



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



Wagner José Villela dos Reis

**ANÁLISE DO TEOR DE MINERAIS DE GRÃO VERDE, TORRADO,
BORRA E BEBIDA DE CAFÉS CULTIVADOS EM SISTEMA
ORGÂNICO E ORGANOMINERAL**

Araras – SP
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



Wagner José Villela dos Reis

**ANÁLISE DO TEOR DE MINERAIS DE GRÃO VERDE, TORRADO,
BORRA E BEBIDA DE CAFÉS CULTIVADOS EM SISTEMA
ORGÂNICO E ORGANOMINERAL**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia
Agrônoma - CCA - UFSCar para a obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marta Regina Verruma
Bernardi

Araras – SP

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, que me deram a base para superar cada obstáculo.

A Carla pelo companheirismo e auxílio durante a realização da pesquisa.

Aos meus professores, em especial à professora Marta Regina Verruma Bernardi, que me aceitou como orientado e me auxiliou durante todo processo.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica.

RESUMO

O café tem como principal atributo para a determinação da comercialização e do preço, a qualidade. Os minerais interferem na qualidade do café através do metabolismo da planta e acúmulo de compostos químicos desejáveis relacionados ao aroma, sabor, e produção de compostos que desfavorecem o desenvolvimento microbiano dos grãos. O trabalho tem como objetivo quantificar o teor de minerais em cafés cultivados em sistema de manejo orgânico e organomineral. Foram analisadas as quantidades de minerais em amostras de grão verde, grão torrado, borra e bebida, de cafés da variedade Catuaí Vermelho cultivados em ambos os sistemas de manejo no município de Poço Fundo, MG. O talhão orgânico recebeu adubação composta por farinha de osso, torta de mamona em consórcio com adubação verde. O talhão organomineral recebeu adubação organomineral. Para os grãos houve diferença significativa no teor de fósforo entre grão verde e torrado e entre os sistemas de manejo, sendo encontrados valores maiores nos grãos torrados e cultivados em sistema orgânico. Para a borra e bebida, não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo para nenhum mineral. Para as comparações entre todos os tipos de amostras, verificou-se que, menores quantidades de minerais são encontradas na bebida em relação aos outros tipos de amostras.

Palavras-chave: secagem, umidade, análise física.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados de macro e micro minerais em grãos verdes e torrados de cafés cultivados em manejo orgânico e organomineral.	19
Tabela 2. Resultados de macro e micro minerais em borra de cafés cultivados em manejo orgânico e organomineral.....	22
Tabela 3. Resultados de macro e micro minerais em bebidas de cafés cultivados em manejo orgânico e organomineral.....	26
Tabela 4. Resultados dos teores de macro e micro minerais do café cultivados em diferentes formas (grão verde, grão torrado, borra e bebida) proveniente de sistema orgânico de cultivo.	30
Tabela 5. Resultados dos teores de macro e micro minerais do café cultivados em diferentes formas (grão verde, grão torrado, borra e bebida) proveniente de sistema organomineral de cultivo.	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Café	6
2.2. Cultivar Catuaí Vermelho	6
2.3. Sistema de cultivo.....	6
2.3.1 Sistema orgânico	6
2.3.2 Sistema organomineral	7
2.4. Efeito da nutrição na qualidade do café	8
2.4.1. Nitrogênio (N).....	8
2.4.2. Fósforo (P).....	10
2.4.3. Potássio (K).....	10
2.4.4. Cálcio (Ca).....	11
2.4.5. Magnésio (Mg).....	11
2.4.6. Enxofre (S).....	12
2.4.8. Boro (B)	13
2.4.9. Ferro (Fe).....	14
2.4.10. Manganês (Mn).....	14
2.4.11. Cobre (Cu)	14
3. OBJETIVOS	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1. Matéria-prima.....	16
4.2.1. Colheita e secagem dos grãos	16
4.2.2. Análise de umidade	17
4.3. Classificação física dos grãos	17
4.4. Caracterização da borra e bebida.....	17
4.5. Análise de minerais dos grãos, borra e bebida	18
4.6. Análise estatística	18

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. Análise de minerais dos grãos de café verde e torrado.....	19
5.2. Análise de minerais borra do café.....	22
5.3. Análise de minerais da bebida do café	25
6. CONCLUSÃO	31
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

O café é o principal produto da pauta de exportações para o agronegócio do estado de Minas Gerais e tem como principal atributo para a determinação da comercialização e do preço, a qualidade. Essa qualidade pode ser definida como um conjunto de características químicas, físicas, sensoriais e de segurança que dependem de diversos fatores, destacando-se a composição química dos grãos que pode ser determinada por bases genéticas, sistema de cultivo, época de colheita, armazenamento e terra (MESQUITA et al., 2016; BRASIL, 2003; MARTINEZ et al., 2014).

O sistema de manejo orgânico é caracterizado como todo aquele que adota conjuntos de técnicas específicas, visando a sustentabilidade econômica e ecológica, incluindo a minimização da dependência de energia não renovável e a maximização dos benefícios sociais (BRASIL, 2003).

O sistema de produção organomineral, é caracterizado pela exclusão da aplicação de agrotóxicos, porém ainda ocorre o uso de fertilizantes sintetizados quimicamente, por um período determinado. Um fertilizante organomineral é um produto da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos, com definidas especificações e garantias de características mínimas estabelecidas por Instrução Normativa (et al., 2012).

A construção da fertilidade química do solo é influenciada pela adoção de diferentes estratégias de manejo e conseqüentemente influencia na nutrição mineral do cafeeiro, na qualidade dos grãos e no produto final através da atuação desses minerais no metabolismo da planta e acúmulo de compostos químicos desejáveis, no que tange ao aroma, sabor e na produção de substância que impedem o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis nos grãos (MARTINEZ et al., 2014).

A nutrição mineral do cafeeiro é um fator considerável quando se fala em qualidade do café, principalmente na falta ou excesso de algum nutriente, visto que as condições de manejo, adubação e o estado nutricional da planta podem influenciar na produtividade, composição do grão cru e conseqüente qualidade da bebida (MALTA et al., 2008; MARTINEZ et al., 2014).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Café

O cafeeiro é uma planta da família *Rubiaceae* e do gênero *Coffea*, caracterizada como arbusto de crescimento contínuo de estatura variando entre 2 a 4 metros. É uma planta de grande importância econômica devido a produção de grãos utilizados na produção de uma bebida estimulante, sendo as espécies *Coffea arábica* L. e *Coffea canephora* Pierre responsáveis, respectivamente, por 70% a 30% do mercado de café mundial (MELO; SOUZA, 2011; QUEIROGA et al., 2021).

Possui flores brancas hermafroditas que dão origem a um fruto carnoso, de coloração verde quando imaturo, evoluindo para amarelo ou vermelho após a maturação, de acordo com a espécie (CARVALHO; MÔNACO, 1965).

2.2. Cultivar Catuaí Vermelho

O cultivar Catuaí Vermelho é um produto gerado do cruzamento de variedade de *C. arábica*, Caturra Amarelo, IAC 476-11 e Mundo Novo IAC 374-19. Suas principais características são o porte baixo, maturação média a tardia, com sementes de tamanho médio e elevado vigor (Instituto Agronômico de Campinas - IAC, 2022).

2.3. Sistema de cultivo

2.3.1 Sistema orgânico

O sistema de produção orgânico tem como objetivo a produção de alimentos sustentáveis no âmbito ecológico, econômico e social, sendo uma das formas de agricultura que mais vem crescendo em área cultivada, número de produtores e mercado consumidor, desde a década de 90 (SANTOS; MONTEIRO, 2004).

Conforme a Instrução Normativa nº 007, de 17 de maio de 1999 (BRASIL, 1999) “considera-se sistema orgânico de produção agropecuária e industrial, todo aquele em que se adotam tecnologias que otimizem o uso de recursos naturais e sócio-econômicos, respeitando a integridade cultural e tendo por objetivo a auto-sustentação no tempo e no espaço, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energias não renováveis e a eliminação do emprego de agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente modificados (OGM/trangênicos), ou radiações ionizantes em

qualquer fase do processo de produção, armazenamento e de consumo, e entre os mesmos, privilegiando a preservação da saúde ambiental e humana, assegurando a transparência em todos os estágios da produção da transformação, visando:

- a) a oferta de produtos saudáveis e de elevado valor nutricional, isentos de qualquer tipo de contaminantes que ponham em risco a saúde do consumidor, do agricultor e do meio-ambiente;
- b) a preservação e a ampliação da biodiversidade dos ecossistemas, natural ou transformado, em que se insere o sistema produtivo;
- c) a conservação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, da água e do ar;
- d) o fomento da integração efetiva entre agricultor e consumidor final de produtos orgânicos, e o incentivo à regionalização da produção de produtos orgânicos para os mercados locais.”

A produção de cafés orgânicos está intimamente ligada a de cafés considerados especiais ou *gourmets*, cafés com atributos físicos, sensoriais e de segurança considerados superiores. Esses cafés surgem por exigências do mercado por um produto sustentável, saudável e que seja uma alternativa de renda para regiões em desenvolvimento (SOUZA, 2006).

Um café de tipo orgânico deve ser produzido, durante todo processo, com práticas orgânicas e certificado por organismos independentes, sem uso de insumos químicos tais como: fungicidas, herbicidas, fertilizantes e inseticidas.

A cafeicultura orgânica está diretamente ligada à integração dos sistemas de produção, através da minimização dos gastos em insumos pelo aproveitamento de resíduos e agregação de valor ao produto final. Em se tratando de manejo de solo e fertilidade da lavoura, a cafeicultura orgânica é caracterizada pela alta eficiência no fornecimento de nitrogênio, via compostos orgânicos, adubação verde e uso de plantas espontâneas como cobertura vegetal do solo (QUEIROGA et al., 2021).

2.3.2 Sistema organomineral

Segundo Caixeta e Pedini (2002) o sistema de cultivo organomineral ou SAT (sem agrotóxicos), sistema cada vez mais crescente em volume de produção para a cultura do café, é um tipo de manejo onde o produtor elimina qualquer forma de controle fitossanitário que envolva o uso de agrotóxicos, porém usando fertilizantes sintetizados quimicamente por um período determinado. Apesar de possuir

embasamento teórico, esse sistema não possui regulamentação ou mercado consumidor definido.

O sistema organomineral, com o objetivo de suprir a demanda nutricional das culturas utiliza a mistura de adubos químicos, esterco orgânico, resíduos de culturas, plantas fixadoras de nitrogênio, sementes oleaginosas e biofertilizantes. Os adubos provenientes de fontes minerais permitem rápida disponibilidade e assimilação dos nutrientes pela cultura, já os adubos orgânicos necessitam de um maior período de tempo para a liberação dos nutrientes, o que permite uma disponibilidade durante todo o ciclo da lavoura (CAVALCANTE et al., 2020).

2.4. Efeito da nutrição na qualidade do café

Os nutrientes minerais fazem parte de diversas funções do metabolismo das plantas, e influenciam direta e indiretamente na produtividade e qualidade das culturas agrícolas. Juntamente com os fatores ambientais são responsáveis pelo desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas.

São divididos em três grupos, sendo os primários exigidos em maiores quantidades, e os nutrientes secundários e micronutrientes em menores quantidades, porém sendo tão importante quanto o primeiro (Potash Phosphate Institute - PPI, 1998).

Os minerais interferem na qualidade do café através de duas vias. Diretamente por sua função no metabolismo da planta e acúmulo de compostos químicos desejáveis relacionados ao aroma e sabor, e indiretamente através da produção de compostos que desfavorecem o desenvolvimento microbiano dos grãos (MARTINEZ et al., 2014).

2.4.1. Nitrogênio (N)

O nitrogênio é um nutriente exigido em grandes quantidades, sendo essencial para o crescimento das plantas. Geralmente é absorvido e transportado pelos vasos condutores nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), sendo o nitrato a forma mais comum absorvida pela maioria das culturas (PPI, 1998).

É um mineral que estabelece várias funções fisiológicas da planta. Está diretamente ligado à fotossíntese, já que é essencial na síntese de clorofila, além de ser componente de vitaminas, do sistema enzimático da planta e essencialmente dos aminoácidos formadores de proteínas (PPI, 1998).

Como está diretamente ligado à produção de clorofila e por ser um nutriente altamente móvel na planta, a deficiência de nitrogênio causa amarelecimento das folhas, começando nas folhas mais velhas e indo para as folhas mais novas conforme a severidade da deficiência. Outros sintomas são típicos da deficiência desse mineral, como a lentidão do crescimento vegetativo e a diminuição nos teores de proteína dos grãos e partes vegetativas (PPI, 1998; MESQUITA et al., 2016).

O excesso de nitrogênio pode afetar a fase reprodutiva da planta, aumentando o crescimento vegetativo e reduzindo a formação de frutos e consequentemente afetando qualitativa e quantitativamente a produção (PPI, 1998).

É altamente exigido e acumulado pela cultura do cafeeiro, sendo essencial para o crescimento estrutural, florescimento e frutificação. Os sintomas da deficiência de nitrogênio para o café se caracterizam pela clorose uniforme do limbo e das nervuras foliares, com posterior necrose e queda foliar, diminuição do porte da planta, queda prematura dos frutos e secamento dos ramos da ponta até a base (MESQUITA et al., 2016).

Níveis sobrepujantes de nitrogênio para o café estimulam o crescimento vegetativo em excesso, gerando atraso no amadurecimento dos frutos, perda na qualidade da bebida e aumentando a susceptibilidade da planta a doenças como mancha de phoma e mancha aureolada (MESQUITA et al., 2016).

A cafeína, composto químico presente no café, pertence ao grupo das xantinas, apresentando quatro átomos de nitrogênio na composição de sua molécula. Clifford e Wilson (1985) afirmaram que da concentração de nitrogênio em grãos de café torrados, 40 a 50% correspondem a cafeína e a trigonelina, esperando-se assim que plantas deficientes em nitrogênio apresentam uma redução no teor de cafeína dos grãos, o que foi confirmado por Mazzafera (1999), que constatou a redução nos níveis de cafeínas em folhas de plantas cultivadas em meio com ausência de nitrogênio.

Em estudo de Fonseca et al. (1972), avaliaram a quantidade de nitrogênio total de grãos de café verde de diferentes tipos de bebidas, os teores de nitrogênio em grãos de café variaram entre 2,53 a 2,59%.

2.4.2. Fósforo (P)

O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, absorvido principalmente como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-) e em pequenas quantidades em íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}). Atua em diversos processos fisiológicos das plantas, atuando na formação e crescimento das raízes, favorecendo um crescimento mais rápido e aumentando a resistência aos rigores do inverno, a eficiência do uso da água e a resistência a certas doenças. Os sintomas comuns de deficiência de fósforo são o decréscimo na taxa de crescimento, morte de tecidos nas folhas, pecíolos e frutos (PPI, 1998; VILAR; VILAR, 2013).

A exigência nutricional de fósforo para o café é de aproximadamente 2,1 toneladas de P_2O_5 por hectare, e é exigido principalmente na fase de formação da planta, atuando na estruturação das raízes e lenho (PPI, 1998).

A deficiência de fósforo na planta do café é notada principalmente nas folhas mais velhas, com a perda de brilho e mudança de cor na ponta e meio, indo de verde para marrom, com necrose em forma de “V”. O excesso desse mineral pode indiretamente causar problemas na absorção e transporte de ferro, manganês, zinco e cobre (MESQUITA et al., 2016).

2.4.3. Potássio (K)

O potássio é um macronutriente primário absorvido pelas plantas na forma de íon K^+ , sendo essencial aos processos fotossintéticos e de uso de água. A deficiência desse mineral diminui a taxa fotossintética da planta, consequentemente aumentando sua respiração, o que diminui o suprimento de carboidrato nas plantas. Sintomas típicos de deficiência de potássio são a murcha e queima da margem foliar, retardo no crescimento e desenvolvimento radicular, diminuição de frutos e sementes e aumento da suscetibilidade a doenças (PPI, 1998).

O potássio é o segundo nutriente mais exigido para a cultura do café, sendo o amarelecimento das pontas e margens e o secamento os sintomas mais comuns de sua deficiência no cafeeiro. Em excesso, pode causar deficiência induzida de cálcio e magnésio (MESQUITA et al., 2016).

O potássio tem forte influência na qualidade da bebida do café, já que sua disponibilidade está ligada ao metabolismo dos açúcares, ativação de enzimas regulatórias e síntese de amido. Combinado com o nitrogênio, o potássio pode

ainda apresentar efeitos positivos na produção de grãos, teor de cafeína, açúcares totais e redutores e fenóis totais (MARTINEZ et al., 2014).

2.4.4. Cálcio (Ca)

O cálcio é um macronutriente secundário absorvido pelas plantas na forma de cátion (Ca^{+2}), sendo essencial no desenvolvimento radicular e foliar, estruturação das plantas, fixação do nitrogênio e na ativação de vários sistemas enzimáticos (PPI, 1998).

A deficiência de cálcio aparece principalmente em tecidos mais jovens, devido sua baixa mobilidade entre os órgãos da planta, já que não se movimenta via floema, deixando as pontas das folhas jovens com aspecto gelatinoso em decorrência da falta de fornecimento de pectato de cálcio. O sintoma mais comum da deficiência desse nutriente aparece como uma redução no desenvolvimento do sistema radicular com posterior necrose.

É importante principalmente na fase de implantação das lavouras de café, e sua presença nas camadas mais profundas permite um maior aprofundamento e conseqüentemente maior resistência à déficits hídricos. Além disso, o cálcio demonstra-se importante no desenvolvimento das gemas do cafeeiro, maturação dos frutos e formação de proteínas (MESQUITA et al., 2016).

Franco e Mendes (1949) mostraram que plantas de café em solução com ausência de cálcio apresentaram paralisação no desenvolvimento, curvamento das folhas devido à insuficiência de pectato de cálcio, morte da ponteira das raízes e clorose nas margens das folhas mais novas.

Na forma de pectato, o cálcio é um nutriente essencial na resistência dos tecidos e paredes celulares, sendo sua proporção de grande importância para o amadurecimento dos frutos e susceptibilidade dos tecidos a infecções fúngicas e bacterianas (MARTINEZ et al., 2014).

2.4.5. Magnésio (Mg)

O magnésio é um nutriente secundário absorvido em forma de cátion (Mg^{++}) pelas plantas, exercendo várias funções como a ativação de sistemas enzimáticos, participação no metabolismo do fosfato, respiração da planta e principalmente estar ativamente envolvido no processo de fotossíntese, sendo o átomo central na molécula da clorofila (PPI, 1998).

É um nutriente de alta mobilidade, portanto os sintomas de deficiência para a cultura do cafeeiro se iniciam nas folhas mais velhas e também nas folhas mais próximas aos frutos com aparecimento de clorose entre as nervuras evoluindo para queda prematura das folhas. Ainda por ser um nutriente fundamental na fotossíntese, sua deficiência se reflete no reduzido crescimento geral do cafeeiro (MESQUITA et al., 2016).

2.4.6. Enxofre (S)

É um nutriente secundário absorvido no solo pelas plantas em forma de ânion (SO_4^{2-}) ou em forma de gás dióxido de enxofre (SO_2) pelas folhas. É constituinte de aminoácidos formadores de proteínas e exerce diversas funções como o desenvolvimento de enzimas e vitaminas, auxilia na formação da molécula de clorofila e na fixação de nitrogênio nas leguminosas já que a disponibilidade desses dois nutrientes está intimamente relacionada (PPI, 1998).

Para a cultura do café é um importante constituinte de aminoácidos, proteínas e é essencial no desenvolvimento radicular da cultura. Possui baixa mobilidade na planta, sendo sua deficiência caracterizada por um amarelecimento nas folhas mais novas, avançando para uma clorose generalizada na planta com posterior desfolhamento e encurtamento dos internódios (MESQUITA et al., 2016).

Segundo Yeretzián et al. (2019), compostos contendo enxofre como trissulfeto de dimetilo e bis(2-metil-3-furil) dissulfeto, juntamente com fenóis e furanonas são de grande importância para o aroma do café torrado. De acordo com Uekane et al. (2013), são quatro as principais substâncias sulfuradas mais importantes no aroma do café torrado, sendo elas 2-furfuriltiol, dimetil sulfeto, dimetil dissulfeto e tiofeno, tendo origem na degradação direta de aminoácidos sulfurados como a cisteína, cistina e metionina, e relacionadas com a interação dos aminoácidos com açúcares redutores e intermediários da reação de *Maillard* e a degradação de *Strecker*.

2.4.7. Zinco (Zn)

É um dos micronutrientes mais importantes para as plantas, pois é um dos principais limitantes na produção das culturas, auxiliando na síntese de substâncias atuantes no crescimento e no sistema enzimático, sendo fundamental na produção de clorofila, carboidratos e ativação de algumas reações metabólicas. É um

nutriente não translocado na planta, sendo os sintomas de deficiência presente nas folhas e partes mais novas (PPI, 1998).

Sendo o micronutriente que mais pode limitar a produção do café, está diretamente ligado ao crescimento e reprodução da planta, influenciando o tamanho dos frutos e pegamento da florada. Os sintomas de deficiência de zinco no cafeeiro aparecem nas folhas mais novas, ocorrendo um estreitamento e um maior desenvolvimento das nervuras em comparação com o parênquima (MESQUITA et al., 2016).

Os resultados verificados por Mello et al. (1999), mostraram que doses maiores de zinco proporcionaram maiores quantidades de grãos classificados em peneiras maiores, que juntamente com outros aspectos são desejáveis para uma maior uniformidade na torra e conseqüentemente maior qualidade do produto final.

Lacerda (2014) observou resposta quadrática às doses de zinco para diversos atributos, incluindo atividade da polifenoloxidase enzima de grande importância para o paladar da bebida, sendo menores doses de zinco resultando em bebida dura e maiores doses resultando em bebida mole.

2.4.8. Boro (B)

O boro é um micronutriente que exerce influência principalmente no desenvolvimento reprodutivo das plantas, sendo essencial no crescimento do tubo polínico e germinação dos grãos de pólen. É importante na formação das proteínas e na translocação de açúcares na planta (PPI, 1998).

Juntamente com o zinco é o micronutriente mais limitante na produção do cafeeiro, atuando na alongação e divisão celular é muito exigido no ápice, ponta dos ramos laterais e meristemas radiculares, sendo os sintomas de deficiência a morte dessas partes, seguindo da brotação de várias outras gemas dando aspecto de leque (MESQUITA et al., 2016).

Clemente (2014) destaca o efeito positivo do boro nas atividades de PPO. A polifenoloxidase é uma enzima que está diretamente relacionada à qualidade da bebida e o aumento da atividade desta enzima permite a separação da bebida em classes de melhor qualidade.

2.4.9. Ferro (Fe)

O ferro é um micronutriente que participa da formação da clorofila, agindo como um carregador de oxigênio e auxiliando na formação de determinados sistemas respiratórios que envolvem enzimas (PPI, 1998).

É o micronutriente mais acumulado pelo cafeeiro em virtude da alta disponibilidade nos solos. Os sintomas mais evidentes da deficiência de ferro podem ser observados nas folhas mais novas, em função de sua baixa translocação na planta, com o amarelecimento entre as nervuras que permanecem verdes (MESQUITA et al., 2016).

2.4.10. Manganês (Mn)

É um micronutriente e atua principalmente no sistema enzimático das plantas, ativando diversas reações metabólicas com ação direta na fotossíntese e síntese de clorofila. Faz parte do processo de aceleração da germinação e maturidade das plantas e possui relação com a disponibilidade de fósforo e cálcio (PPI, 1998).

Depois do ferro é o micronutriente mais acumulado pela cultura do café e sua deficiência se expressa em folhas novas, com o clareamento das regiões internervais e o aparecimento de pontuações amareladas (MESQUITA et. al., 2016).

2.4.11. Cobre (Cu)

O cobre é um micronutriente responsável pela catalisação de vários processos no metabolismo das plantas, pela formação da clorofila e é fundamental para a promoção de variadas reações. Muitas enzimas ativadas pelo cobre ou que contém cobre em sua composição catalisam reações de oxirredução, além de exercer efeitos diretos e indiretos sobre fungos patogênicos (PPI, 1998; MARTINEZ et al., 2014).

Geralmente é encontrado em quantidades insuficientes para a cultura do cafeeiro e diversos fatores contribuem para isso, como calagem excessiva e alto teor de matéria orgânica. A deficiência de cobre é observada em folhas mais novas, com o encurvamento do limbo e necrose começando das bordas das folhas (MESQUITA et al., 2016).

Clemente (2014) e Lacerda (2014) demonstraram que doses de cobre tiveram efeito positivo quanto à produção de grãos, atividade de enzima PPO,

teores de sacarose, cafeína, trigonelina e glicose, elementos avaliados na determinação de qualidade da bebida do café.

3. OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo quantificar o teor de minerais em cafés cultivados em sistema de manejo orgânico e organomineral. Para isso foram analisadas as quantidades de minerais em amostras de grão verde, grão torrado, borra e bebida, de cafés cultivados em ambos os sistemas de manejo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Matéria-prima

Foram colhidas amostras de café da variedade Catuaí Vermelho (*Coffea arabica* L.), cultivadas no município de Poço Fundo, Minas Gerais, safra 2020/21 em dois talhões com 0,20 ha cada, um conduzido em sistema orgânico (21°46.171'S e 46° 1.345'O, e 1.050 de altitude) e o outro no sistema organomineral (21°46.143'S, longitude 46° 1.355'O, e 1.070 de altitude).

Os talhões foram implantados no ano 2000, com o espaçamento nas entrelinhas de 2,5 metros, e entre plantas (na linha) de um metro. O solo foi classificado como Argiloso (USDA, 1999). A região é caracterizada por relevo ondulado a fortemente ondulado e concentra uma das maiores produções de café com qualidade superior do país, historicamente centrada em bases familiares e cultivada em áreas montanhosas de solo ocupado.

O talhão de café orgânico recebeu adubação orgânica composta por farinha de osso, torta de mamona em consórcio com adubação verde. O talhão de café organomineral recebeu adubação organomineral. Em ambos os manejos não foram utilizados agrotóxicos, sendo os tratamentos culturais como adubação, arruação, capina e colheita, realizados de forma manual em ambas as áreas.

4.2. Caracterização dos grãos

4.2.1. Colheita e secagem dos grãos

Os frutos foram colhidos de forma manual em estágio de maturação “cereja maduro” no terço médio das plantas em todas as faces de exposição ao sol no mês de julho de 2021.

Após a colheita os grãos foram armazenados em sacarias de ráfia para posterior separação dos grãos “boias” dos grãos “cereja” por meio de lavagem dos grãos utilizando uma vasilha com água e uma peneira, onde os grãos “boias” flutuam sendo retirados e descartados. Grãos que apresentaram o estado de maturação “falso maduro”, ou seja, os que apresentam coloração amarelada próximo ao pedúnculo foram descartados, para padronização das amostras.

Os grãos foram secos em estrutura de terreiro suspenso em 20 parcelas, com dimensão de 1 m² contendo 6 litros de café cereja por parcela, sendo revolvidos a cada 50 minutos no período das 9:00 horas às 15:00 horas e cobertos

por lona de ráfia e lona preta no período da noite. Os grãos foram secos por 20 dias, sendo recolhidos após para descanso e homogeneização da seca por 30 dias. Após esses 30 dias os grãos voltaram ao terreiro até atingirem os limites máximos de tolerância de umidade.

4.2.2. Análise de umidade

Para a determinação da umidade dos grãos foi utilizado o aparelho Gehaka Agri, modelo G600. Quando os grãos atingiram 18% de umidade, foram amontoados no final da tarde para a homogeneização da secagem. Após 20 dias de secagem, os grãos foram recolhidos e levados para descansar para a homogeneização da seca. Após 30 dias os grãos retornaram ao terreiro suspenso até estarem em torno dos limites máximos de tolerância de 12,5% de umidade (BRASIL, 2003).

4.3. Classificação física dos grãos

Para as análises físicas o beneficiamento das amostras foi realizada utilizando-se de um descascador de amostra portátil da marca Carmomac[®]. Para determinação da granulometria pesou-se 300 gramas do café cru verde, que foram passados nas peneiras 17/18, moca 10, 16, 15, 13/14, para verificação da granulometria dos grãos (BRASIL, 2003) onde os grãos que foram retidos nas peneiras eram retirados, pesados e anotados as porcentagem. Os grãos orgânicos apresentaram maiores diâmetros do que os grãos sustentáveis, apresentando maiores porcentagens retidas nas peneiras 17/18, e moca 10, e baixa quantidade na peneira fundo+catação.

4.4. Caracterização da borra e bebida

Após o beneficiamento os cafés de ambos os sistemas de cultivo foram levados ao torrador da marca Carmomac[®] cerca de 120 g de café verde, peneira 15 acima, e torrados até o ponto de torra claro e levados ao moedor da marca Jmil para moagem média.

Para cada amostra obteve-se xícaras contendo 9 gramas de pó de café, a água, límpida e inodora à 93 °C e foi despejada sobre o filtro contendo o café torrado e moído obtendo-se a bebida e borra separados em recipientes herméticos para posterior análise.

4.5. Análise de minerais dos grãos, borra e bebida

As amostras de grão verde, grão torrado, borra e bebida de ambos os sistemas foram coletadas e armazenadas em embalagens próprias e levadas ao laboratório. Para a análise de macronutriente no grãos e borra, os materiais foram submetidos à digestão sulfúrica, para extração de n, e nítrico-perclórica, para a extração dos demais macronutrientes a determinação analítica: nitrogênio - semimicro-kjeldahl, fósforo por colorimetria do metavanadato, potássio por fotometria de chama de emissão, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, enxofre por turbidimetria do sulfato de bário (EMBRAPA, 1997).

Os minerais enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco foram quantificados por meio da espectrometria de absorção em chama. Para isso, as amostras foram digeridas em ácido nítrico concentrado e após digestão, diluídas para 25 mL com água deionizada e armazenadas em tubos de plástico a temperatura ambiente (AMORIM FILHO et al., 2007).

Para a bebida, inicialmente as amostras foram solubilizadas com ácidos oxidantes concentrados, em seguida foram realizadas a digestão das amostras e as seguintes metodologias para a determinação da concentração de cada um dos elementos: nitrogênio: utilizando o método semimicro Kjeldahl; fósforo: por espectrofotometria de absorção molecular; potássio: por espectrometria de emissão atômica; cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro e manganês: por espectrometria de absorção atômica; enxofre: por turbidimetria o carbono foi determinado pelo método colorimétrico, utilizando dicromato de sódio (EMBRAPA, 2005).

4.6. Análise estatística

Os dados obtidos na análise química do grão verde, grão torrado, borra e bebida proveniente de cafés cultivados em diferentes sistemas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e suas médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, considerando 5% como nível de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software online AgroEstat (BARBOSA; MALDONATO JÚNIOR, 2015).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de minerais dos grãos de café verde e torrado

Os resultados das análises de macro e micro minerais de grãos de café mostraram que apenas houve diferença significativa no teor de fósforo entre grão verde e torrado e entre os dois sistemas de manejo, organomineral e orgânico, sendo encontrados valores maiores nos grãos torrados e cultivados em sistema orgânico. Para os teores de carbono, nitrogênio, potássio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco e boro não houve diferença significativa entre nenhum dos fatores analisado (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados de macro e micro minerais em grãos verdes e torrados de cafés cultivados em manejo orgânico e organomineral.

Parâmetros (mg.kg ⁻¹)	Verde		Torrado		CV(%)
	Organomineral	Orgânico	Organomineral	Orgânico	
C	558400,00Aa	478100,00Aa	463300,00Aa	642900,00Aa	27,71
N	23450,00Aa	21950,00Aa	24700,00Aa	23200,00Aa	5,96
P ₂ O ₅	2500,00Bb	2900,00Ba	3000,00Ab	3100,00Aa	3,47
K ₂ O	18800,00Aa	17300,00Aa	19350,00Aa	19550,00Aa	14,75
CaO	3550,00Aa	3450,00Aa	4400,00Aa	3000,00Aa	15,89
MgO	3150,00Aa	3350,00Aa	3450,00Aa	3500,00Aa	3,48
SO ₄	6850,00Aa	5600,00Aa	6700,00Aa	4850,00Aa	30,10
Cu	37,50Aa	8,50Aa	14,00Aa	4,00Aa	123,07
Fe	57,00Aa	42,50Ab	69,00Aa	37,00Ab	20,24
Mn	22,00Aa	29,00Aa	18,50Aa	62,00Aa	73,23
Zn	7,50Aa	6,00Aa	8,00Aa	7,50Aa	11,94
B	18,50Aa	15,50Aa	14,50Aa	15,50Aa	22,09

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott em relação ao fator grão verde e torrado.

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott em relação ao sistema organomineral e orgânico.

Para as médias dos teores de carbono não houve diferença significativa entre os fatores analisados. Maiores valores foram encontrados para os grãos torrados oriundos de sistema orgânico, seguido de grãos verdes de sistema organomineral,

grãos verdes de sistema orgânico e grãos torrados de sistema organomineral, respectivamente.

O teor de nitrogênio em grãos de café verde de ambos os sistemas (Tabela 1) se encontram próximos, mas abaixo da faixa de 25300 mg.kg⁻¹ a 25900 mg.kg⁻¹ encontrada por Fonseca et al. (1972). Não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo e entre grão verde e grão torrado.

Para as médias dos teores de fósforo houve diferença significativa entre grãos verdes e grãos torrados e entre os sistemas de manejo organomineral e orgânico, sendo encontrada uma maior concentração de fósforo nos grãos de café torrado provenientes de sistema orgânico (3100,00 mg.kg⁻¹), seguido dos grãos torrados de sistema organomineral (3000,00 mg.kg⁻¹), grãos verdes provenientes de sistema orgânico (2900,00 mg.kg⁻¹) e grãos verdes de sistema organomineral (2500,00 mg.kg⁻¹) (Tabela 1).

Os valores de fósforo encontrados para o café torrado são maiores do que as médias dos teores de fósforo encontrados por Janda et al. (2020) e Grembecka et al. (2007), correspondendo a 2154,23 mg.kg⁻¹ e 2280,00 mg.kg⁻¹. Já para os grãos verdes, as médias das amostras de ambos os sistemas são maiores do que a média de 1465,00 mg.kg⁻¹ de fósforo encontrada em grãos de café verde por Morgano et al. (2002) ao comparar os resultados obtidos na quantificação dos minerais em grãos de café cru utilizando os métodos de digestão de amostra por via seca e por via úmida.

Em relação às quantidades de potássio, não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo e entre os grãos torrados e verdes (Tabela 1). As médias dos teores de potássio nas amostras de grãos torrados para o sistema de manejo organomineral (19350,00 mg.kg⁻¹) e para o sistema orgânico (19550,00 mg.kg⁻¹) são maiores do que a encontrada em grãos de café torrado e moído por Janda et al. (2020) e Grembecka et al. (2007), que corresponde a 18634,66 mg.kg⁻¹ e 13690,00 mg.kg⁻¹ respectivamente. Em relação aos grãos verdes, a média encontrada por Morgano et al. (2002) de 16186,00 mg.kg⁻¹ é inferior as médias apresentadas para o sistema de manejo orgânico e organomineral, 17300,00 mg.kg⁻¹ e 18800,00 mg.kg⁻¹, respectivamente.

Para as médias dos teores de cálcio, não houve diferença significativa entre nenhum dos fatores analisados. Os resultados encontrados por Janda et al. (2020) e Grembecka et al. (2007) em grãos de café moído, 1441,20 mg.kg⁻¹ e 840,00 mg.kg⁻¹

respectivamente, são menores do que as médias encontradas para os cafés torrados organomineral ($4400,00 \text{ mg.kg}^{-1}$) e orgânico ($3000,00 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Tabela 1). Os grãos verdes em sistema orgânico apresentaram média de $3450,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ e os provenientes de sistema organomineral obtiveram média de $3550,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela 1), valores superiores a média de $1014,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ encontrada por Morgano et al. (2002).

Para as médias dos teores de magnésio, não houve diferença significativa entre nenhum dos fatores analisados. As quantidades médias de magnésio para os grãos torrados oriundos de sistema organomineral ($3450,00 \text{ mg.kg}^{-1}$) e de sistema orgânico ($3500,00 \text{ mg.kg}^{-1}$), são maiores do que as encontradas por Janda et al. (2020) de $2133,91 \text{ mg.kg}^{-1}$ e por Grembecka et al. (2007) de $2100,00 \text{ mg.kg}^{-1}$. Já para os grãos verdes, a média encontrada para o sistema organomineral de $3150,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ e para o orgânico de $3350,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela 1), são superiores a média de $1889,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ encontrada por Morgano et al. (2002).

Em relação aos teores de enxofre, não houve diferença significativa entre nenhum dos fatores analisados. Os grãos de café, tanto verde, quanto torrado, provenientes de sistema de manejo organomineral obtiveram maiores valores do que os grãos provenientes de sistema orgânico.

Não houve diferença significativa entre os fatores analisados para os teores de ferro, porém vale ressaltar que os grãos provenientes de sistema organomineral obtiveram quantidades maiores. A média dos teores de ferro encontrados por Janda et al. (2020) em grãos de café torrado correspondente a $48,36 \text{ mg.kg}^{-1}$ é maior do que a média de café torrado das amostras provenientes de sistema de manejo orgânico ($37,00 \text{ mg.kg}^{-1}$) e menor do que a média das amostras de café organomineral ($69,00 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Tabela 1). A média dos teores de ferro encontrando em grãos verdes por Morgano et al. (2002), de $39,60 \text{ mg.kg}^{-1}$, é inferior as médias de $57,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $42,50 \text{ mg.kg}^{-1}$, obtidas para o sistema organomineral e orgânico, respectivamente.

Para as médias dos teores de cobre nos grãos, não houve diferença significativa entre nenhum dos fatores analisados. Porém vale ressaltar que maiores valores de cobre foram encontrados em grãos provenientes de sistema organomineral, tanto para o grão verde, quanto para o torrado. As médias dos teores de cobre para os grãos verdes orgânicos e organomineral foram de 8,50

mg.kg⁻¹ e 37,50 mg.kg⁻¹ (Tabela 1), respectivamente. A média de cobre registrada por Morgano et al. (2002) em grãos de café verde foi de 14,40 mg.kg⁻¹.

Para os teores de zinco nos grãos de café, não houve diferença significativa entre os fatores avaliados. As médias encontradas nos grãos torrados de ambos os sistemas de manejo (Tabela 1) se encontram próximas aos teores encontrados por Janda et al. (2020) de 9,93 mg.kg⁻¹.

Quanto aos teores de boro e manganês para os grãos de café, não houve diferença significativa entre nenhum dos fatores analisados. Morgano et al. (2002) obteve média de 21,4 mg.kg⁻¹ para o teor de manganês em grãos de café verde, valor inferior as médias obtidas para o sistema organomineral e orgânico, de 22,00 mg.kg⁻¹ e 29,00 mg.kg⁻¹, respectivamente.

5.2. Análise de minerais borra do café

Em relação aos teores de macro e micro minerais na borra do café, não houve diferença significativa para nenhum dos nutrientes analisados. Apesar disso, nota-se que o sistema orgânico apresenta teores ligeiramente maiores de carbono, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês e zinco, enquanto o sistema de manejo organomineral apresenta teores maiores de nitrogênio, fósforo e cobre (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados de macro e micro minerais em borra de cafés cultivados em manejo orgânico e organomineral.

Parâmetros (mg.kg ⁻¹)	Organomineral	Orgânico	CV(%)
C	601050,00a	612450,00a	3,26
N	22200,00a	21400,00a	5,12
P ₂ O ₅	22200,00a	1800,00a	5,33
K ₂ O	7050,00a	8850,00a	14,9
CaO	2350,00a	3000,00a	25,96
MgO	1750,00a	2150,00a	26,39
SO ₄	4350,00a	4450,00a	3,59
Cu	13,63a	10,23a	14,88
Fe	45,00a	48,75a	6,42
Mn	12,37a	18,44a	8,64
Zn	12,81a	19,57a	35,57

*Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott CV(%) = Coeficiente de Variação.

Quanto ao teor de carbono, as amostras do sistema orgânico apresentaram uma média de 612450,00 mg.kg⁻¹, já as amostras do sistema organomineral obtiveram uma média de 601050,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 2). Quantidades inferiores foram encontradas em borra de café por Pujol et al. (2013), que registrou uma média de 571600,00 mg.kg⁻¹ e por Tombarkiewicz et al. (2022), com uma média de 500340,00 mg.kg⁻¹.

Em relação aos teores de nitrogênio, a média encontrada para o sistema orgânico foi de 21400,00 mg.kg⁻¹, enquanto que para o organomineral foi de 22200,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 2), quantidades acima da média de nitrogênio encontrada na borra de café por Pujol et al. (2013) de 11800,00 mg.kg⁻¹.

Para os teores de fósforo, a borra proveniente de sistema de manejo orgânico apresentou 1800,00 mg.kg⁻¹, já a borra proveniente de sistema organomineral apresentou 22200,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 2). Ballesteros et al. (2014) ao avaliarem a composição química, propriedades funcionais e características estruturais da borra do café, encontrou uma quantidade de 1800 mg.kg⁻¹ de fósforo, valor similar ao encontrado para o sistema orgânico, porém muito abaixo do encontrado para a borra do sistema organomineral. Tombarkiewicz et al. (2022)

avaliaram a composição química de borra de café proveniente de uma famosa rede de cafeterias, e encontrou uma média de 1480,00 mg.kg⁻¹, valor inferior as médias encontradas para ambos os sistemas de manejo.

Quanto ao teor de potássio, o sistema orgânico apresentou uma média de 8850,00 mg.kg⁻¹, enquanto o sistema de manejo organomineral apresentou uma média de 7050,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 2). As médias de potássio das amostras para ambos os sistemas de manejo se encontram abaixo da média de potássio encontrado por Ballesteros et al. (2014), de 11700,00 mg.kg⁻¹, porém maiores que a média encontrada por Tombarkiewicz et al. (2022), de 5060,00 mg.kg⁻¹.

A média dos teores de cálcio na borra do café proveniente de sistema orgânico foi de 3000,00 mg.kg⁻¹, enquanto que para o sistema organomineral foi de 2350,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 2), quantidades superiores as médias encontrada por Ballesteros et al. (2014) e por Tombarkiewicz et al. (2022), de 1200,00 mg.kg⁻¹ e 1770,00 mg.kg⁻¹, respectivamente.

Os teores de magnésio na borra do café orgânico se encontram acima da média de 1900,00 mg.kg⁻¹ encontrada por Ballesteros et al. (2014), já a borra proveniente do café cultivado em sistema organomineral se encontra a baixo da média. A média encontrada por Tombarkiewicz et al. (2022) em caracterização química de borra de café, foi de 1480,00 mg.kg⁻¹ de magnésio, valor abaixo das médias encontradas para ambos os sistemas de manejo (Tabela 2).

Em relação aos teores de enxofre, a borra proveniente de cafés cultivados em sistema orgânico obteve uma média de 4450,00 mg.kg⁻¹, já a borra oriunda de cafés de sistema organomineral resultaram em uma média de 4350,00 mg.kg⁻¹, valores superiores aos encontrados por Ballesteros et al. (2014) e Tombarkiewicz et al. (2022), de 1600,00 mg.kg⁻¹ e 870,00 mg.kg⁻¹, respectivamente.

A média dos teores de cobre para a borra de sistema orgânico foi de 10,23 mg.kg⁻¹, já para o sistema organomineral, o valor foi de 13,63 mg.kg⁻¹ (Tabela 2), valores menores do que a média encontrada por Ballesteros et al. (2014), correspondente a 18,66 mg.kg⁻¹.

Quanto ao teor de ferro, a borra oriunda de café cultivado em sistema orgânico resultou em uma média de 48,75 mg.kg⁻¹, enquanto que a oriunda de sistema organomineral resultou em uma média de 45,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 2), valores inferiores ao encontrado por Ballesteros et al. (2014), equivalente a 52,00 mg.kg⁻¹.

Para o teor de manganês na borra, o sistema orgânico resultou em uma média de 18,44 mg.kg⁻¹, já o sistema organomineral resultou em uma média de 12,37 mg.kg⁻¹ (Tabela 2), valores menores do que a média encontrada por Ballesteros et al. (2014) de 28,80 mg.kg⁻¹.

O teor de zinco para as amostras de borra proveniente de sistema orgânico foi de 19,57 mg.kg⁻¹, enquanto que as amostras de sistema organomineral resultaram em uma média de 12,81 mg.kg⁻¹, resultados superiores aos estimados por Ballesteros et al. (2014), de 8,40 mg.kg⁻¹.

5.3. Análise de minerais da bebida do café

Os resultados da análise de macro e micro minerais para bebida de café não apresentaram diferença significativa em relação ao sistema de manejo adotado. Porém, nota-se que os teores de carbono, fósforo, potássio, cálcio, cobre, ferro e manganês são ligeiramente maiores na bebida do café orgânico, enquanto que o teor de nitrogênio é maior para a bebida de café organomineral (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados de macro e micro minerais em bebidas de cafés cultivados em manejo orgânico e organomineral.

Parâmetros (mg.kg ⁻¹)	Organomineral	Orgânico	CV(%)
C	26040,00a	32240,00a	24,07
N	250,00a	220,00a	19,03
P ₂ O ₅	65,00a	70,00a	16,56
K ₂ O	74,50a	79,00a	16,69
CaO	100,00a	125,00a	15,34
MgO	90,00a	90,00a	15,71
SO ₄	145,00a	140,00a	12,65
Cu	0,16a	0,26a	25,64
Fe	2,00a	2,25a	11,76
Mn	0,32a	0,48a	8,72
Zn	0,29a	0,29a	10,34

*Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott. CV(%) = Coeficiente de Variação.

Para o teor de carbono, as amostras de bebida de manejo orgânico apresentaram uma média de 32240,00 mg.kg⁻¹, já as amostras de bebida de café organomineral apresentaram média de 26040,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), não apresentando diferença significativa.

Em relação ao teor de nitrogênio, a média para as bebidas provenientes de café cultivado em sistema organomineral apresentaram média de 250,00 mg.kg⁻¹, enquanto que as bebidas provenientes de sistema orgânico obtiveram média de 220,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), não diferenciando significativamente entre si.

Quanto ao teor de fósforo, não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo. As bebidas orgânicas apresentaram média de 70,00 mg.kg⁻¹, enquanto que as bebidas oriundas de sistema organomineral resultaram em uma média de 65,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3).

A média para os teores de potássio em bebidas de sistema organomineral foi de 74,50 mg.kg⁻¹ e para o sistema orgânico de 79,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3). Não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo.

Para os teores de cálcio, as amostras provenientes de sistema orgânico resultaram em uma média de 125,00 mg.kg⁻¹, já as de sistema organomineral

obtiveram média de 100,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3). Os sistemas de manejo não diferiram significativamente entre si.

Em relação aos teores de magnésio, ambos os sistemas de manejo apresentaram média de 90,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), logo não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para os teores de enxofre, as amostras do sistema organomineral obtiveram média de 145,00 mg.kg⁻¹, já as oriundas de sistema orgânico resultaram em média de 140,00 mg.kg⁻¹ (Tabela 3). Não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo.

A média para os teores de cobre em sistema organomineral foi de 0,16 mg.kg⁻¹, já para o sistema orgânico a média foi de 0,26 mg.kg⁻¹, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Quanto ao teor de ferro, as amostras de bebida de sistema organomineral apresentaram média de 2,00 mg.kg⁻¹, enquanto que as provenientes de sistema orgânico obtiveram média de 2,25 mg.kg⁻¹ (Tabela 3). Os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si.

Para os teores de manganês, as bebidas provenientes de sistema organomineral apresentaram média de 0,32 mg.kg⁻¹, as oriundas de sistema orgânico obtiveram média de 0,48 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), não havendo diferença significativa entre os sistemas de manejo.

Em relação aos teores de zinco ambos os sistemas de manejo apresentaram média de 0,29 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

5.4. Comparação dos teores de minerais obtidos entre café grão verde, torrado, borra, bebida

Para o teor de carbono em sistema orgânico, os maiores valores foram encontrados no grão torrado e na borra, não apresentando diferença relevante entre a média das duas amostras, seguido do grão verde e bebida, respectivamente (Tabela 4). Para o sistema organomineral, a borra, o grão verde e o grão torrado obtiveram maiores teores de carbono, não diferenciando significativamente, seguido da bebida com o menor teor registrado para o sistema (Tabela 5).

Em relação ao teor de nitrogênio em ambos os sistemas de manejo, a bebida apresentou teores significativamente menores em relação às outras amostras, com

um valor de 220,00 mg.kg⁻¹ para o café orgânico (Tabela 4) 250,00 mg.kg⁻¹ para o organomineral (Tabela 5). O grão torrado apresentou o maior teor de nitrogênio, com 23200,00 mg.kg⁻¹ para o orgânico (Tabela 4) e 24700,00 mg.kg⁻¹ para o organomineral (Tabela 5), não diferenciando significativamente do grão verde e da borra para ambos os sistemas.

De acordo com Clifford e Wilson (1985) a cafeína e trigonelina correspondem de 40 a 50% do teor de nitrogênio nos grãos de café. Segundo Toci et al. (2006) no processo de torrefação dos grãos de café, pequenas perdas de cafeína podem ocorrer por sublimação, além disso, a perda de compostos termo lábeis, ou seja, aqueles que perdem sua estabilidade com grandes variações de temperatura, ocasionam em um aumento percentual relativo nos teores de cafeína. Ainda a trigonelina é fortemente dependente do tempo e da temperatura de torra, sendo as perdas de 50 a 100% de acordo com o grau desta torra.

Os teores de fósforo na bebida de café orgânico diferiram significativamente entre o grão torrado, a borra e a bebida, porém os valores de fósforo para o grão verde não diferiram do grão torrado e da borra, sendo os maiores valores de fósforos encontrados no grão torrado com um teor de 3100,00 mg.kg⁻¹, seguido do grão verde, borra e bebida (Tabela 4). Para o café organomineral o maior teor de fósforo foi encontrado na borra com 22200,00 mg.kg⁻¹, seguido do grão verde e torrado, e a bebida (Tabela 5).

Para os teores de potássio, o grão torrado de café orgânico apresentou valores ligeiramente maiores que o grão verde, não apresentando diferenças significativas. A bebida apresentou a menor média em relação aos outros (Tabela 4). Para o sistema organomineral, o grão torrado e verde apresentaram maiores valores de potássio, não diferindo significativamente, seguido da borra e bebida (Tabela 5). Menores valores de potássio na bebida para ambos os sistemas vão de acordo com os resultados de Loureiro e Guazzelli (2018) que mostraram que alguns nutrientes ficam retidos no filtro, sendo essa retenção de mais de 80% para o potássio.

Em relação ao cálcio, para o sistema orgânico a bebida apresentou o menor teor, diferindo consideravelmente das outras amostras, sendo o grão verde o de maior teor, seguido da borra e do grão torrado, respectivamente, já para o sistema organomineral não houve diferença significativa entre os teores de cálcio.

Para os teores de magnésio em sistema orgânico o grão torrado, grão verde e borra apresentaram as maiores médias, não diferindo significativamente entre si, seguido da borra e da bebida, respectivamente (Tabela 4). O grão torrado e verde apresentaram maiores teores de magnésio das amostras de café organomineral, não diferindo significativamente, seguido pela borra e bebida respectivamente (Tabela 5).

Para o enxofre em amostras de café orgânico, apenas o teor da bebida diferiu significativamente dos demais, sendo o menor valor encontrado. Maiores teores de enxofre foram encontrados no grão verde, seguido do torrado e da borra (Tabela 4). Os teores de enxofre em amostras de café organomineral não diferiram significativamente entre si (Tabela 5).

Nas amostras de café orgânico a borra e o grão verde apresentaram, maior teor médio de cobre, com $10,23 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $8,50 \text{ mg.kg}^{-1}$, não diferindo significativamente, seguido do grão torrado e da bebida com o menor valor, $0,26 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela 4). As amostras de café organomineral não tiveram diferença significativa entre si (Tabela 5).

Em relação aos teores de ferro, tanto para o sistema orgânico, quanto para o organomineral, menores valores de ferro foram encontrados nas bebidas, já as amostras de grão verde, grão torrado e bebidas não diferiram significativamente entre si (Tabelas 4 e 5). Segundo Loureiro e Guazzelli (2018) no processo de filtragem do café, o ferro pode sofrer uma retenção do papel filtro de mais de 45%.

Para os teores de manganês, as amostras de café orgânico não apresentaram diferença significativa (Tabela 4), já para as amostras de café organomineral o grão verde e torrado apresentaram as maiores médias, não diferindo significativamente entre si, seguido da borra e bebida, respectivamente (Tabela 5). Segundo Loureiro e Guazzelli (2018) no processo de filtragem ocorre uma retenção de manganês em papel filtro de quase 70%, o que pode explicar valores menores de manganês na bebida.

Para o zinco, nas amostras de café orgânico os maiores teores foram encontrados na borra, grão torrado e grão verde respectivamente, não diferiram significativamente entre si, menores valores foram encontradas na bebida (Tabela 4). As amostras de café organomineral não obtiveram diferenças significativas entre si (Tabela 5).

Tabela 4. Resultados dos teores de macro e micro minerais do café cultivados em diferentes formas (grão verde, grão torrado, borra e bebida) proveniente de sistema orgânico de cultivo.

Parâmetros (mg.kg ⁻¹)	Grão Verde	Grão Torrado	Borra	Bebida	CV(%)
C	478100,00b	642900,00a	612450,00a	32240,00c	9,78
N	21950,00a	23200,00a	21400,00a	220,00b	6,78
P ₂ O ₅	2900,00a	3100,00a	1800,00b	70,00c	14,82
K ₂ O	17300,00a	19550,00a	8850,00b	79,00c	18,87
CaO	3450,00a	3000,00a	3000,00a	125,00b	26,30
MgO	3350,00a	3500,00a	2150,00b	90,00c	14,76
SO ₄	5600,00a	4850,00a	4450,00a	140,00b	11,67
Cu	8,50a	4,00b	10,23a	0,26c	22,20
Fe	42,50a	37,00a	48,75a	2,25b	24,84
Mn	29,00a	62,00a	18,44a	0,485a	87,53
Zn	6,00a	7,50a	19,57a	0,29a	49,74

*Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott. CV(%) = Coeficiente de Variação.

Tabela 5. Resultados dos teores de macro e micro minerais do café cultivados em diferentes formas (grão verde, grão torrado, borra e bebida) proveniente de sistema organomineral de cultivo.

Parâmetros (mg.kg ⁻¹)	Grão Verde	Grão Torrado	Borra	Bebida	CV(%)
C	558400,00a	463300,00a	601050,00a	26040,00b	34,64
N	23450,00a	24700,00a	22200,00a	250,00b	6,41
P ₂ O ₅	2500,00b	3000,00b	22200,00a	65,00c	5,19
K ₂ O	18800,00a	19350,00a	7050,00b	74,50c	16,97
CaO	3550,00a	4400,00a	2350,00a	100,00a	15,98
MgO	3150,00a	3450,00a	1750,00b	90,00c	8,71
SO ₄	6850,00a	6700,00a	4350,00a	145,00a	38,91
Cu	37,50 a	14,00a	13,63a	0,16 a	120,62
Fe	57,00 a	69,00 a	45,00 a	2,00 b	15,85
Mn	22,00a	18,50 a	12,37b	0,32c	10,35
Zn	7,50a	8,00 a	12,81a	0,29 a	4,94

*Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott. CV(%) = Coeficiente de Variação.

6. CONCLUSÃO

Para os grãos de café apenas houve diferença significativa no teor de fósforo entre grão verde e torrado e entre os dois sistemas de manejo, organomineral e orgânico, sendo encontrados valores maiores nos grãos torrados e cultivados em sistema orgânico. Para as análises de borra e bebida, não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo para nenhum mineral. Em relação às comparações entre todos os tipos de amostras (grão verde, torrado, borra e bebida), nota-se que, menores quantidades de minerais são encontradas na bebida em relação aos outros tipos de amostra, o que pode ser explicado pela retenção de minerais como potássio, manganês e ferro nos filtros utilizados para o preparo da bebida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, H.V.; TEIXEIRA, A.A.; MORAES, R.S.; REIS, A.J.; PIMENTEL GOMES, F.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro XXVII: efeito da adubação N, P e K no teor de macro e micronutrientes do fruto e na qualidade da bebida do café. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v.30, p.323-333, 1973.

AMORIM FILHO, V. R.; POLITO, W. L.; GOMES NETO, J. A. Comparative studies of the sample decomposition of green and roasted coffee for determination of nutrients and data exploratory analysis. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 1, p. 47-53, 2007.

BALLESTEROS L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO S. I. Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. **Springer Science**, n.7, p.3493-3503, 2014.

BARBOSA, J. C.; MALDONATO JÚNIOR, W. **Experimentação agronômica e Agroestat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Multipress, Jaboticabal, 2015. 396p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa n. 007 de 17 de maio de 1999**. Dispõe sobre normas para a produção de produtos orgânicos vegetais e animais. Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado e de café verde**. Brasília, 2003.

CAIXETA, I. F.; PEDINI, S. Cafeicultura orgânica: conceitos e princípios. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 214/215, p. 87-96, 2002.

CARVALHO, A.; MONACO, L.C. Natural cross pollination in *Coffea arabica*. In: **International Horticultural Congress**, 26., Brussels. Proceedings. Toronto: International Horticultural Society, v.4, p.447-449, 1965.

CAVALCANTE, V. S.; BORGES, L. S.; COSTA, da T. L.; MOURA, W. de M.; JACOB, L. L.; FREITAS, de M. A. S. Adubação organomineral na nutrição e

produtividade de café arábica. In: **V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo**, v. 15, n. 1, 2020.

CLEMENTE, J. M. **Boron, copper and zinc effects on photosynthesis, enzymatic activity, nutritional status, production, chemical composition and cup quality of coffee**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014. 115p.

CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. **Coffee: Botany, biochemistry and production of beans beverage**. New York, Croom Helm, 1985. 457p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Laboratório: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. Ed.: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005, 334 p.
Disponível em: <<https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00064530.pdf>> Acesso em 14 mar. 2022.

FARFÁN, F. Cafés especiales. **Classificación de los cafés especiales colombianos**. Cafés sustentables, Chinchiná, 2005.

FONSECA, H.; GUTIERREZ, L. E.; TEIXEIRA, A. A. Nitrogênio total de grãos de café verde de diferentes tipos de bebidas. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v.31, p. 491-494, 1974. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/57ZmFCHx57xqzgCxPrm7FfR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 fev. 2022

FRANCO, C. M.; MENDES, H. C. Sintomas de deficiências minerais no cafeeiro. **Bragantia**, v.9, p.165-178, 1949.

GREMBECKA, M.; MALINOWSKA, E.; SZEFER, P. Differentiation of market coffee and its infusions in view of their mineral composition. **Science of the Total Environment**, v. 383, n. 1-3, p. 59-69, 2007.

IAC. **Instituto Agrônomo de Campinas**. Cultivares de café desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo (IAC) e registradas no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (Registro Nacional de Cultivares - RNC). 2022. Disponível em:

<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cafe/tabela_rnc_cultivares_cafe_iac.pdf>
. Acesso em: 08 mai. 2022.

JANDA, K.; JAKUBCZYK, K.; BARANOWSKA-BOSIACKA, I.; KAPCZUK, P.; KOCHMAN, J.; REBACZ-MARON, EWA; GUTOWSKA, I. Mineral composition and antioxidante potential of coffee beverages depending on the brewing method. **Foods**, v.9, n.121, 2020.

LACERDA J. S. **Produção, composição química e qualidade da bebida de café arábica em razão da dose de cobre e zinco**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 97 p. 2014.

LOUREIRO K. P.; GUAZELLI, M. A. Análise de macro e micronutrientes no café. **VIII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**, São Bernardo do Campo, 2018.

MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; CHAGAS, S. J. de R.; FERREIRA D. F. Qualidade sensorial do café de lavouras em conversão para o sistema de produção orgânico. **Bragantia**, v.67, n.3, p.775-783, 2008.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M.; LACERDA J. S. de; NEVES, Y. P.; PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, p.838-848, 2014.

MAZZAFERA, P. Mineral nutrition and caffeine content in coffee leaves. **Bragantia**, v.58, n.387-391, 1999.

MELLO, E. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D. Efeito da aplicação foliar de sulfato de zinco na produção do cafeeiro (*Coffea arábica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.84-95, 1999.

MELO, de B.; de SOUZA, L. B. Biologia da reprodução de *Coffea arábica* L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde da Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 01-07, 2011.

MESQUITA, C. M. et al. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72p.

MORGANO, M. A.; PAULUCI, L. F.; MANTOVANI, D. M. B.; MORY, E. E. M. Determinação de minerais em café cru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n.1, p.19-23, 2002.

PPI - Potash Phosphate Institute. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução: LOPES, A.S. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. 177p.

PUJOL, D.; GOMINHO, J.; OLIVELLA, M. À; FIOL, N.; VILLAESCUSA, I.; PEREIRA, H. The chemical composition of exhausted coffee waste. **Industrial Crops and Products**, n.50, p.423-429, 2013.

QUEIROGA, V. P.; GOMES, J. P.; MELO, B. A.; ALBURQUERQUE, E. M. B. Cultivo do café (*Coffea arabica* L.) orgânico sombreado para produção de grãos de alta qualidade. Campina Grande: **AREPB**, 2021.

SANTOS, dos G. C.; MONTEIRO, M. Sistema orgânico de produção de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v.15, n.1, p. 73-86, 2004. Disponível em: <<https://cdn.ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ttt.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2022

SOUZA, H. N. **Sistematização da experiência participativa com sistemas agroflorestais: rumo à sustentabilidade da agricultura familiar na Zona da Mata Mineira**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2006.

TOCI, A.; FARAH, A.; TRUGO, L. C. Efeito do processo de descafeinação com diclorometano sobre a composição química dos cafés arábica e robusta antes e após a torrefação. **Química Nova**, v.29, n.5, p. 965-971, 2006.

TOMBARKIEWICZ, B.; ANTONKIEWICZ, J.; LIS, M. W.; PAWLAK, K.; TRELA, M.; WITKOWICZ, R.; GORCZYCA, O. Chemical properties of the coffee grounds and poultry eggshells mixture in terms of soil improver. **Nature**, n.12, 2022.

UEKANE, T. M.; ROCHA-LEÃO; REZENDE, C. M. Compostos sulfurados no aroma do café: origem e degradação. **Virtual Química**, v. 5, n. 5, p. 891-911, 2013.

USDA. United States Department of Agriculture. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, 1999. 871p.

VILAR, C.C.; VILAR, F.C.M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v.8, n.2, p.37-44, 2013.

YERETZIAN, C.; OPITZ, S., SMRKE, S., WELLINGER, M. **Coffee volatile and aroma compounds – from the green bean to the cup**. Zurich University of Applied

Sciences, Institute of Chemistry and biotechnology, 8820 Wädenswil, Switzerland.
2019.