

**ROBERVAL LUIS SANTOS**

**EFEITO BIOESTIMULANTE DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS SOBRE O  
DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFÉ ARÁBICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez

Coorientadores: Marihus Altoé Baldotto  
Iara Gonçalves dos Santos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Santos, Roberval Luis, 1975-  
S237e Efeito bioestimulante de substâncias húmicas sobre o  
2024 desenvolvimento inicial do café arábica / Roberval Luis Santos.  
– Viçosa, MG, 2024.  
1 dissertação eletrônica (79 f.): il.

Inclui apêndice.

Orientador: Hermínia Emília Prieto Martinez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Fitotecnia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 61-75.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.297>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Coffea arabica*. 2. Café - Mudas. 3. Café - Crescimento.  
I. Martinez, Hermínia Emília Prieto, 1956-. II. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.7336

**ROBERVAL LUIS SANTOS**

**EFEITO BIOESTIMULANTE DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS SOBRE O  
DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFÉ ARÁBICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de fevereiro de 2024.

Assentimento:



Documento assinado digitalmente  
**ROBERVAL LUIS SANTOS**  
Data: 19/06/2024 14:44:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Roberval Luis Santos**  
Autor



Documento assinado digitalmente  
**HERMINIA EMILIA PRIETO MARTINEZ**  
Data: 17/06/2024 14:21:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Hermínia Emília Prieto Martinez**  
Orientadora

*“Dedico a todos os agricultores do Brasil”*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais.

À Prof.<sup>a</sup> Herminia Emilia Prieto Martinez, pela orientação, pelos valiosos conselhos, sabedoria transmitida e confiança.

Aos professores e coorientadores Maribus Altoé Baldotto e Iara Gonçalves dos Santos pelos grandes ensinamentos, ideias e sugestões na elaboração do trabalho e dissertação e pela amizade construída neste período.

Aos pesquisadores e/ou professores Kacilda Naomi Kuki, Iara Gonçalves dos Santos, Maribus Altoé Baldotto e Herminia Martinez pela colaboração e participação na banca da dissertação.

Ao Prof. Mateus Pereira Gonzatto pela amizade e valiosos conselhos no decorrer do curso.

À Prof.<sup>a</sup> Adriene Woods Pedrosa pelo auxílio na execução do trabalho, sugestões e ensinamentos.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Agronomia, pela oportunidade de aprimoramento e capacitação de meus conhecimentos.

A todos os professores do Departamento de Agronomia, pela recepção e eternos ensinamentos.

Aos colegas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, pela colaboração, apoio e amizade.

Aos amigos dos laboratórios do Departamento de Agronomia, em especial à Mariana, ao Itamar e Edmaldo pela assessoria na condução das análises.

A todos os funcionários do Departamento de Agronomia que ajudam nas mais diversas tarefas dentro do departamento.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de pós-graduação em Fitotecnia do Departamento de Agronomia, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pela colaboração e ajuda nas avaliações experimentais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo contínuo financiamento das condições de trabalho no curso de pós-graduação em fitotecnia da UFV.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos

## **BIOGRAFIA**

ROBERVAL LUIS SANTOS, filho de Marcia Maria Soler Santos e Deoclésio Alberto Santos, nasceu em 15 de abril de 1975, no município de Limeira, São Paulo.

Em agosto de 1995, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras, em Lavras - Minas Gerais, concluído em dezembro de 2000.

Em março de 2007, iniciou a especialização em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria na Universidade Federal de Lavras, concluído em janeiro de 2009.

Em março de 2017, iniciou o curso MBA em Gestão Empresarial na Fundação Getúlio Vargas em Piracicaba - São Paulo, concluído em janeiro de 2019.

Em fevereiro de 2020, iniciou a especialização em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade de São Paulo em Piracicaba – São Paulo, concluído em dezembro de 2021.

Em março de 2022, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia no Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, concluído em fevereiro de 2024.

No período de 2000 a 2023 trabalhou em várias empresas no ramo agrícola onde adquiriu vasta experiência profissional nas culturas de café, citrus e hortifruti.

*“O esforço só é expresso em recompensa, quando  
uma pessoa se recusa a desistir”*

*(Napoleon Hill)*

## RESUMO

SANTOS, Roberval Luis, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa 23 de fevereiro de 2024. **Efeito bioestimulante de substâncias húmicas sobre o desenvolvimento inicial do café arábica.** Orientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez. Coorientadores: Marihus Altoé Baldotto e Iara Gonçalves dos Santos.

O café é uma cultura de grande valor econômico para o Brasil, e alguns estudos demonstram que a aplicação de substâncias húmicas pode favorecer a produtividade do café, bem como melhorar a resistência da planta aos estresses bióticos e abióticos.

O estresse abiótico refere-se às condições adversas do ambiente que afetam negativamente os organismos vivos. Estas podem incluir fatores como temperatura extremamente alta ou baixa, disponibilidade inadequada de água, entre outros. O estresse biótico é causado por interações com outros seres vivos, como herbívoros, patógenos e competição por recursos. No entanto, ainda é preciso elucidar os mecanismos de ação das substâncias húmicas sobre o crescimento, as características fisiológicas e bioquímicas das plantas. Desta forma, este trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes doses de substâncias húmicas sobre o desenvolvimento inicial das plantas de café arábica cultivadas em solução nutritiva e qual dose resulta em uma melhor performance. Para esse fim, um experimento foi conduzido, em casa de vegetação por sete meses, durante os quais mudas de café arábica da cultivar MGS Paraíso 2 foram cultivadas em recipientes de 22 litros com solução nutritiva. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos com 15 repetições. Os tratamentos foram as diferentes concentrações de substâncias húmicas levando em conta a concentração de carbono, que variou de 0, 15, 30, 60 e 120 mg L<sup>-1</sup> de carbono na solução. No experimento, as unidades experimentais foram mantidas sob sistema hidropônico estático aerado, observando-se as necessidades de trocas e ajustes da solução, assim como os tratamentos fitossanitários necessários. Durante o experimento, as plantas foram avaliadas quanto a características morfobiométricas: diâmetro de caule (DC); altura de plantas (ALT); número de folhas (NF), número de nós nos ramos ortotrópicos (NNRO); número de ramos plagiotrópicos (NRP) e número de nós nos ramos plagiotrópicos (NNRP). Após o período experimental, as

plantas foram divididas em folhas, caules e raízes para a avaliação da massa de matéria fresca e seca de cada compartimento, bem como, das concentrações dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) e dos micronutrientes (ferro, manganês, cobre e zinco), cada qual com seu respectivo método de análise. O acúmulo total de nutrientes foi calculado em cada parte avaliada (folha, caule e raiz) multiplicando-se a concentração de cada nutriente pela massa da matéria seca de cada órgão referido e, o somatório destes forneceu o conteúdo total acumulado de cada nutriente na planta. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e regressão empregando-se o programa estatístico, software R versão 4.3.2. As diferentes concentrações de substâncias húmicas influenciaram o crescimento das plantas de café. Discrepâncias entre os tratamentos foram observadas em relação à massa da matéria fresca e seca de folhas, caule e raízes, altura da planta, área foliar, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos e diâmetro de raiz. A faixa de concentrações que gerou efeitos estimulantes na produção de massa de matéria fresca e seca de folhas, caules, raízes, área foliar e número de ramos plagiotrópicos foi de aproximadamente 48 a 53 mg L<sup>-1</sup> de carbono. O maior acúmulo dos nutrientes K, P, Mg, Fe e Zn na planta ocorreu na faixa entre 83,8 e 98,4 mg L<sup>-1</sup> de carbono. As doses acima de 53mg L<sup>-1</sup> de carbono. apresentaram desde efeitos de estabilidade no crescimento até a paralisação no crescimento e desenvolvimento das mudas de café. Os resultados também destacam a influência significativa dessas substâncias no desenvolvimento morfológico, indicando uma resposta bioestimulante que favoreceu o crescimento vegetal

Palavras-chave: *Coffea arábica* L., Mudas, Crescimento, Cafeeiro, Efeito estimulante.

## ABSTRACT

SANTOS, Roberval Luis, M.Sc., Federal University of Viçosa February 23, 2024.  
**Biostimulant effect of humic substances on the initial development of Arabica coffee.** Advisor: Hermínia Emília Prieto Martinez. Co-supervisors: Marihus Altoé Baldotto and Lara Gonçalves dos Santos.

Coffee is a crop of great economic value for Brazil, and some studies demonstrate that the application of humic substances can favor coffee productivity, as well as improve the plant's resistance to biotic and abiotic stresses. Abiotic stress refers to adverse environmental conditions that affect the qualities of living organisms. These may include factors such as extremely high or low temperature, water availability, among others. Biotic stress is caused by interactions with other living beings, such as herbivores, pathogens, and competition for resources. However, it is still necessary to elucidate the mechanisms of action of humic substances on the growth, physiological and biochemical characteristics of plants. Therefore, this work aims to evaluate the effect of different doses of humic substances on the initial development of Arabica coffee plants grown in nutrient solution and which dose results in better performance. To this end, an experiment was performed in a greenhouse for seven months, during which Arabica coffee seedlings of the MGS Paraíso 2 cultivar were grown in 22-liter containers with nutrient solution. The experiment was set up in a randomized design, consisting of five treatments with 15 replications. The treatments were different concentrations of humic substances taking into account the carbon concentration, which varied from 0, 15, 30, 60 and 120 mg L<sup>-1</sup> of carbon in the solution. In the experiment, the experimental units were maintained under an aerated static hydroponic system, observing the need for changes and adjustments of the solution, as well as the necessary phytosanitary treatments. During the experiment, the plants were evaluated for their morphobiometrics characteristics: stem diameter (DC); plant height (ALT); number of leaves (NF), number of nodes on orthotropic branches (NNRO); number of plagiotropic branches (NRP) and number of nodes in plagiotropic branches (NNRP). After the experimental period, the plants were divided into leaves, stems and roots to evaluate the fresh and dry matter mass of each compartment, as well as the concentrations of macronutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium) and micronutrients. (iron, manganese, copper

and zinc), each with its corresponding analysis method. The total accumulation of nutrients was calculated in each plant compartment by multiplying the concentration of each nutrient by the dry matter mass of each organ, and their sum revealed the total accumulated content of each nutrient in the plant. The data obtained were subjected to analysis of variance and regression using the statistical program, software R version 4.3.2. The different concentrations of humic substances influenced the growth of coffee plants. Discrepancies between treatments were observed in relation to the fresh and dry matter mass of leaves, stems and roots, plant height, leaf area, stem diameter, number of plagiotropic branches and root diameter. The range of concentrations that generated stimulating effects on the production of fresh and dry matter mass of leaves, stems, roots, leaf area and number of plagiotropic branches was approximately 48 to 53 mg L<sup>-1</sup> of carbon. The greatest accumulation of nutrients K, P, Mg, Fe and Zn in the plant occurred in the range between 83.8 and 98.4 mg L<sup>-1</sup> of carbon. Doses above 53 mg L<sup>-1</sup> of carbon. Showed effects ranging from stability in growth to arrest in the growth and development of coffee seedlings. The results also highlight the noteworthy influence of these substances on morphobiometrics development, indicating a bio stimulant response that favored plant growth.

Keywords: *Coffea arabica* L., Seedlings, Growth, Bio stimulant Development.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	27
4.1 <b>Objetivo geral</b> .....	27
4.2 <b>Objetivo específico</b> .....	27
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
5.1 <b>Local do experimento</b> .....	28
5.2 <b>Extração das substâncias húmicas</b> .....	28
5.3 <b>Instalação do experimento e delineamento estatístico</b> .....	31
5.4 <b>Condução do eperimento</b> .....	32
5.5 <b>Avaliações morfobiométricas</b> .....	33
5.6 <b>Avaliações químicas</b> .....	35
5.7 <b>Análises estatística</b> .....	36
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
6.1 <b>Avaliações morfobiométricas</b> .....	37
6.2 <b>Acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e raízes</b> .....	49
6.3 <b>Acúmulo total de nutrientes pela planta</b> .....	56
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	60
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	61
<b>APÊNDICE</b> .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, respondendo por mais de um terço da produção global (MAPA, 2023). Além disso, o setor do café emprega cerca de oito milhões de pessoas em todo o país, desde trabalhadores agrícolas até comerciantes, exportadores, baristas entre outros (EMBRAPA, 2023). Por isso a importância do estudo sobre a cafeicultura em nosso país.

A produção brasileira de café atingiu uma colheita de 55,1 milhões de sacas beneficiadas em 2023, um crescimento de 8,2% em relação ao ciclo de 2022, como mostra o 4º Levantamento da safra de Café 2023 da Companhia Nacional de Abastecimento no Brasil. O boletim mostra que o incremento foi influenciado pela recuperação da produtividade, em torno de 6,3%, chegando a uma média de produção de 29,4 sacas colhidas por hectare. Aliado a isso, a estatal verificou uma elevação de 1,8% na área em produção, chegando a 1,87 milhão de hectares. Já a área em formação teve uma queda de 9,5%, sendo estimada em 361,6 mil hectares (CONAB, 2023).

Dessa produção, 50,8% foram produzidos em Minas Gerais, 24,9% no Espírito Santo, 9,0% em São Paulo, Bahia, 6,7% e Rondônia, 5,7%. Na safra de 2023, 69,3% foi de café arábica e 30,7% de café canephora. O primeiro é produzido em Minas Gerais e o segundo no Espírito Santo, predominantemente. Esses cinco estados são responsáveis por 97,2% da produção nacional (MAPA, 2023).

Minas Gerais destaca-se como o maior produtor, com mais de um milhão de hectares cultivados, sendo responsável por cerca de 45% da produção nacional (MAPA, 2023). A importância da cafeicultura no estado mostra seu reflexo na economia, gerando mais de 72 mil empregos em mais de dez mil empresas (Costa, 2021). Além disso, o setor é responsável por movimentar 57% do PIB do agronegócio mineiro (SEAPA, 2022).

Para o sucesso do empreendimento na produção de café é fundamental a implantação de uma lavoura sadia e uniforme. A implantação de uma lavoura se inicia com semeadura, na maioria das vezes, de sementes com boa qualidade fisiológica e sanitária, sendo as mudas obtidas de viveiristas idôneos registrados no Registro Nacional de Sementes e Mudas (RENASSEM) e fiscalizados pelos órgãos competentes durante a produção e comercialização (IMA, 2019). Um dos principais problemas durante a produção de mudas é referente à sanidade e desuniformidade

das mudas ao longo do período necessário para se obter uma muda sadia com aproximadamente cinco pares de folhas definitivas, em aproximadamente seis meses, a depender das condições de semeadura e condução do viveiro (Araujo et al., 2008; Ribeiro, 2013). Desta forma, é preciso buscar alternativas de manejo que auxiliem na produção de mudas de café adequadas ao plantio.

Com o objetivo de obter sanidade e uniformidade de mudas para o plantio, há um interesse crescente em explorar os efeitos das substâncias húmicas (SH) na produção de café. Essas substâncias resultam da degradação química e biológica de resíduos provenientes de plantas, animais e atividades microbianas. Caracterizam-se pela presença abundante de grupos carbonila e fenólicos, que contribuem para sua complexação e troca iônica. Além disso, exibem propriedades anfipáticas e têm a capacidade de se ligar às superfícies minerais do solo (Mikkelsen, 2005; Vaz, 2006; Burlakovs et al., 2013).

Em soja, essas substâncias desempenham um papel fundamental no aumento da produtividade e qualidade dos grãos (Ruwer, 2019). Essa melhoria decorre da capacidade das substâncias húmicas em aprimorar a estrutura do solo, otimizar a retenção de água e nutrientes, além de estimular o desenvolvimento de microrganismos benéficos. Estudos conduzidos por Canellas (2014) destacam os efeitos bioestimulantes na regulação do crescimento das plantas, sugerindo um potencial a ser explorado, incluindo a hipótese de impacto positivo na absorção e aproveitamento de nutrientes. Extrapolando esses resultados observados na soja, pode-se hipotetizar que as plantas de café se desenvolveriam de maneira mais saudável, exibindo maior vigor e resistência a doenças sob a influência das substâncias húmicas. Essa perspectiva teórica poderia resultar em uma maior produção de grãos, assim como em frutos capazes de conferir ao café uma qualidade superior.

Estudos conduzidos por Baldotto e Baldotto (2014) demonstram que as substâncias húmicas induzem e promovem a atividade das enzimas  $H^+$ -ATPases nas membranas plasmáticas das células das plantas, com resultado semelhante ao da auxina hormonal (Piccolo, 2001; Nardi et al., 1991; Canellas et al., 2002; Canellas; Olivares, 2014). Portanto, compreender os efeitos das substâncias húmicas é crucial para subsidiar sua aplicação em práticas de adubação, visando aprimorar a disponibilidade química e a estrutura física do solo, ao mesmo tempo em que amplia a atividade biológica.

Transpondo esse conhecimento para um cenário específico, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes doses de substâncias húmicas no crescimento, desenvolvimento inicial e características morfológicas e químicas de plantas de café arábica. Para tanto, optou-se por realizar o estudo em condições controladas, utilizando um sistema hidropônico estático aerado, a fim de investigar de maneira mais direta e específica os efeitos dessas substâncias no ambiente nutricional das plantas, desvinculando-se das características do solo.

## 2.JUSTIFICATIVA

De modo geral, as lavouras de café arábica são implantadas na estação das águas, ou seja, de outubro a março. Muito frequentemente a implantação é feita em dezembro ou janeiro, pois há limitação na disponibilidade de mudas no início da estação quente e chuvosa. Na fase inicial da lavoura de café, algumas práticas são muito importantes para garantir um bom desenvolvimento das mudas, assim deseje-se um bom estabelecimento no campo antes da estação seca subsequente e conseqüentemente uma produtividade satisfatória no futuro. Entre essas práticas pode-se citar: preparo do solo, escolha de mudas sadias e uniformes, plantio correto, irrigação, controle de pragas e doenças e a adubação. A adubação contribui com o crescimento inicial das plantas fornecendo os nutrientes necessários para o desenvolvimento das raízes e da parte aérea da planta (Mesquita et al., 2016).

A competitividade dos cafés brasileiros está fortemente vinculada a um conjunto de estratégias que visam otimizar a produção com custos mínimos. Portanto os custos de replantio de uma lavoura mal implementada também devem ser levados em consideração pelo agricultor.

O potencial efeito biostimulante de doses adequadas de substâncias húmicas poderia resultar em uma otimização mais eficaz na absorção e utilização de nutrientes, contribuindo para um crescimento vegetativo mais eficiente nas plantas de café. Essa melhoria no desenvolvimento inicial não apenas as prepararia para enfrentar a estação fria e seca de abril a setembro, mas também ofereceria uma perspectiva de redução a dependência de adubações químicas convencionais. Ao promover uma maior eficiência nutricional por meio das substâncias húmicas, pode-se também explorar estrategicamente a possibilidade de minimizar a necessidade de insumos químicos utilizados no plantio convencional, favorecendo práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis.

O incremento da absorção de nutrientes proporcionado pela presença de SH em solução tem sido justificado por um hipotético aumento da permeabilidade da membrana plasmática (MP) por meio da ação surfactante das SH e da ativação da H<sup>+</sup>-ATPase de MP (Varanini et al., 1993). Os efeitos positivos das SH sobre o metabolismo das plantas foram resumidos por Nannipieri et al. (1993), que destacaram a sua influência positiva sobre o transporte de íons facilitando a absorção; o aumento da respiração e da velocidade das reações enzimáticas do

ciclo de Krebs, que resultaram em maior produção de ATP; maiores conteúdos de clorofila; maior velocidade e síntese de ácidos nucléicos; melhora na síntese proteica, aumento ou inibição da atividade de diversas enzimas e mitigação de efeitos de salinização, ou concentrações elevadas de certos nutrientes tóxicos a planta.

Assim sendo, foram testadas diferentes doses de substâncias húmicas, aplicadas às raízes de mudas de café, para estabelecer a dose com melhor efeito bioestimulante. Paralelamente, foram realizadas caracterizações morfobiométricas e químicas nas plantas, de modo a estabelecer relações de causa e efeito.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O cafeeiro

O gênero *Coffea*, família Rubiaceae, possui 124 espécies, porém as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* são as de maior relevância comercial. Por conta das suas características sensoriais, cerca de 65% de todo café consumido no mundo é da espécie *Coffea arábica*. Essa espécie é autógama, ou seja, é aquela em que o processo de fertilização ocorre dentro da mesma flor, na mesma planta, ou entre flores de indivíduos geneticamente idênticos, e as cultivares comerciais apresentam baixa variabilidade genética (Van der Vossen; Bertrand; Charrier, 2015; Martins, 2008). O *Coffea arabica*, também é conhecido como café arábica, portanto, essa é a mais popular e amplamente consumida em todo o mundo seguido do *Coffea canephora* também conhecido como robusta ou conilon (Reis; Cunha, 2010).

Este arbusto possui uma raiz pivotante e um ramo dimórfico com crescimento ininterrupto. Suas folhas, coriáceas e inteiras, apresentam pecíolos curtos. A inflorescência surge nos nós dos ramos laterais recém-formados, formando glomérulos de flores completas, hermafroditas e autocompatíveis. O fruto, denominado cereja quando amadurece, é climatérico e pode exibir exocarpo vermelho ou amarelo. Classificado como um fruto do tipo drupa, contém duas sementes planas e convexas. A semente é composta por uma película, um endosperma verdadeiro de coloração verde e um pequeno embrião com dois cotilédones, sendo característica de plantas dicotiledôneas (Sakiyama et al., 2015).

A alternância bienal é uma característica intrínseca à cultura do cafeeiro, representando o fenômeno da variação entre grandes e pequenas safras ao longo do tempo. Embora mais evidente no café arábica, também se manifesta no café conilon, embora de forma menos acentuada devido às práticas de poda e à alternância de ramos produtivos plagiotrópicos. Essa alternância na produção, inerente à natureza fisiológica do cafeeiro, requer um ano de vegetação para resultar em uma colheita produtiva no ano subsequente (Rena; Maestri, 1985).

A bienalidade na produção de café está associada à relação entre fontes e drenos, em que as folhas atuam como fontes de fotoassimilados, enquanto os tecidos em crescimento desempenham o papel de drenos. Devido à ocorrência simultânea das fases reprodutiva e vegetativa no mesmo ano, a planta busca equilibrar a distribuição de fotoassimilados (Barros, 1997).

### 3.2 Produção de Mudanças

Embora o cafeeiro seja uma planta perene, para dar continuidade à produção é fundamental a implantação de novas lavouras, em substituição às lavouras velhas e depauperadas. A renovação e o estabelecimento de novos cafezais são contínuos, havendo uma significativa busca por mudas saudáveis e de alta qualidade. As mudas de café são plantas jovens que são cultivadas a partir de sementes ou por meio de métodos de propagação vegetativa.

A forma mais utilizada pelos produtores e a propagação por semente. Existem três métodos de propagação por sementes: a semeadura direta, a semeadura indireta e a utilização de sementes pré-germinadas. Na semeadura direta, a semente é colocada diretamente no recipiente, a uma profundidade de 1 cm, e é coberta com terra ou areia peneirada. A semeadura indireta é realizada em germinadores de areia, onde as plantas, na fase de "palito de fósforo" ou "orelha de onça", são posteriormente transplantadas para saquinhos ou tubetes. No método de pré-germinadas, que é um processo intermediário aos dois anteriores, as sementes são inicialmente colocadas em germinadores de areia e transplantadas para os recipientes assim que começam a emitir a radícula (fase esporinha) (Magalhães et al., 1987).

O crescimento das mudas de café é um processo importante para o estabelecimento de plantações de cafeeiros saudáveis e produtivos. (Silva et al., 2010; Tomaz et al., 2015; Carvalho et al., 2007) O primeiro passo para obtenção de tais mudas é o uso de sementes com grande potencial germinativo e alto nível de sanidade. A atenção na escolha das sementes para a produção de mudas de café se restringe à seleção manual, utilizando critérios visuais para identificar sementes fisicamente prejudicadas ou mal-formadas, conforme destacado por Melo (1999). No estudo conduzido por esse autor, que investigou a relação entre o tamanho das sementes e diferentes métodos de semeadura, os resultados revelaram o impacto significativo do tamanho das sementes, influenciando positivamente no aumento do número de pares de folhas e na área foliar das mudas. O plantio de mudas de elevado vigor é um fator determinante para a boa formação das lavouras (Araújo et al., 2008).

De acordo com a pesquisa de Henrique et al. (2011), mudas com bom vigor são identificadas por exibirem folhas com coloração verde vibrante, caule com

diâmetro mais espessos e robusto e um sistema radicular que apresenta raízes absorventes em abundância e sadias.

Durante o crescimento das mudas, vários fatores podem influenciar o seu desenvolvimento, como a qualidade do substrato de cultivo, a disponibilidade de água e nutrientes, a temperatura e a intensidade luminosa, sendo assim, o manejo adequado desses fatores é essencial para promover um crescimento vigoroso das mudas e para garantir sua sobrevivência ao longo do tempo (Pereira; Souza; Godoi, 2014).

Algumas práticas adotadas por cafeicultores visam otimizar a adaptação das mudas ao ambiente de campo e reduzir custos na estrutura do viveiro, optando pela formação a pleno sol. Entretanto, enfrenta-se desafios na manutenção da umidade do substrato, tornando a irrigação uma necessidade crucial nesse sistema de produção (Alves; Guimarães, 2010). Além disso, a produção de mudas a pleno sol pode impactar negativamente o desenvolvimento, devido a fatores fisiológicos decorrentes da exposição excessiva à radiação solar, como por exemplo; estresse hídrico, redução no processo fotossintético e queimaduras nas folhas (Henrique et al., 2011; Paiva; Guimarães; Souza, 2003).

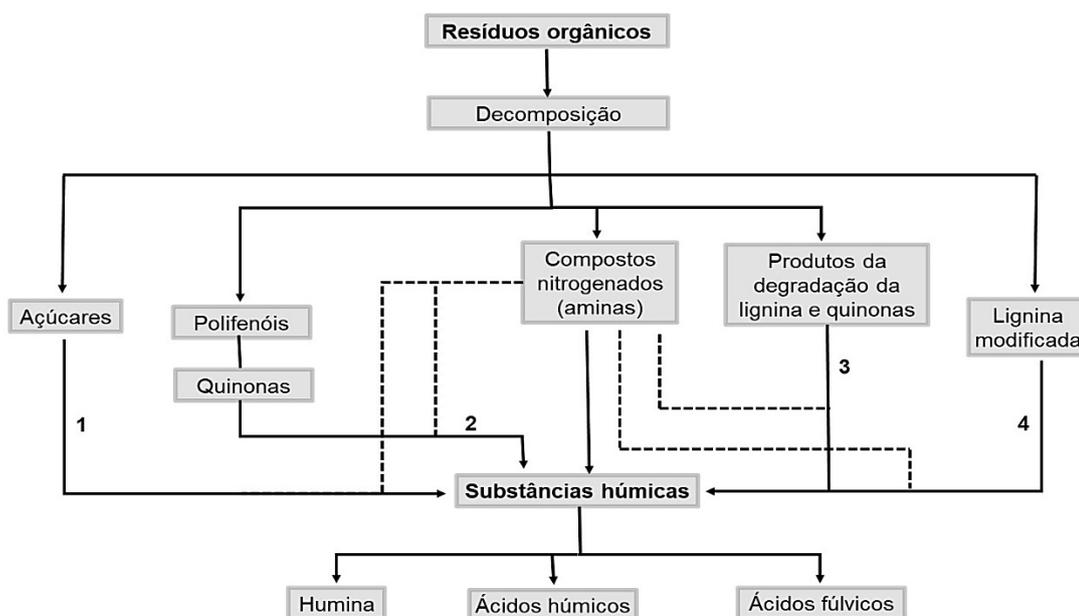
Os valores das mudas apresentam variações de acordo com a região, influenciadas pela dinâmica de demanda e oferta, bem como pelas características locais e físicas de cada viveiro. De maneira geral, o *Coffea arábica*, os preços têm oscilado, neste ano de 2022, na faixa de R\$ 0,70 a R\$ 0,90 por unidade (equivalente a R\$ 700,00 – R\$ 900,00 por milheiro em sistema de plantio direto de sementes (Souza et.al., 2022).

### **3.3 As substâncias húmicas**

A matéria orgânica (MO) é composta por dois grupos de substâncias, as não húmicas e as húmicas. As primeiras possuem características químicas definidas, a exemplo de carboidratos, proteínas, aminoácidos, lipídeos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Já as substâncias húmicas (SH) são orgânicas biogênicas (substâncias compostas por carbono e outros elementos originárias de processos biológicos), polieletrólíticas com propriedades semelhantes às dos biocoloides e apresentam cor escura, elevada massa molecular e estrutura complexa e indefinida (Stevenson, 1994; Atiyeh et al., 2002; Fontana et al., 2010).

As substâncias húmicas são compostos orgânicos complexos que ocorrem naturalmente no solo e em outras fontes, como a turfa, e o composto orgânico. Sua formação advém da decomposição de matéria orgânica pela macro, meso e microfauna do solo. Sua decomposição pode ocorrer por diversas vias (açúcares, polifenóis/quinonas, compostos nitrogenados, produtos da degradação da lignina, quinonas ou lignina modificada), dependendo de sua origem, resultando na formação de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina. (Stevenson, 1994; Kiehl, 1985 – Figura 1). As substâncias húmicas têm uma série de efeitos benéficos sobre o solo e as plantas, como a melhoria da estrutura do solo, a retenção de água, o estímulo ao crescimento das raízes, o aumento da disponibilidade de nutrientes e a ativação de processos biológicos no solo (Canellas et al., 2006; Nardi et al., 2002).

Figura 1 – Rota de formação das substâncias húmicas e suas frações.



Fonte: adaptado de Stevenson (1994).

Presentes na matéria orgânica as substâncias húmicas desempenham um papel crucial no processo de enraizamento de diversas culturas de importância agrônômica. Além disso, exercem efeitos bioestimulantes na parte aérea, promovendo o maior acúmulo de nutrientes nas folhas e a síntese de clorofilas, conforme destacado por Baldotto et al. (2009).

Conforme Du Jardin (2012), um bioestimulante é definido como qualquer substância ou microrganismo, excluindo nutrientes e pesticidas, que, quando

aplicado às plantas, sementes ou substratos, tem como objetivo modificar processos biológicos de maneira a promover o crescimento e desenvolvimento de forma benéfica. Essas substâncias também visam aprimorar a eficiência nutricional das plantas, aumentar sua capacidade de resposta a estresses abióticos, como condições climáticas adversas e deficiências de nutrientes, e melhorar a qualidade geral das culturas. Importante ressaltar que tais efeitos são alcançados independentemente do conteúdo nutricional intrínseco do bioestimulante. Os impactos gerados pelas substâncias húmicas (SH) são comparáveis aos efeitos desencadeados pelos hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas (GA), citocininas (CK), brassinoesteroides (BR), etileno (ET), ácido abscísico (ABA) e ácido jasmônico (JA) (Barone et al.; 2019; Casadesús et al., 2019; Tahiri et al., 2016; Mora et al., 2014; Morard et al., 2010). Os sinais externos emitidos pelas SH alteram as rotas metabólicas e provocam alterações estruturais no sistema radicular, estimulando, por exemplo, o processo de diferenciação e divisão celular nas células das raízes laterais, favorecendo o crescimento radicular e a formação de pelos radiculares (Canellas, 2014; Muscolo et al., 2013; Schmidt et al., 2007), o que resulta em um aumento da biomassa da planta em um período mais curto (Eyheraguibel; Silvestre; Morard, 2008).

Os mecanismos pelos quais os bioestimulantes de substâncias húmicas (SH) funcionam ainda não estão completamente esclarecidos. É comum encontrar moléculas semelhantes aos hormônios vegetais nos extratos húmicos, como o AIA (Muscolo et al., 1998; Quaggiotti et al., 2004; Zandonadi et al., 2007), citocinina (Zhang; Erwin, 2004) e giberelina (Conselvan et al., 2017), e atribuir seus efeitos as plantas. No entanto, alguns bioestimulantes não contêm tais moléculas, mas têm a capacidade de alterar o metabolismo das plantas, aumentando sua produção (Elena et al., 2009; Jannin et al., 2012). Portanto, as interações entre as plantas e as SH vão além da simples sinalização por meio de moléculas com estruturas semelhantes aos hormônios vegetais encontrados nos bioestimulantes. Conseqüentemente, é crucial expandir o entendimento sobre o modo de ação dos humatos em doses bioquímicos e transcricionais (Xu; Geelen, 2018).

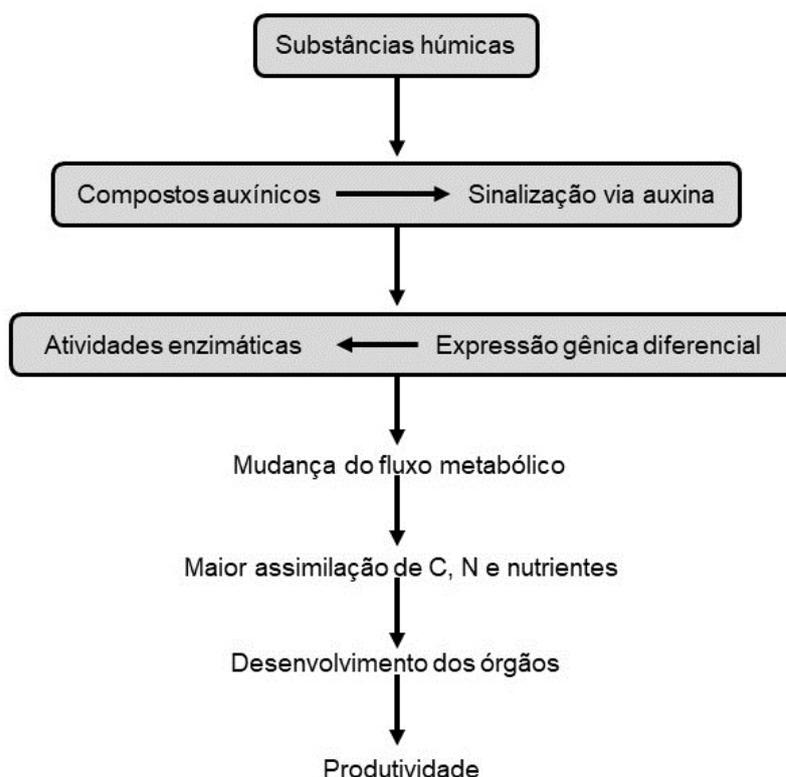
Estudos atuais, revistos por Baldotto e Baldotto (2014), apontam que essas substâncias estimulam a atividade e promovem a síntese das enzimas  $H^+$ -ATPases na membrana plasmática das células vegetais. Esse efeito é comparável ao das

auxinas, conforme descrito por Piccolo (2001), Nardi et al. (2002), Canellas et al. (2002) e Canellas e Olivares (2014).

Os reguladores de crescimento vegetal, conhecidos como auxinas sintéticas (Taiz; Zeiger, 2013), são empregados em escala comercial para modular o crescimento, exibindo uma resposta sensível à concentração. Essa reação é semelhante à observada nas substâncias húmicas, destacando a importância de determinar concentrações ideais específicas para cada fonte e para diferentes tipos de plantas, conforme discutido por Baldotto et al. (2009; 2011).

A influência das substâncias húmicas (SH) no metabolismo e desenvolvimento das plantas é mediada pela sinalização das auxinas, que induzem modificações rápidas nas vias metabólicas, independentemente da expressão gênica ou da atividade enzimática (Figura 2).

Figura 2 – Ação das substâncias húmicas sobre o metabolismo e desenvolvimento das plantas.



Fonte: adaptado de Caron, Graças e Castro (2015).

A expressão gênica pode aumentar ou diminuir as isoformas enzimáticas responsáveis pelo fluxo metabólico. Quanto maior esse fluxo, maior a demanda por

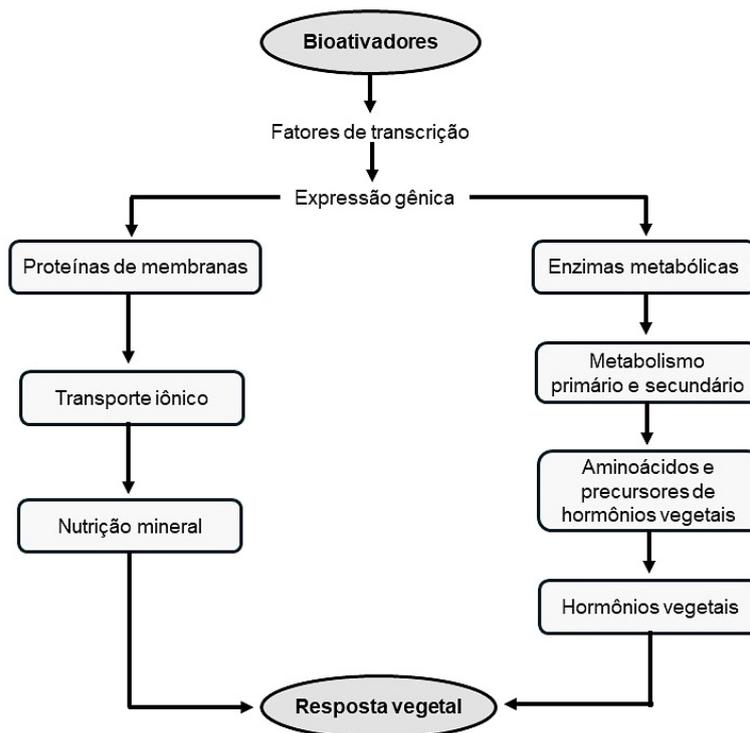
assimilação de carbono, nitrogênio e outros nutrientes, resultando em um desenvolvimento ampliado dos órgãos e um aumento na produtividade da planta (Castro et al., 2017; Quaggiotti et al., 2004).

A interação dinâmica entre os sistemas de manejo e a bioatividade das substâncias húmicas é uma área de estudo que visa compreender como práticas específicas de manejo do solo podem influenciar a formação, composição e atividade das substâncias húmicas, que, por sua vez, afetariam a qualidade do solo e o desempenho das plantas. Os sistemas de manejo, como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a rotação de culturas, a adição de matéria orgânica e outras práticas agrícolas podem ter impactos significativos na dinâmica dessas substâncias (Godfray et al., 2010).

Substâncias orgânicas complexas como as substâncias húmicas, são conhecidas como bioativadoras, desempenham um papel fundamental no estímulo ao crescimento vegetal. Elas operam nos fatores de transcrição da planta e na expressão gênica, afetam as proteínas da membrana, alterando o transporte iônico, e influenciam as enzimas, impactando o metabolismo secundário (Figura 3). Essas ações promovem modificações na nutrição mineral, geram precursores de hormônios vegetais e, por conseguinte, afetam as respostas das plantas (Castro et al., 2017).

Sob um ponto de vista de bioatividade, considera-se a possibilidade de que as frações bioativas provenientes da matéria orgânica humificada, extraídas em sistemas integrados de agricultura, pecuária e florestas, possam estimular o crescimento das plantas, por terem maior efeito bioativador. Portanto, essa abordagem surge como uma alternativa aos reguladores atualmente dispostos no mercado. Essa perspectiva tem o potencial de resultar em efeitos mais intensos quando comparada ao uso de substâncias húmicas provenientes de sistemas de manejo menos diversificados. Neste contexto, propõe-se a hipótese de que os benefícios positivos observados na fertilidade do solo, que abrange os aspectos químicos, físicos e biológicos nos sistemas integrados, podem influenciar a formação de substâncias húmicas com notável bioatividade, ou seja, promovendo uma capacidade maior no crescimento e desenvolvimento das plantas (Baldotto; Baldotto, 2014; Canellas; Olivares, 2014).

Figura 3 – Modo de ação dos bioativadores aplicados nos vegetais



Fonte: adaptado de Castro et al. (2017).

Em relação ao café, as substâncias húmicas têm sido estudadas por seu potencial em promover o crescimento e a produção das plantas- (Azevedo et al., 2017; Bento et al., 2021). As substâncias húmicas como ácidos húmicos e fúlvicos, aplicadas no início do ciclo, podem atuar como estimuladoras do crescimento das plantas, especialmente do sistema radicular (Borcioni; Mógor; Pinto, 2016).

Algumas pesquisas sugerem que a aplicação de substâncias húmicas ao solo ou como tratamento de sementes pode melhorar o desenvolvimento inicial das plantas, aumentar a absorção de nutrientes, promover a resistência a doenças e estresses ambientais, e, conseqüentemente, melhorar a produtividade das plantações (Vendruscolo; Santos; Alvez, 2014; MAPA, 2009).

Os efeitos observados nas características cinéticas da absorção de nutrientes, promovidos pelas substâncias húmicas, podem ser atribuídos a interferências nos transportadores específicos de íons, alterações no equilíbrio de cargas no citosol ou ajustes na fluidez e permeabilidade da membrana. Estas alterações resultam da interação entre as moléculas húmicas e a matriz lipídica da membrana plasmática, como indicado por Samson e Visser (1989). Além disso, outras pesquisas destacaram a participação das bombas de prótons membranares

na absorção de nutrientes, decorrente da interação entre substâncias húmicas de baixo peso molecular e a ATPase de membrana plasmática. Em certos casos, essa interação estimulou a atividade da ATPase (Nardi et al., 1991; Varanini et al., 1993; Pinton et al., 1992; Canellas; Façanha, 2004), enquanto em outros casos a inibiu (Nardi et al., 2000; Canellas; Santos, 2005). Esses efeitos estão associados às variações nas concentrações e na natureza das substâncias húmicas utilizadas, conforme evidenciado pela literatura.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GERAL**

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar o efeito de diferentes doses de substâncias húmicas sobre as características morfobiométricas e químicas de plantas de café arábica cultivadas em solução nutritiva durante seu desenvolvimento inicial.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar as características morfobiométricas das partes das plantas (folhas, caule e raízes) de café submetidas a de diferentes doses de substâncias húmicas.

Avaliar a composição nutricional das partes das plantas (folhas, caule e raízes) de café submetidas a de diferentes doses de substâncias húmicas.

Obter as doses que maximizam as características morfobiométricas e nutricionais nas mudas de café arábica.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

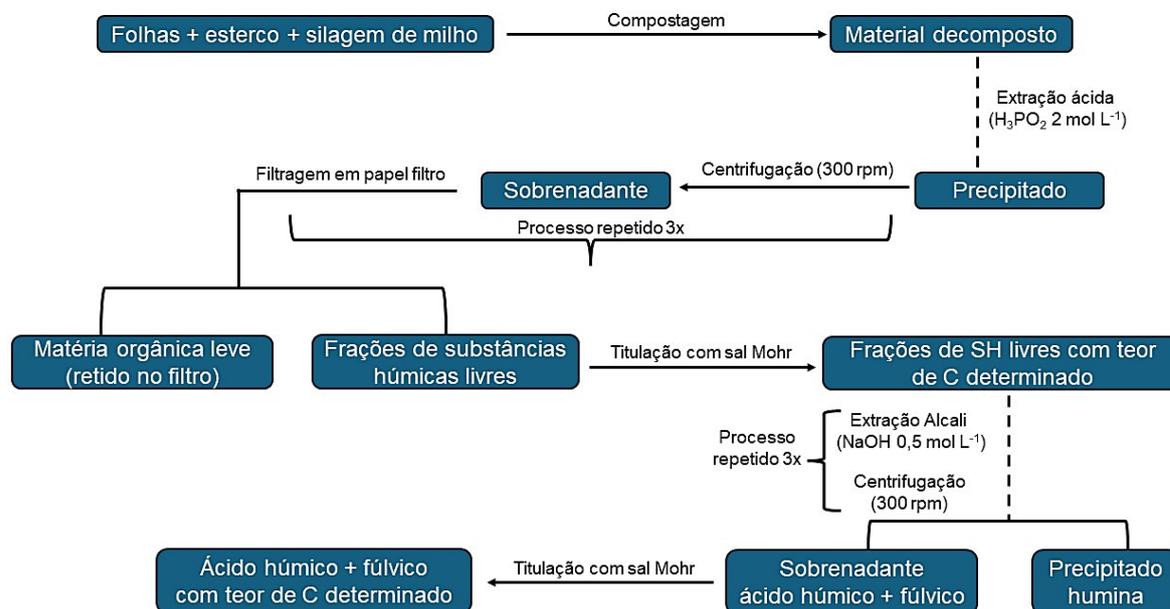
### **5.1 Local do experimento e fase pré-experimental**

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Agronomia, localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa (Altitude: 648,74 m, Latitude: 20° 45' 14" S, Longitude: 42° 52' 53" W, Coordenadas UTM (m): 7.703.630 N 720.570 E). Ele teve a duração total de 9 meses, divididos em 2 meses de aclimação e 7 meses de experimentação com os tratamentos, compreendendo o período de abril a dezembro de 2022. As sementes de café arábica da cultivar MGS Paraíso 2 foram semeadas em bandejas de polietileno, com dimensões de 54 cm de comprimento, 28 cm de largura e 10 cm de profundidade, contendo um volume de 15.120 cm<sup>3</sup> de substrato comercial. Após aproximadamente cinco meses, quando apresentavam dois pares de folhas definitivas, 125 plantas foram transferidas para caixas plásticas com capacidade total de 26 litros (50 cm de comprimento x 35 cm de largura x 22,5 cm de altura). Essas caixas continham 18 litros de solução nutritiva conforme detalhado na Tabela 1, para adaptação e subsequente condução do experimento.

### **5.2 Extração das substâncias húmicas**

As substâncias húmicas foram isoladas do material de compostagem da Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal (UFV-CAF- coordenadas 19° 52'16,3" S e 44°25'26,1" W), com base em suas características e solubilidade. A extração das SH proveniente de material decomposto foi realizada conforme o esquema da Figura 4.

Figura 4 – Esquema da extração das substâncias húmicas provenientes de material decomposto, conforme descrito por Gomes (2021) e por Thurman e Malcolm (1981).



O material compostado foi preparado utilizando folhas secas provenientes da área de jardinagem, esterco fresco de curral (obtido dos pastos onde vacas em lactação consomem silagem e concentrado proteico/energético) e silagem de milho (resíduo), os quais foram organizados em leiras para o processo de compostagem. Para a montagem das leiras em uma área de 2,5 m x 1,5 m, foram sobrepostas camadas sucessivas dos materiais mencionados, com 100 litros de folhas secas, 20 litros de esterco e 20 litros de silagem em cada camada, até atingir uma altura de 1,5 m. Cada monte foi concluído com uma última camada de folhas secas. Ao término da montagem, cada monte era composto por 550 litros de folhas secas (equivalente a 48 kg), 100 litros de esterco (equivalente a 21 kg) e 100 litros de silagem (equivalente a 22,5 kg), tendo sido devidamente umedecido até alcançar o nível ideal de umidade. As leiras foram então submetidas a uma avaliação ao longo de 120 dias, sendo reviradas duas vezes por semana até a estabilização da temperatura e, posteriormente, uma vez por semana. A umidade das pilhas foi ajustada conforme necessário, conforme detalhado por Gomes (2021).

A quantificação dos doses de carbono nas frações de ácido fúlvico livre, ácido fúlvico, ácido húmico e huminas foram calculados. O processo de fracionamento, extração e purificação do carbono orgânico do solo seguiu as

orientações da International Humic Substances Society (IHSS, 2019) como descrito por Thurman e Malcolm (1981).

Inicialmente, 1 kg de composto foi coletado para cada 10 litros de extrator (relação 1:10 massa volume<sup>-1</sup>), onde foi tratado com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 2 mol L<sup>-1</sup> (agitado em tubos de centrifuga por 30 minutos). Após agitação, a centrifugação foi realizada a 3000 rpm por 10 minutos na Centrífuga Excelsa II modelo 206BL. O sobrenadante foi filtrado em papel de filtro e a operação foi repetida mais três vezes com a mesma amostra. O material retido no papel-filtro foi identificado como matéria orgânica leve (MOL), enquanto a solução filtrada foi titulada com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) para determinar o teor de carbono orgânico na fração de ácidos fúlvicos livres (AFL).

Para extrair substâncias orgânicas solúveis em meio alcalino, 40 ml de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> contendo o precipitado do extrato anterior foram adicionados ao tubo de centrifuga. O sistema foi homogeneizado por agitação e deixado em repouso por 16 horas. Após centrifugação por 10 minutos, os sobrenadantes foram recolhidos, repetindo-se a operação mais três vezes (com um tempo de repouso de 4 horas). O sobrenadante com as frações de ácido fúlvico e ácido húmico (extrato alcalino) e os precipitados residuais contendo as huminas tiveram seus teores de carbono orgânico determinados por titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr).

O cálculo das doses de substâncias húmicas levou em consideração a concentração de carbono orgânico da substância húmica extraída. Se obteve com a extração a concentração de 34,63 mmol L<sup>-1</sup> de C, onde 1 mmol de carbono corresponde a 12 mg L<sup>-1</sup>. O cálculo dos volumes (ml) necessários para alcançar as concentrações desejadas foi feito empregando-se a fórmula:

$$C_i * V_i = C_f * V_f.$$

em que:

$C_i$ \* = concentração inicial

$V_i$  = volume inicial

$C_f$ \* = concentração final

$V_f$  = volume final

### 5.3 Instalação do experimento e delineamento estatístico

Quando as mudas apresentavam dois pares de folhas definitivas, fez-se uma seleção, para uma melhor uniformidade das mudas, e 75 delas foram utilizadas para compor os cinco tratamentos.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), o qual consistiu em cinco tratamentos (T1: testemunha - 0,0 mg de carbono por litro de solução; T2 - 15 mg de carbono por litro de solução; T3 - 30 mg de carbono por litro de solução; T4 - 60 mg de carbono por litro de solução; T5 - 120 mg de carbono por litro de solução) e 15 repetições. As doses de carbono foram calculadas com base na concentração de 34,63 mmol de carbono por litro de solução. O experimento foi conduzido em solução nutritiva, em ambiente controlado (Figura 5).

Figura 5 – Vista geral do experimento conduzido na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFV.



#### 5.4 Condução do experimento

Ao alcançarem três pares de folhas definitivas as mudas selecionadas foram transferidas para recipientes de 26 L contendo 18 L de solução nutritiva completa, onde permaneceram por sete meses. As mudas foram aleatorizadas nos recipientes e os recipientes foram aleatorizados em três bancadas em casa de vegetação. Cada recipiente e plantas foram devidamente identificados para auxiliar na correta condução e avaliação do experimento.

A primeira aplicação dos tratamentos foi realizada quando as mudas apresentavam três pares de folhas definitivas, dez dias após a instalação do experimento. As plantas, devidamente identificadas, foram temporariamente transferidas para caixas plásticas de 26 L contendo três litros das respectivas soluções de substâncias húmicas com as concentrações referentes aos tratamentos. As raízes ficaram submersas nessa solução por 24 h e em seguida retornaram aos seus respectivos lugares nas caixas contendo solução nutritiva completa (Tabela 1). Após 30 dias, o procedimento de imersão das raízes descrito anteriormente foi repetido, ou seja, foram realizadas duas imersões das raízes em solução com substâncias húmicas com intervalo de 30 dias.

Durante todo o experimento as unidades experimentais foram mantidas sob aeração constante com ar comprimido e monitoradas periodicamente para o ajuste de pH da solução a  $5,5 \pm 0,5$ . A troca da solução nutritiva foi realizada mediante o critério de 30% de depleção da condutividade elétrica inicial, que foi mantida entre  $1300 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $1600 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme o recomendado para a cultura segundo o Compêndio de Defensivos Agrícolas (2017). Para controle inicial do bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) realizaram-se duas aplicações, em intervalos de sete dias, do inseticida de contato com o princípio ativo Deltametrina (Decis®), pertencente ao grupo químico dos piretróides, na dose de 5,0 ml por 10 L de água. Para o controle preventivo de cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) foram realizadas duas aplicações, no intervalo de 30 dias, do fungicida Manzate (Mancozeb®), pertencente ao grupo químico dos ditiocarbamatos, na dose de 25 g por 10 L de água.

Tabela 1 – Solução nutritiva para aclimação, uniformização e condução do experimento para crescimento e desenvolvimento das plantas de café arábica, Viçosa – MG.

Sais	Concentração (g 50 L <sup>-1</sup> )	Massa molecular (g/mol)	Concentração final (mmol L <sup>-1</sup> )
<b>Macronutrientes*</b>			
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4,76	136,09	35,00
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	24,80	236,15	105,00
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	12,82	246,48	52,00
KNO <sub>3</sub>	4,04	101,10	40,00
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8,71	174,26	50,00
KCl	1,12	74,75	15,00
Sais	Concentração (g 50 L <sup>-1</sup> )	Massa molecular (g/mol)	Concentração final após diluição (μmol L <sup>-1</sup> )
<b>Micronutrientes**</b>			
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,42	61,83	23,00
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,25	249,69	1,00
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	2,03	169,01	12,00
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,18	1235,86	0,15
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,57	287,60	2,00
Fe-EDTA (13%)	0,026	421,1	60,00

\* Todos os sais foram pesados e diluídos em 50 L de água

\*\* Os sais H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> e ZnSO<sub>4</sub> foram pesados e diluídos em 1 L de água, desta solução estoque diluiu-se 50 mL em 50 L de água, o Fe-EDTA foi pesado 1,3 g e diluído em 50 L de água.

### 5.5 Avaliações morfobiométricas

Quando as plantas foram colocadas em recipientes definitivos e as mudas apresentavam três pares de folhas, foram avaliadas a altura, o diâmetro e o número de nós dos ramos ortotrópicos, considerando este momento como o tempo inicial zero. Dez dias após essa medição, realizou-se a primeira imersão das raízes das mudas em solução contendo diferentes doses de substâncias húmicas. Trinta dias após a primeira imersão, foi realizada a segunda imersão das raízes das mudas em substâncias húmicas, totalizando duas imersões.

Subsequentemente, durante a condução do experimento, a cada 30 dias avaliou-se o diâmetro do caule (DC) utilizando paquímetro (mm); número de folhas (NF), altura de planta (ALT) utilizando trena (cm); número de nós nos ramos ortotrópicos (NNRO), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e número de nós nos ramos plagiotrópicos (NNRP), num total de quatro avaliações, ao longo do tempo (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

No final do experimento, as plantas foram retiradas da solução hidropônica separadas em folhas (MFF), caule (MFC) e raízes (MFR) nos quais foi determinada

a massa da matéria fresca de cada amostra. Logo em seguida, mediu-se o número de folhas e contou-se a área foliar no aparelho LiCor 3100 (Licor, Nebraska – USA). As amostras foliares, de caule e raízes foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 60 °C até alcançarem massa constante.

Após a secagem do material obteve-se o peso da massa de matéria seca das amostras de folhas (MSF), caules (MSC) e raízes (MSR), em uma balança. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh, e armazenadas para posteriores análises químicas de nutrientes.

Uma amostra de raízes finas de cada planta foi retirada, pesada e acondicionada em uma solução alcoólica a 15%, para posterior avaliação das raízes por análise de imagem no aparelho WinRhizo (WinRhizo Pro Régent Instruments, Québec, Canadá). As imagens do sistema radicular foram obtidas digitalizando as amostras radiculares em scanner EPSON Perfection V700 PHOTO com imagem DPI 23,6 pixels, que apresenta clareza suficiente para identificar e quantificar diâmetro de raízes finas usando o software WinRhizo, que calcula o diâmetro médio dividindo a área projetada da amostra pelo comprimento total da amostra.

Com os dados de massa de matéria seca da parte aérea, raízes e total, altura de planta e diâmetro do ramo ortotrópico calculou-se o índice de qualidade de desenvolvimento da planta pelo método do Índice de Dickson (Dickson; Leaf; Hosner, 1960), conforme a equação abaixo:

$$IQD = \frac{MST}{\left[\left(\frac{H}{D}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)\right]}$$

Em que:

IQD = índice de qualidade de desenvolvimento da planta

MST = massa de matéria seca total (g)

H = altura de planta (cm)

D = diâmetro do ramo ortotrópico (mm)

MSPA = massa de matéria seca da parte aérea (g)

MSR = massa de matéria seca das raízes (g)

## 5.6 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Nutrição Mineral de Plantas e no Laboratório de Agroecologia e Manejo de Agroecossistemas, do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa.

As amostras das diferentes partes das plantas (folhas, caules e raízes) foram utilizadas para a determinação das concentrações dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) e dos micronutrientes (ferro, cobre, zinco e manganês).

Para determinação dos teores de N, o material vegetal seco e moído foi submetido à digestão sulfúrica (Jackson, 1958).

O N-total foi determinado pelo método micro-Kjeldahl, descrito por Bremner (1965). Para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão nitroperclórica (Johnson; Ulrich, 1959).

As concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), foram determinadas em 0,5 g de material, das diferentes partes das plantas. O P foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular, com base no desenvolvimento do complexo fósforo-molibídico em meio redutor (Braga; Defelipo, 1974). O K foi determinado por fotometria de emissão de chama. Já o Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975).

Para a determinação da quantidade total de nutrientes acumulado (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn), em cada parte avaliada (folha, caule e raiz) multiplicou-se a concentração de cada nutriente pela massa da matéria seca de cada órgão referido, como descrito nas fórmulas abaixo:

$$\text{Acúmulo} = \text{Concentração do macronutriente (mg kg}^{-1}\text{)} * \text{MS (kg)} = \text{mg}$$

$$\text{Acúmulo} = \text{Concentração do micronutriente (}\mu\text{g kg}^{-1}\text{)} * \text{MS (kg)} = \mu\text{g}$$

O somatório do acúmulo obtido nas diferentes partes forneceu o conteúdo total acumulado de cada nutriente. Assim, o conteúdo de macro (mg) e micronutrientes ( $\mu\text{g}$ ) foi calculado pelas seguintes expressões:

$$\text{Total acumulado na planta} = \text{somatório do acúmulo das partes (folha+caule+raiz)}$$

### **5.7 Análises estatísticas**

Os dados obtidos no experimento, foram analisados estatisticamente com o auxílio do pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2018) no software R versão 4.3.2 (R Core Team, 2023). Foram realizadas análises de variância (ANOVA) para cada variável e quando detectada diferenças significativas entre as médias foram ajustados modelos de regressão. A escolha dos modelos para cada variável foi baseada na significância dos coeficientes, no  $R^2$  e no significado biológico da resposta (Alvarez e Alvarez, 2003). O teste F foi realizado com nível de significância de 5% de probabilidade.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Avaliações morfobiométricas

Conforme resumo da análise de variância, não houve diferença significativa nas seguintes variáveis: diâmetro de caule (DC), número de nós nos ramos plagiotrópicos (NNRP) e número de folhas (NF). Nas demais variáveis avaliadas houve diferença significativa a 5% de probabilidade (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância da massa de matéria fresca foliar (MFF), de caules (MFC) e raízes (MFR); massa de matéria seca foliar (MSF), de caules (MSC) e raízes (MSR); área foliar (AF); altura das plantas aos 120 dias (ALT<sub>120</sub>); diâmetro do caule (DC); números de nós nos ramos ortotrópicos (NNRO); número de ramos plagiotrópicos (NRP); números de nós nos ramos plagiotrópicos (NNRP), diâmetro da raiz (DR) e número de folhas (NF), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas

FV	GL	Quadrado médio						
		MFF	MFC	MFR	MSF	MSC	MSR	ALT <sub>120</sub>
Doses de SH	4	1070,15*	152,838*	618,05*	66,099*	10,794*	10,00*	46,784*
Resíduo	70	151,75	28,277	187,51	13,219	2,4301	3,3089	10,21
Total	74							
CV (%)		18,85	22,68	21,24	21,89	26,92	32,67	11,64

FV	GL	Quadrado médio						
		AF	DC	NNRO	NNRP	NRP	DR	NF
Doses de SH	4	149375*	0,00513 <sup>ns</sup>	0,2116*	112,1 <sup>ns</sup>	7,080*	9,751*	408,7 <sup>ns</sup>
Resíduo	70	266882	0,006667	1,06429	61,98	2,3657	0,8933	238,9
Total	74							
CV (%)		20,33	20,31	10,97	26,22	16,86	29,17	19,70

\*F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

A partir das aplicações de distintas concentrações de substâncias húmicas, foram ajustadas curvas de resposta às variações de dose, viabilizando, assim, a estimativa da dose de efeito estimulante máximo em cada variável avaliada. Discrepâncias nos resultados foram observadas tanto no que tange ao crescimento e desenvolvimento das plantas em relação a dose zero, quanto à manifestação do efeito bioestimulante, cuja intensidade se mostra sensível às diversas concentrações de substâncias húmicas (Figuras 6, 7, 8, 9,10,11 e 12).

Ademais, foi possível constatar disparidades nas características morfobiológicas e químicas, culminando na identificação da dose mais eficaz a ser

empregada na fase inicial do crescimento de plantas de café, com o propósito de maximizar o efeito bioestimulante proporcionado por tais substâncias húmicas (Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18).

Segundo Baldotto et al. (2014) doses reduzidas de substâncias húmicas podem manifestar efeitos estimulantes na fisiologia vegetal, ao passo que concentrações mais elevadas acarretam uma redução no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Além disso, de acordo Atiyeh et al. (2002), a aplicação de SH, em plantas de pepino e tomate, promoveu um típico aumento no crescimento em função das doses progressivas, mas com redução do crescimento radicular em concentrações mais elevadas de SH. Esses estudos estão em consonância com os resultados observados por Silva et al. (2000) em relação a um aumento significativo no desenvolvimento radicular de azevém em solução nutritiva enriquecida com substâncias húmicas, com doses variando entre 10 e 20 mg L<sup>-1</sup> de carbono. Essa concordância reforça as informações já existentes na literatura, as quais indicam que as substâncias húmicas exercem uma influência positiva no crescimento das plantas (Vaughan et al., 1985; Nardi et al., 2000).

Esses resultados reportados pelos autores podem estar associados à bioatividade das substâncias húmicas, as quais podem manifestar efeitos auxínicos sobre as plantas, além da ativação da H<sup>+</sup>-ATPase na membrana plasmática. A ativação da H<sup>+</sup>-ATPase promove o aumento do gradiente eletroquímico de H<sup>+</sup>, acidificação do apoplasma, o que resulta na quebra de ligações da parede celular e aumento da elasticidade, favorecendo assim o crescimento celular (Rayle; Cleland, 1992; Canellas; Santos, 2005).

Nardi et al. (2009) afirma que as substâncias húmicas ao se ligarem firmemente às paredes das células vegetais, são absorvidas pelas raízes, e em algumas situações podem até serem transferidas para a parte aérea. Esta captação direta das plantas permite que as substâncias húmicas exerçam efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Estudos apontado por Ferreira et al. (2007) indicam que os bioestimulantes podem não promover ou, em alguns casos, podem até reduzir a absorção de nutrientes pelas plantas. Isso sugere que as respostas às aplicações desses produtos são influenciadas por diversos fatores, como a espécie da planta e a composição específica das substâncias húmicas presentes nos produtos utilizados. Portanto, é necessário obter mais informações para compreender verdadeiramente o

impacto desses produtos no desenvolvimento das plantas. Este cenário apontado por Ferreira et al (2007) é corroborado com o estudo de Moreira et al. (2018), que constatou que a aplicação de bioestimulante não resultou em aumento na brotação de gemas de macieiras e nem em acúmulo de nutrientes.

### **Massa de matéria fresca foliar, de caules e raízes**

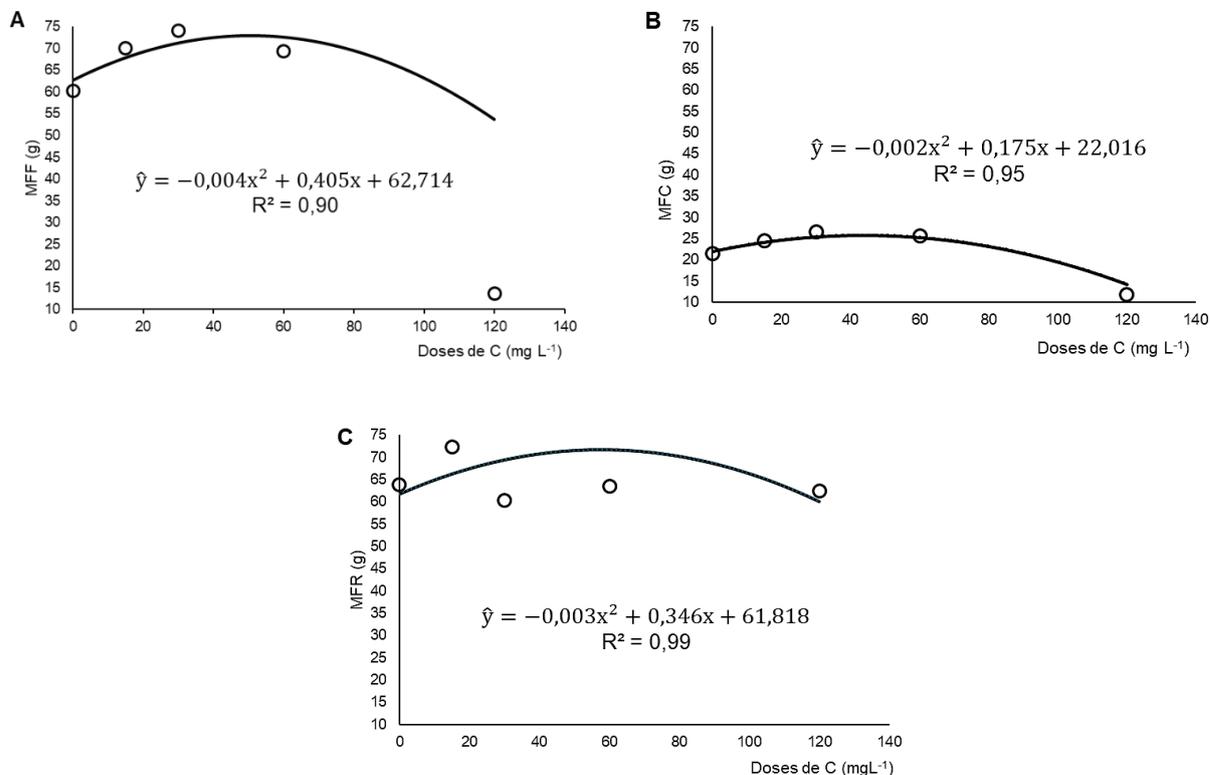
Em relação a MFF, MFC e MFR ocorreu efeito significativo em relação as diferentes doses de SH. Na dose de 120 mg L<sup>-1</sup> de carbono de solução, verificou-se um crescimento e desenvolvimento desfavorável das mudas de café, com doses acima de 49,73 mg L<sup>-1</sup> de carbono para MFF, 51,95 mg L<sup>-1</sup> de carbono para MFC e 51,1 mg L<sup>-1</sup> de carbono para MFR já se observa um desfavorecimento no crescimento e desenvolvimento das mudas.(Figura 6).

A dose ótima encontrada para MFF foi de 49,73 mg L<sup>-1</sup> de carbono, conforme o ponto de máxima estimado para a equação de regressão de segundo grau, para MFC a dose encontrada foi de 51,9 mg L<sup>-1</sup> de carbono, e para MFR a dose encontrada foi de 51,1 mg L<sup>-1</sup> de carbono.

Os resultados observados nesta pesquisa são semelhantes aos encontrados por Teixeira et al. (2019), os quais constataram, em mudas de cafeeiro, que a aplicação de substâncias húmicas proporcionou melhorias na massa de matéria fresca foliar, massa de matéria fresca do caule, diâmetro de caule e altura de plantas.

É comum observar um aumento significativo no comprimento e densidade das raízes em plantas submetidas ao tratamento com bioestimulantes. Isso sugere que essas substâncias desencadeiam uma resposta que promove a absorção de nutrientes por meio do aumento da área superficial de absorção. Adicionalmente, os bioestimulantes exercem um impacto positivo na expressão de genes e na atividade de enzimas envolvidas nos metabolismos primário e secundário (Nardi et al., 2016).

Figura 6 – Massa de matéria fresca foliar (a), dos caules (b) e das raízes (c), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva e submetidas a diferentes doses de substâncias húmicas.



### Massa de matéria seca foliar, de caules e raízes

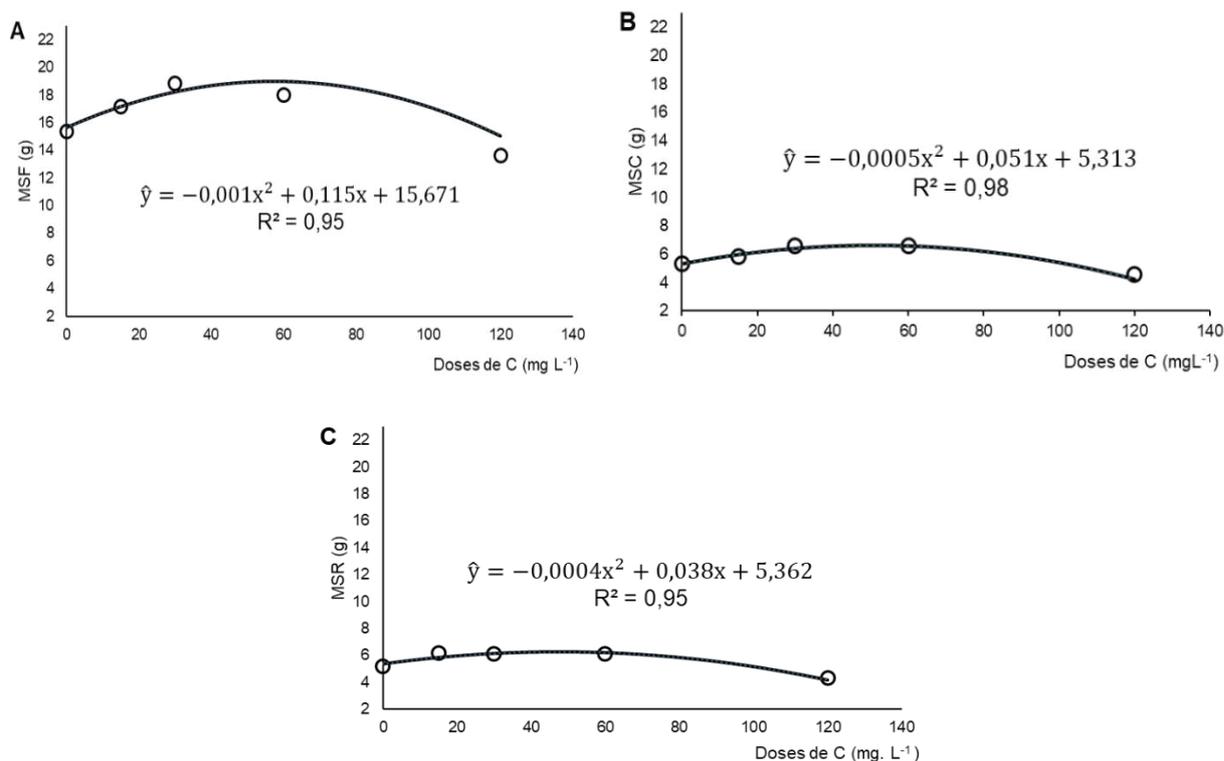
Em referência a MSF, MSC e MSR, houve diferença significativa nas diferentes doses de SH. Observou-se que, com a dose de 120 mg L<sup>-1</sup> de carbono na solução, o crescimento e desenvolvimento das mudas de café foram desfavoráveis. Notou-se um desfavorecimento no crescimento e desenvolvimento das mudas com doses acima de 51,9 mg L<sup>-1</sup> de carbono para MSF, 53,6 mg L<sup>-1</sup> de carbono para MSC e 48,4 mg L<sup>-1</sup> de carbono para MSR (Figura 7).

As mudas de café apresentaram comportamento semelhantes aos observados por Baldotto et al. (2017) no estudo sobre a bioatividade das substâncias húmicas extraídas de solos manejados com integração LPF na cultura do milho. As plantas de milho tratadas com SH apresentaram incrementos positivos, com efeito similar ao fitormônio auxínico, o que resultou em melhor desempenho inicial e maior acúmulo de matéria seca.

Conforme a equação de regressão, a dose ótima de carbono encontrada foi de 51,9 mg L<sup>-1</sup> para MSF, 53,6 mg L<sup>-1</sup> para MSC e 48,4 mg L<sup>-1</sup> para MSR.

Os resultados de MSR corroboram com os observados por Pinheiro et al. (2010), que ao estudar o crescimento de clone de eucalipto em resposta à aplicação de SH), observaram decréscimo curvilíneo da massa de matéria seca de raiz em função do aumento das concentrações de SH.

Figura 7 – Massa de matéria seca foliar (a), dos caules (b) e das raízes (c), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva em diferentes doses de substâncias húmicas.

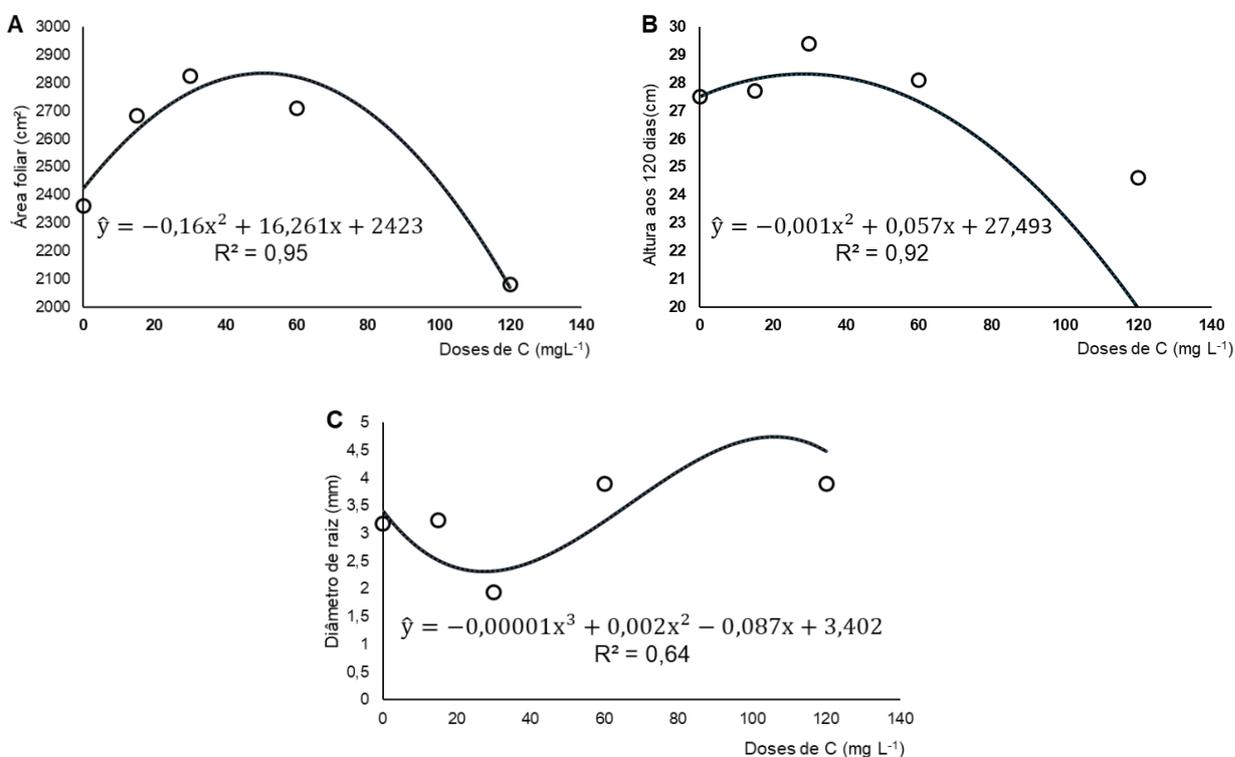


Segundo Atiyeh et al. (2002), ao verificar a influência dos ácidos húmicos sobre o crescimento de plantas de tomate e pepino, tais ácidos, na maioria das plantas, promoveu um típico aumento no crescimento em função das doses progressivas, mas com redução do crescimento radicular em concentrações mais elevadas de SH.

### Área foliar, altura de plantas e diâmetro de raiz

No que se refere a AF, ALT<sub>120</sub> e DR, houve diferença significativa em relação a dose de SH, mais uma vez, observa-se um efeito negativo no crescimento e desenvolvimento na dose de 120 mg L<sup>-1</sup> de carbono, com doses acima de 50,7 mg L<sup>-1</sup> de carbono para AF e 41,7 mg L<sup>-1</sup> de carbono para ALT<sub>120</sub>, já se observa um desfavorecimento no crescimento e desenvolvimento das mudas de café (Figura 8).

Figura 8 – Área foliar (a), altura aos 120 dias (b) e diâmetro das raízes (c), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva nas diferentes doses de substâncias húmicas.



A dose de melhor performance para AF das plantas foi de 50,7 mg L<sup>-1</sup> de carbono, para altura de plantas. Aos 120 dias (Alt<sub>120</sub>) foi de 41,7 mg L<sup>-1</sup> de carbono (Figura 8).

Quando ao diâmetro de raiz, a concentração de carbono que resultou em maior diâmetro médio foi 95,5 mg L<sup>-1</sup> de carbono, enquanto a dose que proporcionou menor diâmetro das raízes foi de 23,1 mg L<sup>-1</sup> de carbono. Cumpre destacar que, nesses dados, a ênfase recai sobre as raízes de diâmetro reduzido, principais responsáveis pela absorção de nutrientes. O R<sup>2</sup> de 0,64 relativamente baixo, sugere

que o modelo pode não estar capturando completamente todos os fatores que influenciam essa variável. Pode ser necessário considerar a inclusão de mais variáveis explicativas, explorar interações ou até mesmo considerar modelos mais complexos.

A variável estudada em relação ao diâmetro de raiz respalda as descobertas de Façanha et al. (2002) e Canellas e Santos (2005). No contexto em que o estímulo na atividade da H<sup>+</sup>-ATPase da membrana plasmática, causado pela presença de íons de baixo peso molecular, como por exemplo os ácidos fúlvicos presentes nas SH, parecem promover a formação de pelos radiculares e raízes laterais finas, resultando em um aumento da área superficial do sistema radicular.

A morfologia específica das raízes finas proporciona uma maior área de superfície em comparação com raízes mais grossas, o que facilita a absorção de água e nutrientes essenciais para o desenvolvimento saudável da planta. A utilização das substâncias húmicas como bioestimulante está associada à capacidade de estimular o crescimento das raízes laterais. Quando uma planta desenvolve uma área radicular mais expansiva, é comum que suas raízes se tornem mais finas, ou seja menor diâmetro, especialmente devido a um efeito semelhante ao produzido pela auxina (AIA), o que favorece a absorção de nutrientes e água pelas plantas (Balmori et al., 2014; Zandonadi et al., 2016).

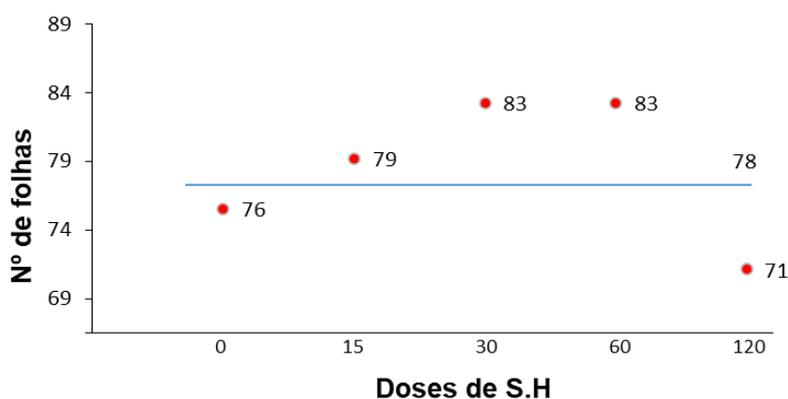
### **Número de folhas**

Na avaliação quantitativa do NF não houve efeito em relação as diferentes doses de SH e o número médio foi 78 ( $\hat{Y}=\bar{Y}=78$ ) (Figura 5). Embora tenham ocorrido diferenças significativas em relação à área foliar não se observou diferença em relação ao número de folhas, isso indica que provavelmente a utilização de SH promoveu aumento da área do limbo foliar.

O número de folhas (Figura 9) revelou ausência de correlação com a área foliar calculada (Figura 8a). Embora se saiba que as substâncias húmicas possam agir como bioestimulantes, modificando a fisiologia da planta e potencialmente aumentando tanto o número de folhas quanto o diâmetro do caule (Rosa et al., 2009), esse efeito não foi evidente neste estudo. Provavelmente o tempo de pesquisa não foi suficiente para expressar tais diferenças, por se tratar de uma cultura perene de crescimento relativamente lento quando comparado com outras espécies de plantas,

o que reforça a necessidade de novas pesquisas sobre a influência das SH nas diferentes fases de crescimento e desenvolvimento do cafeeiro.

Figura 9 – Número de folhas nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva e a média correspondente, nas diferentes doses de substâncias húmica.



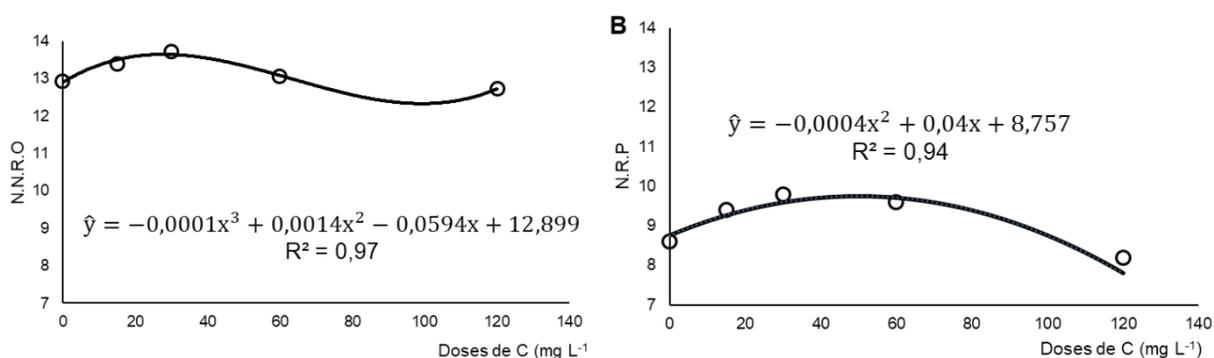
A área foliar, como mencionado anteriormente, apresentou diferença significativa devido ao maior tamanho do limbo foliar (Figura 8a). Teoricamente, o número de folhas apresenta correlação com a área fotossintética da planta, visto que quanto maior o número de folhas, maior será a extensão de área disponível para captar energia luminosa para a fotossíntese (Bonfim-Silva et al., 2020). Porém, nesta pesquisa, o uso de diferentes doses de SH não resultou em diferenças significativas em relação ao número de folhas; no entanto, as plantas que receberam a dose de 50,7 mg L<sup>-1</sup> de carbono apresentaram uma área foliar maior, consequentemente uma maior área fotossintética, conferindo um melhor crescimento.

As substâncias húmicas (SH) podem proporcionar benefícios aos vegetais em diversos estágios de desenvolvimento da planta. Durante o estágio vegetativo, elas têm o potencial de aumentar tanto a área radicular quanto a foliar. As SH podem influenciar o crescimento foliar de várias maneiras, seja estimulando o aumento do número de células ou promovendo a expansão celular. É importante ressaltar que o efeito específico das substâncias húmicas pode variar dependendo das condições particulares de crescimento e das interações específicas entre as SH e a planta (Eyheraguibel; Silvestre; Morard, 2008).

### Número de nós no ramo ortotrópico e número de ramos plagiotrópicos

Em relação a NNRO e NRPO houve diferença significativa nas diferentes doses de SH (Figura 10).

Figura 10 – Número de nós no ramo ortotrópico (a) e número de ramos plagiotrópicos (b), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva nas diferentes doses de substâncias húmicas.



A dose de melhor performance encontrada para número de nós no ramo ortotrópico (NNRO) foi de 27,8 mg L<sup>-1</sup> de carbono, conforme equação de regressão, para número de ramos plagiotrópicos (NRP) a dose de melhor performance encontrada foi de 53,3 mg L<sup>-1</sup> de carbono. O efeito em relação ao número de nós nos ramos ortotrópicos e números de ramos plagiotrópicos se deve a relação do efeito bioestimulante das substâncias húmicas em relação a planta, caracterizado nas demais avaliações morfológicas desta pesquisa.

### Índice de qualidade de Dickson

O resultado da anova do índice de qualidade Dickson (IQD) calculado para as plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas demonstra diferença significativa entre as doses de SH aplicadas, a 5% de probabilidade (Tabela 3).

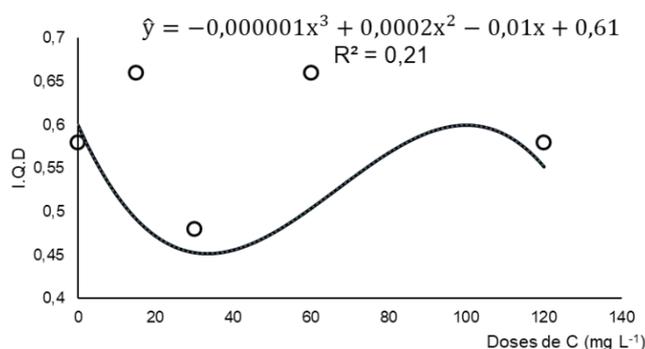
Tabela 3 – Resumo da análise de variância do Índice de Dickson (IQD) calculado nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.

FV	GL	IQD		
		Soma do Quadrado	Quadrado médio	FC
Doses de SH	4	0,3199	0,0799*	3,535
Resíduo	70	1,5837	0,0226	
Total	74	1,9037		
CV (%)	25,43			

\*F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo

No modelo de regressão cúbica, verifica-se que a dose com melhor performance para o IQD foi de 88,89 mg L<sup>-1</sup> de carbono, e a dose de baixa performance foi de 22,39 mg L<sup>-1</sup> de carbono (Figura 11). Além disso, nota-se que em doses acima de 88,89 mg L<sup>-1</sup> de carbono tem-se início um declínio do IQD. No entanto, ressalta-se que o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) da equação de regressão associada ao IQD foi consideravelmente baixo (R<sup>2</sup>=0,21), sugerindo que apenas uma fração limitada da variabilidade do IQD é explicada pelo modelo de regressão proposto. Tal fato demonstra a complexidade do processo de utilização das SH sobre o índice de qualidade do desenvolvimento das plantas de café.

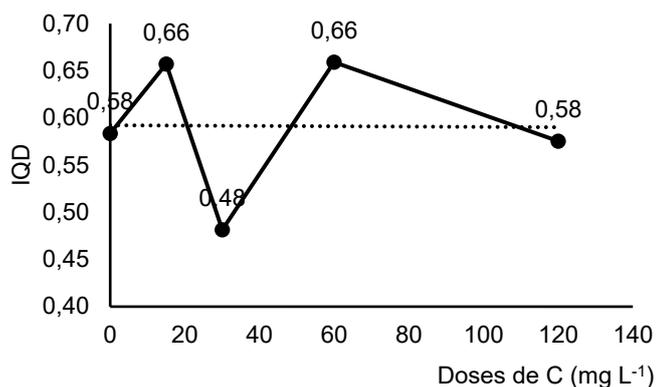
Figura 11 – Índice de qualidade de desenvolvimento (índice de Dickson) em relação as mudas de café.



Apesar do baixo valor de R<sup>2</sup> obtido no modelo de regressão cúbica, é possível observar que o índice de Dickson das plantas de café, cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas, apresentaram valores conside-

rados satisfatórios, pois variaram de 0,48 a 0,66, nas doses de 30 e 60 mg L<sup>-1</sup> de carbono, respectivamente (Figura 12).

Figura 12 – Índice médio de qualidade de desenvolvimento das plantas de café (IQD), cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.



Em um estudo sobre crescimento de mudas de café produzidas em tubetes com diferentes substratos o índice de Dickson demonstrou ser uma ótima ferramenta para avaliar o desenvolvimento. Nesse trabalho foi observado melhor desenvolvimento das plantas com valor de IQD de 0,21 (Marana et al., 2008). Em outra pesquisa sobre o uso do IQD para avaliar mudas de café arábica cultivadas com diferentes proporções de material orgânico, observou-se que mudas melhor desenvolvidas foram obtidas nas proporções de 32% de esterco de bovino e 31,75% de cama de frango, por propiciar plantas com IQD de 0,62 e 0,69, respectivamente (Silva et al., 2011). Ao avaliar a qualidade de mudas do café conilon vitória produzidas em viveiros, Pereira et al. (2013) observaram valores de IQD de 0,42 a 0,70 em mudas com bom desenvolvimento, valores esses similares aos observados neste trabalho. Entretanto, Dardengo et al. (2011) ao caracterizarem o crescimento e qualidade de mudas do Conilon Vitória, observaram que as melhores mudas foram obtidas com valor de IQD de 0,32. Tais fatos reforçam que os IQDs observados nessa pesquisa estão de acordo com o esperado para o bom desenvolvimento de plantas de café.

## 6.2 Acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e raízes

Nas análises dos dados relacionados aos acúmulos de nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn nas partes, não foram observadas diferenças significativas em relação às doses de SH nas folhas. No caule, houve diferença em relação às doses nos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg (Tabela 4), não sendo observada diferença nos micronutrientes avaliados (Tabela 5). Na raiz, não houve diferença significativa em relação às doses nos macronutrientes e micronutrientes (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de macronutrientes - nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg), nas folhas, caules e raízes das plantas de café cultivadas em solução nutritiva, com diferentes doses de substâncias húmicas.

FV	GL	Quadrado médio				
		N	P	K	Ca	Mg
<b>Folhas</b>						
Doses de SH	4	36809 <sup>ns</sup>	81,539 <sup>ns</sup>	27035*	10686,3 <sup>ns</sup>	509,62 <sup>ns</sup>
Resíduo	70	17292	34,643	4143,4	5655,7	216,52
Total	74					
CV (%)		25,05	25,96	24,81	25,96	25,96
<b>Caule</b>						
Doses de SH	4	3060,88*	68,273*	11194,3*	598,30*	614,46*
Resíduo	70	930,22	5,669	1464,6	209,22	51,02
Total	74					
CV (%)		29,12	27,94	32,96	32,45	27,94
<b>Raízes</b>						
Doses de SH	4	9806,8*	12,043 <sup>ns</sup>	21733*	978,23 <sup>ns</sup>	108,39 <sup>ns</sup>
Resíduo	70	2172,2	2,997	1969	200,1	26,97
Total	74					
CV (%)		32,47	32,33	34,15	37,8	32,33

\*F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para o acúmulo de micronutrientes - cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn), nas folhas, caules e raízes das plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.

FV	GL	Quadrado médio			
		Cu	Mn	Fe	Zn
<b>Folhas</b>					
Doses de SH	4	1639,5 <sup>ns</sup>	19135 <sup>ns</sup>	415681*	2580,6*
Resíduo	70	1272,8	21043	159616	949,31
Total	74				
CV (%)		107,85	30,64	27,87	24,15
<b>Caule</b>					
Doses de SH	4	235,9 <sup>ns</sup>	16476 <sup>ns</sup>	58463 <sup>ns</sup>	1065,9 <sup>ns</sup>
Resíduo	70	602,9	66905	26422	1323,2
Total	74				
CV (%)		106,78	36,63	28,88	36,99
<b>Raízes</b>					
Doses de SH	4	1083,9 <sup>ns</sup>	11424*	120799*	6072,1*
Resíduo	70	1071,9	44488	46189	2095,7
Total	74				
CV (%)		43,6	50,89	42,16	42,57

\*F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

### Folhas

Nas folhas houve diferença significativa em relação ao acúmulo de potássio, ferro e zinco sendo 90,05 mg L<sup>-1</sup> de carbono a dose que permitiu maior acúmulo de K.(Figura 13). Em relação ao Fe houve um decréscimo inicial até a dose de 70,5 mg L<sup>-1</sup> de carbono seguido por um aumento após esta dose, para o Zn a dose que permitiu maior acúmulo foi de 93,8 mg L<sup>-1</sup> de carbono (Figura 14). Para os demais macronutrientes, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em relação aos teores foliares. Essa constatação segundo Assis (2021), pode estar associada às condições ideais para a absorção de nutrientes que são comuns em cultivos hidropônicos. No entanto, resultados contrastantes foram reportados por Silva (2001), que, ao investigar a adição de oito bioestimulantes em quatro doses diferentes no cultivo de alface hidropônica, observou um aumento significativo nos teores de todos os macronutrientes com a dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de SH na solução nutritiva.

Figura 13 – Acúmulo de potássio (mg) nas folhas das plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.

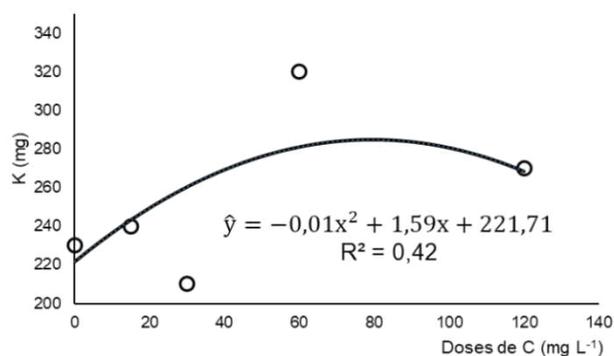
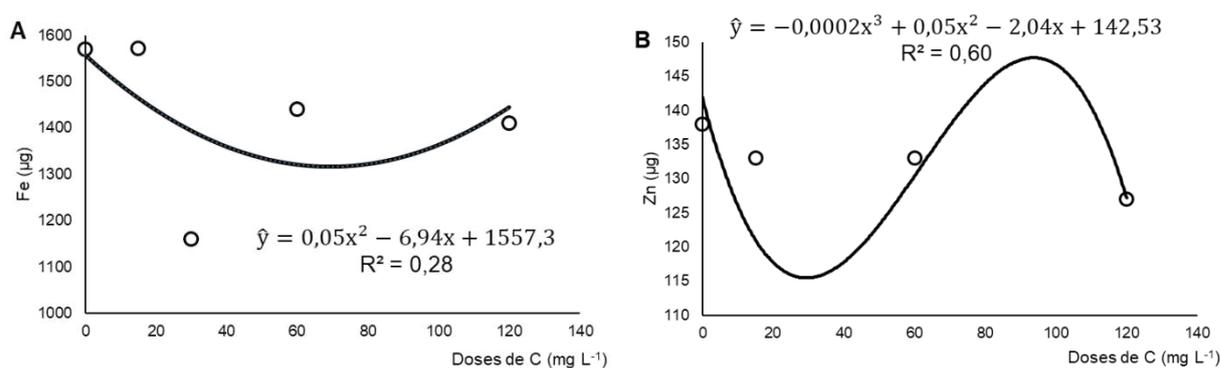


Figura 14 – Acúmulo de ferro (a) e zinco (b) nas folhas das plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.



A observação da Anova acima corrobora com a afirmação de Canellas e Santos (2005) que dizem que a melhoria na absorção de nutrientes, induzida pela presença de substâncias húmicas na solução, é comumente associada ao incremento da permeabilidade da membrana plasmática, mediada pela ação dessas substâncias, e à ativação da H<sup>+</sup>-ATPase de membrana plasmática.

Utilizando o modelo de regressão para os dados de acúmulo de nutrientes na folha. Como evidenciado na curva, constatou-se um aumento inicial na absorção do macronutriente K em relação as doses de SH, seguido por uma subsequente diminuição na absorção após a dose de 90,05 mg L<sup>-1</sup> (Figura 13). Em relação ao Fe, observou-se o inverso com uma diminuição inicial até a dose 70,00 mg L<sup>-1</sup> seguido por um aumento após está dose. Observa-se no modelo de regressão ajustado para os dados de acúmulo de Zn na folha (figura 14b) que a dose de menor acúmulo é de

29,5 mg L<sup>-1</sup>, enquanto a dose de maior acúmulo é de 93,83 mg L<sup>-1</sup>, seguido por uma diminuição após esta dose.

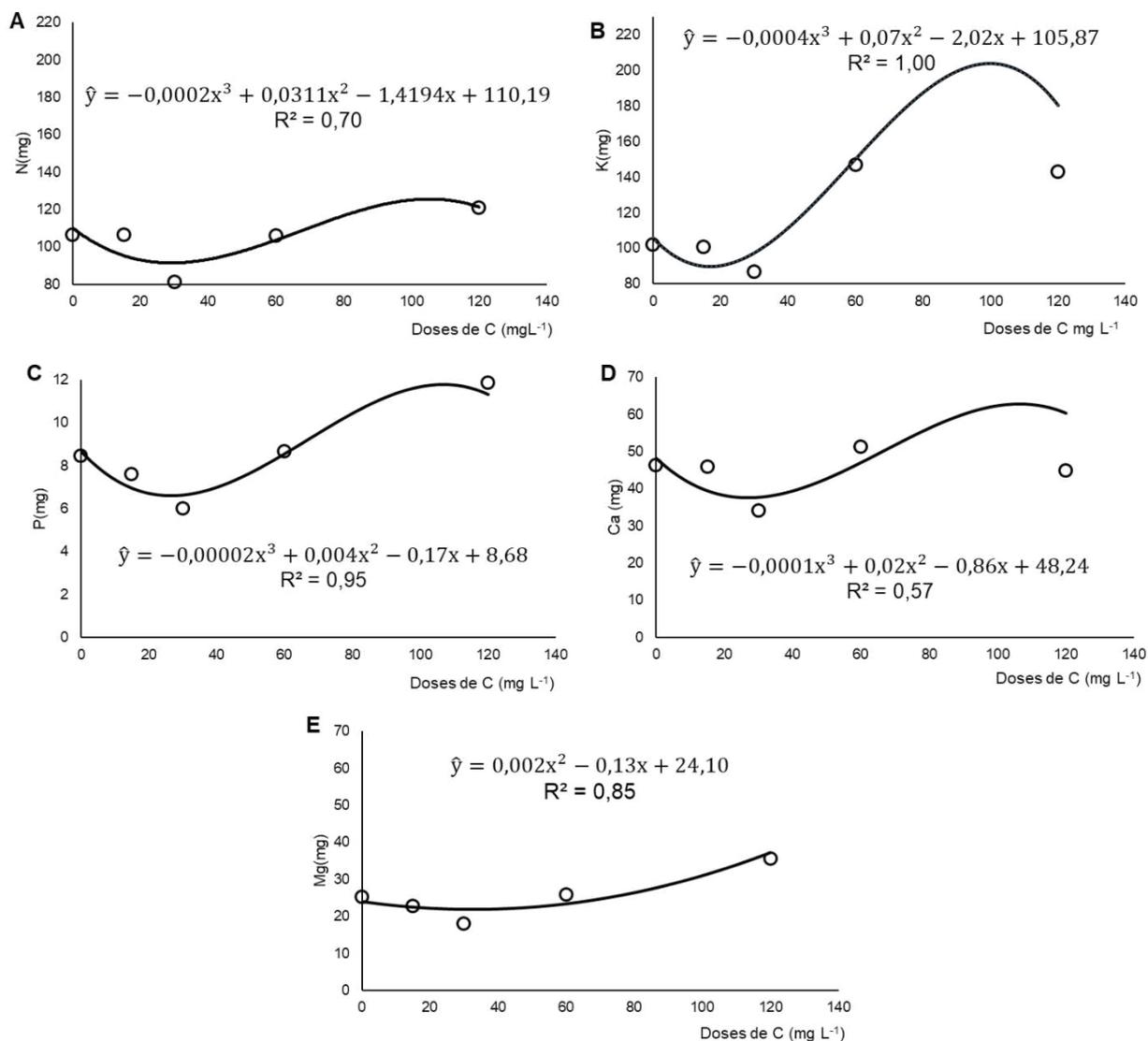
A análise de variância realizada para investigar a relação entre as doses de SH e o acúmulo de K, Fe e Zn nas folhas, revelou resultados significativos, sugerindo uma influência das doses de SH sobre o processo de absorção, refletido no acúmulo. No entanto, é importante notar que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da equação de regressão associada a esses resultados foi relativamente baixo, sugerindo que apenas uma fração limitada da variabilidade no acúmulo do nutriente é explicada pelo modelo de regressão proposto. Este achado levanta questões pertinentes à complexidade dos efeitos das SH no acúmulo de nutrientes pelas plantas de café. Embora os resultados indiquem respostas estatisticamente significativas das variáveis examinadas, às doses de SH, o baixo valor de  $R^2$  sugere que outros fatores não considerados no presente estudo podem desempenhar um papel significativo nesse processo.

Entre as possíveis explicações para o baixo  $R^2$  estão a presença de efeitos não mensurados ou não incluídas na análise, limitações nos métodos de coleta de dados ou no modelo estatístico utilizado, bem como a complexidade inerente ao efeito das SH no acúmulo de nutrientes pelo organismo.

### **Caule**

As doses de melhor performance encontradas para acúmulo de macronutrientes no caule foram: nitrogênio 105,3 mg L<sup>-1</sup>, fósforo 110,1 mg L<sup>-1</sup>, potássio 93,8 mg L<sup>-1</sup>, cálcio 91,2 mg L<sup>-1</sup>. Em relação ao magnésio houve um decréscimo de acúmulo até a dose de 33,9 mg L<sup>-1</sup> de carbono, com aumento após esta dose (Figuras.15). Em relação aos micronutrientes não houve diferenças significativas.

Figura 15 – Acúmulo de macronutrientes - nitrogênio (a), potássio (b), fósforo (c), cálcio (d) e magnésio (e) no caule das plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.



Durante a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas podem ocorrer interações de sinergismo ou antagonismo tais como:  $K^+$  e  $Mg^{+2}$ ;  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ ;  $NH_4^+$  e  $K^+$ ;  $K^+$  e  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{-3}$  e  $Zn^{+2}$  (Xie et al., 2021). A disponibilidade de  $K^+$  e a sua absorção pelas plantas estão diretamente relacionadas com a disponibilidade dos cátions  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , sendo a absorção do  $K^+$  preterida em comparação com outras espécies catiônicas por sua menor carga iônica. Assim, uma maior disponibilidade de  $K^+$  pode intensificar o efeito competitivo sobre a absorção do  $Ca^{2+}$  e do  $Mg^{2+}$ , sendo mais efetivo sobre o Mg (Marschner, 2022).

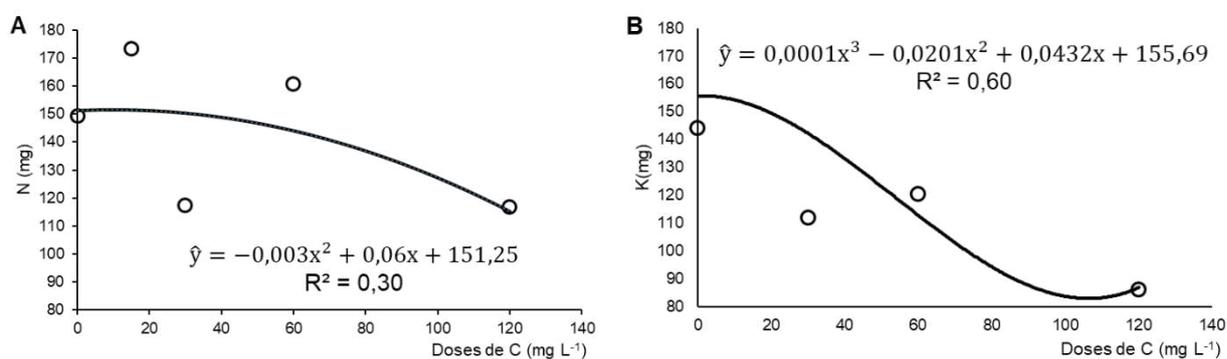
De maneira geral, o aumento da quantidade absorvida de um cátion pode resultar na redução da absorção de outro cátion (Marschner, 2022), como foi observado em relação ao Mg e ao K nesta pesquisa. Segundo Oliveira, Carmello e Mascarenhas (2001), a maior disponibilidade de K no solo, com a aplicação de 90 mg de KCl dm<sup>-3</sup>, aumentou a relação Ca/Mg e reduziu as relações (Ca+Mg)/K, Ca/K e Mg/K nas folhas de soja, sendo mais drástica a redução da relação Mg/K. Tais fatos evidenciam o maior efeito antagônico do K sobre a absorção de Mg do que sobre a de Ca.

Maiores disponibilidade de Ca, por meio da calagem, podem promover um incremento nas concentrações de Ca e Mg no solo, relativamente à do K, reduzindo assim a absorção de K<sup>+</sup> pelas raízes e provocar até sua deficiência (Goedert et al., 1975). Por outro lado, esta maior disponibilidade de Ca pode favorecer a manutenção do teor de K<sup>+</sup> trocável no solo, por elevar a CTC efetiva e reduzir as perdas por lixiviação. Em determinada situação, também pode favorecer a disponibilidade de K às plantas mais do que a de Ca e Mg, devido ao menor grau de atração do K<sup>+</sup> pelas cargas negativas do solo (Barber; Humbert, 1963). Para se manter o equilíbrio na absorção a proporção ideal de cátions no complexo de troca deve ser de aproximadamente 65% de Ca<sup>2+</sup>, 10% de Mg<sup>2+</sup>, 5% de K<sup>+</sup> e 20% de H<sup>+</sup>, com saturação de cátions próxima a 80%, porém, essa proporção varia conforme a cultura, o tipo de solo, bem como o nível de saturação por bases (Bear; Toth, 1948).

### **Raízes**

Nas raízes em relação aos macronutrientes houve um decréscimo no acúmulo de nitrogênio em correlação às doses de SH. Com o potássio houve um decréscimo em relação ao acúmulo até a dose de 106,39 mg L<sup>-1</sup>, com crescimento no acúmulo após está dose (Figuras 16).

Figura 16 – Acúmulo de nitrogênio (a) e potássio (b) nas raízes das plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.



Em relação aos micronutrientes houve diferença significativa para Mn, Fe e Zn, sendo que a dose que permitiu maior acúmulo para o manganês foi de 89,0 mg L<sup>-1</sup> e a dose de menor acúmulo de 28,58 mg L<sup>-1</sup>. Para o ferro e zinco houve diminuição em relação ao acúmulo desses micronutrientes com aumento das doses de SH. Como mencionado anteriormente, embora os resultados tenham sido significativos, indicando uma influência dessas variáveis sobre o processo de absorção, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da equação de regressão, associada a esses resultados, foi relativamente baixo. Os valores de  $R^2$  para as equações de regressão do Mn, Zn e Fe foram, respectivamente, 0,42, 0,25 e 0,31, o que demonstra que apenas uma fração limitada da variabilidade na absorção do nutriente é explicada pelo modelo de regressão proposto.

Segundo Maggioni et al. (1987) os ácidos húmicos e fúlvicos podem favorecer a absorção de nutrientes via efeito enzimático, através da atividade de ATPase dependente de K<sup>+</sup>. Além disso, os ácidos húmicos podem interferir direta ou indiretamente no mecanismo que regula a absorção de íons, sendo por complexação de íons metálicos e/ou competição por sítios ligantes e consequentemente afetar o crescimento e a produtividade das culturas (Nardi et al., 2002).

### 6.3 Acúmulo total de nutriente pela planta

Conforme resumo da análise de variância, houve diferença significativa em relação às doses de SH para a acúmulo total apenas nos macronutrientes P, K, e Mg, para os demais macronutrientes e micronutrientes não houve diferença significativa a 5% de probabilidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância do acúmulo total de nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e Zinco (Zn), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.

FV	GL	Quadrado médio				
		N	P	K	Ca	Mg
Doses de SH	4	85456 <sup>ns</sup>	263,78*	64498*	20986 <sup>ns</sup>	1977,89*
Resíduo	70	36964	78,864	15518	8835,9	567,94
Total	74					
CV (%)		24,88	24,30	24,64	25,29	24,24

FV	GL	Quadrado médio			
		Cu	Mn	Fe	Zn
Doses de SH	4	2888,2 <sup>ns</sup>	40460 <sup>ns</sup>	164758*	19791,3*
Resíduo	70	4352,1	28832	603688	7725,7
Total	74				
CV (%)		50,29	29,00	34,64	26,36

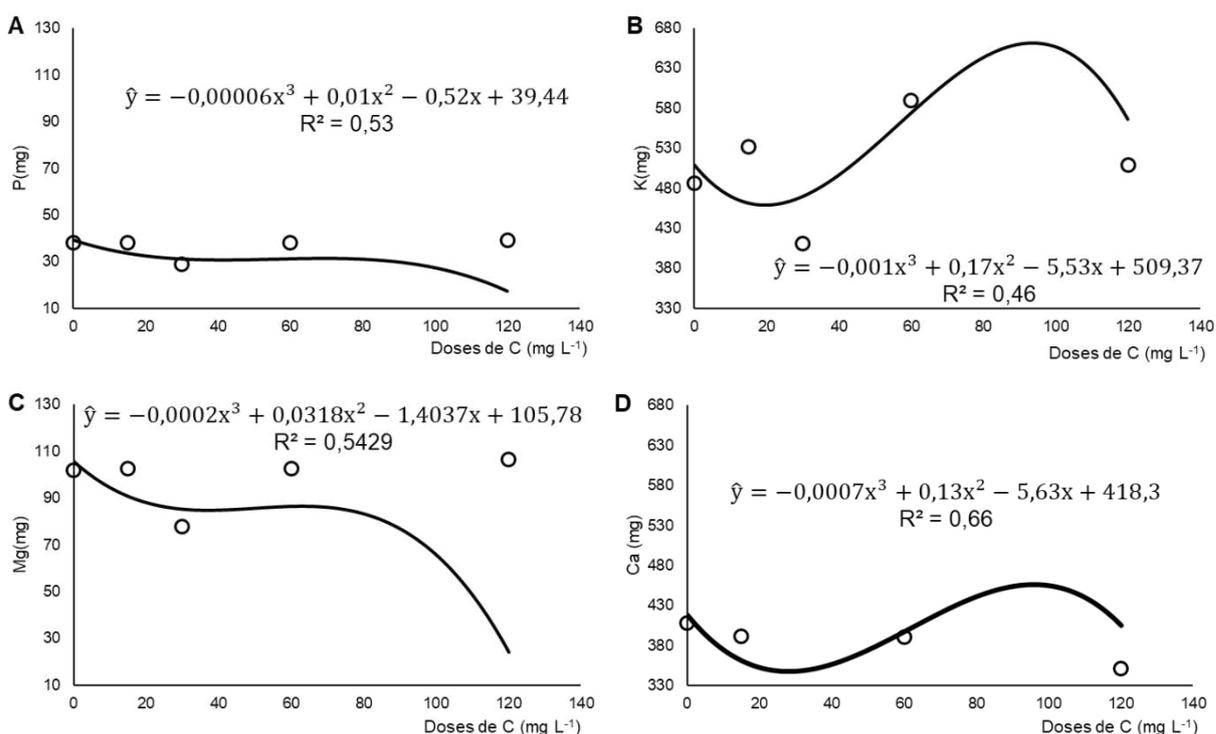
\*F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo

Aplicamos o modelo de regressão aos dados do acúmulo total de nutrientes pela planta para avaliar a influência das variáveis independentes sobre essa variável dependente. A dose de máximo acúmulo encontrada para o acúmulo total de macronutrientes pela planta foram: potássio 89,47 mg L<sup>-1</sup> de carbono, fósforo 98,03 mg L<sup>-1</sup> de carbono e magnésio 98,40 mg L<sup>-1</sup> (Figura 17). Para micronutrientes a dose de máximo acúmulo encontrada para acúmulo de ferro foi de 83,87 mg L<sup>-1</sup> e para zinco a dose ideal encontrada e de 88,45 mg L<sup>-1</sup> de carbono (Figura 18).

Os estudos corroboram com o encontrado por Canellas e Santos (2005), que dizem que as substâncias húmicas propiciam um aumento na absorção de nutrientes, devido a certos atributos como: aumento da permeabilidade da membrana plasmática e potencializam a estimulação da H<sup>+</sup>-ATPase da membrana plasmática. As H<sup>+</sup>-ATPases, também conhecidas como bombas de H<sup>+</sup>, são enzimas transmembranares que têm a capacidade de hidrolisar ATP, resultando na geração de energia e gradiente eletroquímico. Esse processo está diretamente associado a mecanismos

essenciais para o desenvolvimento e crescimento vegetal: a energização de sistemas secundários de translocação de íons, cruciais para a absorção de macro e micronutrientes, e o aumento da plasticidade da parede celular, facilitando o processo de divisão celular (Rodda et al., 2006).

Figura 17 - Acúmulo total de macronutrientes – fósforo (a), potássio (b), magnésio (c) e cálcio (d) nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.



Os resultados observados indicam uma redução no acúmulo total de nutrientes com a dose de 30 mg L<sup>-1</sup>, que pode estar associado ao efeito eustress nessa dose específica. Ressalta-se que o stress pode ser interpretado como bifásico, podendo ser eustress (construtivo) e distress (destrutivo), visto que o eustress é considerado um stress adaptativo, de baixo nível e “positivo” e, o distress um stress não adaptativo, de alto nível e “negativo”. Em uma planta, tal efeito pode ser considerado semelhante à uma resposta hormonal bifásica (Sonmez; Ozgur; Uzilday, 2023; Larcher, 2003; Selye, 1964; Lichtenthaler; Rinderle, 1988; Jansen; Potters, 2017).

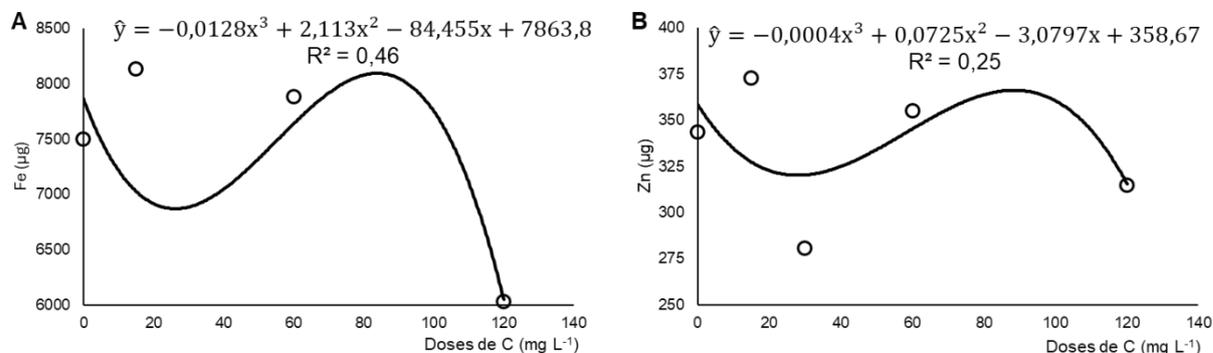
Segundo Jansen e Potters (2017), o eustress pode proporcionar um novo estado estável no metabolismo das plantas, quando submetidas a novas condições.

Isto posto, o eustress também pode ser interpretado como um aumento na capacidade adaptativa de um organismo, como a alostase (Kupriyanov; Zhdanov, 2014). A alostase é um mecanismo que garante a um organismo a estabilidade fisiológica perante um stress, ou seja, garante uma maior capacidade adaptativa. Neste caso, a alostase significa que o eustress aumenta a tolerância do organismo ao stress. Essa maior tolerância é o resultado de possíveis alterações em alguns parâmetros fisiológicos, como antioxidantes ou proteínas de choque térmico (HSPs) ou hormônios (Hossain et al., 2015; Liu; Ho, 2018; Carvalho; Silveira, 2020), ou sejam a planta (ambiente interno) está se adaptando as condições adversas (Sonmez; Ozgur; Uzilday, 2023).

Portanto, o eustress está associado a alostase paradigma, logo o stress necessariamente não causará danos permanentes, mas pode favorecer uma maior tolerância, assim como a um incremento no crescimento ou nos parâmetros fotossintéticos, que são considerado consequências do eustress (Erofeeva, 2021; Jalal et al., 2021; Erofeeva, 2022a, 2022b; Sonmez; Ozgur; Uzilday, 2023). Deste modo, os eustressores químicos, que dependendo da dose, podem promover a defesa das plantas contra condições adversas de crescimento. Certas concentrações podem induzir um estado fisiológico de eustress na planta, por meio da regulação do mecanismo de sinalização e do metabolismo redox, de forma semelhante aos mecanismos hormonais, conduzindo a planta a uma compensação fisiológica que gera efeitos positivos no crescimento e rendimento (Castro et al., 2021; Vázquez-Hernández et al., 2019; Sies, 2019).

Desta forma, as substâncias húmicas podem atuar como eustressor químico, pois constitui um grupo de compostos estruturalmente complexos que podem proteger e estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas (García et al., 2019; Olk et al., 2019), o que justifica o decréscimo no crescimento e sua retomada com a aplicação da dose de 30 mg L<sup>-1</sup>.

Figura 18 – Acúmulo total de micronutrientes – ferro (a) e zinco (b), nas plantas de café cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de substâncias húmicas.



As substâncias húmicas podem favorecer o processo de absorção e acúmulo de Fe, pois os complexos de Fe se ligam facilmente à plasmalema, possibilitando assim a formação de folhas com elevadas concentrações desse micronutriente. (Mengel; Kirkby, 1987). Essa elevação pode ser explicada pela maior capacidade de solubilização do ferro devido à sua complexação com as substâncias húmicas. Alternativamente, pode-se atribuir o aumento à conversão do  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$  pelos ácidos húmicos, o que resulta em uma maior disponibilidade para as plantas (Adani et al., 1998). Acima de uma concentração de  $83,8 \text{ mg L}^{-1}$ , observou-se uma diminuição na absorção de ferro (Figura 18a), possivelmente devido à liberação de hidroxilas a partir dos grupos fenólicos das substâncias húmicas (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997).

A interação substâncias húmicas e ferro pode afetar diretamente a absorção desse elemento pelas plantas quando presentes em solução nutritiva e pode se dar principalmente devido a presença dos grupos OH da estrutura húmica (Schwertmann; Wagner; Knicker, 2005), como grupos fenólicos ligados às cadeias alquila e a estruturas mais hidrofóbicas (Dobbs et al., 2009).

O efeito dos ácidos húmicos no aumento do acúmulo de Zn (Figura 18b) pode ser atribuído à formação de complexos solúveis, aumentando a sua disponibilização para a planta. Os efeitos iniciais de uma absorção reduzida de zinco e ferro podem ser explicados pela possível interação competitiva, ocorrendo no nível da membrana celular por meio do sítio ativo do carregador de íons (Lima et al., 2011).

Fatores como ambiente edáfico, cultivar e condições climáticas surgem como potenciais impulsionadores das variações nos mencionados efeitos bioestimulan-

tes das substâncias húmicas, podendo influenciar não apenas as características morfológicas das mudas de café, mas também os processos de absorção e eficiência nutricional das plantas. Desta forma, é imprescindível a realização de novas pesquisas, destacando-se a importância de investigar minuciosamente o efeito bioestimulante dessas substâncias em diferentes condições de cultivo a campo.

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam uma influência significativa das substâncias húmicas no crescimento, desenvolvimento e composição nutricional das plantas de café.

A faixa de concentrações que proporciona os maiores efeitos estimulantes nas características morfológicas das plantas está entre 48 e 53 mg L<sup>-1</sup>.

O maior acúmulo dos nutrientes K, P, Mg, Fe e Zn na planta ocorre em doses entre 83,8 e 98,4 mg L<sup>-1</sup>

As doses acima da faixa de 53 a 105 mg L<sup>-1</sup> de substâncias húmicas causam diminuição do efeito bioestimulante ou redução no crescimento e desenvolvimento das mudas de café, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ADANI, F.; GENEVINI, P.; ZACCHEO, P.; ZOCCH, G. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, p. 561-575, 1998.
- ALVAREZ, V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Apresentação de equações de regressão e suas interpretações. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 28-32, 2003.
- ALVES, J. D.; GUIMARÃES, R. J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras: UFLA, 2010. p. 169-215.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*, 12.ed. Washington, 1975. 1094p.
- ARAÚJO, R. F.; ARAUJO, E. F.; CECON, P. R.; SOFIATTI, V. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despulpado e não despulpado. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30, n. 3, p. 071-078, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/93RmNmchLjTCYLCX3y5s8VM/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- ASSIS, K.C.C. Substâncias bioestimulantes no cultivo do alface em diferentes épocas. Botucatu, 59 p. fev. 2021. Dissertação (mestrado)– Universidade estadual paulista.
- ATIYEH, R. M.; LEE, S.; EDWARDS, C. A.; ARACÓN, N. Q.; METZGER, J. D. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biology Technology*, v. 84, p. 7-14, 2002.
- AZEVEDO, H. P. A.; VIANA, M. T. R.; VIDAL, D. A.; SOARES, J. D. R.; ZITO, P. C.; PEREIRA, I. C.; NUNES, P. S. O. Vigor vegetativo de mudas clonadas de *Coffea arabica* submetidas a tratamento com substâncias húmicas. 43º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. CBPC (43.:2017: Poços de Caldas, MG) - Anais [434] 2017. Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9294/111\\_43-CBPC-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9294/111_43-CBPC-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acessado em: 05 de fevereiro de 2023.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, v. 61, p. 856-881, 2014.

- BALDOTTO, M.A.; MUNIZ, R. C.; BALDOTTO, L. E. B.; DOBBSS, L. B. Root growth of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. treated with humic acids isolated from typical soils of Rio de Janeiro state, Brazil. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 4, p. 504-511, 2011.
- BALDOTTO, M.A.; SOUZA, A. C.; VIANA, M. C. M.; ALMEIDA, D. D.; BALDOTTO, L. E. B. Bioatividade de substâncias húmicas extraídas de solos manejados com integração, lavoura, pecuária, floresta. *Revista Ceres*, v. 64, p. 451-459, 2017.
- BALDOTTO, L. E. B.; BALDOTTO, M. A.; GIRO, V. B.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; SMITH, R. B. Desempenho do abacaxizeiro "Vitória" em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante aclimação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 979-990, 2009.
- BALDOTTO, L. E. B.; BALDOTTO, M. A.; Gontijo, J. B.; OLIVEIRA, F. M.; GONÇALVEZ, J. Aclimação de orquídeas (*Cybidium* sp.) em resposta a aplicação de ácidos húmicos. *Ciência Rural*, v. 44, p. 830-833, 2014.
- BALMORI, D. M.; SPACCINI, R.; AGUIAR, N. O. A.; NOVOTNY, E. H.; OLIVARES, F. L.; CANELLAS, L. P. Molecular characteristics of humic acids isolated from vermicomposts and their relationship to bioactivity. *Journal Agricultural Food Chemistry*, v. 62, p. 11412–11419, 2014.
- BARBER, S. A.; HUMBERT, R. P. Advances in knowledge of potassium relationship in the soil and plant. In: McVICKAR, M. H.; BRIDGER, G. L.; NELSON, L. B. *Fertilizer technology and uses*. Madison: SSSA, 1963. cap.11, p.231-268.
- BARONE, V., BERTOLDO, G., MAGRO, F., BROCCANELLO, C., PUGLISI, I., BAGLIERI, A., CAGNIN, M., CONCHERI, G., SQUARTINI, A., PIZZEGHELLO, D.; NARDI, S.; STEVANATO, P. Molecular and Morphological Changes Induced by Leonardite-based Biostimulant in *Beta vulgaris* L. *Plants*, v. 8, n. 181, p. 1–18, 2019.
- BARROS, I. Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas. Piracicaba, 1997. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of calcium on availability of other soil cations. *Soil Science*, v.65, p.69-74, 1948.

- BEHLING, M.; NEVE, J. C. L.; BARROS, N. F.; KISHIMOTO, C. B.; SMIT, L. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 38, n. 5, p. 837-846, 2014.
- BENTO, J. F. A. R. ZAMBELI, A. S.; FREITAS, A. S.; SOARES, M. G. O.; SILVA, F. E. A. Impacto de ácidos húmicos e fúlvicos na produção de mudas de cafeeiro. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 67277-67285, jul. 2021.
- BONFIM-SILVA, E. M.; FERNANDES, G. B.; ALVES, R. D. S.; CASTAÑÓN, T. H. F. M.; SILVA, T. J. A. Adubação mineral, orgânica e organomineral na cultura do rabanete. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 23300-23318, 2020.
- BORCIONI, E.; MÓGOR, Á. F.; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 509-515, jul-set, 2016.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Revista Ceres*, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- BREMNER, J. M. Total nitrogen. In: BLANCK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, Part 2, p. 1149-1178, 1965.
- BURLAKOV, J.; KĻAVIŅŠ, M.; OSINSKA, L.; PURMALIS, O. The impact of humic substances as remediation agents to the speciation forms of metal in soil. *APCBEE Procedia*, v. 5, p. 192-196, 2013.
- CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 3, p.233-240, mar. 2004.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A. L.; FAÇANHA, A. R. Humic acids isolated from earthworm induces root mitotic sites and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase. *Plant Physiology*, v. 30, p. 1951-1957, 2002.
- CANELLAS, L. P.; ZANDONADI, D. B.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. R. Efeitos fisiológicos de substâncias húmicas – o estímulo as H<sup>+</sup>-ATPases. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) *Nutrição Mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 173-200. 2006.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 1, p. 03-14. 2014.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, UENF. 2005, 348p.

- CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. C. Condicionadores do solo – Ácidos húmicos e fúlvicos. Piracicaba, SP: ESALQ – Divisão de Biblioteca, 2015. 46 p. (Série Produtor Rural, nº 58).
- CARVALHO, A. M. D.; GUIMARÃES, R. J.; MOURA, C. A.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R. Recuperação de mudas de cafeeiro em tubetes através de podas. *Coffee Science*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 79-86, jan./jun. 2007.
- CARVALHO, F. E. L.; SILVEIRA, J. A. G. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-retrograde signaling as a pivotal mechanism to understand priming and cross stress tolerance in plants. *Priming-Mediated Stress and Cross-Stress Tolerance in Crop Plants*. Academic Press, p. 57–78, 2020.
- CASTRO, T. A. van T.; BERBARA, R. L. L.; TAVARES, O. C. H.; MELLO, D. F. G.; PEREIRA, E. G.; SOUZA, C. C. B.; ESPINOSA, L. M.; GARCÍA, A. C. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. v. 162, p. 171-184, May 2021.
- CASTRO, P. R. C.; CARVALHO, M. E. A.; MENDES, A. C. M.; ANGELINI, B. G. *Manual de Estimulantes Vegetais*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2017. 453p.
- COMPÊNDIO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS: Guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola. 10. ed. Atualizada e revisada. São Paulo: Andrei, 2017. 1620p.
- CASADESÚS, A.; POLO, J.; MUNNÉ-BOSCH, S. Hormonal effects of an enzymatically hydrolyzed animal protein-based biostimulant (pepton) in waterstressed tomato plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 1–11, 2019.
- COSTA, F. C. *Café: a indústria que movimenta a economia, a história e o coração dos mineiros*. FIEMG – Federação da Indústria do Estado de Minas Gerais, 2021. Disponível em: <<https://www7.fiemg.com.br/regionais/centro-oeste/noticias/detalhe/cafes-a-industria-que-movimenta-a-economia-a-historia-e-o-coracao-dos-mineiros>>. Acesso em: 2 novembro de 2023.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento: Produção de café cresce 8,2% em 2023 e chega a 55,1 milhões de sacas. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5323-producao-de-caffe-cresce-8-2-em-2023-e-chega-a-55-1-milhoes-de-sacas>>. Publicado: quinta, 14 de dezembro de 2023. Acesso em 03/01/2024.

- CONSELVAN, G. B.; PIZZEGHELLO, D.; FRANCIOSO, O.; FOGGIA, M. DI; NARDI, S.; CARLETTI, P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites. *Plant and Soil*, v. 420, p. 119–134, 2017.
- DARDENGO, M. C. J. D.; AZEVEDO, J. M. G.; PEREIRA, L. R.; SANT'ANA, B. T.; RAFAEL, A. M. Caracterização do crescimento e qualidade de mudas do conilon vitória. *Anais... Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, 37. Poços de Caldas-MG. MAPA/PROCAFÉ. p 202-204. 2011
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, v.36,p.10-13, march 1960.
- DOBBS, L. B.; RUMJANECK, V. M.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; CANELLAS, L. P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 33, p. 51-63, 2009.
- DU JARDIN, P., 2012. The Science of Plant Biostimulants—A bibliographic analysis. Ad hoc Study Report to the European Commission DG ENTR. 2012; [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final report bio 2012 en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_bio_2012_en.pdf).
- ELENA, A.; DIANE, L.; BACAICOA, E.; FUENTES, M.; BAIGORRI, R.; ZAMARREÑO, A. M.; GARCÍA-MINA, J. M. The root application of a purified leonardite humic acid modifies the transcriptional regulation of the main physiological root responses to Fe deficiency in Fe-sufficient cucumber plants. *Plant Physiol Biochem*, v. 47, n. 3, p. 215–223, 2009.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Exportações dos cafés do Brasil atingem 35 milhões de sacas e receita cambial recorde de US\$ 9,23 bi em 2023. Embrapa Notícias 20/07/2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-denoticia/77856850/exportacoes-dos-cafes-do-brasil-atingem-35-milhoes-de-sacas-e-receita-cambial-recorde-de-us-923-bi-em-2023>>. Acesso em: 19/12/2023.
- EROFEEVA, E. A. Plant hormesis and shelford's tolerance law curve. *J. For. Res.* 32 (5), 1789–1802. 2021.
- EROFEEVA, E. A. Environmental hormesis of non-specific and specific adaptive mechanisms in plants. *Sci. Total Environ.* 804, 2022a.
- EROFEEVA, E. A. Hormesis in plants: its common occurrence across stresses. *Curr. Opin. Toxicol.* 30, 2022b.

- EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 4206–4212, 2008.
- FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 1301-1310, 2002.
- FERREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. A.; VON PINHO, E. V. R.; QUEIROZ, D. L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. C.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes.pt: Experimental Package Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. (2018). Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acessado em 11 de dezembro de 2023.
- FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BENITES, V. M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra, Cruz das Almas – BA*, v. 22, n. 1, p. 49-56, jan./mar. 2010.
- GARCÍA, A. C. CASTRO, T. A. van T.; SANTOS, L. A.; TAVARES, O. C. H.; CASTRO, R. N.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA-MINA, J. M. Structure–property–function relationship of humic substances in modulating the root growth of plants: a review. *Journal Environmental Quality*. v. 48, n. 6, p. 1622-1632, 2019.
- GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.
- GOEDERT, W. J.; COREY, R. B.; SYERS, J. K. The effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Science*, v.120, p.107-111, 1975.
- GOMES, D. J. S. Aceleração da compostagem em resposta à inoculação bacteriana. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa]. Florestal, MG: 88 p, março 2021.

- HENRIQUE, P. C.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; GOULART, P. F. P.; LIVRAMENTO, D. E. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 5, p. 458-465, maio 2011.
- HOSSAIN, M. A.; BHATTACHARJEE, S.; ARMIN, S. M.; QIAN, P.; XIN, W.; LI, H. Y.; BURRITT, D. J.; FUJITA, M.; TRAN, L. S. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. *Front. Plant Sci.* 6, 420. 2015.
- IHSS - International Humic Substances. Society Natural Organic Matter Research. Isolation of IHSS Samples. 2019. Disponível em: <[www.humicsubstances.org](http://www.humicsubstances.org)>. Acessado em: 05/02/23.
- IMA – Instituto Mineiro Agropecuário. Estabelecimento comercial de sementes e mudas. 2019. Disponível em: <http://www.ima.mg.gov.br/sanidade-vegetal/renasem>. Acesso em: 14 novembro de 2023.
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498p.
- JANNIN, L.; ARKOUN, M.; OURRY, A.; LAÎNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; FRANCISCO, S. S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSE, F.; GARCIA-MINA, J. M.; YVIN, J. C.; ETIENNE, P. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus* growth: Involvement of N, C and S metabolisms. *Plant and Soil*, v. 359, p. 297–319, 2012.
- JANSEN, M. A. K.; POTTERS, G. Stress: the way of life. *Plant Stress Physiology*. CABI, Oxford, pp. 254–279. Shabala, S. ed. 2017.
- JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. Analytical methods for use in plant analyses. Los Angeles, University of California, 1959. v. 766, p. 32-33.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. 1ª Edição. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 1985. 492p.
- KUPRIYANOV, R., ZHDANOV, R. The eustress concept: problems and outlooks. *World J. Med. Sci.* 11 (2), 179–185. 2014.
- LARCHER, W. *Physiological Plant Ecology*. 3 Ed Springer-Verlag, Nova York. 2003, 514p.
- LICHTENTHALER, H.K.; RINDERLE, U. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *C R C Crit. Rev. Anal. Chem.* 19 (sup1). 1988.

- LIMA, A. A.; ALVARENGA, M. A. R.; RODRIGUES, L.; CARVALHO, J. G. Concentração foliar de nutrientes e produtividade de tomateiro cultivado sob diferentes substratos e doses de ácidos húmicos. *Horticultura Brasileira*, v. 29, p. 63-69, 2011.
- LIU, X.; HOU, X. Antagonistic regulation of ABA and GA in metabolism and signaling pathways. *Front. Plant Sci.* 9, 251. 2018.
- MAGALHÃES, J. C. A. J.; SOUZA, O. D. de. Produção de mudas de café nos Cerrados de Goiás e do Distrito Federal. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1987. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 26).
- MAGGIONI, A.; VARANINI, Z.; NARDI, S.; PINTON, R. Action of soil humic matter on plant roots: stimulation of ion uptake and effects on (Mg<sup>2+</sup> K<sup>+</sup>) ATPase activity. *Science of the Total Environment*, Boston, v. 62, p. 355-363, 1987.
- MALAVOLTA, E; VITTI, C. G; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato. 1997. 319p.
- MAPA - Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em 19/12/2023>. Acesso em 19 de dezembro de 2023.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, p. 399, 2009. Disponível em:< [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-gropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-gropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf)>. Acesso em 18 de novembro de 2023.
- MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P. KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, jan-fev., 2008.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of plants. 4. ed. London: Academic Press, 2022, 816p.
- MARTINS, A. L. História do café. 2º ed. São Paulo: Editora Contexto. 2008. 320p.
- MELO, B. Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes: Tipos de fertilização e diferentes substratos na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 119p.

- MENGEL, K; KIRKBY, A. Principles of Plant Nutrition, 4.ed. International Potash Institute, Switzerland, 1987, 687p.
- MESQUITA, C. M.; MELO, E. M.; REZENDE, J.R.; CARVALHO, J.S. FABRI JÚNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T. CARVALHO, R. M.; ARAÚJO, W. G. Manual do café: implantação de cafezais *Coffea arábica* L. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 50 p.
- MIKKELSEN, R. L. Humic materials for agriculture. *Better Crops*, v. 89(3), p. 6-10, 2005.
- MORA, V.; BACAICOA, E.; BAIGORRI, R.; ZAMARREÑO, M. A.; GARCÍA-MINA, J. M. NO and IAA Key Regulators in the Shoot Growth Promoting Action of Humic Acid in *Cucumis sativus* L. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 33, p. 430–439. 2014.
- MORARD, P.; EYHERAGUIBEL; B.; MORARD, M.; SILVESTRE, J. Direct effects of humic-like substance on growth, water and mineral nutrition of various species direct effects of humic-like substance on growth water, and mineral nutrition of various species. *Journal of Plant Nutrition*, v. 34, n. 1, p. 46-59, 2010.
- MOREIRA, C.; PETRI; J. L.; SEZERINO, A. A.; MARTIN, M. S. D.; FENILI, C. L. Bioestimulante Bluprins® como indutor de brotação na macieira ‘Daiane’. Simpósio Latino-Americano sobre Bioestimulantes na Agricultura, 2., IX Reunião Brasileira sobre Indução de Resistência em Plantas a Patógenos, 9., Florianópolis: CCA/UFSC, Florianópolis, 2018. Disponível em: <[http://www.bioestimulantes.ufsc.br/files/2018/11/Anais\\_II\\_SLABA\\_e\\_IX\\_ReBIRPP\\_Vers%C3%A3o\\_Definitiva.pdf](http://www.bioestimulantes.ufsc.br/files/2018/11/Anais_II_SLABA_e_IX_ReBIRPP_Vers%C3%A3o_Definitiva.pdf)>. Acesso em 18 de novembro de 2023.
- MUSCOLO, A.; CUTRUPI, S.; NARDI, S. Short communication iaa detection in humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 30 p. 1199–1201, 1998.
- MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 129, p. 57–63, 2013.
- NANNIPIERI, P.; GREGO, S.; DELL’AGNOLA, G.; NARDI, S. Proprietà biochimiche e fisiologiche della sostanza organica. In: NANNIPIERI, P. (Ed.). *Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici, ecologici e selvicolturali*. Bologna: Patron. p. 67-78. 1993.
- NARDI, S., CARLETTI, P., PIZZEGHELLO, D., MUSCOLO, A. Biological activities of humic substances. In: Senesi, N., Xing, B., Huang, P.M. (Eds.), *Biophysico-*

- chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental Systems. Wiley Hoboken, p. 305–339, 2009.
- NARDI, S.; CONCHERI, G.; DELL'AGNOLA, G.; SCRIMIN, P. Nitrate uptake and ATPase activity in oat seedlings in the presence of two humic fractions. *Soil Biol. Biochem.*, 23:833-836, 1991.
- NARDI, S., SESSI, E., PIZZEGHELLO, D., STURARO, A., RELLA, R.; PARVOLI, G. Biological activity of soil organic matter mobilized by root exudates. *Chemosphere*, v.46, p.1075 – 1081, 2002.
- NARDI, S. PIZZEGHELLO, D; SCHIAVON, M; ERTANI, A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, v. 73, p. 18-23, 2016.
- NARDI, S; PIZZEGHELLO, D; MUSCOLO, A; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 34, p. 1527-1536. 2002.
- NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; GESSA, C.; FERRARESE, L.; TRAINOTTI, L.; CASADORO, G. A low molecular weight humic fraction on nitrate uptake and protein synthesis in maize seedlings. *Soil Biol. Biochem.*, v. 32, p. 415- 419, 2000.
- OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. *Scientia Agricola*, v.58, n.2, p.329-335, abr./jun. 2001.
- OLK, D. C.; BLOOM P.R.; PERDUE, E.M.; MCKNIGHT, D.M.; CHEN, Y.; FARENHORST, A.; HARIR. M. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters. *Journal Environmental Quality*, v. 48, p. 217–232. 2019.
- PAIVA, L. C.; GUIMARÃES, J. R.; SOUZA, C. A. S. Influência de diferentes doses de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 1, p. 134-140, jan./fev. 2003.
- PEREIRA; L. R. ; MARCILIO, G. S.; MOTA, F. M.; SANT'ANA, B. T.; DARDENGO, M. C. J. D. Qualidade de mudas do café Conilon Vitória produzidas em viveiros do Sul Capixaba. *Enciclopédia biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 17; p. 2213—2220, 2013.
- PEREIRA, C. S.; SOUZA, F. L. F. D.; GODOI, C. A. Aplicação de extrato etanólico de própolis (EEP) na nutrição e desenvolvimento de mudas de cafeeiro. *Coffee Science*, v. 9, n. 1, p. 14-23, jan./mar. 2014.

- PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*, v. 166, p. 810-832. 2001.
- PINHEIRO, G. L.; SILVA, C. S.; FURTINI NETO, A. E. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentrações de C-ácido húmico. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34, p. 1217-1229, 2010.
- PINTON, R.; VARANINI, Z.; VIZZOTO, G.; MAGGIONI, A. Soil humic substances affect transport properties of tonoplast vesicles isolated from oat roots. *Plant and Soil*, v. 142, p. 203-210, 1992.
- QUAGGIOTTI, S.; RUPERTI, B.; PIZZEGHELLO, D.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; NARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.55, p.803-813, 2004.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15/11/2023.
- RAYLE, D. L.; CLELAND, R. E. The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. *Plant Physiol.*, 99:1271-1274, 1992.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.26-40, 1985.
- REIS, P.R.; CUNHA, R.L. Café Arábica do plantio à colheita. Lavras: U.R. EPAMIG-SM. 2010. 1 v., 896p.
- RIBEIRO, M. D. F. Tratamentos alternativos para conservação de sementes de café arábica. 2013. 97 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/handle/123456789/1205>>. Acesso em: 14 novembro de 2023.
- RODDA, M. R. C.; CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R.; ZANDONADI, D. B.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. I - Efeito da concentração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v 30, p. 649-656, 2006.
- ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S. E LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em

- Phaseolus vulgaris* L. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 33, n. 4, p. 959-967. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400020>.
- RUWER, P.H. Efeito de substâncias húmicas na produtividade da soja. Dissertação de Mestrado. Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ, Cruz Alta - RS, 2019. 42p.
- SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. Café Arábia: do plantio a colheita. 1º ed. Viçosa, MG; Editora UFV, 2015, 316p.
- SAMSON, G.; VISSER, S. A. Surface-active effect of humic acids on potato cell membrane properties. Soil Biol. Biochem. v. 21, p. 343-347, 1989.
- SCHMIDT, W.; SANTI, S.; PINTON, R.; VARANINI, Z. Water-extractable humic substances alter root development and epidermal cell pattern in Arabidopsis. Plant and Soil, V. 300, P. 259–267. 2007.
- SCHWERTMANN, U.; WAGNER, F.; KNICKER, H. Ferrihydrite-Humic associations. American Society of Agronomy, 69, 1009-1015. 2005.
- SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. PIB do agronegócio de Minas Gerais é estimado em R\$ 177,1 bilhões para 2021. 2022 Disponível em: <http://agricultura.mg.gov.br/index.php/ajuda/story/4889-pib-do-agronegocio-de-minas-gerais-e-estimado-em-r-177-1-bilhoes-para-2021#:~:text=PIB%20do%20agroneg%C3%B3cio%20de%20Minas>. Acesso em: 2 de novembro de 2023.
- SELYE, H. Do sonho à descoberta. McGraw-Hill, Nova York. 1964.
- SIES, H. Oxidative stress: eustress and distress in redox homeostasis. In: Fink's, G. (Ed.), Stress: Physiology, Biochemistry, and Pathology. Academic Press, p. 153–163. 2019.
- SILVA, R. M. Produção e qualidade da alface hidropônica cultivada com adição de substâncias húmicas. 186p. 2001. Tese de Doutorado - Programa de Pós em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SILVA, R. M.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Desenvolvimento das raízes de azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. Revista Brasileira Zootecnia, v. 29, p. 101-110, 2000.
- SILVA, E. M.; REZENDE, J. C.; NOGUEIRA, A. M.; CARVALHO, J. R. Produção de mudas de cafeeiro. In: REIS, P.R.; CUNHA, R.L. Ed. Café Arábica do plantio a colheita. Lavras: U.R. EPAMIG SM. v. 1, Cap. 4, p. 227-282. 2010

- SILVA, C. J.; SILVA, C. A.; SILVA, R. V.; FREITAS, C. A.; CASTRO, Y. O.; OLIVEIRA, R. T. de. Índice de qualidade de Dickson em mudas de cafeeiro, em função de porções de material orgânico adicionado ao substrato. Anais... Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 37. Poços de Caldas-MG. MAPA/PROCAFÉ, p 107-108. 2011.
- SONMEZ, M. C.; OZGUR, R.; UZILDAYB. Reactive oxygen species: Connecting eustress, hormesis, and allostasis in plants. *Plant Stress*, v. 8, p. 1-11, June 2023.
- SOUZA, M. N.; KAULZ, M.; ALMEIDA, M. R. Manual do viveiricultor: produção de mudas de café. [livro eletrônico]. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. Disponível em: < <https://www.meridapublishers.com/mmc/mmc.pdf>>. Acesso em: 26/01/2024.
- STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2<sup>a</sup> Ed. Wiley, New York, 1994. 512p.
- TAHIRI, A.; DELPORTE, F.; MUHOVSKI, Y.; ONGENA, M.; THONART, P.; DRUART, P. Plant Physiology and Biochemistry Change in ATP-binding cassette B1/19, glutamine synthetase and alcohol dehydrogenase gene expression during root elongation in *Betula pendula* Roth and *Alnus glutinosa* L. Gaertn in response to leachate and Leonardite h. *Plant Physiology et Biochemistry*, v. 98, p. 25–38, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed., Artmed, 2013. 918p.
- TEIXEIRA, N.T.; OLIVEIRA, F. C.; ORCINI, F. P.; JESUS, A. S. Formulados comerciais aditivados com ácidos húmicos e fúlvicos e aminoácidos e nutrientes no desenvolvimento inicial de mudas de café no campo. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Cap. 1, p. 1-7, 2019. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/post/formulados-comerciais-aditivados-com-acidos-humicos-e-fulvicos-e-aminoacidos-e-nutrientes-no-desenvolvimento-inicial-de-mudas-de-cafe-no-campo>>. Acesso em: 26/01/2024.
- TOMAZ, M. A.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N.; Produção de mudas e plantio; In; SAKIYAMA, S. N.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. Café arábica do plantio à colheita. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, cap 03, p. 46-63, 2015.
- THURMAN, E.M.; MALCOLM, R.L.; Preparative isolation of aquatic humic substances. *Environmental Science e Technology*, v. 4, p. 463-466, 1981.
- VARANINI, Z.; PINTON, R.; BIASI, M.G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H<sup>+</sup>-ATPase activity of plasma

- membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. *Plant and Soil*, v. 153, p. 61-69, 1993.
- VAUGHAN, D.; MALCOM, R. E.; ORD, B. G. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: VAUGHAN, D.; MALCOM, R. E. *Soil organic matter and biological activit*. Dordrecht, Martinus Nijhoff/Junk W, 1985. p.77-108.
- VAN DER VOSSSEN, H.; BERTRAND, B.; CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. *Euphytica*, Wageningen, v. 204, n. 2, p. 243-256, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/273504741\\_Next\\_generation\\_variety\\_development\\_for\\_sustainable\\_production\\_of\\_arabica\\_coffee\\_Coffea\\_arabica\\_L\\_a\\_r\\_eview](https://www.researchgate.net/publication/273504741_Next_generation_variety_development_for_sustainable_production_of_arabica_coffee_Coffea_arabica_L_a_r_eview). Acesso em 05 de dezembro de 2023.
- VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ; M. C.; PAROLA-CONTRERAS, I.; MONTOYA-GÓMEZ, L. M.; TORRES-PACHECO, I.; SCHWARZ, D.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. Eustressors: Chemical and physical stress factors used to enhance vegetables production. *Scientia Horticulturae*. v. 250, p. 223-229, 10 may 2019.
- VAZ, D. O. Estudo das interações de íons metálicos divalentes com ácidos fúlvicos extraídos das águas do Rio Suwane. 79 f. Tese (Doutorado em Química). Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- VENDRUSCOLO, E. P., SANTOS, O. F.; ALVES C. Substâncias húmicas na qualidade fisiológica de sementes de sorgo. *Journal of Agronomic Sciences*, v.3, n.2, p.169. 2014.
- XIE, K.; CAKMAK, I.; WANG, S.; ZHANG, F.; SHIWEI GUO, S. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*. v. 9, n. 2, p. 249-256, april 2021.
- XU, L.; GEELEN, D. Developing biostimulants from agro-food and industrial. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1–13, 2018.
- ZANDONADI, D. B.; CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H<sup>+</sup> pumps activation. *Planta*, v. 225, p. 1583–9. 2007.
- ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; CAIXETA, L. S.; MARINHO, E. B.; PERES, L. E. PEREIRA.; FAÇANHA, A. R. Plant proton pumps as markers of biostimulant action. *Scientia Agricola*, v. 73, p. 24-28, 2016.

ZHANG, X.; ERWIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. *Crop Science*, v. 44, p. 1737-1745, 2004.

## APÊNDICE

### FOTOS DO EXPERIMENTO

**Figura A** – Experimento na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFV – Aclimação das mudas de café em solução nutritiva com aproximadamente 2 a 3 pares de folhas verdadeiras.



**Figura B** – Experimento na casa de vegetação do departamento de Agronomia da UFV – Experimento em andamento após 3 meses de montagem em delineamento em inteiramento casualizados.



**Figura C** – Experimento na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFV – Verificação do pH e condutividade elétrica da solução de cultivo com doses diferentes de substâncias húmicas.



**Figura D** – Experimento na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFV – Primeira imersão das mudas em doses diferentes de substâncias húmicas por 24 h.



**Figura E** – Experimento na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFV – Observação da diferença na altura das mudas de café entre o tratamento 5 (120 mg de carbono L<sup>-1</sup>) e tratamento 4 (60 mg de carbono L<sup>-1</sup>) respectivamente.



**Figura F** – Experimento na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFV – Coleta final de folhas, ramos e raízes das plantas cultivadas com doses diferentes de substâncias húmicas.



**Figura G** – Determinação da área foliar, realizada no aparelho LiCor 3100 (Licor, Nebraska – USA) do Departamento de Agronomia da UFV e das imagens do sistema radicular, obtidas por meio da digitalização as amostras radiculares em scanner EPSON Perfection V700 PHOTO da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG.



**Figura H** – Análises químicas, realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas e no Laboratório de Agroecologia do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa.

