

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO -**  
**PPGATU**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DE DIFERENTES**  
**CULTIVARES DE CAFEIEIRO ROBUSTA (*Coffea canephora*) NO AMAZONAS**

**KLISMAN DE ALMEIDA DO NASCIMENTO**

Manaus, Amazonas  
2022

**KLISMAN DE ALMEIDA DOS NASCIMENTO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DE DIFERENTES  
CULTIVARES DE CAFEIEIRO ROBUSTA (*Coffea canephora*) NO AMAZONAS**

Orientador: Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

Coorientadora: Dr. Danielle Monteiro de Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas  
2022

**Folha de Aprovação**

Banca Julgadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

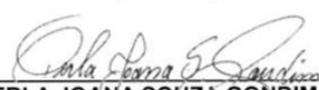
**TÍTULO: "ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO  
NUTRICIONAL DE DIFERENTES VARIEDADES DE  
CAFEEIRO ROBUSTA (*Coffea canephora*) NO AMAZONAS"**

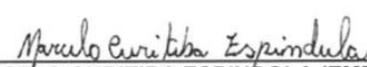
**AUTOR:**

**KLISMAN DE ALMEIDA DO NASCIMENTO**

**BANCA JULGADORA:**

  
Assinado de forma digital por  
Dalton Dias da Silva Junior  
Dr. DALTON DIAS DA SILVA JUNIOR (UFAM)  
(Membro)

  
Dra. PERLA JOANA SOUZA GONDIM (UFAM)  
(Membro)

  
Dr. MARCELO CURITIBA ESPINDOLA (EMBRAPA RO)  
(Membro)

Manaus, 16 de setembro de 2022

N244a Nascimento, Klisman De Almeida do

Atributos químicos do solo e estado nutricional de diferentes cultivares de cafeeiro robusta (*Coffea canephora*) no Amazonas /Klisman De Almeida do Nascimento; orientador Newton Paulo de Souza Falcão; coorientadora Danielle Monteiro de Oliveira. - Manaus:[s. l.], 2022.

5.1 MB

45 p.: il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido – PPG-ATU) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2022.

1. *Coffea canephora*. 2. cafeeiro robusta. I. Falcão, Newton Paulo de Souza. II. Oliveira, Danielle Monteiro de. III. Título

CDD 633.73

---

Ao meu filho Jorge Krystoff por me mostrar o verdadeiro significado da palavra amor, por estar sempre ao meu lado quando eu mais precisei, tudo que faço é por ele, sem ele eu não seria nada.

Aos meus pais Francisca Elisgleicy e João Batista, pela própria existência e pelos valiosos ensinamentos e princípios de vida, que me educaram através dos bons exemplos e por sempre estarem ao meu lado em minhas decisões.

Aos meus avós Maria das Graças, Aluíno Almeida e Maria do Carmo que formaram uma base familiar com muito respeito, dignidade e honestidade.

Aos meus irmãos Anderson e Kirk Douglas pelo companheirismo.

Á minha namorada Gabriela Silva por estar sempre ao meu lado, nas alegrias e nas adversidades;

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelas vitórias alcançadas.

A minha família pelo amor incondicional e em especial minha mãe Francisca Elisgleycy pelo apoio incansável ao longo de toda a minha vida e neste percurso.

Ao meu orientador Dr. Newton Falcão, pela paciência, confiança, amizade e contribuição com a minha formação profissional.

À minha coorientadora Dra. Daniele Monteiro Oliveira pela orientação e pelas oportunidades.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos docentes e servidores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelos conhecimentos e ensinamentos, em especial ao professor Dr. Rogério Eiji Hanada.

Aos técnicos do Laboratório Temático de Solos e Plantas, em especial, Mozanei Porfirio da Trindade e Jonas de Oliveira Moraes pela imensa ajuda na condução deste trabalho em campo e em laboratório.

À Associação Solidariedade Amazonas (ASA), pela ajuda, atenção, e boa convivência durante a condução do trabalho, em especial o presidente da ASA Roque Lins

Aos colegas do Grupo Terra Preta Nova, pelas trocas de experiência e boa convivência, em especial Ana Beatriz, Rúbia Ribeiro, João Kleber.

E a todas as outras pessoas que aqui não foram mencionadas, mas que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho.

Muito obrigado

## RESUMO

O cafeeiro é de grande importância social e econômica para o Brasil, que se destaca como o maior produtor mundial. As novas cultivares de robustas amazônicas desenvolvidas pela Embrapa foram produzidas a partir de cruzamentos entre plantas das variedades botânicas Conilon e Robusta. Os cruzamentos foram realizados em 2003 no campo experimental da Embrapa Rondônia. Um dos principais fatores limitantes para a obtenção de altas produtividades nos cafezais é a baixa fertilidade da grande maioria dos solos da Amazônia, sendo a adubação uma das principais estratégias para reverter essa deficiência. Assim, este trabalho tem por objetivo verificar as condições de fertilidade do solo e os teores foliares dos macros e micronutrientes das diferentes cultivares do cafeeiro Robusta Amazônico (*Coffea canephora*), submetidos a mesma adubação na Associação Solidariedade Amazonas, no município de Silves no Amazonas. As variedades selecionadas foram BRS-1216, BRS-2314, BRS-3210, BRS-3213, BRS-3220, que foram plantadas em sistema de ‘clone em linha’, onde cada linha de plantio é formada por plantas de um mesmo genótipo. Cada linha de plantio avaliada foi composta por 80 plantas. As amostragens foram realizadas no mês abril de 2021, época em que as variedades estavam com idade de 1 ano e 11 meses após o plantio. As características avaliadas foram: Concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) nas folhas e os atributos químicos do solo. Quanto a caracterização nutricional das variedades, o BRS-2314 apresentou os resultados abaixo dos níveis aceitos como essenciais para a cultura do café nos teores de P, Ca e Mg. Na caracterização dos atributos químicos, o solo sob as variedades BRS-3220 e BRS-1216 apresentaram os menores teores de P, K, Ca, Cu e Fe nas duas profundidades avaliadas, quando comparado com as outras variedades de cafeeiros. A área avaliada possui teores elevados de P no solo, possivelmente em função do uso rotineiro de formulações comerciais, sem levar em consideração os resultados de análise de solo.

**Palavra-chave:** conilon, robustas amazônicas, silves.

## ABSTRACT

Coffee is of great social and economic importance for Brazil, which stands out as the largest producer in the world. The new cultivars of the Amazonian robusta were produced from crossings between plants of the botanical varieties Conilon and Robusta, the crossings were carried out in 2003 in the experimental field of Embrapa Rondônia. One of the main limiting factors for obtaining high productivity in coffee plantations is the low fertility of the vast majority of soils in the Amazon, with fertilization being one of the main strategies to reverse this deficiency. Thus, the objective of this work is to verify the soil fertility conditions and the foliar contents of macro and micronutrients of the different cultivars of the Robusta Amazônico coffee tree (*Coffea canephora*), submitted to the same fertilization in Associação Solidariedade Amazonas, in the municipality of Silves in Amazonas. The selected varieties were BRS-3220, BRS-1216, BRS-3213, BRS-3210, BRS-2314, the varieties were planted in a 'line clone' system, where each planting line is formed by plants of the same genotype, each planting line evaluated was composed of 80 plants. Sampling was carried out in April 2021, when the varieties were aged 1 year and 11 months after planting. The characteristics evaluated were: Concentrations of macros (N, P, K, Ca, Mg) and micronutrients (Fe, Zn and Mn) in the leaves and the chemical attributes of the soil. As for the nutritional characterization of the varieties, the BRS-2314 presented the results below the levels accepted as essential for the coffee culture in the levels of P, Ca and Mg. In the characterization of chemical attributes, the soil under the varieties BRS-3220 and BRS-1216 presented the lowest levels of P, K, Ca, Cu and Fe in the two evaluated depths, when compared to the other coffee varieties. The evaluated area has high levels of P in the soil, possibly due to the routine use of commercial formulations, without taking into account the results of soil analysis.

**Keywords:** conilon, amazonian robusta, silves.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1. Objetivo Geral .....	13
2.2. Objetivos específicos .....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1. A cultura do café.....	14
3.1.1 Café Canéfora .....	14
3.1.2 Cultivares Robustas Amazônicas .....	15
3.1.2.1 Origem.....	15
3.1.2.2 Características.....	16
3.2 Exigência nutricional do cafeeiro .....	17
3.3 Cafeicultura na Amazônia .....	18
3.4 Solos da Amazônia .....	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
4.1. Localização da área .....	21
4.2. Solo da área experimental.....	22
4.3. Delineação .....	22
4.4. Histórico da Lavoura .....	23
4.5. Amostragem de solo e planta .....	24
4.6. Análise química de tecido vegetal .....	25
4.7. Análise dos atributos químicos do solo .....	25
4.8. Análise estatística .....	26
4.9. Faixas de Suficiência.....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
5.1 Caracterização nutricional das variedades.....	27
5.2 Atributos químicos do solo.....	28
5.3. Correlação entre os atributos químicos do solo e nutrientes na planta.....	34
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Produção, produtividade e área de produção do cafeeiro (arábica e conilon) nos anos de 2018 e 2021 no amazonas.....	<b>19</b>
<b>Tabela 2.</b> Atributos químicos e físicos de um Argissolo Amarelo na profundidade de 0-20 cm. Silves – AM, 2015.....	<b>22</b>
<b>Tabela 3.</b> Faixas de suficiência de nutrientes para interpretação de análise foliar na cultura do cafeeiro conilon.....	<b>26</b>
<b>Tabela 4.</b> Teor foliar de nutrientes nas variedades de cafeeiro robusta.....	<b>27</b>
<b>Tabela 5.</b> Teores médios de pH, acidez trocável, macro e micronutrientes no solo das diferentes variedades de café na camada de 0-20 cm.....	<b>29</b>
<b>Tabela 6.</b> Teores médios de pH, acidez trocável, macro e micronutrientes no solo das diferentes variedades de café na camada do solo de 20-40 cm.....	<b>30</b>
<b>Tabela 7.</b> Valores médios da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca de cátions a pH 7,0, porcentagem de saturação por bases (V%) e porcentagem de saturação por alumínio (m%) do solo sob as variedades de café na camada do solo de 0-20 cm.....	<b>33</b>
<b>Tabela 8.</b> Valores médios da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca de cátions a pH 7,0, porcentagem de saturação por bases (V%) e porcentagem de saturação por alumínio (m%) do solo sob as variedades de café na camada do solo de 20-40 cm.....	<b>34</b>
<b>Tabela 9.</b> Correlação de Pearson entre atributos químicos no solo e nutrientes na planta.....	<b>36</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cafeeiro Robusta Amazônico.....	<b>16</b>
<b>Figura 2.</b> Associação Solidariedade Amazonas (ASA).....	<b>21</b>
<b>Figura 3.</b> Localização Silves, Amazonas.....	<b>21</b>
<b>Figura 4.</b> Precipitação mensal acumulada (mm mês <sup>-1</sup> ) na área do trabalho, de maio de 2015 a julho de 2019. Silves – AM, 2019.....	<b>21</b>
<b>Figura 5.</b> Croqui.....	<b>22</b>
<b>Figura 6.</b> Cafeeiros robustas amazônicos cultivados em Silves – AM.....	<b>23</b>
<b>Figura 7.</b> Coleta das amostras de solo para análise química.....	<b>24</b>
<b>Figura 8.</b> Coleta das amostras foliares na planta.....	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O cafeeiro é de grande importância social e econômica para o Brasil, que se destaca como o maior produtor mundial. Em 2021, a produção brasileira atingiu 47 milhões de sacas (60 kg) de café beneficiado, sendo *Coffea canephora* responsável por 37 % desse total, colocando o país como o segundo maior produtor mundial dessa espécie. A produtividade média do café canéfora atingiu 42,91 sacas ha<sup>-1</sup>, 70 % superior ao obtido pelo café arábica. (CONAB 2022).

O café canéfora é composto por vários grupos, com destaque para Robusta e Conilon (Oliveira *et al.* 2018). No Brasil, o cultivo do Robusta está praticamente restrito ao estado de Rondônia, devido à maior adaptação desses genótipos ao clima equatorial, enquanto o conilon está distribuído em vários estados, em regiões tropicais de baixa altitude. Com os avanços no melhoramento genético, atualmente, a variedade Conilon apresenta alto potencial produtivo. Partelli *et al.* (2016) apontaram que essas variedades possuem grandes exigências nutricionais, o que torna necessário o manejo da fertilidade do solo e nutrição mineral balanceada para obter produtividade satisfatória.

Segundo a Marcolan *et al.* (2015) ao longo dos últimos anos, o processo de melhoramento genético do café canéfora (conilon e robusta) se baseou em características fenotípicas relacionados aos aspectos agronômicos, com o aumento da produção. Algumas características qualitativas, como formato e tamanho dos grãos, foram objetivos emplacados durante o processamento de melhoramento da espécie.

Um dos principais fatores limitantes para a obtenção de altas produtividades nos cafezais é a baixa fertilidade da grande maioria dos solos da Amazônia, sendo a adubação uma das principais estratégias para reverter essa deficiência, geralmente utilizando-se fertilizantes e corretivos para a construção e a manutenção da fertilidade dos solos (Resende *et al.* 2016).

A nutrição mineral se mostra como um dos principais obstáculos relacionados ao manejo que impossibilita o ganho de elevada produtividade na cafeicultura, pois esta cultura possui características de alta exigência nutricional em função das elevadas quantidades necessárias de nutrientes crescimento vegetativo da planta e formação dos frutos (Laviola *et al.* 2007; Partelli *et al.* 2014). Os macronutrientes mais exigidos e acumulados pela planta de *C. canephora* são Nitrogênio>Calcio >Potássio>Magnésio>Enxofre>Fósforo na respectiva ordem (Bragança *et al.* 2008).

De acordo com Malavolta *et al.* (2002), mesmo em épocas de baixa produção a demanda de nutrientes pelo cafeeiro permanece, pois quando a frutificação é baixa, o crescimento de ramos plagiotrópicos, a formação de folhas e ramos novos substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes. O uso dos fertilizantes deve seguir rígidos critérios, buscando a otimização de sua utilização para que se consiga a maior produtividade com os menores custos possíveis (Corrêa *et al.* 2001).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Verificar as condições de fertilidade do solo e os teores foliares dos macros e micronutrientes das diferentes cultivares de cafeeiros Robustas Amazônicos (*Coffea canephora*), submetidos a mesma adubação na Associação Solidariedade Amazonas, no município de Silves-AM.

### **2.2. Objetivos específicos**

Avaliar os teores de nutrientes presentes nas folhas das cultivares de cafeeiros.

Avaliação dos atributos químicos do solo sob as cultivares de cafeeiros.

Avaliar a correlação linear entre as variáveis estudadas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. A cultura do café

O café é uma bebida que a cada ano surpreende, ganha adeptos, tem sua produção incrementada e sua qualidade melhorada. O originário da África e com uma história de mais de mil anos, sempre foi marcado por lendas, grandiosidade, religiosidade, muito trabalho, ciência, interações, ciclos, sonhos, ambições, progresso, frustrações, orgulho, alegria e prazer (Ferrão *et al.* 2017).

Os primeiros registros históricos sobre o café foram encontrados em um manuscrito no Iêmen, em 575. As primeiras descrições científicas da planta foram apresentadas em 1591 e 1592, pelo botânico veneziano Prospero Alpino, em suas obras *De Medicina Aegyptiorum* e *De Plantis Aegyptii Liber*. No entanto, coube a Antoine Jussieu, em sua obra *Histoire Du Café*, publicada em 1716, a primeira classificação botânica do cafeeiro como *Jasminum arabicum*. Posteriormente, em 1737, Carl Von Linné (Lineu) reclassificou a espécie, dando-lhe o nome de *Coffea arabica* (Martins 2008).

Segundo Agnoletti (2015), embora várias espécies tenham sido testadas para exploração comercial, apenas três apresentaram características favoráveis ao cultivo: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre ex Froehner e *Coffea liberica* Bull. Ex Hiern. Das 124 espécies do gênero *Coffea* catalogadas, *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café conilon e robusta) são responsáveis por quase a totalidade do café consumido no mundo (Davis *et al.* 2011).

A história mostra que mesmo com as muitas restrições de consumo, aos poucos, o plantio e uso do café foi disseminado em diferentes partes, tornando-se a segunda bebida natural mais consumida no mundo, sendo universal, sem distinção socioeconômica de pessoas, de raças, de religiões e de culturas (Ferrão *et al.* 2017).

##### 3.1.1 Café Canéfora

A espécie *C. canephora* tem seu centro de origem mais vasto, que se expande da Guiné ao Congo, da costa oeste à região central do Continente Africano, onde prevalece em regiões de baixa altitude, entre 0 a 1200m, com temperaturas médias anuais entre 23 e 27 °C e precipitação superior a 1.900 mm. É a segunda espécie de café mais cultivada no mundo, foi classificada por Louis Pierre em 1895 e, em 1897, o botânico Alemão Albrecht Froehner,

fazendo uma revisão dos gênero do café, publicou a descrição da espécie como *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (Ferrão *et al.* 2009).

O emprego de novas tecnologias vem resultando no aumento da produtividade em lavouras de café Conilon, nos últimos anos foram observados que a produtividade aumentou para cerca de 100 a 150 sacas por hectare. Esse aumento é resultado do uso adequado do manejo do solo e práticas culturais favoráveis, destacando-se as podas, densidade de plantio, irrigação, seleção de genótipos produtivos e mecanização, todas somadas às condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento, frutificação e maturação do cafeeiro (Partelli *et al.* 2014; Partelli *et al.* 2016).

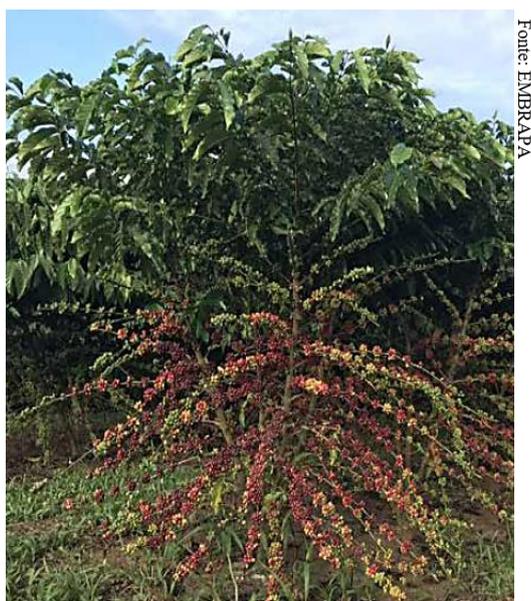
Por possuir maior teor de sólidos solúveis que o café arábica e exibir maior rendimento após o processo de torração, o café canéfora é parte essencial dos cafés solúveis, participando com mais de 80% na composição destes. Atualmente, o café canéfora responde por cerca de 36% das exportações mundiais de café (ICO 2021).

### **3.1.2 Cultivares Robustas Amazônicas**

#### **3.1.2.1 Origem**

As novas cultivares foram produzidas a partir de cruzamentos entre plantas das variedades botânicas Conilon e Robusta. Os cruzamentos foram realizados em 2003 no campo experimental da Embrapa Rondônia, utilizando matrizes da variedade botânica robusta (Robustas 2258, 1675, 640) e matriz da variedade botânica Conilon (Encapa 03, planta doadora de grãos de pólen).

Segundo Teixeira *et al.* (2019), o cruzamento entre essas variedades (conilon x robusta) se mostrou eficiente na obtenção de novas populações com alta variabilidade genética e produtividade acima de 100 sacas por hectare. O registro de cultivares no formato de clones individuais favorece o cafeicultor, aumentando o portfólio de clones e propiciando a formação de lavouras de acordo com seus interesses comerciais. Com isso a cafeicultura da região amazônica prevalece a partir do café canéfora com características das variedades botânicas Conilon e Robusta.



**Figura 1.** Cafeeiro Robusta Amazônico

### 3.1.2.2 Características

O Conilon se destaca por ter tamanho reduzido e uma maior tolerância ao estresse hídrico, mas possui menor resistência à ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro. Já o robusta, apresenta maior tolerância à ferrugem e nematoide das galhas e grande potencial para a produção de bebida fina, contudo, apresenta baixa tolerância ao estresse hídrico e tamanho elevado, consequência de seu maior vigor vegetativo. Do cruzamento natural ou direcionado entre cafeeiros das duas variedades botânicas surgem plantas híbridas, que podem obter as melhores características das duas variedades. Pretendendo oferecer novas opções para o cultivo e contribuir para aumento da variabilidade genética da cafeicultura na Amazônia Ocidental, a Embrapa Rondônia desenvolveu 10 novas cultivares com alto potencial produtivo e com características agrônomicas típicas das variedades botânicas Conilon e Robusta (Teixeira et al. 2019).

A intenção é atender a demanda pela cafeicultura regional tecnificada, com ênfase para uma maior uniformidade dos frutos, menor bienalidade, maior produtividade, grãos maiores (peneira média alta), bebida de qualidade, resistência às doenças e aos principais 12 estresses abióticos (baixa altitude, temperatura e umidade relativa média elevada, deficiência hídrica anual média a acentuada [DHA=150-200 mm]) (Ramalho et al. 2015).

### 3.2 Exigência nutricional do cafeeiro

Com avanços no melhoramento genético, atualmente, as cultivares de *Coffea canephora* possuem elevado potencial produtivo e grande exigência nutricional, que torna indispensável o manejo da fertilidade do solo e a nutrição mineral equilibrada para obtenção de elevada produção (Partelli *et al.* 2016).

Segundo Teixeira *et al.* (2019), a utilização de adubo químico nas quantidades de 420 N, 130 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 320 K<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup> por ano, proporcionou a maior produtividade comercial na cultura do café no sistema de cultivo convencional. Com esse manejo, produziu o equivalente a 110 sacas por hectare na primeira safra comercial. Dentre os nutrientes requeridos pelo cafeeiro, o nitrogênio (N) e o potássio (K) são de longe os mais exigidos na fase de formação, florescimento e enchimento de grãos. O comprimento dos ramos laterais, número de nós, rosetas e frutos estiveram intimamente relacionados com a produtividade do café e foram influenciados pela aplicação de N. Os melhores resultados de produtividade foram obtidos com doses de 1.075 e 833 kg ha<sup>-1</sup> de N, na safra 2019 e safras de 2020, respectivamente (Rosado *et al.* 2021).

Na sequência de exigência, temos o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg). O fósforo (P) e o enxofre (S), são os macronutrientes menos exigidos pelo cafeeiro. No entanto, o P é de maior importância na fase de formação do cafezal, fase está em que o sistema radicular ainda é pouco desenvolvido, o que restringe a absorção desse elemento cujo transporte se dá por difusão (Novais *et al.* 2007; Martinez e Neves 2015). A exigência de N, P, K, Ca e Mg aumentam intensamente à medida que a planta se desenvolve.

Os micronutrientes, apesar de serem exigidos em menores quantidades pelas plantas, são tão importantes quanto os macronutrientes para a nutrição equilibrada do cafeeiro. Os mais requeridos pela cultura são boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), sendo fundamentais para o crescimento, desenvolvimento e produção do cafeeiro. O B e o Zn são os micronutrientes que mais podem limitar a produção, pelo fato dos solos em que se cultiva o cafeeiro, serem de elevado grau de intemperismo em que a deficiência, destes elementos são evidentes (Malavolta 1993).

O cultivo de café no Brasil está implantado em sua grande maioria em solos de baixa fertilidade (natural ou solos desgastados), com predominância de acidez elevada; altos teores de alumínio; baixos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio e potássio; baixa disponibilidade de micronutrientes e baixo índice de saturação por bases (Rosado *et al.* 2014).

Nestas condições, a fertilidade deve ser restabelecida para o bom desenvolvimento dos cafeeiros (Goulding 2016).

### **3.3 Cafeicultura na Amazônia**

Apesar da a cafeicultura ter se iniciado no Brasil pela Amazônia, a produção comercial nesta região só ganhou expressão econômica a partir de meados dos anos 1970 nos projetos de colonização, principalmente, no Estado de Rondônia. Colonos assentados, provenientes de regiões produtoras de café, trouxeram para a Amazônia esse cultivo. Esse movimento se iniciou em Rondônia, que se tornou responsável pela produção de aproximadamente 90% do café na Amazônia (Marcolan *et al.* 2015).

A cafeicultura na Amazônia utiliza pouco insumo, como esperado por conta do baixo padrão tecnológico predominante na atividade da região. Essa situação pouco está mudando. Há ausência de tratamentos culturais como desbrota, poda e adubação, assim como métodos inadequados para colheita e pós-colheita. Este patamar tecnológico torna a produção da Amazônia menos competitiva comparada à de outros estados (Marcolan *et al.* 2015). Contudo, dados mais recentes demonstra que aos poucos essa realidade está mudando, pois o estado de Rondônia que é maior produtor Regional está melhorando sua produtividade, alcançando no ano de 2020 mais de 34,10 sc/ha (Conab 2022).

No estado do Amazonas a variedade conilon tem predominância no cultivo, por conta da sua maior adaptação às condições climáticas da região e rusticidade (Souza et al. 2003). A média de produtividade do estado atualmente é de 18,34 sacas por hectare, 31,02% a mais do que em 2018 (13,89 sc) e abaixo da média no Brasil que é de 26 sacas por hectares. Em 2020/2021, o Amazonas obteve uma produção de 76 mil sacas, sabe-se que houve uma disparada no confronto com os dados de 2018 (7.000 sacas beneficiadas), em uma área total de 4.145 hectares, correspondendo a uma expansão de 722,75% no confronto com os números capturados em 2018 (503,8 hectares). Há ainda 477 hectares de área em formação, elevando a área total para a cultura cafeeira amazonense para 4.622 hectares. Embora todo esse progresso de produção e qualidade, a cadeia produtiva ainda precisa quebrar barreiras como uma logística para escoamento dos cafés, a necessidade de uma produção de maior escala e elevar o número de produtores que se dedicam à produção com excelência (Conab 2022).

A produtividade dos cafezais da região sempre foi baixa. Entretanto, atualmente, está sucedendo um processo de modernização da cafeicultura no qual estão sendo empregadas novas tecnologias para o aumento da produtividade. Estas tecnologias abrangem o uso de

genótipos (clones) selecionados, plantio no sistema “clone em linha” e manejo cultural compatível com o cultivo clonal. Dentre os fatores inerentes ao manejo, que auxiliam para altas produtividades, destaca-se o manejo adequado dos fatores edáficos, especialmente aqueles relacionados com a adubação do solo e da nutrição do cafeeiro (Marcolan *et al.* 2009). Dados técnicos do cafeeiro no Amazonas (tabela 1).

**Tabela 1.** Produção, produtividade e área de produção do cafeeiro (arábica e conilon) nos anos de 2018 e 2021 no Amazonas.

AMAZONAS			
	2018	2021	VAR. (%)
<b>Área em Produção (ha)</b>	503,8	4.145	722,75
<b>Produtividade (sc/ha)</b>	13,89	18,34	31,02
<b>Produção (mil.sc)</b>	7	76	975,71

Fonte: CONAB

### 3.4 Solos da Amazônia

O Amazonas abriga o bioma mais biodiverso existente, de grande importância socioambiental e econômica. Com aproximadamente 1,5 milhões de km<sup>2</sup> (30% da Amazônia brasileira), tem a predominância de Latossolos e Argissolos, com proporção menores, os Espodosolos, Cambissolos e Neossolos (Rodrigues 1996). A região possui elevada diversidade edáfica, geomorfológica e de vegetação, possuindo regiões bem distintas uma das outras (Vale Junior et al. 2011).

Independentemente do solo, a região é formada por duas unidades geomorfológicas agricultáveis: terra firme e várzea. Diante dessas características a utilização desses solos para produção agrícola necessita da aplicação de insumos agrícolas convencionais, que proporcionam um elevado custo para os produtores rurais. Por outro lado, os pequenos produtores da região amazônica desenvolveram um sistema de produção menos oneroso conhecido como corte e queima para a exploração de pequenas áreas (Pereira Filho 1991).

Os solos de várzea que tem maior representatividade pertencem a classe dos Plintossolos (376.260 km<sup>2</sup>) e dos Gleissolos (314.450 km<sup>2</sup>), esses solos apresentam caráter

eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions e elevados teores de cátions trocáveis (Lima 2001).

Já os solos do ecossistema de terra firme são compostos principalmente pelos Latossolos (2.097.160 km<sup>2</sup>) e Argissolos (1.559.850 km<sup>2</sup>), caracterizados pela sua baixa fertilidade natural expressa pela reserva de nutrientes (Campos et al. 2012), sendo o processo de ciclagem de nutrientes importante no ecossistema da mata amazônica. Uma vez interrompido esse processo pela retirada da vegetação nativa, a reserva de nutrientes desses solos se perde rapidamente (Cunha *et al.* 2009).

No geral são solos de textura média a muito pesada com frações de argila podendo ultrapassar 70 % no perfil, bem drenados e com boa capacidade para reter água (Vieira 1987; Santos *et al.* 2013). Cerca de 95% dos Latossolos são distróficos com pH entre 4,0 e 5,5, e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg/dm<sup>3</sup> (Sousa e Lobato 2005).

Devido aos valores dos elementos minerais essenciais as plantas estarem sempre abaixo dos valores críticos utilizados na interpretação da análise do solo e os elevados teores de alumínio no solo, geralmente são encontradas baixas produções agrícolas na região, a maior parte ocasionadas pela dificuldade de desenvolvimento das plantas (Demattê 1988).

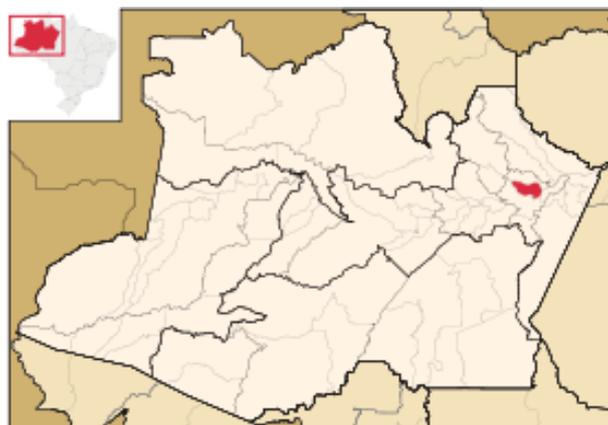
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização da área

O estudo foi realizado na Associação Solidariedade Amazonas (ASA), no município de Silves (Latitude 02°50'20" S, Longitude 58°12'33" e altitude de 68 metros), localizada na região conhecida como “médio Amazonas”.



Fonte: Autor

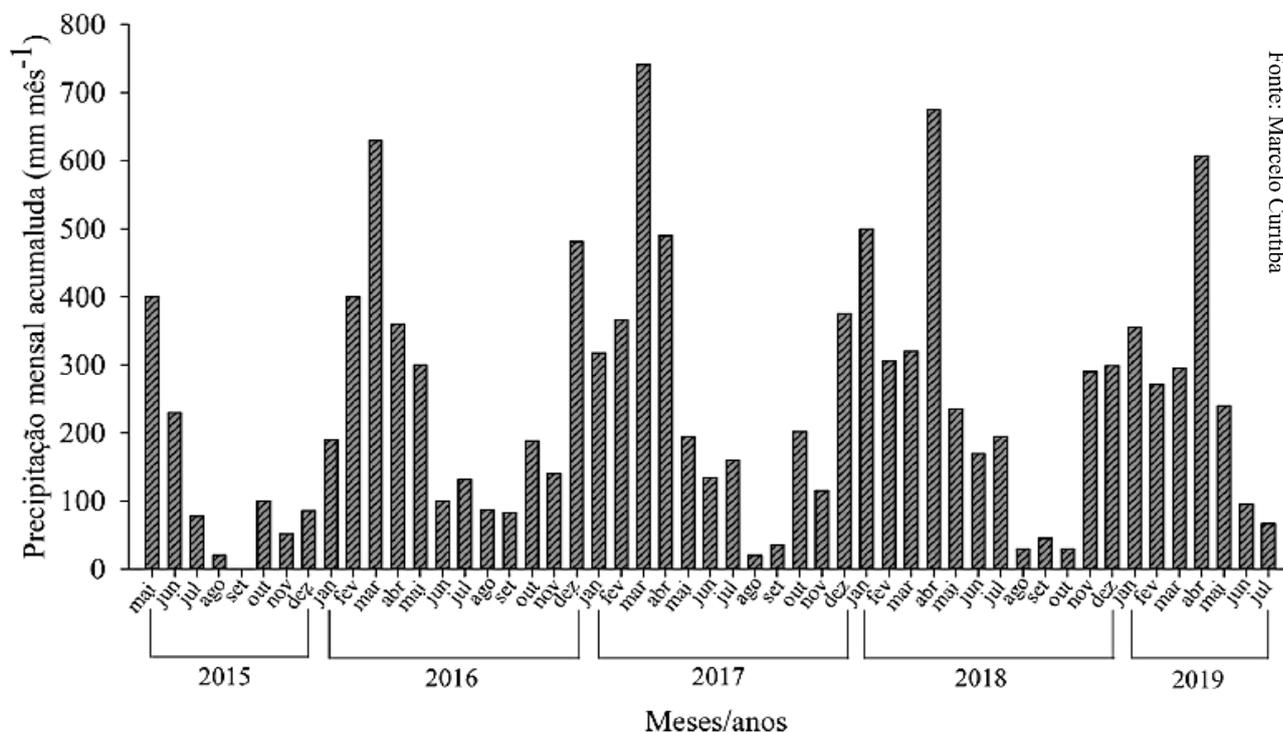


Fonte: IBGE

**Figura 2.** Associação Solidariedade Amazonas (ASA).

**Figura 3.** Localização Silves, Amazonas.

O clima da região segundo Köppen, é Af – sem estação seca, com precipitação média anual entre 2.500 e 2.800 mm e temperatura média acima de 26 °C (Alvares *et al.* 2013).



Fonte: Marcelo Curitiba

**Figura 4.** Precipitação mensal acumulada (mm mês<sup>-1</sup>) na área do trabalho, de maio de 2015 a julho de 2019. Silves – AM, 2019.

## 4.2. Solo da área experimental

O solo da área do trabalho é do tipo Argissolo Amarelo (Embrapa 2013) e estava em pousio após cultivo com hortaliças desde 2017. Na mesma área do trabalho, a Embrapa determinou os atributos químicos do solo na camada 0-20 cm (Tabela 2).

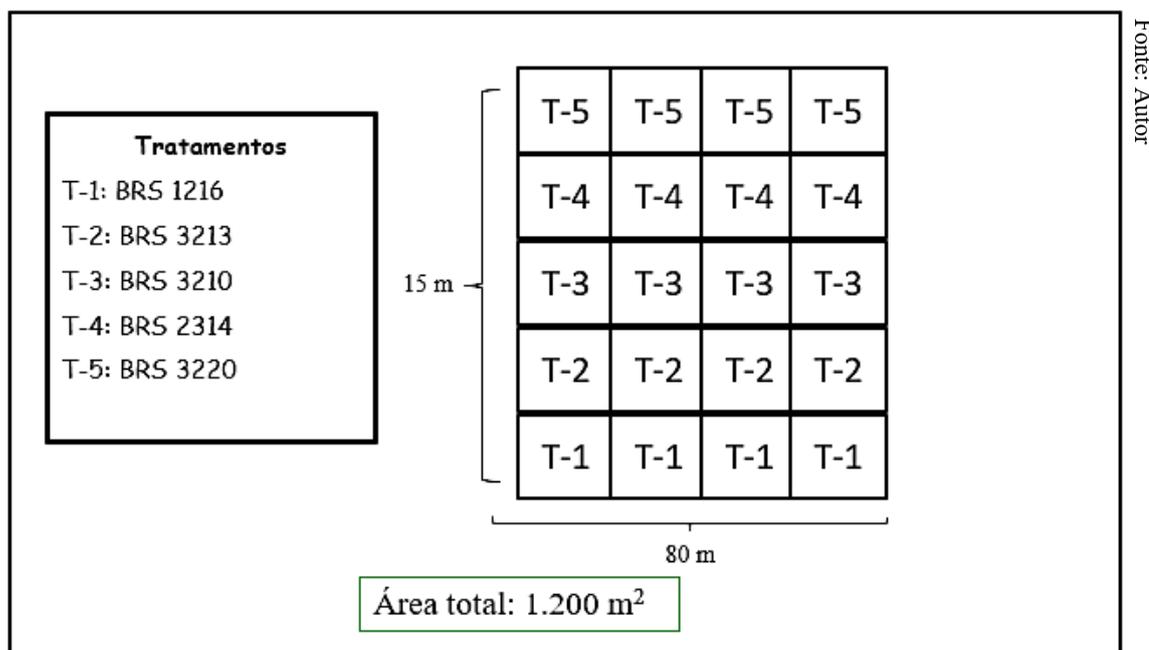
**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos de um Argissolo Amarelo na profundidade de 0-20 cm. Silves – AM, 2015.

pH	P	K	Ca	Mg	Al+H	Al	CTC	MO	m	V
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					g kg <sup>-1</sup>	-----%-----		
3,70	2	0,051	0,15	0,10	2,89	1,18	3,19	23,20	79,4	9,57

pH em água 1:2,5, M.O. por digestão úmida, P e K determinados pelo método Mehlich I, Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol.

## 4.3. Delineação

No levantamento foram utilizadas mudas das cultivares de cafeeiros Robustas Amazônicas. As 5 cultivares foram plantadas em sistema de ‘clone em linha’, onde cada linha de plantio é formada por plantas de um mesmo genótipo. Cada linha de plantio avaliada foi composta por 80 plantas. As variedades selecionadas foram BRS-3220, BRS-1216, BRS-3213, BRS-3210, BRS-2314.



**Figura 5.** Croqui.

#### 4.4. Histórico da Lavoura

O talhão de café estudado foi introduzido em setembro de 2019, antes do período de chuvas na região, em covas de 50 cm × 50 cm × 50 cm de profundidade. O espaçamento de plantio foi de 3 metros entre linhas e 1,0 metros entre plantas, totalizando 400 plantas no trabalho. No momento do plantio as mudas estavam com quatro meses, apresentando altura média igual a 25 cm de altura, 3,0 mm de diâmetro de coleto, quatro folhas completamente expandidas e um ramo ortotrópico. Em cada cova, foram aplicados 250 gramas de calcário dolomítico, 4 litros de esterco de galinha, 170 g de superfosfato triplo e 50 gramas de FTE BR-12. O produtor não realizou análise de solo e utilizou dados da Embrapa como referência para a adubação.

Após 60 dias do plantio foram feitas as podas de formação para induzir o cafeeiro a emitir novas hastes ortotrópicas. Após a indução, as plantas foram conduzidas com quatro hastes ortotrópicas, totalizando aproximadamente 1.600 hastes. No período de estiagem do último ano, agosto a outubro de 2020, a área não foi irrigada, uma vez que as plantas não apresentaram sinais visuais de estresse hídrico, presumivelmente em razão das precipitações que ocorreram no período. No período chuvoso, entre os meses de novembro e março de 2019 e 2020 o produtor forneceu 50g do formulado de NPK 20-0-20 por planta como adubação de cobertura. As capinas foram feitas somente nas linhas, com roçagem nas entrelinhas (ruas). As plantas não foram irrigadas, não houve incidência de pragas ou doenças nesse período.



Fonte: Autor

**Figura 6.** Cafeeiros robustas amazônicos cultivados em Silves – AM.

#### 4.5. Amostragem de solo e planta

A classe de solo predominante na área do experimento é o Argissolo amarelo. As amostragens foram realizadas no mês abril de 2021, dentro das parcelas no primeiro ano de produção do plantio, as variedades estavam com idade de 1 ano e 11 meses, havendo variedades de ciclo médio em sua maioria. As variedades parecem bem conduzidos com plantas vigorosas e saudáveis. Todas as variedades receberam a mesma adubação.

As amostras de solo com estrutura deformada para análise de fertilidade foram retiradas na projeção da copa das plantas, coletadas através de um trado holandês na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, de forma composta, de pelo menos 10 amostras simples em cada parcela, totalizando 40 amostras compostas no trabalho.

As amostragens de folhas foram realizadas nas parcelas correspondentes às amostragens de solo e conforme a recomendação para análises foliares (Malavolta *et al.* 1997), retirando-se quatro folhas com pecíolo, por planta do terceiro ou quarto par de folhas dos ramos produtivos, situados à meia altura da planta e ao redor da mesma, quando os frutos estavam na fase de chumbinho, totalizando 20 folhas por parcela.



Fonte: Autor

**Figura 7.** Coleta das amostras de solo para análise química.



Fonte: Autor

**Figura 8.** Coleta das amostras foliares na planta.

#### **4.6. Análise química de tecido vegetal**

Os teores de macro e micronutrientes foliares foram determinados durante o estágio de produção das plantas. Foram selecionadas para análise, folhas que apresentam aspectos fitossanitários saudáveis. Posteriormente, foram secas e trituradas em um moinho tipo Wiley. Em seguida, o material foi levado para o Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA para determinação das concentrações de macro ((Nitrogênio - N, Fósforo - P, Potássio - K, Calcio – Ca, Magnésio - Mg e Enxofre - S) e micronutrientes (Ferro – Fe, Zinco – Zn, Cobre - Cu e Manganês - Mn).

Para avaliar as concentrações de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn, foram pesados 0,5 g do material moído, submetendo-o a digestão nitro-perclórica em temperatura controlada de 50 em 50 °C em intervalos de 30 minutos até alcançar 210 °C. A partir do mesmo extrato, foi determinado o P através da espectrofotometria a 725 nm e o K, Ca, Mg, Zn e Mn por espectrometria de absorção atômica (Embrapa 1979).

Para as concentrações de N, foram pesados 0,1 g do material seco, e posteriormente foi submetido à pré-digestão durante uma noite com posterior digestão sulfúrica ( $H_2O_2 + H_2SO_4$ ) a temperatura gradativa até atingir 350 °C. Posteriormente, foi determinado o N utilizando o método de Kjeldahl, a partir de uma alíquota de 25 mL do extrato puro (Embrapa 1999).

#### **4.7. Análise dos atributos químicos do solo**

No Laboratório, foram determinados o potencial hidrogeniônico (pH), a acidez potencial ( $H^+ Al$ ), alumínio trocável (Al), macro (Nitrogênio - N, Fósforo - P, Potássio - K, Calcio - Ca e Magnésio - Mg) e micronutrientes (Ferro - Fe, Zinco – Zn, Boro - B e

Manganês - Mn). O pH foi determinado por meio de eletrodo imerso em suspensão da solução na relação solo: água (1:2,5).

A acidez potencial (H + Al) foi extraída através do acetato de cálcio (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Ca) à 20,5 mol L<sup>-1</sup> e determinada por titulometria com hidróxido de sódio NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O alumínio trocável (Al<sup>+3</sup>), o Ca e o Mg foram extraídos através da solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L<sup>-1</sup>, sendo o Al<sup>+3</sup> determinado por titulometria com NaOH e o Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

O P, K e os micronutrientes Fe, Zn e Mn foram extraídos com solução Mehlich 1 (HCl 0,05 M+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M), determinando-se o P pelo método azul de molibdato e por espectrofotometria (λ=660 nm) e o K e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) por espectrofotometria de absorção atômica. O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Embrapa 1999).

A partir dos dados obtidos nas análises foram calculados a soma de bases (SB), capacidade de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions potencial (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

#### 4.8. Análise estatística

Os dados obtidos a partir de cada variável foram submetidos à análise de variância, obtendo-se resposta significativa para o teste F, foi realizado o teste de Tukey (5%) para comparação de médias utilizando o software estatístico R versão 2.15.3.

#### 4.9. Faixas de Suficiência

**Tabela 3.** Faixas de suficiência de nutrientes para interpretação de análise foliar na cultura do cafeeiro conilon.

Nutriente	Classe de Interpretação		
	Baixo	Adequado	Alto
	-----dag kg <sup>-1</sup> -----		
N	< 2,9	2,9 - 3,2	> 3,2
P	< 0,12	0,12 - 0,16	> 0,16
K	< 2,0	2,0 - 2,5	> 2,5
Ca	< 1	1,0 - 1,5	> 1,5
Mg	< 0,35	0,35 - 0,40	> 0,40
S	< 0,20	0,20 - 0,25	> 0,25
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
Fe	< 120	120 - 150	> 150
Zn	< 10	10 - 15	> 15
Mn	< 60	60 - 80	> 80
B	< 50	50 - 60	> 60
Cu	< 10	10 - 20	> 20

Adaptado de Bragança, Preztti e Lani (2007).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização nutricional das variedades

Na Tabela 4, observam-se os teores de nutrientes nas variedades de cafeeiros, é possível notar diferenças significativa quanto ao conteúdo nutricional das plantas, evidenciando que as variedades acumularam fósforo, cálcio e magnésio diferentemente.

A variedade BRS-2314 divergiu dos demais apresentando o menor teor de P (1,24 g kg<sup>-1</sup>). Os maiores teores foram observados nas variedades BRS-1216, BRS-3210 e BRS-3213 (Tabela 4). Embora possam ser observadas diferenças significativas nos teores de P, foi constatado que todas as variedades avaliadas apresentam teores aceitáveis para a cultura do café conilon de acordo com a faixa proposta por Prezotti et al. (2007). Segundo Martins *et al.* (2013) resultados indicam que os genótipos Canéfora exibem um comportamento significativamente diferente, dependendo dos níveis de oferta de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no solo, quando avaliado a eficiência nutricional em clones de café Canéfora para o fósforo.

O fósforo é muito importante para o desenvolvimento das culturas, isso ocorre pelo fato de ser componente de inúmeros fósforo-açúcares que são essenciais na fotossíntese, respiração e diversos outros processos metabólicos, além de participar na formação dos fosfolípidios presentes nas membranas nucleotídeos (Rezende *et al.* 2011; Taiz *et al.* 2017).

**Tabela 4.** Teor foliar de nutrientes nas variedades de cafeeiros robustas.

Atributos Químicos	Variedades				
	BRS-1216	BRS-2314	BRS-3210	BRS-3213	BRS-3220
N (g kg <sup>-1</sup> )	21,70a	24,73a	19,95a	23,76a	22,87a
P (g kg <sup>-1</sup> )	1,62a	1,24b	1,68a	1,69a	1,45ab
K (g kg <sup>-1</sup> )	19,62a	18,02a	18,75a	17,57a	15,49a
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	15,01ab	10,15b	13,71ab	14,75ab	18,75a
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,68abc	1,19c	1,56bc	1,77ab	2,05a
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	47,38a	56,01a	71,63a	44,82a	64,08a
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	8,90a	10,11a	9,82a	8,46a	8,46a
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	29,73a	35,93a	26,33a	36,98a	25,09a
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	3,82a	6,30a	5,13a	6,03a	7,66a

Teste de Tukey a 95% de confiabilidade para as diferentes variedades de café (letras iguais na mesma linha não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Os teores de cálcio apresentam diferença significativa, a variedade BRS-3220 obteve o maior teor do macronutriente (18,75 g kg<sup>-1</sup>), o menor teor de cálcio foi observado na variedade BRS-2312 (10,15 g kg<sup>-1</sup>). As demais variedades apresentaram resultado mediano.

De acordo com Prezotti *et al.* (2007) os valores de cálcio observados nas variedades encontram-se dentro das faixas consideradas adequadas para o cafeeiro.

O cálcio é um macronutriente que compõe estruturalmente compostos como pectato, carbonato, oxalato, fosfato, calmodulinas e anexinas; atua na regulação enzimática de ATPase, alfa amilase, fosfolipase, nucleases e poligalacturonase, bem como, no funcionamento de membranas, no transporte de auxinas, abscisão e senescência, entre outros processos metabólicos (LI *et al.* 2009).

Os teores de magnésio apresentaram diferenças significativas. A variedade BRS-3220 se destacou das demais, apresentando o maior teor do nutriente (2,5 g kg<sup>-1</sup>). Constatou-se que até mesmo a variedade com maior teor de Mg está abaixo do considerado adequado por vários autores para a cultura do café Canéfora (Bragança *et al.* 2001, Prezotti *et al.* 2007; Dias *et al.* 2014). O Mg tem papel fundamental na fotossíntese, modulando a atividade da enzima RuBP carboxilase, que catalisa a fixação do carbono. Este elemento também desempenha um papel na estabilização estrutural das membranas e como elemento de ligação para a agregação de subunidades dos ribossomos (Taiz *et al.* 2017).

Os demais nutrientes avaliados não apresentaram diferença significativa, porém foi constatado segundo Prezotti *et al.* (2007), que os níveis de N, Zn, Mn e Cu estão abaixo do nível considerado adequado para o cafeeiro. Nos resultados obtidos por Bragança *et al.* (2007), avaliando o acúmulo de micronutrientes pelo café conilon concluíram que a maior parte do Zn é alocada para as raízes ficando em baixos níveis nas folhas, que parte do Mn encontra-se nas folhas e outra parte no tronco e que a maior parte do Cu pode ser encontrada no tronco e ramos ortotrópicos. Estes fatos podem explicar os baixos índices de, Zn, Mn e Cu encontrados nas folhas analisadas.

Martins *et al.* (2015), comparando espécie e variedades de café em relação à eficiência de absorção, concluíram que esse comportamento diferencial é explicado pela variabilidade genética, que pode ser conceituada como um genótipo de característica hereditária que mostra diferença significativa em relação ao outro genótipo.

## **5.2 Atributos químicos do solo**

A acidez ativa (pH) do solo sob as variedades de cafeeiros avaliadas não diferiu significativamente nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 5 e 6). Embora não tenham apresentadas diferenças significativas observar-se que os valores mais baixos de pH foram

encontrados na camada do solo de 20-40 cm, permanecendo entre 5,21 a 5,68. A faixa de pH, em água, ideal para a maioria das culturas, varia de 5,5 a 6,5, o que corresponde a valores de pH em CaCl<sup>2</sup> de 5,0 a 6,0, valores esses em que grande parte dos nutrientes minerais estão em maior disponibilidade para as plantas (Moreira e Fageria 2010). Com isso, Segundo Malavolta (1993), solo com pH < 5,5, são prejudiciais ao crescimento do cafeeiro devido ao excesso de Al, Fe e Mn tóxicos, e os baixos teores de Ca e Mg e pH > 5,6 já não apresentam níveis tóxicos de Al.

O alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) não apresentou diferença significativa entre as variedades nas duas camadas de solo avaliadas. As amostras tiveram teores baixos, até 0,3 cmolc/dm<sup>3</sup> (Prezotti *et al.* 2007). O valor do pH do solo influencia as formas de Al, com a elevação do mesmo, o Al passa para a forma insolúvel, não tóxica para as plantas (Sobral *et al.* 2015). O Al<sup>3+</sup> causa o engrossamento das raízes, reduz o seu crescimento e impede a formação de pelos radiculares, prejudicando a absorção de água e nutrientes (Prezotti *et al.* 2013).

Os índices de acidez potencial (H+Al) permaneceram entre 3,98 e 5,06 apresentando diferença significativa apenas na camada do solo de 0-20 cm, valores considerados médios 2,5 a 5,0 (Prezotti *et al.* 2007). Menores valores de pH e os maiores de Al<sup>3+</sup> refletiram no aumento da acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>). A acidez potencial é, entre os diferentes conceitos de acidez, a mais prejudicial ao crescimento das plantas (Lopes *et al.* 1990).

**Tabela 5.** Teores médios de pH, acidez trocável, macro e micronutrientes no solo das diferentes variedades de café na camada de 0-20 cm.

Atributos Químicos	Variedades				
	BRS-1216	BRS-2314	BRS-3210	BRS-3213	BRS-3220
pH (H <sub>2</sub> O)	6,24a	6,18a	6,39a	6,01a	5,56a
pH (KCL)	5,46a	5,43a	5,58a	5,38a	4,85a
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,01a	0,01a	0,01a	0,01a	0,15a
H+Al	4,15ab	4,03b	3,98b	4,43ab	5,06a
C (g kg <sup>-1</sup> )	18,35a	17,76a	17,95a	19,34a	19,73a
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	31,57a	30,55a	30,88a	33,26a	33,95a
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,49a	1,44a	1,50a	1,61a	1,50a
P (mg kg <sup>-1</sup> )	138,98ab	173,71ab	144,40ab	317,18a	20,35b
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,10bc	0,25a	0,18ab	0,20ab	0,07c
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,95a	5,59a	5,51a	5,01a	2,86a
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,99a	0,95a	1,10a	0,84a	0,94a
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	121,73ab	149,23a	148,73a	123,73ab	114,31b

Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	3,94ab	4,13ab	4,15ab	7,54a	1,82b
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	7,74a	8,74a	9,34a	11,34a	4,90a
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	1,00bc	1,84a	1,55a	1,31ab	0,71c

Teste de Tukey a 95% de confiabilidade para as diferentes variedades de café (letras iguais na mesma linha não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Os teores de matéria orgânica e carbono não apresentaram diferença estatística entre as variedades de cafeeiros nas camadas do solo de 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 5 e 6). Foi possível observar que na camada mais superficial do solo os teores de matéria orgânica foram maiores, isso se deve ao maior acúmulo de resíduos orgânicos e maior atividade biológica na camada mais superficial do solo. Os teores de matéria orgânica estão bem acima do que é considerado ideal para o cafeeiro (Bragança *et al.* 2001).

Sabe-se que a matéria orgânica do solo desempenha um papel importante na manutenção da qualidade e produtividade do solo, atuando como fonte de energia, promovendo a diversidade biológica e melhorando a composição dos ecossistemas terrestres (Martins *et al.* 2015). As principais fontes de matéria orgânica em uma lavoura cafeeira são provenientes dos resíduos vegetais de plantas daninhas, folhas e ramos dos cafeeiros caídos naturalmente ou desprendidos durante a colheita, compostos orgânicos liberados pelas raízes, tais como exsudatos, mucilagens e células mortas, respiração radicular e microbial e decomposição de raízes e microrganismos mortos (Pavan *et al.* 1996).

**Tabela 6.** Teores médios de pH, acidez trocável, macro e micronutrientes no solo das diferentes variedades de café na camada do solo de 20-40 cm.

Atributos Químicos	Variedades				
	BRS-1216	BRS-2314	BRS-3210	BRS-3213	BRS-3220
pH (H <sub>2</sub> O)	5,68a	5,74a	5,75a	5,57a	5,21a
pH (KCL)	4,82a	5,04a	5,04a	5,09a	4,48a
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,10a	0,08a	0,06a	0,03a	0,33a
H+Al	4,58a	4,05a	4,21a	4,31a	5,00a
C (g kg <sup>-1</sup> )	12,62a	11,33a	12,10a	11,85a	12,81a
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	21,70a	19,49a	20,82a	20,39a	22,04a
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,03a	0,98a	1,05a	1,02a	1,04a
P (mg kg <sup>-1</sup> )	36,60ab	49,17ab	31,13ab	68,91a	7,69b
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,07c	0,18a	0,14ab	0,09bc	0,04c
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,82ab	2,53ab	3,05a	2,48ab	1,44b
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,64a	0,81a	0,84a	0,67a	0,71a
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	118,89c	160,31ab	177,48a	161,23ab	132,22bc
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	1,14a	1,43a	1,48a	1,55a	0,63a
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	2,29ab	3,73a	3,49a	3,36a	1,44b

Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0,65c	1,37a	1,07ab	1,03b	0,49c
---------------------------	-------	-------	--------	-------	-------

Teste de Tukey a 95% de confiabilidade para as diferentes variedades de café (letras iguais na mesma linha não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Os teores de nitrogênio não diferiram significativamente entre as variedades avaliadas nas camadas do solo de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 5 e 6). Observa-se que teores mais altos de nitrogênio estão presentes na camada de 0 -20 cm. Por possuir alto potencial produtivo o café conilon apresenta uma alta exigência nutricional, principalmente em termos de nitrogênio, o que é particularmente relevante no que diz respeito à quantidade necessária e suas funções na planta (Busato *et al.* 2022). Em caso de deficiência, é um dos nutrientes minerais mais limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Martinez *et al.* 2020).

Os teores de fósforo apresentaram diferença significativa em ambas as camadas do solo, na camada de 0-20 cm a variedade BRS-3213 apresentou o maior teor (317,18 mg kg<sup>-1</sup>). No solo sob a variedade BRS-3220 foi observado o menor teor de P (20,35 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 4). Os teores de P estão bem acima do adequado para o desenvolvimento de café Canéfora que é de 15 - 20 mg kg<sup>-1</sup> (Bragança *et al.* 2001). Depois do nitrogênio, o fósforo é o macronutriente que mais limita o crescimento devido a sua baixa disponibilidade no solo. O fósforo é um nutriente essencial para todos os seres vivos, sua fonte na natureza é o fosfato, um recurso natural não renovável. Nos processos que sustentam a vida das plantas o fósforo participa da fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidratos, fixação de N<sub>2</sub> e ativação de proteínas por meio de fosforilações. (Fernander *et al.* 2018).

Na camada de 20-40 cm foram constatadas diferenças semelhantes a camada anterior para o P, onde as mesmas variedades divergiram significativamente, sendo que a BRS-3213 continuou apresentando o maior teor (68,91 mg kg<sup>-1</sup>) e o BRS-3220 o menor teor (7,69 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Solos de regiões tropicais, com acidez elevada e altos teores de óxidos de ferro e alumínio apresentam alta capacidade de fixação de P, o que diminui a disponibilidade do nutriente para as plantas, e a eficiência da adubação fosfatada (Souza Júnior *et al.* 2012).

Os teores de potássio apresentaram diferenças significativas, na camada de 0-20 cm, foi possível observar que a variedade BRS-2314 apresentou o maior teor (0,25 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), os teores mais baixos foram observados no solo sob as variedades BRS-3220 (0,07 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e BRS-1216 (0,10 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Maioria dos solos ficaram dentro da faixa considerada ideal ao cafeeiro 0,15 a 0,38 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Prezotti *et al.* 2007). O K um elemento solúvel e móvel no solo, facilmente lixiviado para camadas mais profundas do solo (Pacheco *et al.* 2018).

Na camada de 20-40 também foi observada diferença significativa entre as mesmas variedades citadas anteriormente, o solo sob a variedade BRS-2314 continuou apresentado o maior teor de potássio ( $0,18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), os menores teores foram observados no solo sob a BRS-3220 e BRS-1216 que apresentaram os teores de  $0,04$  e  $0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  respectivamente. As diferenças no teor dos nutrientes encontradas nos solos das variedades podem ser atribuídas ao teor dos nutrientes imobilizados nos cafeeiros, reposição dos nutrientes por meio da mineralização da matéria orgânica originada das folhas, ramos e outros órgãos que se desprenderam dos cafeeiros e movimentação dos nutrientes para camadas mais profundas do solo.

Avaliando os teores de cálcio, não houveram diferenças significativas entre o solo sob as variedades de cafeeiros na profundidade de 0-20 cm. Na profundidade de 20-40 cm o solo sob a variedade BRS-3210 apresentou o maior teor de Ca ( $3,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) divergindo significativamente das demais, o menor teor de Ca ( $1,44 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) foi observado no solo sob a variedade BRS- 3220. Os teores de Ca estão dentro do que é considerado aquedado para o cafeeiro (CFSEMG 1999).

O Mg não diferiu significativamente no solo sob as variedades de cafeeiro nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm, apresentando valores próximos em ambas profundidades. Além disso, a maioria das análises avaliadas teve relação Ca/Mg no solo igual ou maior do que 3/1, ou seja, dentro da considerada ideal para as culturas, que é de 3 a 4/1, segundo a CFSEMG (1999).

Quanto ao ferro, foi possível observar na camada de 0-20 cm, que as variedades BRS-2314 e BRS-3210 se destacam com os maiores teores de ferro no solo, o menor teor encontrado foi de ( $114, 31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sob a variedade BRS-3220. Na camada de 20-40 o solo sob a variedade BRS-3210 continuou apresentando o maior valor de ferro ( $177,48 \text{ mg kg}^{-1}$ ), por outro lado o solo sob a variedade BRS-1216 apresentou menor teor de ferro ( $118,82 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 6). Os teores de Fe estão muito acima do considerado aquedado para o cafeeiro  $45 \text{ mg kg}^{-1}$  (Prezotti *et al.* 2007)

Na camada de 0-20 foi constatado diferença significativa nos teores de zinco, o solo sob a variedade BRS-3213 apresentou teor de ( $7,54 \text{ mg kg}^{-1}$ ) considerado o maior teor entre os solos avaliados, o solo sob a variedade BRS-3220 apresentou o menor teor de zinco ( $1,82 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Na cama de 20-40 cm não foram observadas diferenças significativas para os teores de zinco. A deficiência de zinco é comum nas lavouras cafeeiras e segundo Reis Jr e Martinez

(2002) esse micronutriente tem comprometido a produtividade da cafeicultura brasileira, pois nossos solos são, de modo geral, pobres neste elemento

Quanto aos teores de Mn, não foram observadas diferenças significativas entre as variedades na camada de 0-20cm. Na camada de 20-40 cm, os maiores teores foram observados nas variedades BRS-2314, BRS-3210 e BRS-3213, o menor teor de Mn foi de 1,44, observado no solo sob a BRS-3220.

Foram observadas diferenças significativas para os teores de cobre em ambas as camadas de 0-20 e 20-40 cm. Os maiores teores de cobre foram observados no solo sob a BRS-2314 e BRS-3210 ambos na camada do solo de 0-20 cm, o menor teor foi de (0,71 mg kg<sup>-1</sup>) no solo sob a BRS-3220. Na camada de 20-40 os menores teores de cobre foram contatados sob as BRS-1216 e BRS-3220, o solo que apresentou maior teor de cobre foi sob a variedade BRS-2314. Segundo Tomaz *et al.* (2011), a deficiência de nutrientes em uma cultura pode resultar no desequilíbrio da planta, alterando o metabolismo vegetal e consequentemente tornando as plantas mais sensíveis a pragas e doenças, ocasionando aumento nos gastos com defensivos e onerando o custo da cultura. Na cultura do café, a falta de micronutrientes pode provocar diminuição no crescimento da planta e quebra na produção (Malavolta 1986). Diante disso, a correção dos micronutrientes em deficiência é fundamental para o bom desenvolvimento da lavoura.

Não foram apontadas diferenças significativas entre os valores obtidos relacionados a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e porcentagem de saturação por alumínio (m%), que obteve teores baixos, menor que 20% (Prezotti et al. 2007), nas duas camadas do solo sob os cafeeiros avaliados. A saturação por alumínio (m%) restringe o desenvolvimento de raízes do cafeeiro nas camadas subsuperficiais do solo, mesmo que a superfície (camada de 0 a 20 cm) esteja devidamente corrigida e adubada (Rodrigues et al. 2006), o que demonstra a importância de também efetuar amostragem de camadas subsuperficiais do solo, como a de 20- 40cm, para avaliação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e de Al<sup>3+</sup>, e dos valores de m%, em lavouras cafeeiras.

**Tabela 7.** Valores médios da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca de cátions a pH 7,0, porcentagem de saturação por bases (V%) e porcentagem de saturação por alumínio (m%) do solo sob as variedades de café na camada do solo de 0-20 cm.

Atributos Químicos	Variedade				
	BRS-1216	BRS-2314	BRS-3210	BRS-3213	BRS-3220
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,04a	6,79a	6,80a	6,05a	3,87a
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,06a	6,80a	6,81a	6,07a	4,03a

CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	9,19a	10,83a	10,79a	10,49a	8,94a
V (%)	53,49ab	62,22ab	62,86a	56,69ab	42,59b
m (%)	0,41a	0,20a	0,15a	0,30a	5,03a

Teste de Tukey a 95% de confiabilidade para as diferentes variedades de café (letras iguais na mesma linha não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Quanto a característica do percentual de saturação por bases (V%), foram observadas diferenças significativas nas duas camadas de solo avaliadas, de forma que o solo sob a variedade BRS-3220 apresentou os menores percentuais em ambas camadas (Tabela 7 e 8). Conforme a Embrapa (2013), se a saturação por bases do solo é alta, ou seja, maior ou igual a 50%, o solo é eutrófico, rico em nutrientes, especialmente em cálcio. Por outro lado, quando a saturação por alumínio do solo (m%) é alta, ou seja, maior ou igual a 50%, o solo é álico, pobre em cálcio, mas com alto teor de alumínio tóxico para as raízes. De acordo com a CFSEMG (1999), a saturação por bases adequada para o cafeeiro é de 60%.

**Tabela 8.** Valores médios da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca de cátions a pH 7,0, porcentagem de saturação por bases (V%) e porcentagem de saturação por alumínio (m%) do solo sob as variedades de café na camada do solo de 20-40 cm.

Atributos Químicos	Variedade				
	BRS-1216	BRS-2314	BRS-3210	BRS-3213	BRS-3220
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,54ab	3,52ab	4,04a	3,24ab	2,19b
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,64ab	3,60ab	4,10a	3,28ab	2,52b
CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7,13a	7,58a	8,25a	7,56a	7,20a
V (%)	35,03ab	46,52ab	48,46a	42,80ab	30,13b
m (%)	4,82a	2,46a	1,86a	1,13a	14,29a

Teste de Tukey a 95% de confiabilidade para as diferentes variedades de café (letras iguais na mesma linha não diferem entre si a 5% de probabilidade).

Observam-se diferenças significativas nos valores de soma de bases (SB) e CTC efetiva na camada de 20-40 cm, o solo sob a variedade BRS-3220 apresentou os menores valores nos dois atributos avaliados (Tabela 8). Os valores da soma de bases, na maioria dos Latossolos, são normalmente baixos, e nas camadas inferiores do perfil, os valores decrescem consideravelmente (Carvalho *et al.* 2018).

### 5.3. Correlação entre os atributos químicos do solo e nutrientes na planta

Na (Tabela 9) são observadas as correlações entre os atributos químicos do solo e nutrientes na planta. A excelente correlação linear entre duas variáveis deve possuir

coeficiente de correlação com valores, no mínimo superior a + 0,60 (correlação positiva) e – 0,60 (correlação negativa).

Segundo Kitamura (2004), os valores do coeficiente de correlação são classificados em: a) extra-alto: se  $0,80 \leq r \leq 1,00$  ou  $-0,80 \geq r \geq -1,0$ ; b) alto: se  $0,60 \leq r < 0,80$  ou  $-0,60 \geq r < -0,80$ ; c) moderado: se  $0,40 \leq r < 0,60$  ou  $-0,40 \geq r < -0,60$ ; d) baixo: se  $0,20 \leq r < 0,40$  ou  $-0,20 \geq r < -0,40$ ; e nulo: se  $0,0 \leq r < 0,20$  ou  $-0,0 \geq r < 0,20$ .

Com relação aos atributos químicos do solo, apenas o magnésio (Mg) não apresentou correlação linear excelente como as demais variáveis avaliadas. Quando avaliados os nutrientes na planta, não foram observadas correlação excelente para o fósforo (**P**), ferro (**Fe**) e zinco (**Zn**).

Observando a correlação entre os atributos químicos do solo, o nitrogênio (N) apresentou alta correlação positiva com fósforo (P), zinco (Zn) e manganês (Mn). Por outro lado, o nitrogênio apresentou alta correlação negativa com ferro (Fe).

O fósforo (P) presente no solo apresentou alta correlação positiva com cálcio (Ca) e correlação positiva extra-alto com zinco (Zn) e manganês (Mn). O potássio (K) presente no solo, apresentou alta correlação positiva com cobre (Cu).

O cálcio (Ca) presente no solo apresentou alta correlação positiva com zinco (Zn) e correlação extra-alto com o manganês (Mn) e cobre (Cu).

Avaliando os micronutrientes, o zinco (Zn) presente no solo apresentou correlação extra-alto com manganês (Mn), o manganês também apresentou alta correlação positiva com cobre.

Os nutrientes presentes na planta que apresentaram correlação linear considerada excelente foram: o nitrogênio (N), que apresentou correlação extra-alto com manganês (Mn). Por outro lado, houve alta correlação negativa entre fósforo (P) e cobre (Cu). O cálcio teve correlação extra-alto com magnésio (Mg). Referente a correlação linear entre solo e planta foi observado que apenas o fósforo (P) presente no solo apresentou alta correlação negativa com o magnésio (Mg) presente na planta.

**Tabela 9.** Correlação de Pearson entre atributos químicos no solo e nutrientes na planta.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	
N	-																		
P	0,64	-																	
K	0,05	0,44	-																
Ca	0,58	0,72	0,52	-															
Mg	0,39	0,03	0,14	0,42	-														
Fe	-0,65	-0,20	0,45	0,06	-0,15	-													
Zn	0,78	0,95	0,28	0,75	0,11	-0,34	-												
Mn	0,74	0,91	0,37	0,87	0,23	-0,23	0,96	-											
Cu	0,18	0,57	0,77	0,82	0,24	0,47	0,48	0,63	-										
<b>N</b>	-0,10	0,12	-0,13	-0,02	-0,55	0,04	0,15	0,05	0,02	-									
<b>P</b>	0,29	0,24	-0,20	0,11	0,12	-0,23	0,30	0,28	-0,12	-0,44	-								
<b>K</b>	-0,13	0,18	-0,12	0,11	-0,53	0,23	0,19	0,16	0,07	0,45	0,22	-							
<b>Ca</b>	0,00	-0,33	-0,53	-0,47	0,14	-0,17	-0,31	-0,40	-0,56	-0,31	0,16	-0,44	-						
<b>Mg</b>	0,15	-0,25	-0,70	-0,44	0,13	-0,45	-0,15	-0,25	-0,62	-0,16	0,28	-0,44	0,87	-					
<b>Fe</b>	-0,17	-0,36	-0,11	-0,02	0,00	0,31	-0,30	-0,19	-0,04	-0,05	0,09	0,24	0,02	-0,01	-				
<b>Zn</b>	0,17	0,12	0,37	0,43	0,41	0,29	0,10	0,16	0,35	-0,31	-0,01	-0,01	-0,07	-0,31	0,42	-			
<b>Mn</b>	-0,20	0,25	-0,10	0,12	-0,50	0,28	0,24	0,16	0,22	0,83	-0,23	0,50	-0,22	-0,11	-0,10	-0,18	-		
<b>Cu</b>	0,04	-0,19	0,00	-0,09	0,18	-0,27	-0,14	-0,12	-0,02	0,01	-0,29	-0,64	0,02	0,27	-0,15	-0,26	-0,15	-	

Letras normais representam a correlação linear de Pearson entre os atributos químicos do solo, letras em negrito representam a correlação linear entre os nutrientes da planta.

## **6. CONCLUSÃO**

Quanto a caracterização nutricional das variedades, o BRS-2314 apresentou os resultados abaixo dos níveis aceitos como essenciais para a cultura do café nos teores de P, Ca e Mg.

Na caracterização dos atributos químicos, o solo sob as variedades BRS-3220 e BRS-1216 apresentaram os menores teores de P, K, Ca, Cu e Fe nas duas profundidades avaliadas, quando comparado com as outras variedades de cafeeiros.

A área avaliada possui teores elevados de P no solo, possivelmente em função do uso rotineiro de formulações comerciais antes do pousio, sem levar em consideração os resultados de análise de solo.

## 7. REFERÊNCIAS

- Alfonsi, E. L. 2008. Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro. Piracicaba: ESALQ/USP, Tese Doutorado, 104 p.
- Agnoletti, B. Z. 2015. Avaliação das propriedades físico-química de café arábica (*Coffea arábica*) e Conilon (*Coffea canephora*) classificados quanto a qualidade da bebida. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimento) Universidade Federal do Espírito Santo, 22 p.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's. 2013. climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728..
- Bragança, S.M., Lani, J.A., Muner, L.H., 2001. Café Conilon: adubação e calagem. Vitória: INCAPER, pp 31.
- Bragança, S. M.; Martinez, H. E. P.; Leite, H. G.; Santos, L. P.; Sediyaama, C. S.; Lani, J. A. 2007. Accumulation of macronutrients for the Conilon coffee tree. *Journal of Plant Nutrition*, v. 31, p. 103-120.
- Bragança, S. M.; Martinez, H. H. P.; Leite, H. G.; Santos, L. P.; Sediyaama, C. S.; Venegas, V. H. A.; Lani, J. A. 2008. Accumulation of macronutrients for the Conilon Coffee Tree. *Journal of Plant Nutrition*. 31, 103-120.
- Busato, C; Reis, E. F.; Oliveira, M. G.; Garcia, G. O.; Busato, C. C. M; Partelli, F. L. 2022. Different nitrogen levels on vegetative growth and yield of conilon coffee (*Coffea canephora*). *Ciência Rural*. Santa Maria. v.52, e 12.
- Campos, M. C. C.; Santos, L. A. C.; Silva, D. M. P.; Mantovanelli, B. C.; Soares, M. D. R. 2012. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.6, n.2, p.102-109.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV. 359 p.
- Conab. Acompanhamento da safra brasileira de café. Safra 2021, 4º levantamento de 2021. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-cafe.html> Acesso em: 15 de janeiro de 2022.
- Cunha, T. J. F.; Madari, B. E.; Canellas, L. P.; Ribeiro, L. P.; Benites, V. M.; Santos, G. A. 2009. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the brazilian amazon basin. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v.33, n.1, p.85-93.
- Davis, A. P.; Tosa, J.; Ruch, N.; Fay, N. F. 2011. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data, implications of size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffee. *Botanical Journal of Rehinneon Society*, London, v. 167, p. 1-21.

Dias, J.R.M., Schmidt, R., Dubberstein, D., Wadt, P.G.S., Espindula, M.C., Partelli, F.L., Perez, D.V., 2014. Manejo nutricional de cafeeiros clonais na Amazônia Ocidental, in: Wadt, P.G.S., Marcolan, A.L., Matoso, S.C.G., Pereira, M.G. (Eds.), Manejo dos solos e a sustentabilidade da produção agrícola na Amazônia Ocidental. Porto Velho: SBCS, pp 137-160.

Corrêa, J. B.; Júnior, R. Dos S. R.; Carvalho, J. G. De; Guimarães, P. T. G. 2001. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-86.

Demattê, J. L. I.; Demattê, J. A. M. 1993. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta Amazônia e do Cerrado do Brasil Central. *Scientia Agricola*, 502:272- 286.

Demattê, J.L.I. 1988. Manejos de solos ácidos dos trópicos úmidos – Região Amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 215p.

Doré, C.; Varoquaux, F. 2006. Histoire et amelioration des cinquante plantes cultiveés. Paris: Inra. p.163-182. (Savoir Faire).

Embrapa. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 353p.

Embrapa. 2021 Artigo – Ciência e evolução social na cafeicultura Amazônica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/53614108/artigo--ciencia-e-evolucao-social-na-cafeicultura-amazonica> Acesso em: 07 de março de 2021.

Embrapa. 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 20p.

EMBRAPA. 1979. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

Ferrão, M. A. G.; Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A; Da Verdin Filho, A. C.; Volpi, P. C.; Souza, E. M. R. 2009. Melhoramento do café conilon no Espírito Santo. In: Zambolim, L. (ed.) Tecnologias para produção do café Conilon. Viçosa: UFV. Cap.6., p.153-173.

Ferrão, R. G. et al. 2017 *Café conilon*. 2 ed. atualizada e ampliada. Vitória, ES: Incaper. 702 p.

Goulding K. W. T. 2016. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use Manage.* 32:390-9.

Instituto brasileiro de geografia e estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/municipios.htm>.> Acesso em: 15 janeiro de 2021.

ICO (International Coffee Organization). Exports by exporting countries to all destinations. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/m1.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

- Laviola, B.G.; Martinez, H.E.P.; Salomão, L.C.C.; Cruz, C.D.; Mendonça, S.M.; Rosado, L.D.S. 2007. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: Micronutrientes. revista brasileira de ciência do solo. 31 (1), 1439-1449.
- Li, S.-W., L. Xue, S. Xu, H. Feng e L. An. 2009. Mediadores, genes e sinalização no enraizamento adventício. O Botanical Review 75 (2):230–47.
- Lima, H. N. 2001. Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil.
- Lopes, A. S.; Silva, M. C.; Guilherme, L. R. G. 1990. Acidez do solo e calagem. 3. ed. São Paulo: ANDA, 22 p. (Boletim Técnico, 1).
- Malavolta, E. et al. 2002. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores de cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017- 1022.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos. 319 p.
- Malavolta, E. 1993. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 210p.
- Marcolan, A.L.; Moreli, A.P.; Mauri, A.L.; Teixeira, A.L.; Siqueira, A.J.H.; Silva, A.A.G. da; Ramalho, A.R.; Mendes, A.M.; Pereira, A.A. et al. 2015. Café na Amazônia. Brasília: Embrapa. p.101-122.
- Marcolan, A. L.; Ramalho, A. R.; Mendes, A. M.; Teixeira, C. A. D.; Fernandes, C. de F.; Costa, J. N. M.; Vieira júnior, J. R.; Oliveira, S. J. de M.; Fernandes, S. R.; Veneziano, W. 2009. Cultivo dos cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia. 3. ed. rev. atual. Porto Velho: Embrapa Rondônia. 67 p. (Embrapa Rondônia. Sistema de produção, 33).
- Martinez, H.E.P.; Neves, J.C.L. 2015. Nutrição Mineral, Calagem, Gessagem e Adubação. In: Sakiyama, N.S.; Martinez, H.E.P.; Tomaz, M.A.; Borém, A. (Eds.). Café Arábica do Plantio a Colheita, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; p. 64-103.
- Martins, A.L. 2008. História do café. São Paulo: Contexto, 316 p.
- Martins, L.D., Tomaz, M.A., Amaral, J.F.T., Braganca, S.M., Reis, E.F., Rodrigues, W.N., 2013a. Nutritional efficiency in clones of Conilon coffee for phosphorus. Journal of Agricultural Science. 5, 130-140.
- Martins, B. H.; Araujo-Junior, C. F.; Miyazawa, M.; Vieira, K. M.; Milori, M. B. P. 2015. Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. Soil and Tillage Research, v. 153, p. 169-174.
- Martins, E. F. 2015. Solubilização de potássio em misturas de verdete e calcário tratadas termoquimicamente. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 45, n. 1, p. 66-72.
- Malavolta, E. 1986. Micronutrientes na adubação. Paulínia: Nutriplant Indústria e Comércio.

Malavolta, E., 1993. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, pp 210.

Martinez, H. E. P, et al. 2020. O déficit hídrico altera a captação e a expressão de alguns genes relacionados ao nitrogênio em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), *Ciência da Horticultura*, v.267, p.109254.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. 2010. Influência da calagem nas propriedades químicas do solo, estado nutricional e produção de alfafa em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1231-1239.

Novais, R.F.; Mello, J.W.V. 2007. Relação solo-planta. In: Novais, R.F.; Alvarez V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Eds.) *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 133-204.

Oliveira, J. B. 2005. *Pedologia aplicada*. 2.ed. Piracicaba:ESALQ, 574 p.

Oliveira, LNL, RB Rocha, FM Ferreira, VM Spinelli, AR Ramalho, AL Teixeira. 2018. Seleção de genitores de *Coffea canephora* das variedades botânicas Conilon e Robusta para a produção de híbridos intervarietais. *Ciência Rural* 48 (4):1–7. doi: 10.1590/0103-8478cr20170444.

Pacheco, A.L.V., Borges, K.S., Freitas, G.B., Vieira, G., 2018. Fertilidade do solo e nutrição da mangueira 'ubá' em consórcio com braquiária e sob adubação mineral, orgânica e organomineral. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*. 8 (1), 65-73.

Partelli, F.L.; Espindola, M.C.; Marré, W.B.; Vieira, D.V. 2014. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 38 (1), 214-222.

Partelli, FL, WR Gomes, MG Oliveira, JRM Dias, and MC Espindula. 2016. Normas foliares e diagnóstico nutricional do café conilon em floração e granulação no Espírito Santo. *Coffee Science* 11 (4): 544–54. doi: 10. 25186/cs.v11i4.1177.

Pavan, M. A.; Chaves, J. C. D. 1996. Influência da densidade de plantio de cafeeiros sobre a fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL. SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR. p. 87-106.

Pereira filho, M. 1991. Desenvolvimento e preservação das áreas de várzea da Amazônia brasileira. In: VAL, A.L.; FIGLIVOLO, R.; FELDBERG, E. (Eds.). *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia; fatos e perspectivas*. Manaus: Inpa, p.55-64.

Prezotti, L. C.; Gomes, J. A.; Dadalto, G. G.; Oliveira, J. A. 2007. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória: SEEA\INCAPER\CEDAGRO, 305 p.

Prezotti, L. C.; Bragança, S. M. 2013. Acúmulo de massa seca, N, P e K em diferentes materiais genéticos de café Conilon. *Coffee Science*, v. 8, n. 3, p. 284-294.

- Ramalho, A.R.; Rocha, R.B.; Teixeira, A.L.; Souza, F. de F. 2015. Melhoramento de Coffea canéfora: considerações e metodologias. In: Marcolan, A.L.; Moreli, A.P.; Mauri, A.L.; Teixeira, A.L.; Siqueira, A.J.H.; Silva, A.A.G. da; Ramalho, A.R.; Mendes, A.M.; Pereira, A.A. et al. Café na Amazônia. Brasília: Embrapa. p.101-122.
- Resende, A.V.; Fontoura, S.M.V.; Borghi, E.; Santos, F.C.; Kappes, C.; Moreira, S.G.; Oliveira junior, A.; Borin, A.L.D.C. 2016. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. Informações Agronômicas, v.156, p.1-17.
- Reis J. R.; R. Dos A.; Martinez, H. E. P. 2002. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. Scientia Agricola, v. 59, n. 3, p. 537–542.
- Resende, J. C. F.; Bustamante, M. M. C.; Markewitz, D.; Klink, C. A.; Davidson, E. A. 2011. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning Biogeochemistry, Dordrecht, v. 105, n. 1-3, p. 105-118.
- Rodrigues, T.E. 1996. Solos da Amazônia. In: Alvarez, V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, p.19-60.
- Rodrigues, L. A. et al. 2006. Respostas nutricionais de cafeeiros Catuaí e Icatu a doses de calcário em subsuperfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 985-995.
- Rosado T.L., Gontijo I., Almeida M.S., Andrade F.V. 2014. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um latossolo cultivado com capim mombaça. Rev Bras Cienc Solo. 38:840-9.
- Rosado, T. L.; Freitas, M. S. M.; Carvalho, A. J. C.; Pires, A. A.; Vieira, H. D. ; Vieira, G. H. S. ; Scopel, K. N. ; Rosado, M. M. L. 2021. Growth and production of conilon coffee under fertilization of nitrogen and molybdenum (Mo). *australian journal of crop science* , v. 15, p. 455-463.
- Santos, R. D.; Lemos, R. D.; Santos, H. D.; Ker, J.; Anjos, L. D. 2013. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa. SBCS/EMBRAPA/CNPS.102p.
- Souza, F. de F. 2003. Análise de correlações entre caracteres morfo-agronômicos em clones de café Conilon da coleção de germoplasma da Embrapa Rondônia. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, Porto Seguro. Anais... Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Sousa, D.M.G.; Lobato, E. 2005. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Latossolos. Bioma Cerrado. Parque Estação Biológica, Brasília – DF.
- Souza júnior, R. F. et al. 2012. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 159- 169.
- Sobral, L. F. et al. 2015. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206).

Taiz, L, et ai. 2017. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 7º. ed., Artmed.

Teixeira, A. L.; Rocha, R. B.; Espindula, M. C.; Ramalho, A. R.; Junior, R. V.; Alves, E. A.; Ferro, G. D. O., Diocleciano, J. M., & Santana, M. 2019. Robustas amazônicas: novas cultivares híbridas de café canéfora. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12710>

Tomaz, M. A.; Martinez, H. E. P.; Rodrigues, W. N.; Ferrari, R. B.; Pereira, A. A.; Sakiyama, N. S. 2011. Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. *Ceres*, v. 58, n. 1, p. 108–114.

Vale Júnior J.F.; Souza M.I.L.; Nascimento P.P.R.R.; Cruz D.L.S. 2011. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Agroambiente* 5: 158-165. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562>.

Vieira, L.S.; Santos, P.C.T. 1987. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. *Agronômica Ceres*, São Paulo. 416p.