume.

Em suma, os resultados obtidos comprovam que o uso do SIC na granulometria (0 – 2 mm e de 1 – 2 mm) e nas doses (0; 2,5; 5,0; 10; 20; e 40%) avaliadas não comprometeu as concentrações de nutrientes nas mudas de cafeeiro. As maiores concentrações dos nutrientes nas mudas de cafeeiro da cultivar Arara, em relação aos valores de referência, evidencia o seu potencial e pode conferir vantagens no plantio. Essas evidências confirmam a possibilidade do uso do SIC na composição dos substratos como uma alternativa sustentável e viável para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que o subproduto da indústria cerâmica apresentou potencial para utilização na composição de substratos para mudas de cafeeiro, conforme a granulometria e as doses aplicadas. As doses de até 20% na granulometria de 0 a 2 mm e até 10% na granulometria de 1 a 2 mm favoreceram principalmente os teores de P e K, além de contribuírem para concentrações adequadas de Ca, Mg, S e Mn. Já a dose de 40%

promoveu redução nos teores de P, Ca e Mn em alguns tratamentos, além de maior concentração de Fe e Cu nas raízes. Dessa forma, o uso do SIC em doses moderadas mostra-se uma alternativa sustentável e viável para a produção de mudas de cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERI, Ana Carolina de Souza; TERRA, Leonardo Augusto Amaral. Coffee commodity differentiation strategies. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 1-27, e0484, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2022.v14i1.484>. Disponível em:

<https://www.revistafuture.org/FSRJ/article/view/484/518>. Acesso em: 15 fevereiro 2026.

AMARAL, Frederico Miranda do; COSTA, Nilson Luiz; PINTO, Nelson Guilherme Machado; VELHO, João Pedro. Inovação da cafeicultura brasileira: a transformação do café como commodity. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 23, n. 6, p. e10371, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv23n6-121>. Disponível em:

<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/10371>.

Acesso em: 17 fevereiro 2026.

ANDRADE, Carla Romanielo; MELO, Bruno Manoel Rezende; MENDES, Cristian Tiago Erazo; CASTRO, Douglas Goulart; COELHO, Evando Luiz; FRANCISCO, Karoline Cristina Pereira. Growth and quality of seedlings of different coffee cultivars under different substrates and containers. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e2810212073, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12073>.

Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/12073/10936>. Acesso em: 15 fevereiro 2026.

ANDRADE, J. L. R.; NUNES, M. S.; GEDANKEN, V. **Café: construção de viveiros e produção de mudas**. 1ª ed. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - SENAR, 2017, 72 p. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/187-CAF%C3%89.pdf>. Acesso em 18 de janeiro de 2026.

BALBINO, Tony José; ESPINDULA, Marcelo Curitiba; TAVELLA, Leonardo Barreto; TEIXEIRA, Richelly Gisela Pasqualotto; BRAVIN, Núbia Pinto; DIAS, Jairo Rafael Machado; BRAVIN, Máisa Pinto. Alternative substrates for the production of clonal *Coffea canephora* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v. 59, n., p. 1-9 (e03538), 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03538>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/KW6Ys3FVp5CF3dztfSbZGPb/?format=pdf&lang=en>.

Acesso em 18 fevereiro 2026.

CAMPOS, Samuel Alex Coelho. Análise da competitividade do setor cafeeiro brasileiro no mercado internacional, **Economia e Região**, Londrina – PR, v. 10, n. 1, p. 125-143, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5433/2317-627X.2022v10n1p123>. Disponível em:

<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/ecoreg/article/view/42191/31415>. Acesso em 18 fevereiro 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café. Safra 2026**. Primeiro levantamento, v. 13, n. 1, fevereiro 2026. Brasília, 2026, p. 1-62. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe/1o-levantamento-de-cafe-safra-2026/boletim-de-safras-cafe-fevereiro-26.pdf>. Acesso em 18 de fevereiro de 2026.

DIAS, Lucielma de Oliveira; SILVA, Marcelo dos Santos da. Determinantes da demanda internacional por café brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 86–98, 2015. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/969>. Acesso em: 15 fevereiro 2026.

DIAS, Ricardo; MELO, Benjamim de; RUFINO, Marina de Alcântara; SILVEIRA, Daniel Lima; MORAIS, Tâmara Prado de; SANTANA, Denise Garcia de. Fontes e proporção de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 758–764, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/StbhF8FdkWXwTCCbhzJxjFS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 fevereiro 2026

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Food and Agriculture Organization Statistical Database – FAOSTAT**. Countries by commodity. [S. l.]: FAO, 2024. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country. Acesso em: 18 fev. 2026.

FERNANDES, André Luís Teixeira; PARTELLI, Fábio Luiz; BONOMO, Robson; GOLYNSKI, Adelmo. A moderna cafeicultura dos Cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231–240, abr./jun. 2012. e-ISSN 1983-4063. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/zYfSkGnTcbGzHT9M66r5XmR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 fevereiro 2026.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 18 janeiro 2026.

FREDERICO, Samuel. Território e cafeicultura no Brasil: uma proposta de periodização. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, Brasil, v. 21, n. 1, p. 73–101, 2017. DOI: [10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.98588](https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.98588). Disponível em: <https://revistas.usp.br/geousp/article/view/98588>. Acesso em: 17 fevereiro 2026.

FREITAS, Teresa Aparecida Soares de; BARROSO, Deborah Gonçalves; CARNEIRO, José Geraldo de Araújo; PENCHEL, Ricardo M.; FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. Mudas de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 519-528, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/HPJGLVK4ghpG5vSn56B86JK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 18 fevereiro 2026

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Plano de Ação para Adequação Ambiental e Energética das Indústrias de Cerâmica Vermelha no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG: FEAM, 2012. 142 p. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/plano_acao_ceramica_vermelha.pdf. Acesso em 8 de janeiro de 2026.

GOGO, Franciane Diniz; SILVA, Érika Andressa da; CAMPOS, Katia Alves Campos. Formação de mudas de cafeeiro sob doses crescentes de fósforo. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia - GO, v. 8, n. 14, p. 599-605, 2012. DOI: Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2012a/agrarias/formacao.pdf>. Acesso em: 18 janeiro de 2026.

GONÇALVES, Sergio Moraes; GUIMARÃES, Rubens José; CARVALHO, Janice Guedes de; BOTREL, Élberis Pereira. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 758-764, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/NCVbc6GNwxzSD6C4b93RLFJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 fevereiro 2026.

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira; CARVALHO, Janice Guedes de; GUIMARÃES, Rubens José; MENDES, Antônio Nazareno Guimarães; ANDRADE, Wander Eustáquio de Bastos. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 135-141, 2007. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/viewFile/57/52>. Acesso em: 18 fevereiro 2026.

JORGE, Marçal Henrique Amici; MELO, Raphael Augusto de Castro e; RESENDE, Francisco Vilela; COSTA, Edilson; SILVA, Juscimar da; GUEDES, Ítalo Moraes Rocha. **Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças..** Brasília - DF, EMBRAPA Hortaliças, Documento 180, 2020. 30 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216955/1/DOC-180-18-set2020.pdf>. Acesso em 5 de janeiro de 2026.

LANA, Regina Maria Quintão; SANTOS, Carlos Machado dos; SANTOS, Vera Lúcia Machado dos; BARBIZAN, Emerson Luiz; MENDES, Alex Fabiany. Utilização de diferentes substratos e fertilizantes de liberação lenta na produção de mudas do cafeeiro em saquinhos. **Revista Ceres**, Revista Ceres, [S. l.], v. 49, n. 286, p. 577-586, 2002. Disponível em: <https://ojs.ceres.ufv.br/ceres/article/view/2835>. Acesso em 18 janeiro 2026.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo César; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed., rev. e atual. – Piracicaba, SP: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARANA, João Paulo; MIGLIORANZA, Édison; FONSECA, Ésio de Pádua; KAINUMA, Roberto Hiroshi. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/Lg4c6ZF9YbXtQtMqL894vvs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 dezembro 2025.

MARSCHNER, Petra (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MATIELLO, José Braz; CARVALHO, Francimar. Contribuição das Ciências Agrárias para o desenvolvimento: o caso do café. **Revista Economia Rural**, Brasília – DF, v. 18, n. 03, p. 495-505, 1980. DOI: <https://ageconsearch.umn.edu/record/264520/files/8.pdf>. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu>. Acesso em 18 fevereiro 2026

MATIELLO, José Braz; SANTINATO, Roberto; GARCIA, Antônio Wander Rafael; FERNANDES, Saulo Roque de. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro, Fundação PROCAFÉ, 2005. 438 p.

MESQUITA, Carlos Magno de; MELO, Edmundo Modesto de; REZENDE, João Eudes de; CARVALHO, Julian Silva; FABRI JÚNIOR, Marcos Antônio; MORAES, Niwton Castro; DIAS, Pedro Tavares; CARVALHO, Romulo Mathozinho de; ARAÚJO, Willem Guilherme de. **Manual do café: implantação de cafezais *Coffea arabica* L.** Belo Horizonte, EMATER-MG, 2016. 50 p. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_implantacao_cafezais.pdf. Acesso em: 5 janeiro 2026.

MORELI, Aldemar Polonini. **Café: histórico, variedades e mercados**. Universidade do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias. Tecnologia de Pós-Colheita, 2010. Disponível em: http://www.agais.com/tpc/capitulo_1_aldemar.pdf. Acesso em: 31 setembro 2025.

PASSOS, Anderson Barreto; MELO, Bruno Manoel Rezende; FERREIRA, Sindynara; CASTRO, Douglas Goulart; SANTOS, Telma Miranda; GUEDES, Leonardo Alves. Quality of *Coffea arabica* seedlings produced in different nurseries in southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Agrogeoambiental**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 170-182, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v12n420201497>. Disponível em: https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1497/pdf_1. Acesso em: 15 fev. 2026.

RIBEIRO, Antônio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo; ALVAREZ VENGAS, Víctor Hugo (Eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SERA, Gustavo Hiroshi; VOLSI, Bruno; MARIUCCI JÚNIOR, Valdir; PEREIRA, Carlos Theodoro Motta; TELLES, Tiago Santos. Production and trade of specialty coffee in Brazil. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 15, n. 42403, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26620-x>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-26620-x.pdf>. Acesso em: 18 fevereiro

2026.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Café: construção de viveiros e produção de mudas**. Brasília, Coleção SENAR, n. 187, 2017. 72 p. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/187-CAF%C3%89.pdf>. Acesso em: 17 setembro 2025.

SILVA, Fábio Cesar da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330496/1/Manual-de-analises-quimicas-de-solos-plantas-e-fertilizantes-ed02-reimpressao-2014.pdf>. Acesso em: 17 fevereiro 2026.

SILVA, Matheus de Souza. Subproduto da indústria cerâmica como componente de substrato para produção de mudas de cafeeiro em tubetes. 2024. 34 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)** – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/43339/1/SubprodutoIndustriaCeramica.pdf>. Acesso em: 8 janeiro 2026.

SOUZA, Maurício Novaes; KAULZ, Marciano; ALMEIDA, Mariana Rodrigues. **Manual do viveiricultor: produção de mudas de Café**. Caonas – RS, Mérida Publishers, 2022, 86 p. Disponível em: <https://www.meridapublishers.com/mmc/mmc.pdf>. Acesso em: 8 janeiro 2026.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG, Hefei. Analysis of Brazilian Coffee Trade: Production, Prices, and Export Trends. **Advances in Economics, Management and Political Sciences**, [S. l.], v. 177, p. 50-56, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.22152>. Disponível em: <https://aemps.ewapub.com/article/view/22152>. Acesso em: 8 janeiro 2026.