



**UFRPE**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL

PATRICIA MARIA CASÉ DA SILVA

POTENCIAL REUSO DA BORRA DE CAFÉ *IN NATURA* COMO  
SUBSTRATO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE E DE  
CAFÉ ARÁBICA

RECIFE – PE  
2024

PATRICIA MARIA CASÉ DA SILVA

POTENCIAL REUSO DA BORRA DE CAFÉ *IN NATURA* COMO  
SUBSTRATO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE E DE  
CAFÉ ARÁBICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

**Área de concentração:** Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente

**Linha de Pesquisa:** Controle e Remediação da Poluição

**Orientadora:** Profa. Dra. Rosângela Gomes Tavares

**Coorientadora:** Profa. Dra. Rosanna Barbosa Pragana

Recife – PE  
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

S586p

Silva, Patrícia Maria Casé da.

Potencial reuso da borra de café in natura como substrato na produção de mudas de alface e de café arábica / Patrícia Maria Casé da Silva. – Recife, 2024.

92 f.; il.

Orientador(a): Rosangela Gomes Tavares.

Co-orientador(a): Rosanna Barbosa Pragana.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Resíduos sólidos. 2. Cafeína. 3. Toxicidade. 4. Bioindicadores I. Tavares, Rosangela Gomes, orient. II. Pragana, Rosanna Barbosa, coorient. III. Título

CDD 620.8

PATRÍCIA MARIA CASÉ DA SILVA

POTENCIAL REUSO DA BORRA DE CAFÉ *IN NATURA* COMO SUBSTRATO NA  
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE E DE CAFÉ ARÁBICA

Dissertação submetida ao Programa da Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração de Tecnologia e Meio Ambiente- Controle e Remediação de Poluição.

---

Prof. Dra. Rosângela Gomes Tavares

Presidente da Banca e Orientadora

---

Profa. Dra. Rosanna Barbosa Pragana

Presidente da Banca e Coorientadora

---

Membro Externo

---

Prof. (Membro Interno)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser bom todo tempo e o tempo todo.

Ao meu pai (*in memorian*), por ser presente todo tempo.

À minha família, pela paciência, apoio e acolhimento.

Ao meu filho Matheus, por acreditar em mim e pelo apoio incondicional.

À minha amiga Meire, por ter me incentivado e compartilhado a alegria de cada conquista deste escrito.

À Prof.<sup>a</sup> Rosângela Tavares e à Prof.<sup>a</sup> Rosanna Barbosa, pela paciência, carinho e disponibilidade. Minha gratidão.

A Elysâmia Teles e Patrícia Andrade, pelo carinho e disponibilidade no momento dos experimentos e pelo incentivo durante todo o percurso.

Aos meus amigos, cada um contribuindo de forma direta ou indireta para a realização desta pesquisa, que só foi possível com o apoio e a vibração de todos.

À UFRPE e ao Laboratório de Saneamento, pela realização dos experimentos, à cafeteria Casa Mendez, pelo fornecimento da borra de café *in natura* para a pesquisa, e ao IPA, pelo fornecimento das minhocas.

## RESUMO

Um dos principais rejeitos da cafeicultura é a borra de café, obtida após extração aquosa e rica em substâncias com potencial tóxico, tais como a cafeína. Gerada em grandes volumes no Brasil e no mundo, a borra de café é descartada descontroladamente em aterros ou lixões. Diante do cenário atual e dada a importância do café na economia brasileira o presente estudo teve como objetivo identificar composições viáveis para reaproveitamento da borra de café *in natura*, considerando seus possíveis efeitos tóxicos, isolada e em combinações volumétricas com substrato comercial, para produção agrícola de mudas de alface e de café. A produção científica sobre o reuso da borra de café ainda é incipiente e pouco direcionada para produção agrícola baseada no conceito de economia circular. Os experimentos foram conduzidos com delineamento inteiramente casualizado com tratamentos 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de borra de café em substrato. A borra de café foi caracterizada quanto a umidade, pH e teor de cafeína. Para avaliação quanto a toxicidade da cafeína no solo foi realizado ensaio de fuga com minhocas da espécie *Eisenia fetida* e fitotoxicidade com a incubação de sementes. Para determinação do melhor composto para produção de mudas foram realizados bioensaios com as sementes de alface e café. As variáveis avaliadas foram a taxa de evitamento das minhocas, o índice de germinação e crescimento da radícula nas sementes, o % da germinação, velocidade de emergência, altura, número de folhas e massa da parte aérea fresca e seca nas mudas produzidas. O tratamento estatístico dos dados obtidos possibilitou identificar que nas concentrações de 75% e 100% há inibição da germinação das sementes, taxa de evitamento alta e resultados inibitórios na produção de mudas. As concentrações de 25% e 50% demonstraram resultados satisfatórios para compor substratos para produção de mudas de café e alface.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos; cafeína; toxicidade; bioindicadores.

## ABSTRACT

One of the main wastes from coffee farming is coffee grounds, obtained after aqueous extraction and rich in substances with toxic potential, such as caffeine. Generated in large volumes in Brazil and around the world, coffee grounds are discarded uncontrollably in landfills or dumps. Given the current scenario and given the importance of coffee in the Brazilian economy, the present study aimed to identify viable compositions for reusing fresh coffee grounds considering their possible toxic effects, isolated and in volumetric combinations with commercial substrate, for agricultural production of seedlings of lettuce and coffee. Scientific production on the reuse of coffee grounds is still incipient and little directed towards agricultural production based on the concept of circular economy. The experiments were conducted in a completely randomized design with treatments 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of coffee grounds and substrate. The coffee grounds were characterized for moisture, pH and caffeine content. To evaluate the toxicity of caffeine in the soil, an escape test was carried out with earthworms of the species *Eisenia fetida* and phytotoxicity with seed incubation. To determine the best compound for seedling production, bioassays were carried out with lettuce and coffee seeds. The variables evaluated were the earthworm avoidance rate, the germination index and radicle growth in the seeds, the % of germination, emergence speed, height, number of leaves and weight of the fresh dry aerial part in the seedlings produced. The statistical treatment of the data obtained made it possible to identify that at concentrations of 75% and 100% there is inhibition of seed germination, a high avoidance rate and inhibitory results in the production of seedlings. Concentrations of 25% and 50% demonstrated satisfactory results for composing substrates for the production of coffee and lettuce seedlings.

**Keywords:** solid waste; caffeine; toxicity; bioindicators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparativo entre as espécies de café mais produzidas mundialmente	15
Figura 2 – Estrutura molecular da cafeína	17
Figura 3 – Mapa de palavras que ocorrem nos títulos, resumos e palavras-chave das publicações sobre borra de café	30
Figura 4 – Principais temáticas de pesquisa e suas ocorrências	30
Figura 5 – Mapa da densidade das palavras das palavras que ocorrem nos títulos, resumos e palavras-chave das publicações	32
Figura 6 – Publicações sobre reuso de borra de café (2012 a 2022)	32
Figura 7 – Mapa de palavras na perspectiva temporal	33
Figura 8 – Mapa de palavras com foco na economia circular	34
Figura 9 – Publicações por região (2012 a 2022)	34
Figura 10 – Países que mais pesquisaram sobre a borra de café (2012 a 2022)	35
Figura 11 – Publicações por área (2012 a 2022)	35
Figura 12 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa	41
Figura 13 – Curva de calibração de cafeína	44
Figura 14 – Digestão de amostras de borra de café para determinação do teor de cafeína	45
Figura 15 – Cristalização da cafeína	46
Figura 16 – Elutriato em repouso e após a filtração	47
Figura 17 – Sementes de alface	48
Figura 18 – Ensaio de germinação com sementes de alface	49
Figura 19 – IG e pH dos tratamentos para as sementes de alface	54
Figura 20 – CRR e IG das sementes de alface	54
Figura 21 – CL50 das sementes de alface	55
Figura 22 – Croqui de distribuição dos tratamentos no período de incubação	64
Figura 23 – Minhocas da espécie <i>Eisenia fetida</i>	65
Figura 24 – Experimento para determinação da capacidade de retenção de água do esterco bovino	66
Figura 25 – Sequência de preparação/inoculação do recipiente teste	67
Figura 26 – Resultados de solo controle, solo teste e taxa de evitamento	69
Figura 27 – Massa perdida por tratamento	70
Figura 28 – Casa de vegetação – Bioensaios	77
Figura 29 – Característica do substrato orgânico	78

Figura 30 – Linha temporal de acompanhamento dos bioensaios	78
Figura 31 – Resultados dos ensaios com borra de café <i>in natura</i> e sementes de alface	82
Figura 32 – Mudanças de alface após finalização do experimento com BCIN	83
Figura 33 – Resultados dos ensaios com BCIN e sementes de café	86
Figura 34 – Fases das mudas de café durante experimento com BCIN	87
Figura 35 – Sementes germinadas em substratos com 75% BCIN e 50% BCIN após 105 dias de semeadura	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Solubilidade da cafeína em água	18
Tabela 2 – Propriedades da cafeína	18
Tabela 3 – Quantidade de publicações entre 2012 e 2022 na base de dados Web of Science	28
Tabela 4 – pH das soluções e elutriatos BCIN	43
Tabela 5 – Dados para construção de curva analítica para espectrofotometria UV-Vis	44
Tabela 6 – Concentração de cafeína das amostras de borra de café	46
Tabela 7 – Descrição dos tratamentos	48
Tabela 8 – Classificação a partir do crescimento relativo da radícula (CRR) e índice de germinação (IG)	50
Tabela 9 – Caracterização das parcelas dos tratamentos	51
Tabela 10 – Medidas de germinação relativa da semente (GRS), crescimento relativo da radícula (CRR) e índice de germinação (IG)	52
Tabela 11 – Resultado da classificação quanto à toxicidade a partir do CRR e do IG	52
Tabela 12 – Parâmetros estatísticos segundo ANOVA - F crítico e p de 5% de significância para IG, GRS e CRR das sementes de alface	53
Tabela 13 – Relação das doses de cafeína aplicadas no solo teste	64
Tabela 14 – Características das soluções usadas nos testes de fitotoxicidade	65
Tabela 15 – Capacidade de retenção de água	66
Tabela 16 – Resultados do teste de fuga	68
Tabela 17 – Massa perdida – Teste de fuga	70
Tabela 18 – Composição dos grupos experimentais	77
Tabela 19 – Resultados mudas de alface em BCIN	80
Tabela 20 – Concentração de cafeína nas amostras de alface	84
Tabela 21 – Resultados das mudas de café germinadas em BCIN	84
Tabela 22 – Emergência de plântulas de cafeeiro nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5	87

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Referencial teórico</b>	<b>13</b>
1.1.1	O café	13
1.1.2	A borra de café	16
1.1.3	A cafeína	16
1.1.4	Os impactos ambientais	18
1.1.5	Bioindicadores	19
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>21</b>
1.2.1	Objetivo geral	21
1.2.2	Objetivos específicos	21
	<b>Referências</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA DE REUSO DE BORRA DE CAFÉ NA WEB OF SCIENCE</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Resultados e discussão</b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>36</b>
	<b>Referências</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>FITOTOXICIDADE DA CAFEÍNA PRESENTE NA BORRA DE CAFÉ <i>IN NATURA</i></b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>41</b>
3.2.1	Coleta da borra de café	41
3.2.2	Caracterização da borra de café	42
3.2.3	Preparação do elutriato e soluções	46
3.2.4	Teste de germinação com sementes de alface	47
<b>3.3</b>	<b>Resultados e discussão</b>	<b>50</b>
<b>3.4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>USO DA <i>EISENIA FETIDA</i> COMO BIOINDICADOR DE TOXICIDADE DA BORRA DE CAFÉ</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>63</b>

<b>4.3</b>	<b>Resultados e discussão</b>	<b>68</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>BORRA DE CAFÉ <i>IN NATURA</i> COMO SUBTRATO PARA CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE E CAFÉ</b>	<b>74</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>75</b>
<b>5.2</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>76</b>
5.2.1	Composição das misturas, produção e acompanhamento de mudas	77
<b>5.3</b>	<b>Resultados e discussão</b>	<b>80</b>
5.3.1	Bioensaio – alface	80
5.3.2	Bioensaio – café	84
<b>5.4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>89</b>
	<b>Referências</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O café é a bebida mais consumida do mundo e tem elevada importância no Brasil, visto que coloca o país em posição de destaque no mercado mundial. É o primeiro em relação à exportação e cultivo do grão e o segundo em relação ao consumo da bebida (ABIC, 2022).

Com o passar dos anos, o café tornou-se uma bebida popular e muito consumida mundialmente. Sua imagem de bebida apropriada para degustação em reuniões de negócios ou de lazer e sua característica de ser estimulante e acelerar o metabolismo contribuíram para a ampliação de seu consumo em termos globais (ABIC, 2022).

No entanto, observando-se a cadeia produtiva do café, desde o momento do cultivo até a bebida pronta na xícara, verificam-se que muitos impactos ambientais foram desencadeados ao longo dos séculos de história do café no Brasil. Segundo Lopes et al. (2014), os principais impactos da cultura cafeeira no Brasil são o alto índice de desmatamento da Mata Atlântica e do Cerrado para implantação dos monocultivos de café e o empobrecimento do solo oriundo de um sistema convencional de produção embasado no uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos.

Por outro lado, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC, 2022), o consumo do café no Brasil em 2022 foi da ordem de 21,3 milhões de sacas, com um consumo *per capita* de 4,77 kg de café torrado e moído que gera um considerável volume de resíduo sólido — a borra de café.

Conforme Franco, Rocha e Thode Filho (2020), entende-se que a geração de borra a partir da produção da bebida apresenta um elevado potencial impactante ao solo, seja pela massa residual ou pela geração de líquidos a partir de sua decomposição.

Sendo a borra de café um composto orgânico rico em nutrientes minerais, é importante dar um destino sustentável a esse resíduo, de forma a reduzir seu impacto ambiental e, se possível, melhorar o ecossistema agrícola, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e pelos conceitos da economia circular.

Gerada nas mais diversas localidades, a borra de café ainda não tem um destino certo e, com isso, cria um problema de descarte, agravado pela grande quantidade gerada e difícil quantificação (Panusa et al., 2013).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil registrou considerável incremento entre 2010 e 2019, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Nesse período, a geração *per capita* aumentou de 348 kg para 379 kg ao ano. Quase a totalidade desses resíduos é disposta no solo, em aterros sanitários, aterros controlados

ou lixões. A falta de separação dos resíduos se reflete na sobrecarga do sistema de destinação final e na extração de recursos naturais, muitos já próximos do esgotamento. No que se refere à coleta seletiva, as iniciativas existentes são incipientes e os índices de reciclagem não passam de 4% na média nacional (Abrelpe, 2021).

À luz do contexto e com base na crescente necessidade de produtos sustentáveis, Silvestrini (2018, p. 10) afirma que “o consumidor atual preocupa-se cada vez mais com o meio ambiente e é de interesse da indústria cafeeira minimizar a geração de resíduos, objetivando reduzir o impacto ambiental da produção e evitar gastos com a destinação dos rejeitos”.

Diante da problemática real da disposição da borra de café, torna-se de grande relevância a execução de trabalhos que potencializem o biomonitoramento do efeito toxicológico da borra utilizando bioindicadores do solo, visto que é recomendável que o efeito tóxico de uma determinada amostra seja avaliado para mais de uma espécie representativa da biota.

O uso de substratos alternativos para produzir mudas de café vem sendo pesquisado há vários anos, porém, são poucos os trabalhos ligados diretamente ao uso da borra de café como composto orgânico ou substrato para a produção de mudas, diminuindo o impacto ambiental gerado por seu descarte na cadeia produtiva cafeeira.

Observa-se ainda a preferência dos consumidores por produtos de alta qualidade, que requerem a utilização de técnicas de agricultura moderna, com mudanças em toda a cadeia produtiva e valores, como o emprego de sistema agroflorestal e destinação sustentável dos resíduos gerados frente ao consumo da bebida, com base nos conceitos da economia circular.

Assim, tendo em vista a grande quantidade de resíduos de café gerados após consumo e sua disposição inadequada sobre o solo, este trabalho tem como objetivo analisar o reuso da borra de café *in natura* como substrato orgânico para a produção de mudas, estabelecendo assim o fluxo circular e favorecendo a sustentabilidade da espécie com economia de recursos. Espera-se ainda contribuir com material para análises acadêmicas futuras, com a geração de valor para a cadeia de produção do café por meio da viabilidade de uso do resíduo de forma escalonada.

## 1.1 Referencial teórico

### 1.1.1 O café

O café pertence à família *Rubiaceae*, gênero *Coffea*, no qual já se encontram descritas mais de 90 espécies. Destas, cerca de 25 são exploradas comercialmente, mas apenas quatro têm importância significativa no mercado mundial: *Coffea arabica*, conhecida como café

arábica; *Coffea canephora*, conhecida como café robusta; e, em menor volume, *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei*, que produzem o café libérica e o café excelsa, respectivamente.

O Brasil tem condições climáticas que favorecem o cultivo do café em 15 regiões produtoras. Essa diversidade garante cafés variados, de norte a sul do país. Diante de diversos climas, altitudes e tipos de solo, os produtores brasileiros obtêm variados padrões de qualidade e aromas entre as duas espécies cultivadas no país, arábica e robusta, as quais apresentam uma grande variedade de linhagens (MAPA, 2022).

A espécie mais importante do gênero *Coffea* é a arábica, que responde por cerca de 70% do café comercializado no mundo. É nativa das terras altas da Etiópia, antiga Abissínia, e atualmente é cultivada no continente americano, na África e na Ásia. Apresenta bebida de qualidade superior, de aroma marcante e sabor adocicado, sendo largamente difundida, consumida pura ou em misturas com outras espécies de café e outras bebidas.

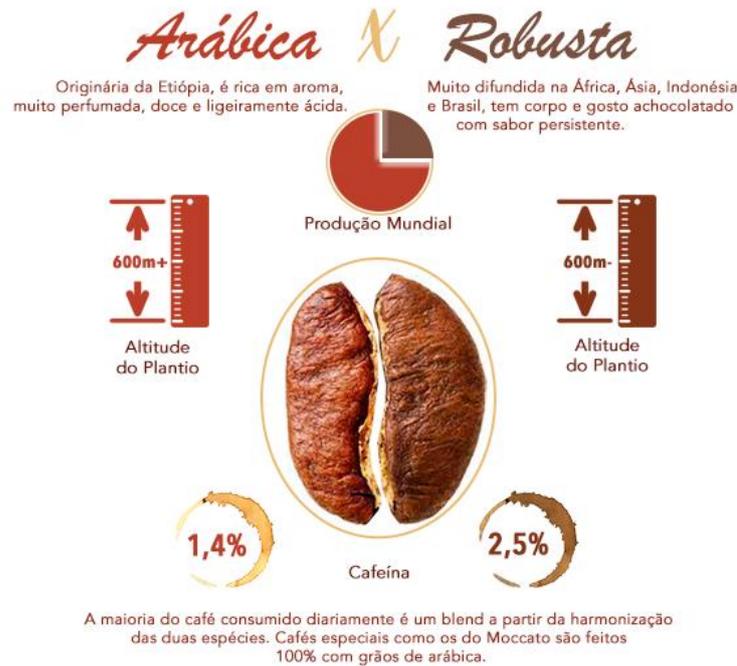
Segundo a descrição de Coste (1955), as plantas do café arábica são arbustos monocaules com até 4,0 m de altura. As folhas são ovaladas ou sublanceoladas, os bordos são ondulados, e geralmente medem cerca de 10 cm a 15 cm de comprimento por 4 cm a 6 cm de largura. A coloração predominante é verde-escura e a epiderme superior apresenta aspecto brilhante (Souza et al., 2004).

As flores são hermafroditas e agrupadas em conjuntos de 8 a 15, formando inflorescências denominadas glomérulos. O fruto é uma drupa ovoide bilocular que, quando madura, pode apresentar coloração vermelha ou amarela. Por causa da pouca importância do endocarpo, é frequentemente considerado como baga (Souza et al., 2004).

As sementes, geralmente em número de duas, são envolvidas pelo endocarpo, que é chamado de pergaminho, e recobertas por um perisperma delgado, conhecido como película prateada (Souza et al., 2004).

O grão, comercialmente conhecido como fava, compõe-se principalmente do endosperma, que apresenta coloração verde-azulada. O endosperma é rico em polissacarídeos (50% a 55% da matéria seca do grão), lipídeos (12% a 18%) e proteínas (11% a 13%). Essas características estão estreitamente relacionadas com o desenvolvimento de sabores e aromas e podem variar em função da localização da lavoura, controle fitossanitário, processamento agrícola e ocorrência de defeitos (Souza et al., 2004).

Figura 1 – Comparativo entre as espécies de café mais produzidas mundialmente



Fonte: Café Tarik (2016).

As duas cultivares de café arábica com maior produção no Brasil são a Catuaí e a Mundo Novo, as quais apresentam, respectivamente, 25% e 50% de material genético proveniente do café arábica típica, conforme informações do IAC (2009).

No Brasil, segundo maior consumidor de café no mundo, observa-se o movimento de produção de cafés especiais, originados da espécie arábica (*Coffea arabica*) por meio de suas muitas variedades (Mundo Novo, Catuaí amarelo e vermelho, Bourbon, entre outros). De acordo com a Metodologia de Avaliação Sensorial da *Specialty Coffee Association* (SCA), café especial é todo aquele que atinge, no mínimo, 80 pontos na escala de pontuação da metodologia (que vai até 100), sendo avaliados os atributos como aroma, corpo, doçura, acidez, equilíbrio e finalização. A Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA) define cafés especiais como

grãos isentos de impurezas e defeitos que possuem atributos sensoriais diferenciados. Estes atributos, que incluem bebida limpa e doce, corpo e acidez equilibrados, qualificam sua bebida acima dos 80 pontos na análise sensorial. Além da qualidade intrínseca, os cafés especiais devem ter rastreabilidade certificada e respeitar critérios de sustentabilidade ambiental, econômica e social em todas as etapas de produção. (BSCA, 2023).

### 1.1.2 A borra de café

A borra do café é um resíduo que pode ter diversas aplicações, mas que é, hoje, subaproveitado no Brasil e no mundo. É classificada como Resíduo Sólido Urbano e sua destinação é quase na totalidade para aterros sanitários, aterros controlados e lixões.

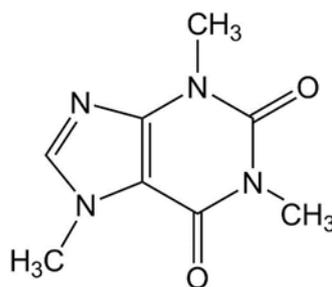
A borra de café é rica em compostos orgânicos, tais como ácidos graxos, proteínas, polifenóis, minerais e polissacarídeos (Campos-Vega et al., 2015). Quase metade da composição da borra do café — cerca de 45% — são açúcares polimerizados em forma de celulose e hemicelulose. Um fato interessante é que aproximadamente 70% dos polissacarídeos do café torrado permanecem na borra do café (Zabaniotou; Kamaterou, 2019). Além desses componentes, a borra do café também contém compostos em menor quantidade, como minerais (K, P, Mg), compostos fenólicos, taninos e cafeína — um alcaloide que, quando solubilizado, pode causar a contaminação do solo; portanto, encontrar uma destinação adequada é importante. Há cerca de 130 mg de cafeína em 100 g de amostra de café.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC), consumimos mais de 1 milhão de toneladas de café apenas em 2017 e, com isso, geramos um volume acima de 800 mil toneladas de borra — descartada, em sua quase totalidade, como lixo comum em aterros sanitários, sobrecarregando os aterros e desperdiçando um grande potencial de aproveitamento desse resíduo.

Para cada quilograma de café solúvel produzido, obtêm-se cerca de dois quilogramas de borra úmida (Pfluger, 1975). Estima-se que o Brasil gere, em média, 141,3 mil toneladas de borra de café por ano na indústria do café solúvel, e cerca de 1 milhão de toneladas de borra provenientes do consumo do café torrado e moído, totalizando 1,1 milhão de toneladas de borra de café por ano.

### 1.1.3 A cafeína

A cafeína (Figura 2) é um alcaloide que pertence ao grupo das xantinas. Inodora e com sabor amargo, é encontrada principalmente no café, guaraná e mate. A espécie *Coffea canephora* apresenta cerca de 2,2% de cafeína, quase o dobro da *C. arabica*, com 1,2% (Barros et al., 2020).

**Figura 2 – Estrutura molecular da cafeína**

Fonte: Moreira (2024).

No caso específico da cultura do café, a cafeína está presente nos frutos de *Coffea arabica* juntamente com outros aleloquímicos, como teofilina, teobromina, paraxantina, escopoletina e os ácidos cafeico, cumárico, ferúlico, p-hidroxibenzoico, vanílico e clorogênico. Com base nas análises realizadas através de cromatografia gasosa e espectrômetro de massa, pode-se também detectar a presença de vários aleloquímicos em amostra de lixiviados de folha e raiz de *Coffea arabica*, conferindo a comum predominância da cafeína (Santos et al., 2001).

Dos alcaloides existentes no café, a cafeína tem sido o mais estudado, inclusive com seu conteúdo em folhas e sementes já ter sido definido e quantificado com aferição, juntamente com a comprovação de seu potencial alelopático. A cafeína tem ainda a característica de se encontrar complexada ao potássio e atuar como molécula armazenadora de nitrogênio, que, por ocasião de sua degradação, faz com que ocorra posterior liberação desse micronutriente (Santos et al., 2001).

A cafeína pode se apresentar anidra ou monoidratada, a depender do método de extração. Com ponto de fusão de 236 °C e sublimação a 178 °C, se apresenta visualmente como um pó branco e cristalino, com aspecto brilhante. É moderadamente solúvel em água (2,13% p/p a 25 °C) e considerada solúvel em vários solventes orgânicos (Mazzafera, 1991).

**Tabela 1 – Solubilidade da cafeína em água**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Solubilidade (g cafeína/100 g H<sub>2</sub>O)</b>
0	0,58
25	2,11
40	4,58
50	7,69
60	12,92
75	28,11
100	102,7

Fonte: Bothe e Cammenga (1980).

**Tabela 2 – Propriedades da cafeína**

<b>Propriedades</b>	<b>Valores</b>
Ponto de ebulição (K)	628,2
Volume molar a 298 K (mL/mol)	144
Densidade (g/cm)	1,321-1,333
Espectro de absorção UV em água (nm)	273-280
Ponto de sublimação (K)	451
Ponto de fusão (K)	508-511
Entalpia de fusão no ponto de fusão (pKa)	21118

Fonte: Kopicak (2005).

#### 1.1.4 Os impactos ambientais

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são constituídos por itens comuns que foram úteis para uso público e posteriormente descartados. Geralmente resultam de três fontes: resíduos residenciais, gerados por famílias individuais localizadas em áreas interiores; resíduos comerciais, gerados a partir de grandes fontes únicas, como escolas, colégios e hotéis; e resíduos de serviços municipais, como ruas, jardins públicos etc. (Kumar, 2016).

Apesar de ainda existir uma grande geração de resíduos sólidos urbanos, vem ocorrendo na sociedade contemporânea a necessidade de repensar seus hábitos de consumo e descarte. Talvez por uma maior facilidade de acesso à informação, existe atualmente uma preocupação com os recursos naturais e o impacto que atividades humanas causam ao meio ambiente, tendendo à adoção de comportamentos mais sustentáveis (Nastari, 2016).

Os aterros sanitários são amplamente aceitos como disposição final no Brasil. Construídos *a priori* para receber apenas rejeitos, isto é, aqueles resíduos que não podem mais

ser reutilizados ou reciclados, os aterros recebem muito material que não se caracteriza como rejeito e que poderia ser aproveitado em outra tecnologia de tratamento, em vez de aterrado. O que acontece é o desperdício de grande quantidade do potencial mássico e energético existente nos resíduos (Silva, 2015).

Além dos aterros sanitários, são comuns no Brasil disposições consideradas não adequadas para resíduos — os vazadouros a céu aberto, comumente chamados de lixões, que recebem os resíduos sem nenhuma proteção ao solo nem drenos para tratamento do lixiviado e dos gases emitidos.

Os lixões são associados a diversos problemas de saúde da população. Estima-se que o Sistema Único de Saúde (SUS) gaste, anualmente, cerca de R\$ 1,5 bilhão com doenças causadas pela falta de destinação e de tratamento corretos dos resíduos sólidos (Selur, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) traz como prioridade o fechamento dos lixões, previsto, inicialmente, para agosto de 2014 e sem cumprimento até os dias atuais. Essa disposição inadequada agrava os impactos negativos ao meio ambiente e à salubridade pública em nossas cidades. De acordo com dados da Abrelpe (2021), dos 5.570 municípios brasileiros, 2.868 ainda descartam seus resíduos incorretamente e, por ano, 39,8% dos 70 milhões de toneladas de resíduos coletados vão para vazadouros a céu aberto.

#### 1.1.5 Bioindicadores

Quando se refere à utilização do solo com o objetivo de alcançar maior produtividade, a microbiocenose é um componente que recebe pouca atenção. O principal fator que altera as propriedades químicas do solo em áreas agrícolas e que mostra efeito sobre sua fauna é a utilização de fertilizantes, químicos ou orgânicos. A atividade antrópica introduz diversos compostos xenobióticos no ambiente, incluindo agrotóxicos e fertilizantes de uso agrícola, metais, derivados de petróleo e outros subprodutos e resíduos provenientes de atividade industrial. Elevadas quantidades de produtos químicos são aplicadas, em especial nos grandes monocultivos, com o intuito de combater organismos indesejados (Freitas, 2007).

O conhecimento do grau e das formas de poluição por meio de monitoramento ambiental é fundamental, tendo em vista o potencial de persistência ou o de transformação em outros compostos e de complexação dos xenobióticos com moléculas naturais. Entretanto, esse monitoramento é feito por meio de análises dispendiosas, que dependem do conhecimento específico de métodos, de aparelhos ou materiais caros e de pessoal especializado para a condução dessas análises.

A toxicidade de resíduos pode ser avaliada através de testes de análise química ou utilizando testes toxicológicos. A ecotoxicologia é a ciência que estuda os efeitos adversos das substâncias químicas (naturais ou sintéticas) nos ecossistemas e sua ação nos organismos (Lynch et al., 2001).

A avaliação da toxicidade das substâncias presentes nos resíduos sólidos pode ser medida por meio de ensaios de fitotoxicidade, entendida como a ação tóxica ou reação adversa que uma substância presente no meio provoca nas plantas e que pode ser determinada pela germinação das sementes, alongamento da raiz e crescimento da muda (Labre et al., 2008).

A abundância e a diversidade da fauna do solo podem variar de acordo com o tipo e composição de resíduos orgânicos aplicados ao solo (Alves et al., 2008). A maior densidade de alguns organismos, como o caso das minhocas, está intimamente associada a solos sem muita interferência antrópica e com alto teor de matéria orgânica (Trogello; Trogello; Silveira, 2008). Dentre os organismos de solo, as minhocas compreendem de 40% a 90% da biomassa de macrofauna da maioria dos ecossistemas tropicais (Fragoso et al., 1999). Sua importância é imensa, visto que têm papel destacado na formação do solo (Righi, 1997).

Pode-se afirmar que a comunidade de minhocas presente em um dado lugar é uma função das condições edáficas (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, conteúdo de matéria orgânica (MO), umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricas (especialmente humana, mas também geológica), topográficas (posição fisiográfica, inclinação) e climáticas (precipitação, temperatura, vento, umidade relativa do ar) do local (Lavelle, 1996).

Por sua grande importância para o solo, sua ampla distribuição e demais razões previamente citadas, as minhocas — particularmente da espécie *Eisenia fetida* — foram escolhidas para diversos testes de ecotoxicidade para fins de registro de agrotóxicos junto aos órgãos regulamentadores de diversos países, inclusive do Brasil.

Os testes da Organização Europeia de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), da Agência Americana de Proteção do Ambiente (EPA) e da Organização Internacional para Padronização (ISO), entre outros, adotaram a espécie *E. fetida* para os testes de ecotoxicidade aguda desde 1984, 1991 e 1993, respectivamente, e, posteriormente, para os testes de reprodução e rejeição ou evitamento de agrotóxicos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é analisar o reuso da borra de café *in natura* como substrato orgânico para a produção de mudas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a produção científica nos últimos 10 anos quanto ao tema reuso da borra do café;
- Caracterizar físico-quimicamente o resíduo (borra de café);
- Avaliar o efeito tóxico da cafeína presente na borra de café na germinação e crescimento das raízes de sementes de alface;
- Avaliar a toxicidade da cafeína presente na borra de café *in natura*, quando dispostos em solos, utilizando diferentes concentrações, por meio do teste de fuga;
- Definir a melhor composição na formação do substrato para a produção de mudas de café arábica, a partir dos resultados qualitativos obtidos.

## Referências

ALVES, M. V.; SANTOS, J. C. P.; GÓIS, D. T.; ALBERTON, J. V.; BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no Oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 589-598, mar. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **Indicadores da Indústria de Café | 2022**. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2022/>. Acesso em: 31 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS (BSCA). **A BSCA**. Disponível em: <https://bsca.com.br/a-bsca>. Acesso em: 31 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> Acesso em: 7 jul. 2021.

BARROS, Dayane Nunes et al. **Desenvolvimento de metodologia para determinação de cafeína por FTIR em blends de café**. p. 170-183. In: CORDEIRO, Carlos Alberto Martins

(org.). **Tecnologia de Alimentos: tópicos físicos, químicos e biológicos - Volume 3.** Guarujá – SP: Editora Científica Digital, 2020.

BOTHE, H.; CAMMENGA, H. K. Composition, properties, stability and thermal dehydration of crystalline caffeine hydrate. **Thermochimica Acta**, v. 40, n. 1, p. 29-39, 1980.

CAFÉ TARIK. **Café arábica x Café robusta.** [S. l.], 21 dez. 2016. Disponível em: <https://cafetarik.blogspot.com/2016/12/cafe-especial-tarik.html>. Acesso em: 1 jun. 2024.

CAMPOS-VEGA, Rocio et al. Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 24-36, set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>

FRAGOSO, C. et al. **Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices.** p. 27-55. In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P. F. (eds). **Earthworm management in tropical agroecosystems.** Wallingford, UK: CABI Publishing, 1999.

FRANCO, H. A.; ROCHA, M. V. de C.; THODE FILHO, S. Impacto Ambiental do Extrato Solubilizado de Borra de Café sobre Organismo Terrestre. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n. 1, p. 404-413, 5 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p404-413>

FREITAS. M. P. **Flutuação populacional de oligochaeta edáfica em hortas sob sistemas convencional e orgânico no município de Canoinhas/SC.** 2007. 61p. Tese de Mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 11268-1 – Soil quality – Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*) – Part 1: Determination of acute toxicity using artificial soil substrate.** 13p. 1993.

KOPCAK, Uiram; MOHAMED, Rahoma Sadeg. Caffeine solubility in supercritical carbon dioxide/co-solvent mixtures. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 34, n. 2, p. 209-214, 2005.

KUMAR, Sunil. **Municipal Solid Waste Management in Developing Countries.** CRC Press, 2016. 174 p.

LABRE, J. C. C.; SILVA, J. A. M.; MILLIOLI, V. S.; CARVALHO, D. D. Testes Ecotoxicológicos baseados na Exposição de Anelídeos e Sementes de Alface através da Adição de Diferentes Concentrações de Surfactantes ao Solo. **Holos Environment**, [S. l.], v. 8, n. 2, 2008 - Suplemento - III Workshop de Ecotoxicologia.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; LOPES, I. M.; RANGEL, R. P.; de FREITAS SANTOS, N. F.; KAGEYAMA, P. Y. Uma análise das consequências da cafeicultura convencional e das opções de modelos sustentáveis de produção: agricultura orgânica e agroflorestal. **Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 8, n. 2, p.1- 38, 2014.

LYNCH J. M.; WISEMAN A.; DE LEIJ F. A. A. M, SIMON A.L. **Ecotoxicology**. Encyclopedia of Biodiversity. New York: Elsevier, 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Café no Brasil e Ementário do Café**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 26 dez. 2021.

MOREIRA, D. M. **Cafeína**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/drogas/cafeina/>. Acesso em: 31 maio 2024.

NASTARI, Alfredo. **AMLURB – Autoridade Municipal de Limpeza Urbana de São Paulo, cidade limpa: gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana para 12 milhões de pessoas**. Apresentação de José Alberto Serra e Ricardo Brandão Figueiredo. São Paulo: CECOM – Centro de Estudos da Comunicação, 2016. 120 p.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Guideline for Testing of Chemicals. Earthworm, Acute Toxicity Tests**. 1984. 9p.

PANUSA, A. et al. Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], v. 61, 17 maio 2013.

RIGHI, G. **Minhocas da América Latina: diversidade, função e valor**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. Rio de Janeiro, 1997.

SANTOS, Júlio César Freitas; COSTA, Rogério Sebastião Corrêa da; LEÔNIDAS, Francisco das Chagas; RODRIGUES, Vanda Gorete Souza. **Estudos alelopáticos relacionados ao café**. Documentos, 54. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001.

SILVA, Rodrigo Cândido Passos da. **Avaliação do modelo de gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Recife/PE e estudos dos indicadores gerenciais nos setores de coleta por meio de técnicas multivariadas**. Dissertação de Mestrado - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2015. 118 p.

SILVESTRINI, A. E. **Alternativas potenciais para o aproveitamento do pó de café usado**. 2018. 62p. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO (SELUR). **Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana para os Municípios Brasileiros**. São Paulo, 2017.

SOUZA, Flávio de França; SANTOS, Júlio César Freitas; COSTA, José Nilton Medeiros; SANTOS, Milton Messias dos. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Documentos, 93. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21 p.

TROGELLO, E.; TROGELLO, A. G.; SILVEIRA, E. R. Avaliação da Fauna do Solo em Diferentes Sistemas de Cultivo, Milho Orgânico e Milho em Plantio Direto. **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 6, n. S1, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Ecological Effects Test Guidelines OPPTS 850.6200**. Earthworm Subchronic Toxicity Test. Washington D.C.: EPA, 1996.

ZABANIOTOU, Anastasia; KAMATEROU, Paraskevi. Food waste valorization advocating Circular Bioeconomy - A critical review of potentialities and perspectives of spent coffee grounds biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 211, p. 1553-1566, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.230>

## 2 ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA DE REUSO DE BORRA DE CAFÉ NA WEB OF SCIENCE

### Resumo

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Café, o consumo do café no Brasil foi da ordem de 21,3 milhões de sacas em 2022, com um consumo *per capita* de 4,77 kg de café torrado e moído que geram uma massa residual denominada borra de café. Tendo em vista o modelo econômico vigente e os desafios de mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte da borra de café, é importante conhecer o panorama e as perspectivas das pesquisas científicas sobre o reuso dos resíduos sólidos gerados no preparo da bebida. Posto isso, o objetivo deste trabalho é analisar, por meio de um estudo bibliométrico, a produção científica quanto ao tema de reuso da borra do café na base Web of Science. Foram consideradas as publicações dos últimos 10 anos (2012 a 2022), analisadas por meio do software VOSviewer. Os resultados apontam que estudos sobre reuso da borra de café ainda são poucos, sobretudo nos aspectos da aplicação no solo e da economia circular. As temáticas mundiais que prevalecem são relacionadas à produção de biodiesel, biogás e biochar. O Brasil ocupa a quarta colocação entre os países que mais publicaram no período pesquisado, embora alinhado à temática mundial. Os termos que mais aparecem nas publicações são “resíduos”, “biomassa”, “extração”, “adsorção” e “biodiesel”.

**Palavras-chave:** cafeicultura; reaproveitamento; resíduos; bibliometria.

### Abstract

According to data from the Brazilian Coffee Industry Association, coffee consumption in Brazil was around 21.3 million bags in 2022, with a per capita consumption of 4.77 kg of roasted and ground coffee, which generates a residual mass called coffee grounds. Considering the current economic model and the challenges of mitigating the environmental impacts caused by the disposal of coffee grounds, it is important to know the panorama and perspectives of scientific research on the use of solid waste generated from the preparation of the drink. That said, the objective of this work is to analyze, through a bibliometric study, scientific production on the topic of reusing coffee grounds in the Web of Science database. Publications from the last 10 years (2012 to 2022) were considered and analyzed using the VOSviewer software. The results indicate there are still few studies on the use of coffee grounds, especially in terms of soil application and circular economy. The prevailing global issues are those related to the production of biodiesel, biogas and biochar. Brazil occupies the fourth place among the countries with the most publications in the period researched, although aligned with the global theme. The terms that appear most in publications are “waste”, “biomass”, “extraction”, “adsorption” and “biodiesel”.

**Keywords:** coffee farming; reuse; waste; bibliometrics.

## 2.1 Introdução

O café é a bebida preparada mais consumida do mundo e tem elevada importância no Brasil, devido a sua posição de destaque no mercado mundial. Trata-se de uma *commodity* que coloca o país como o segundo maior consumidor da bebida e o maior exportador do grão.

No entanto, observando-se a cadeia produtiva do café, desde o momento do cultivo até a bebida pronta na xícara, verifica-se que muitos impactos ambientais foram desencadeados ao longo dos séculos da história do café no Brasil.

O sistema econômico vigente trouxe desafios de ordem social e ambiental que inicialmente eram ignorados ou subestimados, mas que atualmente passam a ocupar cada vez mais espaço nas discussões e na atuação de empresas, governo e sociedade civil. Nesse sentido, abre-se a discussão em torno dos maiores volumes de resíduos gerados e das práticas sustentáveis em torno deles (Bernardi; Stark, 2018).

O debate sobre políticas ambientais direcionadas especificamente para resíduos sólidos data dos anos 1970, quando a Organização das Nações Unidas convocou o primeiro Workshop sobre Gestão de Resíduos Sólidos, em Copenhague, Dinamarca. Desde então, programas de gestão de resíduos e outras políticas ambientais foram desenvolvidos em diferentes regiões do mundo.

Visando prover respostas e soluções a esses desafios, foi publicada no Brasil, em 2010, a Lei n.º 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Segundo Lopes et al. (2014), os principais impactos da cultura cafeeira no Brasil são o alto índice de desmatamento da Mata Atlântica e do Cerrado para implantação dos monocultivos de café e o empobrecimento do solo, oriundo de um sistema convencional de produção embasado no uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos. No que diz respeito ao consumo, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC), o consumo do café no Brasil em 2022 foi da ordem de 21,3 milhões de sacas, com um consumo *per capita* de 4,77 kg de café torrado e moído que gera uma massa residual denominada borra de café.

A borra de café é rica em substâncias como ácidos graxos, proteínas, polifenóis, minerais e polissacarídeos (Campos-Vega et al., 2015). Quase metade da sua composição — cerca de 45% p/p — são açúcares polimerizados em forma de celulose e hemicelulose. Um fato interessante é que aproximadamente 70% dos polissacarídeos do café torrado permanecem na borra do café (Zabaniotou; Kamaterou, 2019). Além desses componentes, a borra do café

também contém outros compostos em menor quantidade, como minerais (K, P, Mg), compostos fenólicos, taninos e cafeína — um alcaloide que, quando solubilizado, pode causar a contaminação do solo. A borra de café é classificada como Resíduo Sólido Urbano e a quase totalidade de sua destinação é feita em aterros sanitários, aterros controlados e lixões.

A borra do café é um resíduo que tem diversas aplicações, mas que ainda é subaproveitado no Brasil e no mundo. Apesar dos inúmeros benefícios pretendidos pela utilização da borra do café, é preciso mapear os desafios associados ao seu uso, como, por exemplo, os impactos da cafeína no solo. A química e a atividade biológica desta e de outras substâncias nessa massa ainda não foram totalmente elucidadas, e estudos de impacto ambiental sobre esse material e/ou aqueles oriundos de sua decomposição são escassos (Daglia et al, 2000; Kalcikova et al., 2011).

Dado o potencial do café no mercado consumidor mundial e nacional, é importante conhecer o panorama e as perspectivas das pesquisas científicas com foco no reuso dos resíduos sólidos gerados do preparo da bebida, como a borra de café.

Para tratar tais desafios, pode-se usar um tipo peculiar de pesquisa bibliográfica, conhecido como Revisão Sistemática, associado às técnicas de Análise Bibliométrica. Através desses procedimentos quantitativos de pesquisa, é possível diminuir a subjetividade na escolha das publicações e promover seleções e tratamentos de dados mais confiáveis, baseados em protocolos replicáveis e indicadores quantitativos.

Quando se refere à utilização do solo com o objetivo de alcançar maior produtividade, a microbiocenose é um componente que recebe pouca atenção. O principal fator que altera as propriedades químicas do solo em áreas agrícolas e que mostra efeito sobre sua fauna é a utilização de fertilizantes, químicos ou orgânicos. A atividade antrópica introduz diversos compostos xenobióticos no ambiente, como agrotóxicos e fertilizantes de uso agrícola, metais, derivados de petróleo e outros subprodutos e resíduos provenientes de atividade simples do cotidiano, como o hábito do consumo de café.

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a produção científica quanto ao tema do reuso da borra de café, apontando abordagens crescentes e potenciais e também as lacunas de pesquisa existentes na literatura, no que se configura como uma agenda de pesquisa para o futuro. Para isso, utilizou-se a bibliometria. Foram considerados artigos publicados nos últimos 10 anos (2012 a 2022) da base de dados da Web of Science, e os resultados analisados por meio do software VOSviewer.

## 2.2 Materiais e métodos

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa foram alicerçados na técnica da bibliometria. De acordo com Araújo et al. (2000), esse tipo de estudo busca observar a evolução da literatura e o conhecimento produzido no decorrer dos anos de uma determinada temática. Através desse procedimento qualitativo/quantitativo de pesquisa, pode-se diminuir a subjetividade na escolha das publicações e promover seleções e tratamentos de dados mais confiáveis, baseados em protocolos replicáveis e indicadores quantitativos.

A pesquisa foi iniciada através de uma revisão sistemática no portal de periódicos da Capes/MEC, acessado através de serviço integrado junto à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

A fonte de dados utilizada foi a Web of Science (WoS), base de dados multidisciplinar da Thomson Reuters, usada mundialmente para a realização de análises da produção científica. A WoS foi escolhida como a base a ser consultada por ser multidisciplinar e indexar os periódicos mais citados em suas respectivas áreas. Atualmente ela tem mais de 18.000 periódicos indexados (Clarivate Analytics, 2019).

Foram utilizados os termos “*spent coffee ground*” e “*coffee waste*” para localizar artigos referentes à temática pesquisada na referida base de dados. Considerou-se que estas palavras-chave deveriam estar contidas no título ou no resumo dos trabalhos. Assim, empregou-se o campo TS (Tópico), referente ao tópico da pesquisa, e foi construída a seguinte expressão de busca: (TS = (*spent coffee ground* AND *coffee waste*)).

A coleta dos dados foi efetuada entre junho e julho de 2022.

Objetivando refinar a pesquisa, foram considerados apenas os documentos categorizados como artigos, escritos em português ou inglês e com no máximo 10 anos de publicação. Foram eliminados os artigos duplicados e, após leitura dos resumos, os que não se referiam à temática pesquisada. O resultado encontra-se mensurado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Quantidade de publicações entre 2012 e 2022 na base de dados Web of Science**

Base de pesquisa	Descritores	Resultados	
		Brutos	Pós-filtros
Web of Science	“ <i>Spent Coffee Grounds</i> ” OR “ <i>Coffee Waste</i> ” OR “ <i>Spent Coffee grounds recycling</i> ”	1.435	1.046

Fonte: Elaborada pela autora.

Para a primeira etapa da pesquisa, foram gerados gráficos com base nos dados pós-filtros na WoS para as áreas mais pesquisadas, na evolução das publicações ao longo dos últimos dez anos e nos artigos de maior relevância para a temática pesquisada em número de citações.

Os dados foram importados da Web of Science em arquivos em formato txt.

Para a organização e análise dos dados foi utilizado o software VOSviewer, de domínio público, desenvolvido pelo Centro de Estudos de Ciência e Tecnologia da Universidade de Leiden, na Holanda. A ferramenta permite a organização e a realização de análises descritivas dos registros bibliográficos extraídos de bases de dados como a WoS.

O VOSviewer pode ser usado para construir redes de publicações científicas, revistas científicas, pesquisadores, organizações de pesquisa, países, palavras-chave ou termos. O VOSviewer fornece três visualizações de um mapa: a visualização de rede, a visualização de sobreposição e a visualização de densidade.

Os mapas criados são compostos por itens — objetos de interesse (publicações, pesquisadores ou palavras) — e, entre eles, os links — conexões de acoplamento bibliográfico. Os itens são agrupados em clusters e são representados por um círculo. Quanto maior o círculo, maior o número de repetições do item, e quanto mais próximos, maior a correlação entre eles (Van Eck; Waltman, 2017).

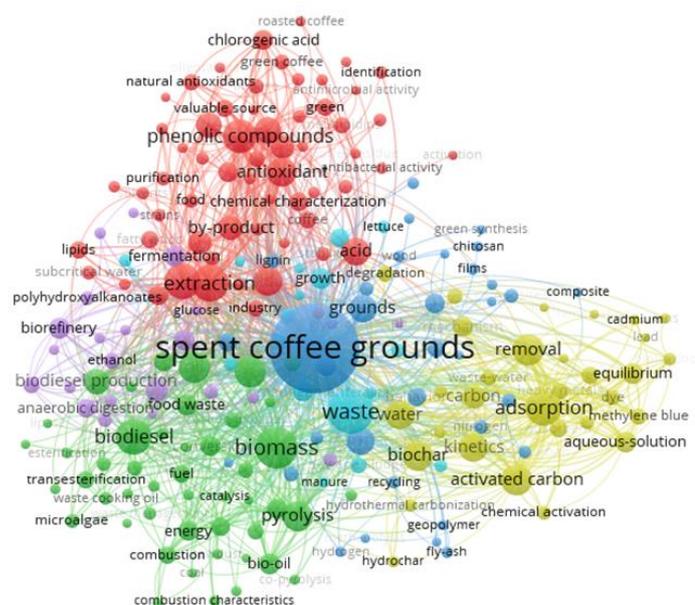
Ao final, os resultados das análises bibliométricas permitem ampliar a compreensão sobre o que se pesquisa — no caso deste estudo, o reuso da borra de café. A partir dessa identificação é possível caracterizar as redes de colaboração, bem como mapear a evolução dos diferentes campos de estudo sobre a borra de café.

### **2.3 Resultados e discussão**

Os resultados encontrados mostram 1.046 publicações sobre o tema da borra de café na Web of Science dentro do período estudado.

A análise de ocorrência de palavras foi realizada com o objetivo de identificar as principais temáticas abordadas nos estudos sobre borra de café no mundo. A Figura 3 apresenta um mapa com as palavras que mais ocorrem nos títulos, resumos e palavras-chave dos trabalhos.

**Figura 3 – Mapa de palavras que ocorrem nos títulos, resumos e palavras-chave das publicações sobre borra de café**



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da Web of Science.

As palavras são apresentadas na Figura 3 em forma de agrupamentos ou clusters, com diferentes cores e tamanhos referentes à recorrência das palavras e respectivas áreas da ciência. Observa-se que seis clusters são identificados e que aqueles que aparecem próximos compartilham de alta similaridade, enquanto os clusters mais afastados denotam baixa similaridade. Cada círculo constituinte da rede é uma das 214 palavras que tiveram oito ou mais ocorrências.

As palavras “*spent coffee grounds*”, “*waste*”, “*biomass*”, “*extraction*”, “*adsorption*” e “*biodiesel*” são as que aparecem em tamanho maior e tiveram, respectivamente, 616, 161, 136, 110, 104 e 103 ocorrências nas publicações.

**Figura 4 – Principais temáticas de pesquisa e suas ocorrências**

Cluster	Roxo	Verde	amarelo	azul claro	azul escuro	Vermelho
Temática	Borra de Café e Biogás	Borra de café e Biodiesel	Borra de Café e Biochar	Borra de Café e Solo	Borra de café e compósitos	Caracterização / Propriedades Físicas, Químicas e Mecânicas
Nº palavras	23	47	31	18	34	61
%	10,7%	22,0%	14,5%	8,4%	15,9%	28,5%

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir dessa clusterização, entende-se que 28% das palavras repetidas, agrupadas no cluster vermelho (Figura 4), referem-se à caracterização da borra de café através de pesquisas voltadas para determinação de componentes fenólicos, açúcares, lipídeos, cafeína, propriedades antioxidantes, antibacterianas, físico-químicas e mecânicas.

No cluster azul-escuro, 15,9% das palavras repetidas concentram-se no reuso da borra de café, a partir de suas propriedades mecânicas, na construção civil, como compósitos de geopolímeros.

Já nos clusters verde e roxo, representando respectivamente 22,0% e 10,7% das palavras repetidas, a borra de café está ligada ao reuso como biomassa para a produção de biogás e biodiesel, sendo comum nesse agrupamento a aparição e repetição da expressão economia circular. No cluster amarelo, 14,5% das palavras estão ligadas a reuso da borra como biochar. Por último, o cluster azul-claro concentra apenas 8,4% das palavras repetidas, referentes ao reuso da borra de café no solo, verificando-se estudos sobre reuso do resíduo como substrato, fertilizante e estudos de fitotoxicidade.

Portanto, o cluster vermelho foi o que apresentou maior diversidade de publicações sobre a borra de café. Uma justificativa para essa diversidade é o caráter multidisciplinar dos estudos sobre aplicações para as quais a borra de café poderia ser destinada.

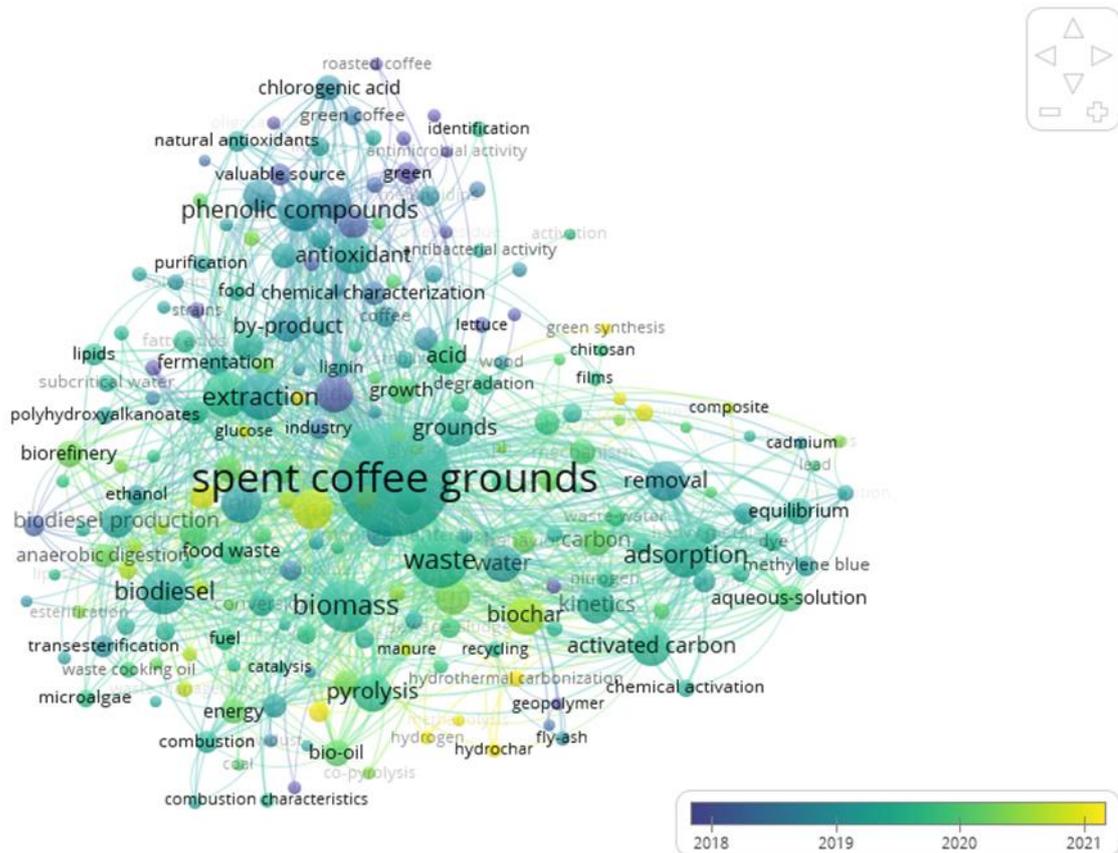
A borra de café tem sido pesquisada para uso na produção de biodiesel (Caetano; Silva; Mata, 2012), como fonte de açúcares (Mussatto et al., 2011), precursor da produção de carvão ativado (Kante et al., 2012), composto (Preethu et al., 2007) e como adsorvente para remoção de íons metálicos (Fiol; Escudero; Villaescusa, 2008).

Apesar da grande quantidade de palavras e do tamanho do cluster vermelho, os clusters roxo, verde e amarelo são os que detêm as palavras que apareceram mais vezes nas publicações.

A Figura 5 apresenta a densidade dos termos. A cor amarela e o tamanho da letra indicam maior densidade, sinalizando que essas palavras têm maior ocorrência dentro das publicações.



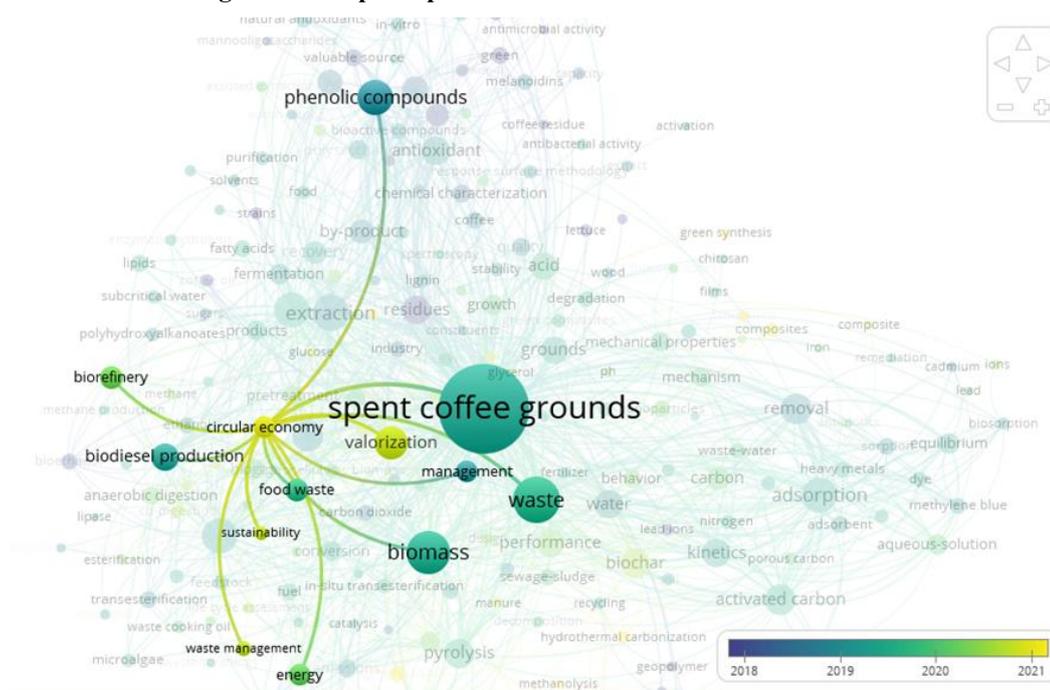
**Figura 7 – Mapa de palavras na perspectiva temporal**



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da Web of Science.

No tipo de visualização da Figura 7, os dados são os mesmos da Figura 5, porém coloridos de acordo com a barra temporal, demonstrando a evolução das pesquisas acerca da borra de café por áreas de estudos ao longo dos anos pesquisados. Observa-se que os clusters continuam dimensionados da mesma forma, referenciando-se a repetições de palavras e conexões da mesma forma, porém com o enfoque temporal.

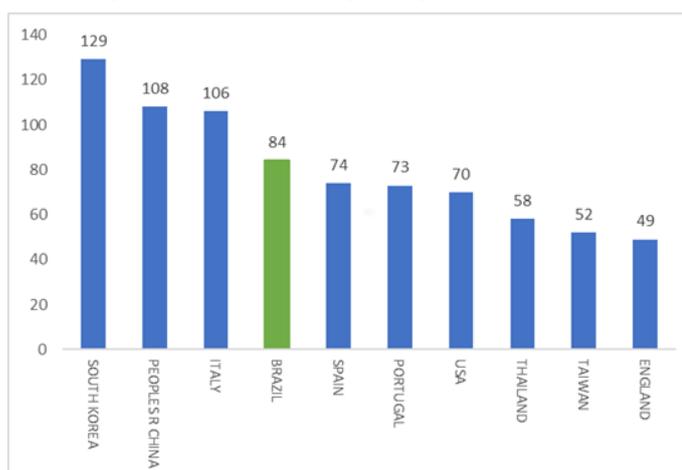
Observa-se que a borra de café foi pesquisada com maior enfoque em publicações de 2019, e que a temática de seus impactos, valorização e reuso sob a perspectiva da economia circular, apenas a partir de 2021 (Figura 8).

**Figura 8 – Mapa de palavras com foco na economia circular**

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da Web of Science.

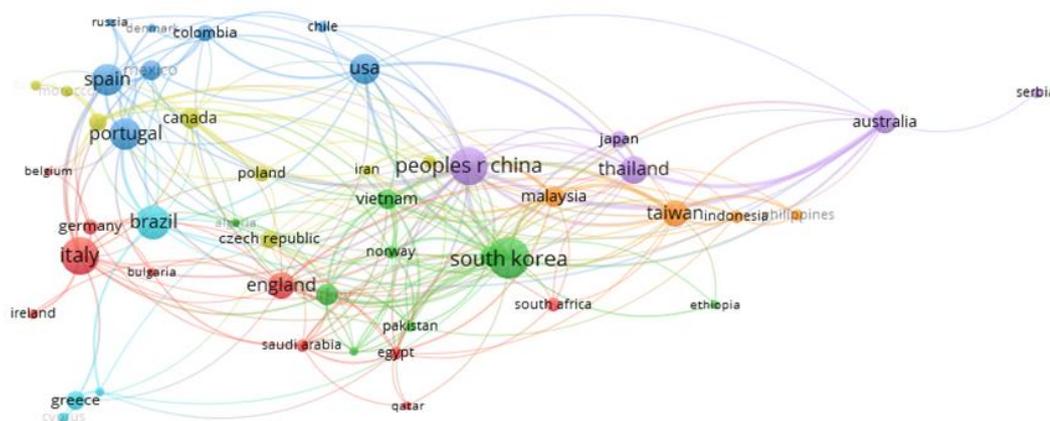
A maior parte da literatura disponível encontrada na base Web of Science tem como enfoque o reuso da borra de café como fonte energética: conforme pesquisa efetuada por Santos (2010), extraiu-se o óleo presente na borra de café para produção de biodiesel. Foi verificada viabilidade econômica para o processamento em pequena escala, por cooperativas, não sendo estudada a produção em escala industrial.

Dentre os países que mais pesquisam sobre a temática, o Brasil ocupa a quarta colocação, mesmo sendo o segundo maior consumidor da bebida e, portanto, o segundo maior produtor de borra de café (Figura 9, Figura 10 e Figura 11).

**Figura 9 – Publicações por região (2012 a 2022)**

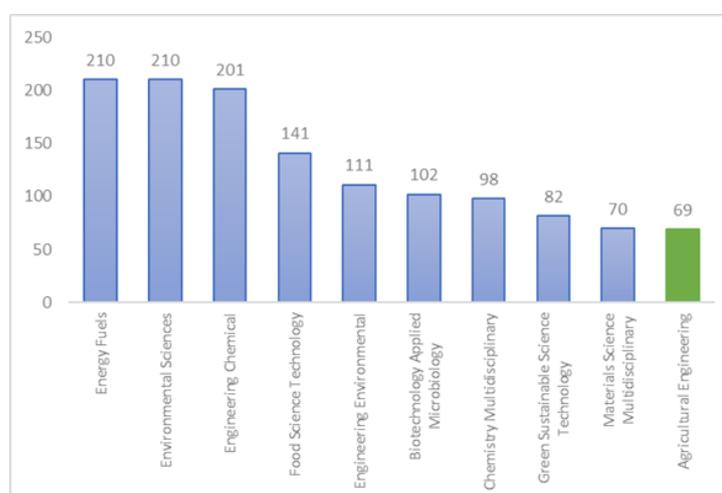
Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da Web of Science.

**Figura 10 – Países que mais pesquisaram sobre a borra de café (2012 a 2022)**



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da Web of Science.

**Figura 11 – Publicações por área (2012 a 2022)**



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da Web of Science.

Um outro achado importante é oriundo das pesquisas de Cruz et al. (2015), que utilizaram a borra de café como aditivo de solo para o cultivo de alface. Não houve alteração no crescimento das plantas quando adicionado até 10% de borra de café ao solo; acima dessa porcentagem, ocorreu interferência no desenvolvimento das plantas, obtendo-se plantas menores. Dessa forma, conclui-se que não se deve utilizar grande proporção de borra, pois compostos presentes, como a cafeína, acabam inibindo o desenvolvimento das plantas. Essa alternativa pode absorver parte do rejeito gerado atualmente, mas não conseguirá absorver grande parte da borra gerada.

## 2.4 Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi analisar, por meio da bibliometria, a produção científica quanto ao tema reuso de borra de café, apontando abordagens crescentes e potenciais e também as lacunas de pesquisa existentes na literatura.

Na análise realizada nas 1.047 publicações sobre borra de café, a reciclagem se mostrou um tema ainda pouco abordado nas pesquisas sobre café, visto que a palavra “*recycling*” apareceu apenas 13 vezes nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos. A temática de reuso com foco em economia circular aparece apenas 30 vezes, com ênfase nos últimos 2 anos.

As temáticas que prevalecem, conforme o mapa de palavras, são as que se relacionam ao reuso da borra de café com foco na produção de energia e ciência ambiental. A área de ciências ambientais é responsável por 20,26% das publicações sobre borra de café. Contudo, os estudos sobre o tema mais do que triplicaram ao longo do período analisado.

A partir dos resultados apresentados, algumas lacunas de pesquisa foram observadas e propõe-se uma agenda científica sobre o tema. Apesar de haver estudos ambientais sobre reuso da borra de café, observou-se a ausência de publicações sobre reuso da borra de café *in natura*. Palavras como “substrato” foram encontradas em menor quantidade. Assim, entre as possibilidades para pesquisas futuros, sinaliza-se a necessidade de mais estudos sobre os efeitos da cafeína no reuso da borra de café para produção agrícola, seja como composto, substrato ou fertilizante, principalmente pelo fato de que, como no cultivo de cogumelos comestíveis ou na composição de ração animal, apresenta uso limitado, devido à presença da cafeína em sua composição.

O Brasil, maior produtor do grão e segundo maior gerador de borra de café, aparece em quarta colocação entre os 10 países que mais publicaram no período pesquisado, tendo como temática predominante os estudos sobre produção de energia. Sendo assim, outros autores e instituições latino-americanas poderiam voltar suas pesquisas à temática, já que o país baseia sua economia nas *comodities* agrícolas e conta com vários produtores de café que podem se beneficiar de tais publicações.

## Referências

ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/16>. Acesso em: 31 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **Indicadores da Indústria de Café | 2022**. Disponível em:

<https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2022/>. Acesso em: 31 maio 2024.

BERNARDI, C.; STARK, A. W. Environmental, social and governance disclosure, integrated reporting, and the accuracy of analyst forecasts. **The British Accounting Review**, v. 50, n. 1, p. 16-31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bar.2016.10.001>

BRASIL. **Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 31 maio 2024.

CAETANO, N. S.; SILVA, V. F. M.; MATA, T. M. Valorization of coffee grounds for biodiesel production. **Chemical Engineering Transactions**, v. 26, p. 267-272, 2012.

CAMPOS-VEGA, Rocio et al. Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 24-36, set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>

CLARIVATE ANALYTICS. **Web of Science platform**. Disponível em: <https://clarivate.com/products/web-of-science/databases/>. Acesso em: 1 maio 2021.

CRUZ, R.; BAPTISTA, P.; CUNHA, S.; PEREIRA, J. A.; CASAL, S. Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds. **Molecules**, v. 17, n. 2, p. 1535-1547, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules17021535>

DAGLIA, M.; PAPETTI, A.; GREGOTTI, C. BERTÈ, F.; GAZZANI, G. In Vitro Antioxidant and ex Vivo Protective Activities of Green and Roasted Coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 1449-1454, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf990510g>

FIOL, N.; ESCUDERO, C.; VILLAESCUSA, I. Re-use of Exhausted Ground Coffee Waste for Cr(VI) Sorption. **Separation Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 582-596, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/01496390701812418>

KALČÍKOVÁ, G.; VÁVROVÁ, M.; ZAGORC-KONČAN, J.; ŽGAJNAR GOTVAJN, A. Seasonal variations in municipal landfill leachate quality. **Management of Environmental Quality**, v. 22, n. 5, p. 612-619, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/14777831111159734>

KANTE, K.; NIETO-DELGADO, C.; RANGEL-MENDEZ, J. R.; BANDOSZ, T. J. Spent coffee-based activated carbon: specific surface features and their importance for H<sub>2</sub>S separation process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 201-202, p. 141-147, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.11.053>

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; LOPES, I. M.; RANGEL, R. P.; de FREITAS SANTOS, N. F.; KAGEYAMA, P. Y. Uma análise das consequências da cafeicultura convencional e das opções de modelos sustentáveis de produção: agricultura orgânica e agroflorestal. **Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 8, n. 2, p.1- 38, 2014.

MUSSATTO, S. I.; BALLESTEROS, L. F., MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. **Separation and Purification Technology**, v. 83, p. 173-179, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036>

PREETHU, D. C., BHANUPRAKASH, B. N. U. H., SRINIVASAMURTHY, C. A., VASANTHI, B. G. Maturity indices as an index to evaluate the quality of compost of coffee waste blended with other organic wastes. In: **Proceeding of International Conference on Sustainable Solid Waste Management**, Chennai, India, 2007. p. 270-275.

SANTOS, Denise Moreira dos. **Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial**. 2010. 56 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.86.2010.tde-11112010-082539>

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. **Scientometrics**, v. 111, p. 1053-1070, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7>

ZABANIOTOU, Anastasia; KAMATEROU, Paraskevi. Food waste valorization advocating Circular Bioeconomy - A critical review of potentialities and perspectives of spent coffee grounds biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 211, p. 1553-1566, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.230>

### 3 FITOTOXICIDADE DA CAFEÍNA PRESENTE NA BORRA DE CAFÉ *IN NATURA*

#### Resumo

A borra de café é o resultado final da extração a quente da segunda bebida mais consumida no mundo. O volume gerado desse resíduo chega a ser duas vezes maior que o volume utilizado no preparo da bebida, o que torna a temática atraente para estudos acerca de seu reuso. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito tóxico da cafeína presente na borra de café na germinação e inibição do crescimento das raízes de mudas de alface. O delineamento para o experimento foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (10%, 25%, 50%, 75% e 100%) e três repetições. Foram avaliados os parâmetros índice de germinação, crescimento relativo da raiz e a concentração de letalidade ( $CL_{50}$ ). Para analisar estatisticamente os resultados experimentais obtidos em laboratório, realizou-se a análise de variância (ANOVA) de fator único e o teste de Tukey. Tem-se que a borra de café com altas concentrações de cafeína se torna tóxica para o desenvolvimento da planta durante sua germinação, e que uma dose de 1,025 g de cafeína pode inibir 50% de uma população. Entretanto, em concentrações abaixo de 50%, a substância auxilia a germinação, contribuindo para seu desenvolvimento e crescimento radicular.

**Palavras-chave:** resíduo sólido; alface; indicadores.

#### Abstract

Coffee grounds are the end result of hot extraction of the second most consumed drink in the world. The volume generated from this residue is twice as large as the volume used to prepare the drink, which makes the topic attractive for studies on its reuse. This study aimed to evaluate the environmental and ecotoxicological impact of the solubilized extract of fresh coffee grounds on lettuce seeds. A completely randomized design was used, with five treatments (10%, 25%, 50%, 75% and 100%) and three replications. The parameters evaluated were germination index, relative root growth and the lethality concentration ( $LC_{50}$ ). In order to statistically analyze the experimental results obtained in the laboratory, single-factor analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test were performed. It is believed that coffee grounds with high concentrations of caffeine become toxic to the development of the plant during its germination, and that a dose of 1.025g of caffeine can inhibit 50% of a population. However, in concentrations below 50%, the substance helps germination, contributing to root development and growth.

**Keywords:** solid waste; lettuce; indicators.

### 3.1 Introdução

A borra de café é o resultado final da extração a quente da segunda bebida mais consumida no mundo. O volume gerado desse resíduo chega a ser duas vezes maior que o volume utilizado no preparo da bebida, o que torna a temática atraente para estudos acerca de seu reuso (Pfluger, 1975).

Atualmente, no Brasil, são geradas aproximadamente 1,1 toneladas de borra de café anualmente (Hohmann, 2021). A formação desse resíduo despertou em pesquisadores o interesse pelo seu estudo, mostrando que a borra de café tem um alto valor agregado e pode ser reaproveitada de diversas maneiras, destacando seus múltiplos benefícios (Santos, 2016). Segundo De Souza (2017), a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, evidencia as principais responsabilidades do gerador de resíduos e favorece uma visão sistêmica, que abrange diversas variáveis ambientais.

A borra de café *in natura* é um resíduo classificado como classe IIA (ABNT NBR 10004) gerado nos mais diversos meios sociais, tais como residências, instituições de ensino, indústrias, cafeterias, restaurantes e outros, sendo destinado atualmente para aterros controlados e ou lixões.

A preocupação com a disposição adequada ou reutilização da borra decorrem do elevado volume gerado e de sua natureza poluente, em virtude da presença de matéria orgânica — que demanda atividade bacteriana e fúngica, além de uma grande quantidade de oxigênio, para ser degradada, o que seria um problema no caso desse resíduo ser enviado a aterros sanitários (Silva et al., 1998) — e da presença da cafeína — um alcaloide farmacologicamente ativo pertencente ao grupo das metilxantinas [2, 7, 16] com efeito alelopático, cujos impactos ambientais causados ao solo pelo efeito cumulativo do seu descarte *in natura* são pouco conhecidos.

A avaliação da toxicidade das substâncias presentes nos resíduos sólidos pode ser medida por meio de ensaios de fitotoxicidade, que é a ação tóxica ou reação adversa que uma substância presente no meio provoca nas plantas, a qual pode ser determinada pela germinação das sementes, alongamento da raiz e crescimento da muda (Labre et al., 2008).

Testes de toxicidade utilizando plantas como modelo são mais simples que estudos com animais e demonstraram eficiência no monitoramento da toxicidade de poluentes da água e do solo, incluindo efluentes têxteis e agroquímicos. As vantagens dos biotestes com plantas residem na grande variedade de parâmetros de avaliação, como germinação de sementes, ganho de biomassa, alongamento de raiz, crescimento do vegetal e parâmetros bioquímicos, além de

apresentar baixo custo e disponibilidade para realizar testes durante todo o ano (Žaltauskaitė; Čypaitė, 2008).

A alface (*Lactuca sativa L.*) é o bioindicador terrestre mais comumente utilizado para avaliar a toxicidade de lixiviados, águas residuais de esgotos e efluentes industriais, medindo-se, entre outros parâmetros físicos, o percentual de germinação e alongamento radicular (Kapanen; Itävaara, 2001; Eom et al., 2007; Garcia et al., 2009).

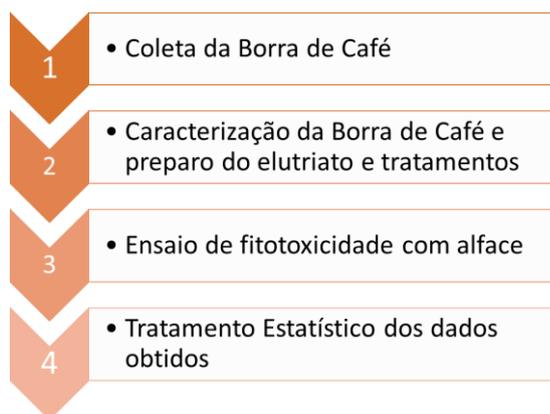
Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar a toxicidade da cafeína resultante do uso da borra de café *in natura* na germinação de sementes e crescimento das raízes de plântulas de alface.

### 3.2 Materiais e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no período de agosto a setembro de 2023 no laboratório de Solo e Saneamento da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

O desenvolvimento experimental foi estruturado em quatro etapas, mostradas na Figura 12.

Figura 12 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 3.2.1 Coleta da borra de café

A borra de café *in natura* (BCIN) foi coletada na cafeteria Casa Mendez, membro da Associação das Cafeterias de Pernambuco (ASCAPE) e localizada na zona norte do Recife, selecionada através de pesquisa baseada em critérios que melhorem a precisão dos resultados a serem obtidos durante o estudo.

A cafeteria produz bebidas com grãos de espécie única, com torra e origem conhecidas —100% arábica de torra média cultivados no Espírito Santo. Os métodos de extração da bebida são diversificados, mas predominantemente coado e expresso. O estabelecimento gera cerca de 140 kg de borra de café por mês, que são coletados atualmente pela limpeza pública, e destinados a aterro controlado. A cafeteria está em busca de alternativas para reuso do resíduo ainda pouco explorado.

A borra de café *in natura* (BCIN) foi coletada em julho de 2023 e armazenada sob refrigeração até o momento de uso, a fim de minimizar os efeitos da decomposição, que resulta da atividade de microrganismos que degradam os resíduos orgânicos mantidos em temperatura ambiente.

### 3.2.2 Caracterização da borra de café

A borra de café *in natura* (BCIN), coletada durante o período de 7 a 12 de julho de 2023, foi originada da extração de café predominantemente expresso e coado, com moagem própria, de grãos da espécie arábica, cultivar Catuaí, torra média, advindo de produtores do Espírito Santo. A BCIN coletada foi usada no bioensaio com sementes e caracterizada no Laboratório de Saneamento Ambiental do DTR/UFRPE quanto ao pH, umidade e teor de cafeína.

As amostras da BCIN foram coletadas conforme a metodologia recomendada pela ABNT NBR 10007:2004. Devido à aparente homogeneidade, quanto ao aspecto físico, do material residual, adotou-se como planejamento amostral a retirada de quatro amostras simples de topo, do meio e da base no entorno da pilha/monte do resíduo. A partir disso, foram retirados os papéis de filtro contidos na amostra coletada e procedeu-se a quebra dos agrupamentos compactados, oriundos do processo de produção do café expresso, e a homogeneização manual da amostra em bandejas plásticas.

Coletaram-se amostras em triplicata para determinação da umidade da BCIN por meio do método em estufa (Kiehl, 1998). Foram pesadas, em triplicata, amostras de 100 g da borra *in natura*, acondicionadas em recipientes identificados e colocadas em estufa a temperatura 105 °C durante 24 horas, até massa constante. A umidade da borra de café *in natura* foi de  $43,14 \pm 1,7$  %.

Para determinação do pH, foi preparado o extrato solubilizado de resíduos sólidos, no qual aproximadamente 10 g de amostra foram adicionadas a um copo plástico de 100 mL devidamente numerado (em triplicata). Em seguida, foram adicionados 25 mL de água destilada e a amostra foi agitada com bastão de vidro individual e deixada em repouso por uma hora.

Antes da leitura, a amostra foi agitada novamente com bastão de vidro; em seguida, os eletrodos foram colocados na suspensão homogeneizada e procedeu-se a leitura do pH (Donagema et al., 2011).

O pH é uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução, sendo influenciado por diversos fatores, principalmente pela composição química de cada material utilizado. A borra de café é de natureza ácida (Valente et al., 2009) e tem pH em torno de 5,0 (Ucoffee, 2018).

**Tabela 4 – pH das soluções e elutriatos BCIN**

<b>Tratamento</b>	<b>pH</b>
C10 – 10% BCIN	6,68 (+ 0,08)
C25 – 25% BCIN	6,53 (+ 0,04)
C50 – 50% BCIN	6,26 (+ 0,08)
C75 – 75% BCIN	5,75 (+ 0,04)
C100 – 100% BCIN	5,31 (+ 0,06)

Fonte: Elaborada pela autora.

Para Nicolodi et al. (2008), o pH do solo deve estar em uma faixa entre 5,8 e 6,2, considerada ótima, porque os nutrientes necessários para as culturas apresentam-se com maior disponibilidade.

Por adição de resíduos orgânicos ao solo, nitrogênio total (N), matéria orgânica, população microbiana, atividade enzimática, retenção de umidade, capacidade tampão de pH e rendimento das colheitas pode ser aumentado (Cordovil, 2004).

Observando a faixa de pH (em água) na qual há maior disponibilidade de nutrientes, Kämpf (2000) considera um valor ideal situado entre 5,2 e 5,5 para substratos de base orgânica e entre 6 e 7 para aqueles de base mineral.

Com o objetivo de se determinar a quantidade de cafeína contida em cada tratamento do experimento com a borra de café in natura, foi adotado o método utilizado por Capuci (2019).

Inicialmente, para determinação da curva de calibração do espectrofotômetro Carry 300 UV-Vis, foi preparada uma solução estoque 150,0 mg/L do padrão de cafeína e armazenada em um balão volumétrico de 150 mL, utilizando água destilada como solvente. A partir da solução estoque 150,0 mg/L foram preparadas soluções padrão nas concentrações 10,0, 25,0, 50,0, 75,0 e 100,0 mg/L.

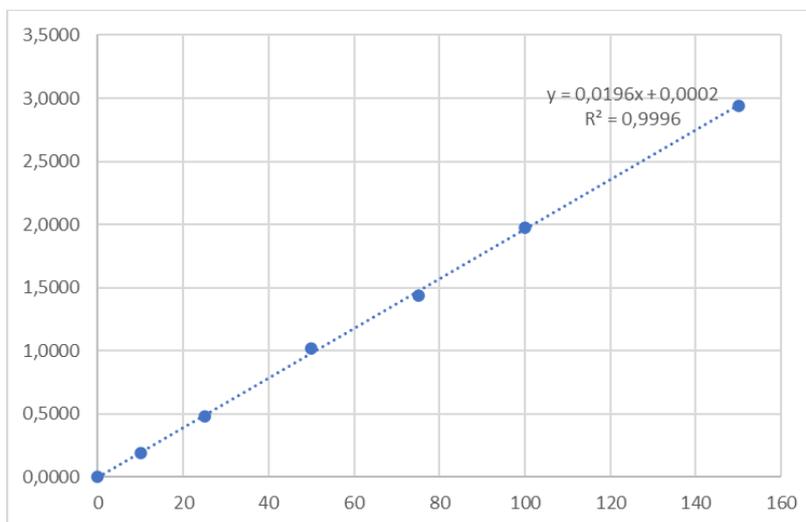
Os padrões foram colocados em cubetas de quartzo e as leituras no espectrofotômetro foram realizadas utilizando como branco água destilada. A faixa de varredura para análise foi de 273 nm, conforme metodologia proposta por Li et al. (1990).

**Tabela 5 – Dados para construção de curva analítica para espectrofotometria UV-Vis**

<b>Absorbância (Abs)</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>
0,0000	0
0,1908	10
0,4834	25
1,0170	50
1,4404	75
1,9723	100
2,9420	150

Fonte: Elaborada pela autora.

**Figura 13 – Curva de calibração de cafeína**



Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores de absorbância obtidos (Tabela 5) foram utilizados para o cálculo da equação resultante da curva de calibração de cafeína (Figura 13). Segundo Cassiano et al. (2009), uma curva de calibração corresponde ao modelo matemático que estabelece uma relação entre a resposta instrumental (área/altura da banda cromatográfica) e a concentração do analito. Frente ao exposto, o modelo de calibração deve ser construído a partir da análise de, no mínimo, 6 a 8 concentrações conhecidas do analito (padrões de calibração).

Dessa maneira, construiu-se a curva de calibração por meio de regressão linear no Excel.

O valor de 0,9996 para  $R^2$  comprova os ajustes da equação da reta às análises realizadas. Por meio da equação da reta, foram determinadas as concentrações reais das amostras analisadas.

Foram transferidos 20 mL do elutriato, nas concentrações 10%, 25%, 50%, 75% e 100%, obtido a partir da borra de café *in natura*, para um becker de 50 mL, com adição de 20 mL de água destilada e 500 mg de MgO. As amostras foram submetidas ao aquecimento em banho-maria durante 30 minutos em temperatura de 95 °C. Nessa etapa, a adição do MgO com aquecimento faz com que os taninos formem sais insolúveis em água e precipitem na solução (Fernandes, 2007).

Após o tempo de aquecimento, verificou-se o volume evaporado e completou-se com água destilada. A amostra permaneceu em repouso para decantação da fase de sólida e impurezas, conforme a Figura 14, e foi resfriada em temperatura ambiente.

**Figura 14 – Digestão de amostras de borra de café para determinação do teor de cafeína**



Fonte: Fotos da autora.

Foram coletados 2 mL da solução para um tubo rosqueado de 10 mL. Foram adicionados 4 mL de clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) e centrifugou-se o tubo por 10 minutos, a 3000 RPM, para separação das fases.

Foram retirados 2 mL do líquido de interesse (fase orgânica) e esse volume foi transferido para um tubo de ensaio. Esse tubo foi colocado dentro de uma estufa com circulação de ar da marca Fanem, modelo Orion 520, com controlador analógico de temperatura, pré-aquecida a 65 °C, e permaneceu lá por 3 horas, até a evaporação total do clorofórmio.

**Figura 15 – Cristalização da cafeína**

Fonte: Foto da autora.

Após o tempo citado, a cafeína encontrou-se aderida à parede da vidraria, conforme mostra a Figura 15. Foram adicionados 10 mL de água destilada a uma temperatura de 40°C para promover a dissolução da cafeína. Com auxílio de um bastão de vidro, a cafeína cristalizada foi retirada da parede do tubo de ensaio, o qual foi, então, agitado durante 1 minuto.

Procedeu-se a leitura da concentração de cafeína na amostra de cada experimento no espectrofotômetro, no comprimento de onda de 273 nm em cubeta de quartzo. Por meio da equação da reta, determinaram-se as concentrações reais das amostras analisadas. Os resultados obtidos estão na Tabela 6.

**Tabela 6 – Concentração de cafeína das amostras de borra de café**

<b>Amostra</b>	<b>Absorbância (Abs)</b>	<b>Concentração real (mg/L)</b>
10%	1,0207	0,011
25%	1,0537	0,275
50%	1,1153	0,550
75%	1,6350	0,824
100%	3,3471	109,97

Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.2.3 Preparação do elutriato e soluções

Para extração do elutriato foi utilizada uma amostra de 250,0 g de BCIN seca em estufa a 105°C durante 24 horas, diluída em 1000 mL de água destilada com agitação por 24 horas e submetida a repouso durante 7 dias em temperatura de 24°C, conforme Tavares et al. (2018), adaptado da ABNT NBR 10006:2004.

Na sequência, foi coletado o sobrenadante da solução (Figura 16), sendo novamente diluído com água destilada em cinco concentrações (10%, 25%, 50%, 75% e 100%), conforme Tavares et al. (2018).

**Figura 16 – Elutriato em repouso e após a filtração**



Fonte: Fotos da autora.

O elutriato e suas diluições foram caracterizados em termos de concentração de cafeína e pH conforme Tabela 6 e Tabela 4, respectivamente.

### 3.2.4 Teste de germinação com sementes de alface

Para condução dos testes de germinação, adotou-se a metodologia descrita por Tiquia, Tam e Hodgkiss (1996). Foram utilizadas sementes de alface americana (*Lactuca sativa* L.), adquiridas em estabelecimento comercial agrícola, marca Feltrin, lote 001400201000005-0 e validade 04/2024 (Figura 17).

A *Lactuca sativa* (L.) (semente de alface) é uma planta pertencente à classe *Magnoliopsida* (L.), ordem *Asterales* (L.), família *Asteraceae* (L.) e gênero *Lactuca* (L.).

A semente de alface é amplamente utilizada em testes de toxicidade. Kim (2018) utilizou a semente para análise da toxicidade de amostras.

Figura 17 – Sementes de alface



Fonte: Foto da autora.

Os materiais analisados por meio de teste de germinação foram os cinco compostos produzidos a partir do extrato de borra de café seca (elutriato), um ensaio testemunha (Cp) e um ensaio negativo (Cn) com solução a 1% de cafeína anidra, totalizando sete tratamentos com três repetições cada, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Descrição dos tratamentos

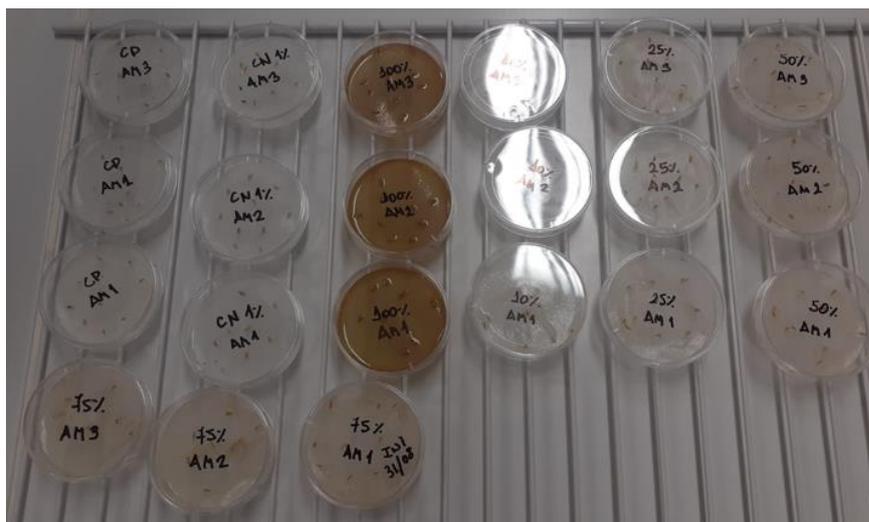
Tratamentos	
C10	Solução com 10% do elutriato
C25	Solução com 25% do elutriato
C50	Solução com 50% do elutriato
C75	Solução com 75% do elutriato
C100	Solução com 100% do elutriato
Cp	Testemunha – controle positivo (apenas água destilada)
Cn	Testemunha – controle negativo (solução de cafeína a 1%)

Fonte: Elaborada pela autora.

O teste foi realizado de acordo com as diretrizes Ecological Effects Test Guidelines - Seed Germination / Root Elongation Test, desenvolvidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (BRASIL, 2009).

O ensaio foi realizado utilizando 10 sementes distribuídas uniformemente em placas de Petri de 9 cm, preenchidas com papel filtro qualitativo comum umidificado com 5 mL de solução — volume este previamente calculado e testado em laboratório para umidificar adequadamente o papel filtro. Os testes foram realizados em triplicata. As placas de Petri com as sementes foram colocadas em uma incubadora a 20+4°C por um período de 120 horas (Figura 18). Foram realizados testes em triplicata no período de agosto a setembro de 2023.

Figura 18 – Ensaio de germinação com sementes de alface



Fonte: Foto da autora.

Para cálculo dos resultados, após cinco dias de incubação, as amostras foram analisadas de acordo com duas variáveis — a quantidade de sementes germinadas e o comprimento da radícula —, possibilitando o cálculo do índice de germinação (IG). Para medir o comprimento das raízes, foi utilizado um paquímetro.

A porcentagem de germinação absoluta (%GRS) foi obtida por meio da Equação 1; a porcentagem do crescimento relativo das radículas (%CRR) e o índice de germinação (IG) foram calculados pelas Equações 2 e 3, respectivamente, com base nos estudos de Kohatsu et al. (2018).

$$GRS (\%) = \frac{NSGA}{NSGC} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

sendo

- GRS – germinação relativa da semente;
- NSGA – média aritmética do número de sementes que germinaram na amostra;
- NSGC – média aritmética do número de sementes que germinaram no controle positivo.

$$CRR(\%) = \frac{MCRA}{MCRC} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

sendo

- CRR – crescimento relativo da radícula;
- MCAR – média aritmética do comprimento da raiz, radícula, na amostra;
- MCRC – média aritmética do comprimento da radícula, radícula, no controle positivo.

$$IG(\%) = \frac{GRS(\%) \times CRR(\%)}{100} \quad (\text{Equação 3})$$

A classificação que determina o grau de toxicidade presente na amostra pode ser feita a partir do crescimento relativo da radícula (CRR) e do índice de germinação (IG), seguindo as metodologias de Lumbaue et al. (2017) e Belo (2011), cujas classificações são apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 8 – Classificação a partir do crescimento relativo da radícula (CRR) e índice de germinação (IG)**

Faixa do crescimento relativo da radícula (CRR)	Efeito	Faixa do índice de germinação (IG)	Classificação
$0 < CRR < 0,8$	Inibição no crescimento da raiz	< 30	Muito fitotóxico
$0,8 \leq CRR \leq 1,2$	Nenhum efeito significativo	30 - 60	Fitotóxico
$CRR > 1,2$	Estímulo do crescimento da raiz	60 - 80	Moderadamente fitotóxico
		80 - 100	Não fitotóxico
		> 100	Potencializa a germinação

Fonte: Adaptada de Belo (2011) e Lumbaue et al. (2016).

Para analisar estatisticamente os resultados experimentais obtidos em laboratório, recorreu-se primeiramente ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) de fator único e ao teste de Tukey, realizado no software Past, para as variáveis do crescimento radicular e do IG.

### 3.3 Resultados e discussão

O elutriato e as soluções foram caracterizados em termos da concentração de cafeína e do pH. Essa caracterização encontra-se na Tabela 8, inclusive dos controles positivos (Cp) e negativo (Cn), conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Caracterização das parcelas dos tratamentos

Tratamento	Diluição do elutriato	Concentração de cafeína (mg/L)	pH
		<b>BCIN</b>	
BCIN	-	0,43	5,31 ( $\pm$ 0,06)
		<b>Elutriato</b>	
C10	10%	0,011	6,68 ( $\pm$ 0,08)
C25	25%	0,275	6,53 ( $\pm$ 0,04)
C50	50%	0,550	6,26 ( $\pm$ 0,08)
C75	75%	0,824	5,75 ( $\pm$ 0,04)
C100	100%	1,099	5,31 ( $\pm$ 0,06)
		<b>Controle</b>	
Cp	Testemunha – controle positivo (apenas água destilada)	0,00	6,80 ( $\pm$ 0,02)
Cn	Testemunha – controle negativo (solução de cafeína a 1%)	1007	5,46 (+ 0,03)

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir dessa caracterização, nota-se uma redução do pH do elutriato à medida que a concentração da cafeína aumenta, evidenciando que sua presença no solo pode torná-lo ácido, causando danos às terras cultiváveis, pois a substância age diretamente sobre o metabolismo vegetal, podendo representar um fator que limita o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de também reduzir a capacidade de absorção de água e nutrientes por parte de suas raízes (Echart; Cavalli, 2001).

Para Pragna (1998), o pH do solo deve estar em uma faixa entre 5,8 e 6,2, considerada ótima, porque os nutrientes necessários para as culturas apresentam-se com maior disponibilidade. Solos com pH abaixo de 7,0 são considerados ácidos, porém só causam danos as culturas caso atinjam pH abaixo de 5,5.

Os resultados de germinação mostraram que as sementes utilizadas neste trabalho, quando expostas ao controle negativo, ou seja, a solução de cafeína com concentração de 1% (1007,00 g/L de cafeína), sofreram inibição de germinação. A concentração de cafeína no Cn foi inferior à concentração na borra de café in natura; isso implica afirmar que o uso direto da borra de café in natura no solo pode inibir a germinação das sementes de alface. No controle positivo, apenas com água destilada, todas as sementes germinaram. Todavia, quando as sementes foram expostas a diferentes concentrações do elutriato, houve comportamentos similares de estímulo para as concentrações de 25% e 50% e evidenciou-se a toxicidade do composto apenas para o tratamento 100%. As medidas da germinação relativa, do crescimento relativo da raiz e do índice de germinação de cada tratamento são apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10 – Medidas de germinação relativa da semente (GRS), crescimento relativo da radícula (CRR) e índice de germinação (IG)**

	<b>Tratamento</b>	<b>GRS (%)</b>	<b>CRR (%)</b>	<b>IG (%)</b>
Concentração (%)	Cp	100,00	100,00	100,00
	C10 – 10%	100,00	96,70	96,70
	C25 – 25%	100,00	116,30	116,30
	C50 – 50%	100,00	123,00	123,0
	C75 – 75%	96,67	96,89	93,67
	C100 – 100%	33,30	3,31	1,38
	Cn	40,00	42,80	17,12

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a classificação de Belo (2011) e Lumbaque et al. (2017), na Tabela 11, apenas o tratamento C100 apresentou toxicidade as sementes em termos de germinação e crescimento da radícula.

**Tabela 11 – Resultado da classificação quanto à toxicidade a partir do CRR e do IG**

	<b>Tratamento</b>	<b>CRR (%)</b>	<b>IG (%)</b>	<b>Observação</b>
Concentração (%)	C10 – 10%	96,69ab	96,69ab	Não fitotóxico, nenhum efeito significativo
	C25 – 25%	116,34a	116,34a	Potencializa a germinação e estimula o crescimento da raiz
	C50 – 50%	122,96a	122,96a	Potencializa a germinação e estimula o crescimento da raiz
	C75 – 75%	96,89ab	93,23ab	Não fitotóxico, nenhum efeito significativo
	C100 – 100%	3,31c	1,38c	Muito fitotóxico e com inibição do crescimento da raiz

Nota: Em uma mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborada pela autora.

A análise de variância mostrou efeito significativo da concentração do elutriato na porcentagem de germinação relativa (GRS), no crescimento relativo do comprimento de raiz (CRR) e no índice de germinação (IG) ao nível de 5% de probabilidade. Desse modo, foi possível comparar se existem diferenças estatísticas significativas entre as réplicas de cada tratamento e entre tratamentos, conforme Tabela 12.

**Tabela 12 – Parâmetros estatísticos segundo ANOVA - F crítico e p de 5% de significância para IG, GRS e CRR das sementes de alface**

<b>Parâmetro</b>	<b>Parâmetro estatístico</b>	<b>Resultado analítico</b>
GRS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de F: 109,25</li> <li>• Valor de F crítico: 5,19</li> <li>• Valor de p: 0,000005</li> </ul>	<p>F&gt;F crítico e p&lt;5%</p> <p>Existe diferença significativa entre os tratamentos</p>
CRR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de F: 45,23</li> <li>• Valor de F crítico: 5,19</li> <li>• Valor de p: 0,000407</li> </ul>	<p>F&gt;F crítico e p&lt;5%</p> <p>Existe diferença significativa entre os tratamentos</p>
IG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de F: 76,68</li> <li>• Valor de F crítico: 5,19</li> <li>• Valor de p: 0,000113</li> </ul>	<p>F&gt;F crítico e p&lt;5%</p> <p>Existe diferença significativa entre os tratamentos</p>

Legenda: F crítico – Fator para análise de variância unidirecional (ANOVA); p - probabilidade de se observar o grau de diferença observada sob a hipótese nula.

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados obtidos para os ensaios de ecotoxicidade com resíduo da borra de café *in natura* utilizando sementes de *Lactuca sativa* mostraram que o resíduo não afetou significativamente o crescimento da raiz nas concentrações C10 – 10%, C25 – 25%, C50 – 50% e C75 – 75%, e apresentou efeito inibidor para a concentração de C100 – 100%.

Outro ensaio de germinação com extrato solubilizado de composto orgânico à base de borra de café, utilizando sementes de *Lactuca sativa*, apontou estímulo ao crescimento das radículas nas concentrações de 10% e 50% e efeito tóxico na concentração de 100% (Kim, 2018).

Pham et al. (2019) relatam resultados similares aos encontrados neste experimento, quando a concentração de cafeína presente no extrato solubilizado de variedades de chá vietnamita, nas concentrações de 1,0 mg/L, apresentou efeito inibitório de crescimento da radícula de sementes de alface germinadas em laboratório. Entretanto, o estudo ressalta o efeito alelopático da cafeína em concentrações similares — ou até maiores — em outras culturas, como aveia, arroz e ervilha.

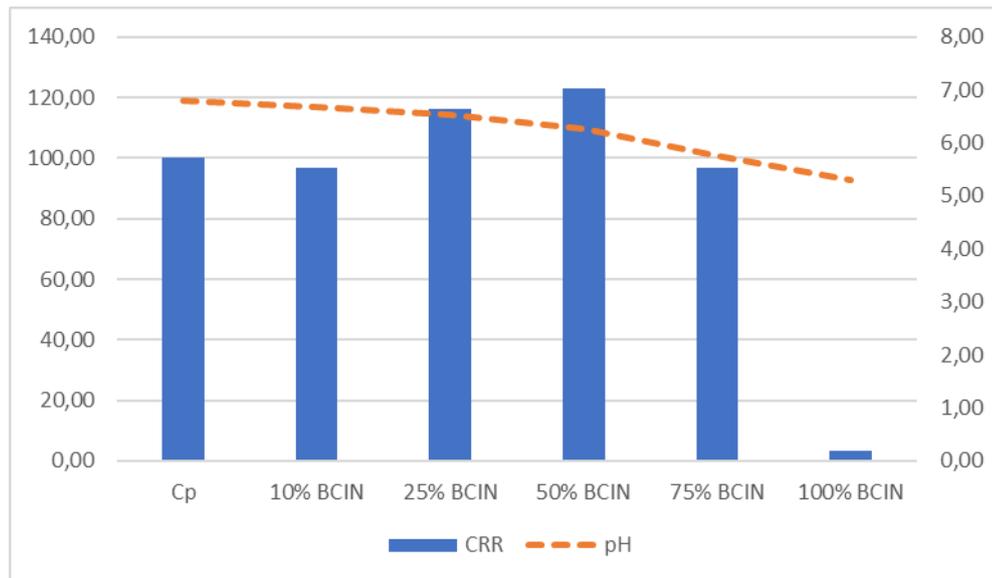
Embora a função fisiológica da cafeína, assim como de outros alcaloides em plantas, ainda não esteja totalmente esclarecida, diversos estudos indicam que esta age como agente alelopático, anti-herbívoro ou molécula armazenadora de nitrogênio, com possível envolvimento com a resistência a doenças (Mazzafera; Yamaoka-Yano; Vitória, 1996).

Segundo Siqueira e Abreu (2006), o pH do café pode variar com o tipo de torra a que os grãos foram submetidos, sendo um pH mais baixo para a torra clara e seguindo em escala proporcional à cor da torra — ou seja, quanto mais escura a torra, mais alto o pH. Para o teor

de cafeína, ainda segundo Siqueira e Abreu (2006), foi observado ligeiro decréscimo do teor de cafeína acompanhando o escurecimento da torra.

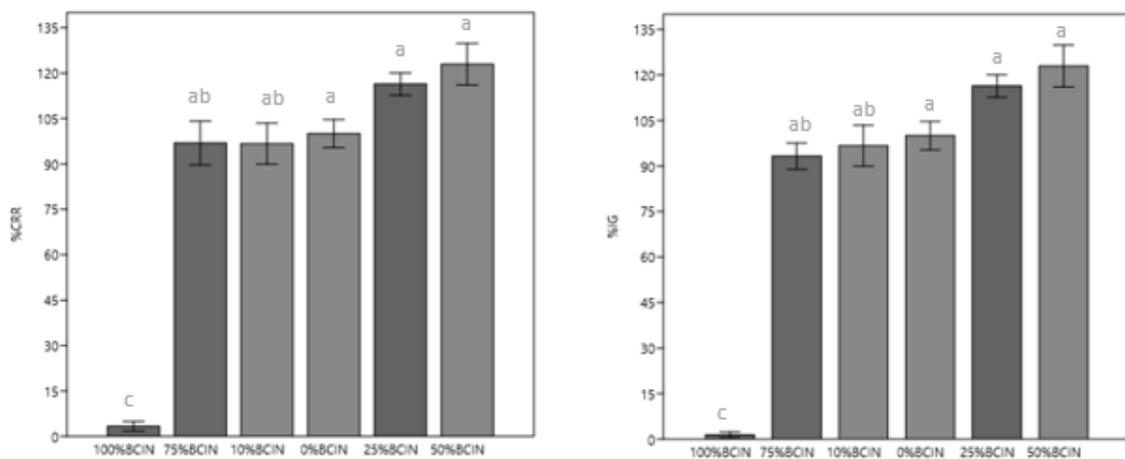
O efeito inibitório do crescimento da radícula para os tratamentos C100 – 100% e Cn apresentaram resultados de pH variando entre 5,46 e 5,31, isolando o efeito inibitório da cafeína, uma vez que os melhores resultados de germinação e crescimento de radícula de sementes de alface com substratos alternativos é obtido com pH em torno de 5,21 (Pragana, 1998).

**Figura 19 – IG e pH dos tratamentos para as sementes de alface**



Fonte: Elaborada pela autora.

**Figura 20 – CRR e IG das sementes de alface**

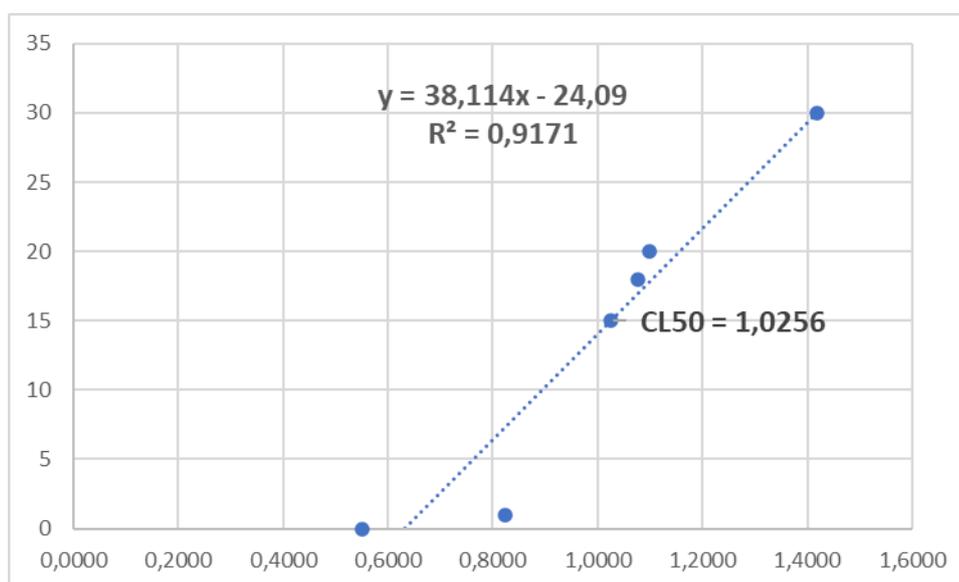


Fonte: Elaborada pela autora.

A partir do índice de crescimento relativo das plântulas (CRR) foi possível obter o CL50, ou seja, a concentração em termos de percentual de diluição no qual se observou 50% de inibição do crescimento das raízes.

Ao inserir os resultados dos índices calculados e suas respectivas concentrações, foi obtido uma equação que simula o comportamento do crescimento das raízes. Observou-se que o comportamento das sementes possui similaridade. A partir disso, obtive o CL50 e a porcentagem de 50% na equação que simula o comportamento para a concentração do elutriato que cause 50% de letalidade (Figura 21), ou seja, a concentração em termos de percentual de diluição no qual se observou 50% de inibição do crescimento das raízes de CL=1,0256 g/100 g de cafeína.

Figura 21 – CL50 das sementes de alface



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.4 Conclusões

Os resultados do bioensaio com semente de *Lactuca sativa* mostraram que ocorre influência da borra de café *in natura* na taxa de germinação e crescimento da radícula. Essa influência foi comprovada sem efeito fitotóxico e estimulante nas concentrações de 10%, 25%, 50% e 75%, enquanto, na concentração de 100%, tornou-se muito tóxico e com inibição do crescimento da radícula. Conclui-se ainda que, utilizando-se borra de café *in natura* com concentração de 1,0256 g/L de cafeína, podemos ter 50% de uma população não germinada.

Os resultados obtidos mostraram que o resíduo BCIN apresenta umidade alta (43,14%) e deve ser conservado sob refrigeração até o uso. É de natureza ácida para volumes acima de

75% (pH 5,75 e 5,31) e apresenta efeito inibidor para a crescimento relativo da radícula na concentração de 100%, com pH 5,31.

A borra de café *in natura* com concentração de 1, 0256 mg/L de cafeína é letal para 50% de uma população (CL50).

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2011. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/20257>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf). Acesso em: 20 fev. 2024.

BRASIL. **Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 31 maio 2024.

CAPUCI, Ana Paula Silva. **Cristalização da cafeína extraída da casca do café**. 2019. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2109>

DE SOUZA, L. O. A. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS**. Escola Nacional de Administração Pública (Enap). Brasília-DF: Scm Ambiental, 2017. 54 p. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/4923>. Acesso em: 3 mar. 2022.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

ECHART, C. L.; CAVALLI, S. S. **Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 3, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>

EOM, I. C.; RAST, C.; VEBER, A. M.; VASSEUR, P. Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 67, n. 2, p. 190–205, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.12.020>

FERNANDES, Gislaíne. **Extração e purificação de cafeína da casca de café**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15255>. Acesso em: 20 fev. 2024.

GARCIA, J. C.; SIMIONATO, J. I.; ALMEIDA, V. C.; PALÁCIO, S. M.; ROSSI, F. L.; SCHNEIDER, M. V.; DE SOUZA, N. E. Evolutive follow-up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 9, p. 1589-1597, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000900005>

HOHMANN, S. Borra de café: como a biotecnologia pode aproveitar esse resíduo. **Revista Blog do Profissão Biotec**, v. 8, 2021. Disponível em: <https://profissaobiotec.com.br/borra-de-cafe-como-biotecnologia-pode-aproveitar-esse-residuo/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

KAPANEN, A.; ITAVAARA, M. Ecotoxicity tests for compost applications. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 49, n. 1, p. 1-16, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.1927>

KIM, J. K. F. et al. **Análise de toxicidade do adubo orgânico, a partir de borra de café, casca de ovo e arroz, na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.)**. In: Congresso Nacional de Meio ambiente, XV. 2018.

KOHATSU, M. Y.; JESUS, T. A.; COELHO, L. H. G.; PEIXOTO, D. C.; POCCIA, G. T.; HUNTER, C. Fitotoxicidade de água superficial da Região Metropolitana de São Paulo utilizando bioensaio com *Sinapis alba*. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 58-62, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22571/2526-433885>

LABRE, J. C. C.; SILVA, J. A. M.; MILLIOLI, V. S.; CARVALHO, D. D. Testes Ecotoxicológicos baseados na Exposição de Anelídeos e Sementes de Alface através da Adição de Diferentes Concentrações de Surfactantes ao Solo. **Holos Environment**, [S. l.], v. 8, n. 2, 2008 - Suplemento - III Workshop de Ecotoxicologia.

LUMBAQUE, E. C.; GOMES, F. M.; CARVALHO, V. S.; FREITAS, A. M.; TIBURTIUS, E. R. L. Degradation and ecotoxicity of dye Reactive Black 5 after reductive-oxidative process. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 6, p. 6126-34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7150-y>

MAZZAFERA, P.; YAMAOKA-YANO, D. C.; VITÓRIA, A. P. Para que serve a cafeína em plantas? **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 67-74, 1996.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGLINONI, I.; MARRÉ, J. & MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

Campinas, v32, p. 2735-2744, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700017>

PFLUGER, R. A. Soluble coffee processing. In: MANTELL, C. L. (ed.). **Solid wastes: origin, collection, processing, and disposal**. New York: John Wiley & Sons, 1975. Ch. III. 4, p. 365-376.

PHAM, V. T. T.; ISMAIL, T.; MISHYNA, M.; APPIAH, K. S.; OIKAWA, Y.; FUJII, Y. Caffeine: The Allelochemical Responsible for the Plant Growth Inhibitory Activity of Vietnamese Tea (*Camellia sinensis* L. Kuntze). **Agronomy**, v. 9, n. 7, p. 396, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9070396>

PRAGANA, R. B. **Potencial do resíduo da extração da fibra de coco como substrato na produção agrícola**. 1998. Dissertação de mestrado - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.

SANTOS, Rita Cristiana da Costa. **Desenvolvimento e caracterização de um sabonete contendo borras de café**. 2016. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10284/5516>. Acesso em: 27 fev. 2022

SILVA, M. A.; NEBRA, S. A.; MACHADO SILVA, M. J.; SANCHEZ, C. G. The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry. **Biomass and Bioenergy**, London, v. 14, n. 5-6, p. 457-467, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10034-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10034-4)

SIQUEIRA, H. H. de; ABREU, C. M. P. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p.112-117, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100016>

TAVARES, R. G.; MOTTA SOBRINHO, M. A. M.; PEREIRA, L. J. R.; CORREA, M. M.; ARRUDA, V. C. M.; MELO, R. R. C. Avaliação da Toxicidade do Lodo de Estação de Tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*). *Revista DAE*, v. 67, n. 128, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.040>

TIQUIA, S.; TAM, M.; N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. **Environmental Pollution**, v. 93, n. 3, p. 249-256, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00052-8)

UCOFFEE. **Acidez no café: o que é, como afeta e como controlar**. 2018. Disponível em: <https://blog.ucoffee.com.br/acidez-no-cafe-o-que-e/>. Acesso em: 31 maio 2024.

VALENTE, B. S.; Xavier, E. G.; Morselli, T. B. G. A.; Jahnke, D. S.; Brum Jr., B.; Cabrera, B. R.; Moraes, P.; Lopes, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 59-85, 2009. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v58i224.5074>

ŽALTAUSKAITĖ, J.; ČYPAITĖ, A. Assessment of landfill leachate toxicity using higher plants. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 4, p. 42-47, 2008.

#### 4 USO DA *EISENIA FETIDA* COMO BIOINDICADOR DE TOXICIDADE DA BORRA DE CAFÉ

##### Resumo

O consumo de café em forma de bebida resulta na geração de uma massa residual, a borra de café (BC). O descarte de tal resíduo é geralmente destinado a aterros e lixões, causando impactos ambientais ainda de difícil medição. Estudos sobre a decomposição desse resíduo são escassos. Desse modo, o presente trabalho visa analisar a possibilidade do uso das minhocas *Eisenia fetida* como bioindicadores da qualidade ambiental, face à reação destas, via efeito de fuga, em bioensaios com borra de café *in natura*. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram dois controles, Cp (controle positivo) e Cn (controle negativo), e as concentrações C10-10%, C25-25%, C50-50%, C75-75% e C100-100% de extrato de BC em função do volume para umedecer o solo teste na umidade da capacidade de campo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste Exato de Fisher e de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio dos softwares Jamovi e Past. Identificou-se que o extrato BC, para concentrações até 50% não apresentou efeito tóxico potencial; todavia, em doses equivalentes acima de 50%, ocorreu fuga dos organismos e limitação da função habitat, o que revela toxicidade.

**Palavras-chave:** ecotoxicidade; contaminantes emergentes; cafeína.

##### Abstract

The consumption of coffee in the form of a drink results in the generation of a residual mass, the grounds. The disposal of such waste is generally destined for landfills and dumps, causing environmental impacts that are still difficult to measure, in isolation. Studies on the decomposition of this residue are scarce. Therefore, the present work aims to analyze the possibility of using *Eisenia fetida* earthworms as bioindicators of environmental quality in view of their reaction, via the escape effect in bioassays. A completely randomized design was used with seven treatments and three replications. The treatments were two controls, Cp (positive control) and Cn (negative control), and concentrations C10-10%, C25-25%, C50-50%, C75-75% and C100-100% of BC extract as a function of volume to moisten the test soil at field capacity moisture. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the means were compared using Fisher's exact test and Tukey's test at 5% probability, with the aid of Jamovi and Past software. It was identified that the BC extract, in concentrations up to 50%, did not present a potential toxic effect; however, at equivalent doses above 50%, organisms escaped and limited habitat function, which reveals toxicity.

**Keywords:** ecotoxicity; emerging contaminants; caffeine.

## 4.1 Introdução

O café é a bebida preparada mais consumida do mundo e tem elevada importância no Brasil, visto que coloca o país em uma posição de destaque no mercado mundial. Essa *commodity* é a primeira na carteira de exportação nacional e cultivo do grão, e o país ocupa o segundo lugar em relação ao consumo da bebida.

De origem lendária, acredita-se que o café tenha sido originado na região da Etiópia e dali se espalhou pelo mundo com o passar dos anos, tornando-se uma bebida popular e muito utilizada (Ukers, 1922). A imagem de bebida apropriada para degustar em reuniões de negócios ou de lazer, com a característica de ser estimulante e de acelerar o metabolismo, contribuiu para a ampliação do consumo de café em termos globais e sua consolidação como a bebida mais popular no mundo, o que permanece até os dias de hoje.

No entanto, observando-se a cadeia produtiva do café, desde o momento do cultivo até bebida pronta na xícara, verifica-se que muitos impactos ambientais foram desencadeados ao longo dos séculos de história do café no Brasil.

Segundo Lopes et al. (2014), os principais impactos da cultura cafeeira no Brasil são o alto índice de desmatamento da Mata Atlântica e do Cerrado para implantação dos monocultivos de café e o empobrecimento do solo oriundo de um sistema convencional de produção embasado no uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Por outro lado, o consumo do café no Brasil, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC) foi da ordem de 21,3 milhões de sacas em 2022, com um consumo *per capita* de 4,77 kg de café torrado e moído, que geram considerável volume de resíduo sólido.

A massa residual gerada após o preparo da bebida é denominada de borra de café. A borra de café é rica em substâncias como ácidos graxos, proteínas, polifenóis, minerais e polissacarídeos (Campos-Vega et al., 2015). Quase metade da sua composição, cerca de 45% p/p, são açúcares polimerizados em forma de celulose e hemicelulose. Um fato interessante é que aproximadamente 70% dos polissacarídeos do café torrado permanecem na borra do café. (Zabaniotou; Kamaterou, 2019). Além desses componentes, a borra do café também contém compostos em menor quantidade, como minerais (K, P, Mg), compostos fenólicos, taninos e cafeína — um alcaloide que, quando solubilizado, pode causar a contaminação do solo. É classificado como Resíduo Sólido Urbano e quase a totalidade de sua destinação é feita em aterros sanitários, aterros controlados e lixões.

A borra do café é um resíduo que conta com diversas aplicações, mas que ainda é subaproveitado no Brasil e no mundo. Apesar dos inúmeros benefícios pretendidos pela

utilização da borra do café, é preciso mapear os desafios associados ao seu uso, como, por exemplo, os impactos da cafeína no solo. A química e a atividade biológica desta e de outras substâncias nessa massa ainda não foram totalmente elucidadas, e estudos de impacto ambiental sobre esse material e/ou aqueles oriundos de sua decomposição são escassos (Daglia et al, 2000; Kalcikova et al., 2011).

Quando se refere à utilização do solo com o objetivo de alcançar maior produtividade, a microbiocenose é um componente que recebe pouca atenção. O principal fator que altera as propriedades químicas do solo em áreas agrícolas e que mostra efeito sobre sua fauna é a utilização de fertilizantes, químicos ou orgânicos. A atividade antrópica introduz diversos compostos xenobióticos no ambiente, como agrotóxicos e fertilizantes de uso agrícola, metais, derivados de petróleo e outros subprodutos e resíduos, provenientes de atividade simples do cotidiano.

No caso do Brasil, alguns contaminantes emergentes apresentam valores de orientação Valores Máximos Permitidos (VMP) definidos na Portaria GM/MS n.º 888/2021 e nas Resoluções CONAMA n.º 396/2008 e 420/2009, como é o caso de agrotóxicos e pesticidas. No entanto, diversos outros compostos não têm regulamentação, como é o caso da cafeína.

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2021), entre 2010 e 2019, a geração de RSU no Brasil registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Por sua vez, a geração *per capita* aumentou de 348 kg para 379 kg ao ano. Quase a totalidade desses resíduos é disposta no solo, seja em aterros sanitários, aterros controlados ou lixões.

Conforme Franco, Rocha e Thode Filho (2020), entende-se que a geração de borra a partir da produção do café apresenta um potencial impactante elevado ao solo, seja pela massa residual ou pela geração de líquidos a partir de sua decomposição. A fim de analisar o potencial efeito tóxico de certas substâncias como a cafeína contida na borra de café, são necessários testes de toxicidade (Flohr et al., 2005).

O conhecimento do grau e das formas de poluição por meio de monitoramento ambiental é fundamental, tendo em vista o potencial de persistência ou o de transformação em outros compostos e de complexação dos xenobióticos com moléculas naturais. Entretanto, o monitoramento é feito por meio de análises dispendiosas, que dependem de conhecimento específico de métodos, de aparelhos e materiais caros e de pessoal especializado para condução dessas análises.

A abundância e a diversidade da fauna do solo podem variar de acordo com o tipo e composição de resíduos orgânicos aplicados ao solo (Alves et al., 2008). A maior densidade de

alguns organismos, como no caso das minhocas, está intimamente associada a solos sem muita interferência antrópica e com alto teor de matéria orgânica (Trogello; Trogello; Silveira, 2008).

Pode-se afirmar que a comunidade de minhocas presente em um dado lugar é uma função das condições edáficas (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, conteúdo de matéria orgânica (MO), umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricas (especialmente humana, mas também geológica), topográficas (posição fisiográfica, inclinação) e climáticas (precipitação, temperatura, vento, umidade relativa do ar) do local (Lavelle, 1996).

Por sua grande importância no solo, sua ampla distribuição e por todas as razões previamente citadas, as minhocas, principalmente as espécies *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) e *E. andrei* Bouché, 1972, foram escolhidas para diversos testes de toxicidade para fins de registro de agrotóxicos junto aos órgãos regulamentadores de diversos países, inclusive do Brasil. Assim, os testes da Organização Europeia de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), da Agência Americana de Proteção do Ambiente (EPA) e da Organização Internacional para Padronização (ISO), entre outros, adotaram a espécie *E. fetida* para os testes de toxicidade aguda desde, respectivamente, 1984, 1991 e 1993 e, posteriormente, para os testes de reprodução e rejeição ou evitamento de agrotóxicos.

Os principais objetivos ecotoxicológicos são identificar os riscos associados a uma substância e determinar em que condições de exposição esses riscos são induzidos. A toxicologia como ciência serve tanto para proteger os seres vivos e o meio ambiente dos efeitos nocivos causados por substâncias tóxicas quanto para facilitar a avaliação de agentes químicos nocivos mais seletivos, como drogas clínicas e pesticidas. Cerca de onze milhões de produtos químicos são conhecidos e apenas uma pequena porcentagem é bem estudada em relação aos seus efeitos e dinâmica no meio ambiente (Hodgson, 2004). Para a execução desses testes são usados organismos de teste que, quando em contato com meios adversos, apresentam alterações genéticas, imobilidade, deformidades e mortalidade (Andrea et al., 2011).

Dentre os organismos de solo, as minhocas compreendem de 40% a 90% da biomassa de macrofauna da maioria dos ecossistemas tropicais (Fragoso et al. 1999). Sua importância é imensa visto que têm papel destacado na formação do solo (Righi 1997). Elas representam uma boa alternativa como bioindicadores para execução dos testes de ecotoxicidade, devido à simplicidade de criação e abrangência da espécie (Andrea, 2010).

De acordo com Guimarães e El-Deir (2019), para uma escolha assertiva do bioindicador, devem ser levados em consideração os seguintes aspectos: ser facilmente reconhecido por não-especialistas, ter taxonomia bem definida, apresentar ampla distribuição geográfica, baixa

variabilidade genética, ciclo de vida longo e baixa mobilidade, ser abundante, dispor de características ecológicas bem definidas, ser de tamanho que possibilite sua visibilidade a olho nu e ter possibilidade de uso em laboratório.

A *Eisenia fetida* é conhecida como minhoca vermelha californiana, por apresentar colorações na parte dorsal do corpo que variam de vermelho ou vermelho-escuro a marrom. Essa espécie de anelídeo é classificada taxonomicamente no reino *Animalia*, filo *Annelida*, classe *Clitellata*, ordem *Haplotaxida* e família *Lumbricidae* (Costa, 2010). Estão distribuídas pelos solos de todo o mundo, sendo animais subterrâneos detritívoros, que ingerem solo como seu principal alimento (Borges, 2013).

Apresentam grande capacidade de transformar restos de matéria orgânica em húmus, pois são minhocas detritívoras (Marion, 2011). É classificada como uma espécie epigeica (que vive na liteira do solo e consome matéria orgânica fresca) e apresenta rápida taxa de crescimento e maturação sexual. Segundo Costa (2010), a *Eisenia fetida* pode variar de 35 a 130 mm de comprimento e pode sobreviver até 4 a 5 anos, mas normalmente atingem 2 anos de vida.

Quanto ao habitat, existem estudos controversos sobre sua utilização em testes toxicológicos, por serem comprovadamente menos sensível que outras espécies e não serem representativas de ambientes rurais (Ribera et al., 2001).

Segundo as normativas da OECD (1984), o uso da espécie *Eisenia fetida* nos testes ecotoxicológicos é recomendado por se tratar de um anelídeo facilmente cultivável em laboratório.

Assim, tendo em vista a grande quantidade de resíduos de café gerados após consumo e sua disposição inadequada sobre o solo, este trabalho visa avaliar a toxicidade da cafeína presente na borra de café *in natura*, utilizando minhocas *Eisenia fetida* como bioindicadores da qualidade ambiental, por meio do teste de fuga.

## 4.2 Materiais e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no período de novembro de 2023 no laboratório de Solo e Saneamento da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

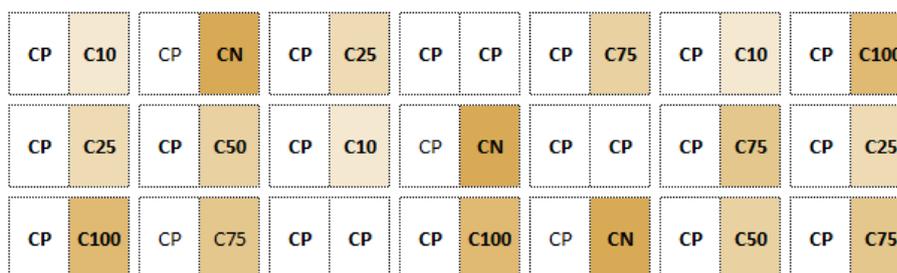
Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, composto de sete tratamentos com três repetições (Tabela 13). O croqui proposto para a disposição dos tratamentos encontra-se na Figura 22. Os tratamentos experimentados no grupo-teste foram adidos de doses do extrato solubilizado em função do volume necessário para o umedecimento de cada solo.

Tabela 13 – Relação das doses de cafeína aplicadas no solo teste

Tratamentos	Dose aplicada de elutriato (%)	Dose aplicada de cafeína (mg/L)
C10 – 10% BCIN	10	0,011
C25 – 25% BCIN	25	0,275
C50 – 50% BCIN	50	0,550
C75 – 75% BCIN	75	0,824
C100 – 100% BCIN	100	1,099
CP	Testemunha – controle positivo (apenas água destilada)	0,000
CN	Testemunha – controle negativo (solução de cafeína a 1%)	1,077

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 22 – Croqui de distribuição dos tratamentos no período de incubação



Fonte: Elaborada pela autora.

A cafeína (produto comercial em pó) utilizada nos testes foi doada pela Pharmapele® e armazenada ao abrigo de luz. A solução para o controle negativo Cn foi preparada com água destilada.

O substrato (solo controle e teste) utilizado nesta pesquisa, cuja seleção foi baseada na NBR ISO 17512-1:2011, foi o esterco bovino, obtido no departamento de Zootecnia da UFRPE. A escolha ocorreu tendo em vista que era o ambiente onde as minhocas se desenvolveram e, portanto, já estavam adaptadas.

Os organismos-teste adotados para este estudo foram minhocas adultas da espécie *Eisenia fetida*, originárias do cultivo do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Foram aclimatadas e mantidas em balde com o esterco bovino. As minhocas selecionadas foram consideradas sexualmente maduras com clitelo bem desenvolvido, massa média maior ou igual a 300 mg e a alimentação até o momento do teste foi o próprio esterco bovino. As minhocas não foram alimentadas durante o tempo do experimento.

**Figura 23 – Minhocas da espécie *Eisenia fetida***



Fonte: Fotos da autora.

Para preparação do substrato, uma amostra foi retirada e peneirada em bandejas plásticas, com a finalidade de garantir a ausência de ovos ou pequenos indivíduos.

O elutriato da borra de café *in natura* e todas as soluções foram preparadas no dia da realização dos testes, utilizando balões volumétricos e pipetas automáticas à temperatura de  $25\pm 2^\circ\text{C}$ , conforme descrito no Capítulo 3. Os tratamentos aplicados no teste encontram-se descritos na Tabela 13.

O elutriato e suas diluições foram caracterizados quanto ao Ph, conforme metodologia proposta por Donagema et al. (2011), através dos eletrodos colocados na suspensão homogeneizada, e quanto ao teor de cafeína, conforme o método utilizado por Capuci (2019), ambos descritos no Capítulo 3.

**Tabela 14 – Características das soluções usadas nos testes de fitotoxicidade**

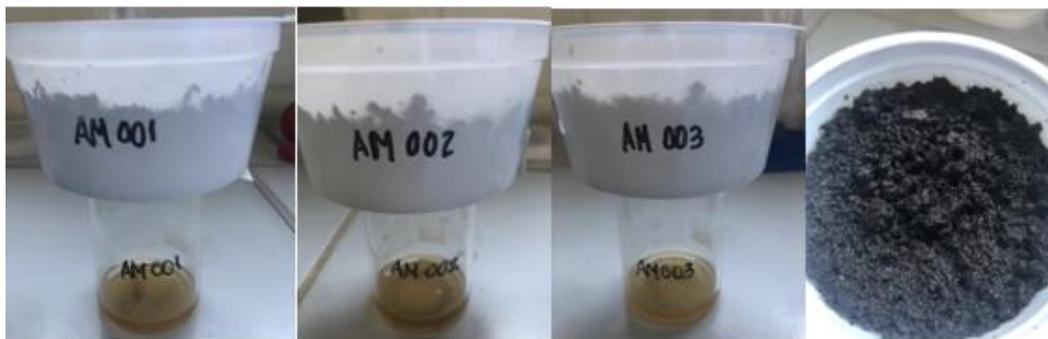
<b>Tratamento</b>	<b>pH</b>	<b>Concentração de cafeína (g/L)</b>
Cp	6,8	0,00
C10 – 10% BCIN	6,68 + 0,05	0,11
C25 – 25% BCIN	6,53 + 0,05	0,27
C50 – 50% BCIN	6,26 + 0,05	0,55
C75 – 75% BCIN	5,75+ 0,05	0,82
C100 – 100% BCIN	5,31 + 0,05	1,10
Cn	5,46 ± 0,03	1,07

Fonte: Elaborada pela autora.

Para adicionar o volume indicado do elutriato nos ensaios, foi necessário determinar a capacidade máxima de retenção de água (Figura 24), a fim de elevar a umidade inicial até 60% com o volume das concentrações do elutriato e substância controle.

Para determinação da capacidade de retenção de água (CRA), primeiramente foi definida a umidade inicial do substrato, que seguiu uma adaptação da metodologia estabelecida na NBR ISO 17512-1:2011. Os resultados encontram-se descritos na Tabela 15.

**Figura 24 – Experimento para determinação da capacidade de retenção de água do esterco bovino**



Fonte: Fotos da autora.

A partir da Equação 4 (Donagema et al., 2011), determinou-se a umidade necessária para a realização dos ensaios de fuga (Tabela 15).

$$CRA = \frac{MSU - MSS}{MSS} \quad (\text{Equação 4})$$

sendo

- MSU – massa do substrato úmida após saturação;
- MSS – massa do substrato seca após estufa a 105°C até massa constante.

**Tabela 15 – Capacidade de retenção de água**

MSU (g)	MSS (g)	CRA (g/g)
158,63	125,54	0,26
162,01	129,09	0,25
160,49	127,32	0,26

Legenda: MSU – massa do substrato úmido; MSS – massa do substrato seco; CRA – capacidade de retenção de água.

Fonte: Elaborada pela autora.

Para montagem final do experimento, os recipientes-teste foram preparados em triplicata em potes plásticos brancos virgens, com capacidade para 1 kg e tampa com tela.

Foram adicionados 250 g de solo teste (esterco bovino contaminado com extrato solubilizado de borra de café) de um lado e 250 g de solo controle do outro, separados por um divisor.

A umidade foi ajustada em cada divisão do recipiente teste, sendo o solo controle (SC) com água destilada e o solo teste (ST) com a respectiva concentração da solução do elutriato com o contaminante (caféina).

Para a inoculação das minhocas, o divisor foi removido e 10 minhocas adultas foram inoculadas na fenda aberta pela remoção da divisória de cada repetição, a fim de facilitar seu acesso ao interior da massa de esterco.

**Figura 25 – Sequência de preparação/inoculação do recipiente teste**



Fonte: Fotos da autora.

Logo após a inserção dos organismos, os recipientes foram cobertos com tampa telada, permitindo assim a entrada de oxigênio. Os recipientes foram distribuídos nas prateleiras, com os lados que continham o solo contaminado na mesma direção.

Após 48 horas, o divisor foi reintroduzido nos recipientes, separando o solo teste do solo controle. Foi feita a contagem do número de minhocas em cada um dos lados e elas foram pesadas novamente, para avaliar o ganho de massa. Os procedimentos apresentados constituíram as variáveis massa inicial, massa final e ganho/perda de massa.

Os resultados foram avaliados conforme a porcentagem de minhocas encontradas em cada compartimento do recipiente e também a taxa de evitamento. A NBR ISO 17512-1:2011 recomenda a Equação 5 para determinar a taxa de evitamento das minhocas às diferentes concentrações de contaminantes:

$$A = \frac{C-T}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

sendo

- A – fuga (*avoidance*), em porcentagem (%);
- C – número de minhocas no solo controle;
- T – número de minhocas no solo teste.

Para as análises estatísticas foram utilizados os programas Jamovi (Version 2.4.11.0) e o Excel.

### 4.3 Resultados e discussão

A existência da fuga significativa nas concentrações foi avaliada mediante a utilização do teste exato de Fisher, comparando duas variáveis qualitativas independentes, número de indivíduos esperado e observado, conforme resultados apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16 – Resultados do teste de fuga**

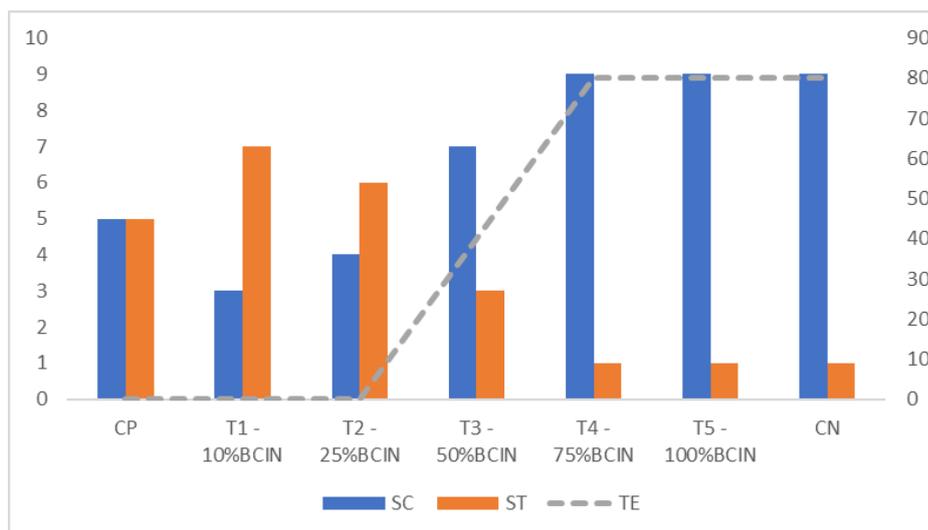
Tratamento	Nº de indivíduos		Teste exato de Fisher (p)	Taxa de evitamento (%)	Avaliação comportamental
	SC	ST			
Cp	5	5	0,008	0	EFNO
C10 – 10% BCIN	3	7	0,008	0	EFNO
C25 – 25% BCIN	4	6	0,005	0	EFNO
C50 – 50% BCIN	7	3	0,008	40	EFO
C75 – 75% BCIN	9	1	0,100	80	FHL
C100 – 100% BCIN	9	1	0,100	80	FHL
Cn	9	1	0,100	80	FHL

Legenda: Cp – controle positivo (0% BCIN); Cn – controle negativo (1,077 g/L de cafeína); SC – solo controle; ST – solo teste; EFNO – efeito de fuga não observado; EFO – efeito de fuga observado; FHL – função habitat limitada.

Fonte: Elaborada pela autora.

O teste de Fisher utilizado neste estudo, de acordo com Agresti (1992), baseia-se na comparação do comportamento observado (controle positivo, controle negativo e solo teste) com um comportamento esperado, que é a ausência de fuga, com uma distribuição igualitária dos organismos nas duas seções do recipiente (hipótese nula).

**Figura 26 – Resultados de solo controle, solo teste e taxa de evitamento**



Fonte: Elaborada pela autora.

As concentrações que não apresentaram taxa de evitamento foram o controle positivo, com 0% do elutriato, ou seja, isento de cafeína, e os tratamentos C10 – 10% BCIN e C25 – 25% BCIN, com 0,011 g/L e 0,27 g/L de cafeína, respectivamente.

A concentração de 50% de elutriato, ou seja, 0,55 g/L, apresentou 40% de evitamento, indicando que não há habitat limitado, porém, foi observado o efeito de fuga.

Os tratamentos C75 – 75% BCIN, C100 – 100% BCIN, com 75% e 100% de elutriato, e CN (controle negativo), com concentrações de cafeína em torno de 1,0 g/L, não diferem estatisticamente, com valor de  $p > 0,05$  para o teste exato de Fisher.

De acordo com a norma NBR ISO 17512-1:2011, nessa condição a função habitat é limitada, o que sugere um possível impacto quando o resíduo lançado no ambiente, tornando o solo impróprio para o desenvolvimento e a manutenção da vida vegetal.

Thode Filho et al. (2017), em um estudo sobre o comportamento de fuga das minhocas a partir da introdução da borra do café, verificaram que, em um solo com textura arenosa, 25 g de borra no estado sólido promoveram comportamento de evitação. No entanto, o experimento foi realizado com a borra de café no estado sólido, não considerando o teor de cafeína existente no resíduo. Verificou-se que a borra do café tornou o solo impróprio para o habitat das minhocas.

Um outro experimento, realizado por Franco et al. (2020) com extrato solubilizado, encontrou resultado semelhantes de evitamento de minhocas da espécie *Eisenia fetida* em concentrações acima de 100% da borra de café.

Nos resultados da análise estatística da massa, foi observado perda de massa das minhocas; após teste de Tukey com 5% de probabilidade, houve diferença estatística ao final do experimento, como pode ser observado na Tabela 17 e na Figura 27.

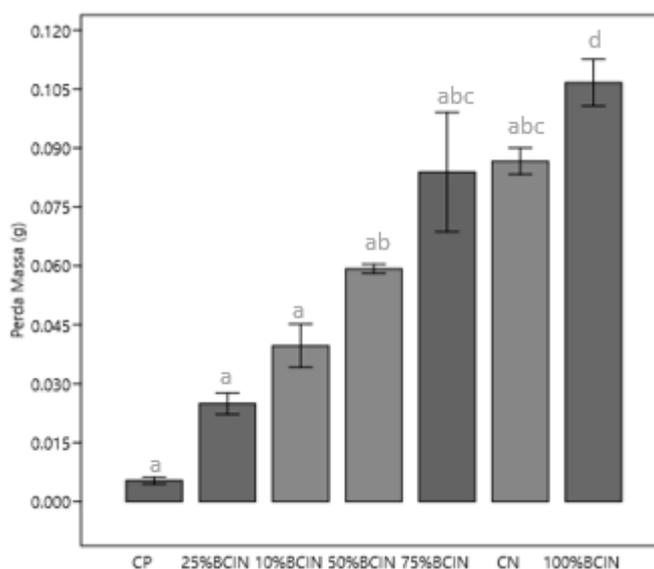
**Tabela 17 – Massa perdida – Teste de fuga**

<b>Tratamento</b>	<b>Média da massa perdida</b>
Cp	0,005e
C10	0,040d
C25	0,025a
C50	0,059c
C75	0,084b
C100	0,107a
Cn	0,087b

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborada pela autora.

**Figura 27 – Massa perdida por tratamento**



Fonte: Elaborada pela autora.

As análises estatísticas possibilitaram determinar se um valor representativo da concentração de cafeína testado causou o efeito de rejeição ao solo contaminado. A avaliação qualitativa deve trazer a informação da diferença estatística significativa entre o solo teste e solo controle, no qual o ambiente é “tóxico”; caso contrário, o resultado é “não tóxico”.

Conforme Zibetti et al. (2015), a adição de borra de café *in natura* ao esterco bovino aumentou a biomassa total e indicou uma tendência de aumento na produção de casulos.

#### 4.4 Conclusões

Os resultados obtidos nos testes de toxicidade aguda concluem que a cafeína existente nos tratamentos acima de 0,55 mg/L (C50 – 50% BCIN) induziu evitamento e perda de habitat em minhocas da espécie *Eisenia fetida* nas concentrações utilizadas, sendo observado 100% de sobrevivência em todas as réplicas de ensaio e perda de massa nos organismos diretamente proporcional ao aumento do teor da cafeína.

#### Referências

AGRESTI, Alan. A survey of exact inference for contingency tables. **Statistical Science**, v. 7, n. 1, p. 131-153, 1992.

ALVES, M. V.; SANTOS, J. C. P.; GÓIS, D. T.; ALBERTON, J. V.; BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no Oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 589-598, mar. 2008.

ANDREA, M. M. de. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. **Acta Zoológica Mexicana** (nueva serie), v. 26, n. esp. 2, p. 95-107, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **Indicadores da Indústria de Café | 2022**. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2022/>. Acesso em: 31 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 17512-1: Qualidade do solo – Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento. Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BORGES, Gabriela Daminelli. **Bioindicação através da *Eisenia fetida* em substrato do campo Morozoni, Treviso, Santa Catarina, Brasil**. 2013. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

CAMPOS-VEGA, Rocio et al. Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 24-36, set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>

CAPUCI, Ana Paula Silva. **Cristalização da cafeína extraída da casca do café**. 2019. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2109>

COSTA, Cristina Henning da Costa. **Estudo ecotoxicológico para valorização do resíduo produzido no processo de polimento de piso porcelanato na indústria cerâmica**. 2010. 153 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

DAGLIA, M.; PAPETTI, A.; GREGOTTI, C. BERTÈ, F.; GAZZANI, G. In Vitro Antioxidant and ex Vivo Protective Activities of Green and Roasted Coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 1449-1454, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf990510g>

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtdosdeAnilisedeSolo.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

FLOHR, L. et al. Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa. **Biotemas**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 7-18, 2005.

FRAGOSO, C. et al. **Earthworm communities of tropical agroecosystems**: origin, structure and influence of management practices. p. 27-55. In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P. F. (eds). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 1999.

FRANCO, H. A.; ROCHA, M. V. de C.; THODE FILHO, S. Impacto Ambiental do Extrato Solubilizado de Borra de Café sobre Organismo Terrestre. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n. 1, p. 404-413, 5 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p404-413>

GUIMARÃES, E. S.; EL-DEIR, S. G. Analysis of Bioindicators Species of Wastewater of the Productive System, an Option of Environmental Monitoring for the Production Engineering. **International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRED)**, v. 4, n. 1, p. 16-25. Disponível em: <http://www.ijrer.com/papers/v4-i1/3-IJRED-D007.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024.

HODGSON, Ernest. **Modern Toxicology**. North Carolina State: John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2004.

KALČÍKOVÁ, G.; VÁVROVÁ, M.; ZAGORC-KONČAN, J.; ŽGAJNAR GOTVAJN, A. Seasonal variations in municipal landfill leachate quality. **Management of Environmental Quality**, v. 22, n. 5, p. 612-619, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/14777831111159734>

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; LOPES, I. M.; RANGEL, R. P.; de FREITAS SANTOS, N. F.; KAGEYAMA, P. Y. Uma análise das consequências da cafeicultura convencional e das opções de modelos sustentáveis de produção: agricultura orgânica e agroflorestal. **Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 8, n. 2, p.1- 38, 2014.

MARION, Luis Fernando. **Avaliação da qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares em sistema de cultivo convencional e de bases ecológicas**, Santa Cruz do Sul,

**RS, Brasil.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Guideline for Testing of Chemicals. Earthworm, Acute Toxicity Tests.** 1984. 9p.

RIBERA, D.; NARBONNE, J. F.; ARNAUD, C.; SAINT-DENIS, M. Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil, effects of carbaryl. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p. 1123-1130, 2001.

RIGHI, G. **Minhocas da América Latina: diversidade, função e valor.** In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. Rio de Janeiro, 1997.

THODE FILHO, S.; SOUZA, L. C. de; JORGE, E. N. de L. F.; SENA, M. F. M. de; FRANCO, H. A. Evaluation of the impact of the leached and solubilized extracts on the germination of cabbage seeds (*Brassica oleracea* var. capitata). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 21, p. 58–66, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117029733>.

TROGELLO, E.; TROGELLO, A. G.; SILVEIRA, E. R. Avaliação da Fauna do Solo em Diferentes Sistemas de Cultivo, Milho Orgânico e Milho em Plantio Direto. **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 6, n. S1, 2008.

UKERS, W. **All About Coffee.** New York: Tea and Coffee Trade Journal, 1922.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Ecological Effects Test Guidelines OPPTS 850.6200.** Earthworm Subchronic Toxicity Test. Washington D.C.: EPA, 1996.

ZABANIOTOU, Anastasia; KAMATEROU, Paraskevi. Food waste valorization advocating Circular Bioeconomy - A critical review of potentialities and perspectives of spent coffee grounds biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 211, p. 1553-1566, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.230>

ZIBETTI, V. K.; NACHTIGAL, G. de F.; LIMA, D. L. de; SCHIEDECK, G. Crescimento e reprodução de minhocas em misturas de resíduos orgânicos e efeitos nas propriedades químicas e microbiológicas do húmus. **Interciência**, v. 40, n. 1, p. 57-62, 2015.

## 5 BORRA DE CAFÉ *IN NATURA* COMO SUBTRATO PARA CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE E CAFÉ

### Resumo

A grande produção e consumo mundiais de café originam uma enorme quantidade de resíduos, entre eles a borra, resultante do processo de obtenção da bebida do café. Nesse contexto, objetivou-se avaliar níveis de borra de café na formulação de substrato para produção de mudas de alface e café. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) de borra de café *in natura* adicionados ao substrato comercial, com cinco repetições. Foram avaliados os seguintes parâmetros: índice de germinação (IG, %), velocidade de emergência (VE, %), altura (Alt, cm), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA, g) e o teor de cafeína absorvido pelas mudas de alface. Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) de fator único e ao teste de Tukey. Resultados inibitórios relativos às dosagens acima de 50% foram observadas em ambas as culturas para todas as variáveis avaliadas, excetuando-se o índice de germinação da alface, que não apresentou diferença significativa para as médias dos tratamentos. Concluiu-se que os níveis de 75% e 100% de borra de café *in natura* afetaram negativamente a altura, o número de folhas e a massa fresca da parte aérea das mudas de café e alface.

**Palavras-chave:** resíduo sólido; hortalíça; reciclagem.

### Abstract

The large global production and consumption of coffee generates a huge amount of waste, including sludge, resulting from the process of obtaining the coffee drink. In this context, the study aimed to evaluate levels of coffee grounds in the substrate formulation for the production of lettuce seedlings. The experiment was conducted at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE). The experimental design was completely randomized, with five treatments (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) of fresh coffee grounds added to commercial substrate, with five replications. The following parameters were evaluated: germination index (%), emergency speed index (%), height (cm), number of leaves, fresh mass of the aerial part of lettuce seedlings, and the caffeine content absorbed by the seedlings. The results were subjected to the Shapiro-Wilk normality test and, subsequently, to single-factor analysis of variance (ANOVA) and Tukey test. Inhibitory results related to dosages above 50% were observed in both cultures for all variables evaluated, except for the lettuce germination index, which did not present a significant difference compared to the treatments means. It was concluded that concentration levels of 75% and 100% of fresh coffee grounds negatively affected the height, number of leaves and fresh mass of the aerial part of the seedlings.

**Keywords:** solid waste; vegetable; recycling.

## 5.1 Introdução

A cafeicultura é reconhecida como importante atividade do agronegócio brasileiro, gerando muitos empregos diretos e indiretos, além de ser responsável por boa parte das exportações brasileiras. Grandes desafios, porém, precisam ser vencidos, com a melhoria do produto conciliando produtividade e sustentabilidade.

Segundo dados da Abrelpe (2021), entre 2010 e 2019, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Por sua vez, a geração *per capita* aumentou de 348 kg para 379 kg ao ano. Quase a totalidade desses resíduos é disposta no solo, seja em aterros sanitários, aterros controlados ou lixões.

A preocupação com a disposição adequada ou reutilização da borra decorrem do elevado volume gerado e de sua natureza poluente, causada pela presença de matéria orgânica — que demanda atividade bacteriana e fúngica, além de uma grande quantidade de oxigênio, para ser degradada, o que seria um problema no caso desse resíduo ser enviado a aterros sanitários (Silva et al., 1998) — e da presença da cafeína, um alcalóide farmacologicamente ativo pertencente ao grupo das metilxantinas [2, 7, 16] com efeito alelopático, cujos impactos ambientais causados ao solo pelo efeito cumulativo do seu descarte *in natura* são pouco conhecidos.

Segundo Hardgrove (2016), a presença da cafeína na borra de café pode causar problemas de fertilidade ao solo, devendo, portanto, ser manejada de modo a não causar impacto ambiental.

Uma das potencialidades da borra de café está no uso na agricultura, como fertilizante ou componente de substratos para produção de mudas, por se tratar de material rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes (Fan; Soccol, 2005), como vem sendo feito em alguns países.

De acordo com Almeida et al. (2011), o substrato deve apresentar boas características, tais como porosidade adequada, alta capacidade de troca catiônica, boa retenção de água, ser economicamente viável e ser produzido de maneira sustentável.

Uma das etapas de grande relevância na horticultura é a produção de mudas, e a utilização de substratos alternativos é de suma importância. É necessário conhecimento quanto ao desenvolvimento das plantas nesses substratos, uma vez que há muitos rejeitos de indústria, agricultura e diversas outras matérias primas com potencial para essa finalidade (Klein, 2015). Uma forma de reduzir custos e facilitar a produção do substrato é fazer a utilização de materiais existentes na propriedade ou região (Sediyama et al., 2014).

A mistura de diferentes substratos pode resultar em melhorias de diversas características das mudas, como altura e tamanho do sistema radicular (Faria et al., 2016). A utilização de compostos orgânicos pode suprir a necessidade de adubação química ou substrato comercial. Entre esses substratos alternativos encontra-se a borra de café, produto orgânico abundante, diariamente descartado em lixo doméstico e um substrato rico em matéria orgânica, potencial para cultivo de mudas (Vidal; Vitti; Morselli, 2007; Garcia et al., 2016).

Para minimização dos gastos com os substratos comerciais, faz-se necessário realizar pesquisas que visem ao aproveitamento econômico de resíduos orgânicos que apresentem potenciais benefícios físicos e químicos na produção de mudas de café (Sampaio et al., 2008).

É fundamental a realização de estudos que busquem a destinação sustentável da borra de café *in natura*, com base nos conceitos da economia circular. Diante do exposto, esta pesquisa visa determinar a melhor composição na formação do substrato para produção de mudas de alface e café arábica, a partir dos resultados qualitativos obtidos.

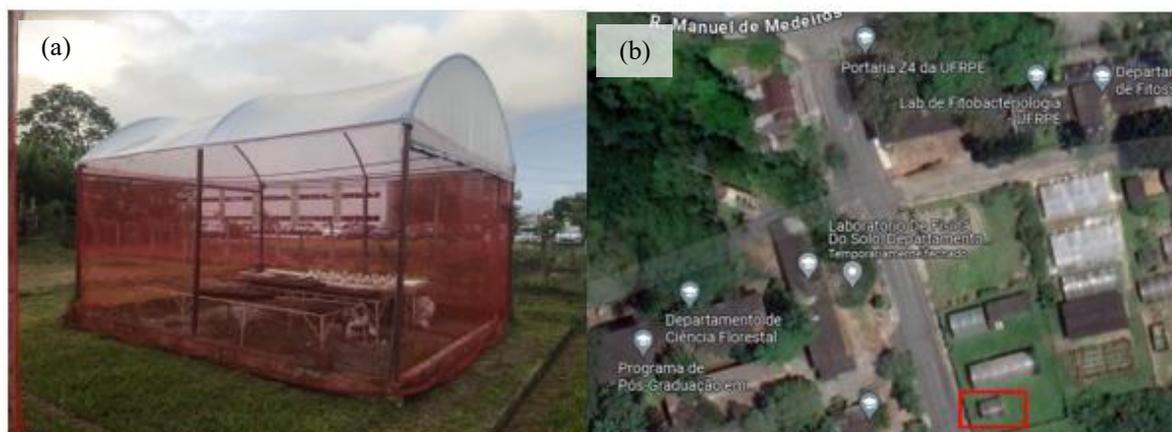
## 5.2 Materiais e métodos

O experimento foi conduzido entre julho de 2023 e outubro de 2023, no viveiro de mudas (Figura 28a) localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, na Zona Norte de Recife – PE (Figura 28b). O local apresenta altitude de 4 m com as seguintes coordenadas geográficas: 8°02'02" latitude sul e 34°95'62" longitude oeste. O clima é tropical úmido (tipo As' na classificação climática de Köppen-Geiger), típico do litoral leste nordestino, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C, baixas amplitudes térmicas e precipitações abundantes ao longo do ano. A temperatura média anual é de 25,5 °C, chegando a 30 °C no verão.

As sementes utilizadas no experimento foram de alface americana (*Lactuca sativa* L.) adquiridas em estabelecimento comercial agrícola, marca Feltrin, lote 001400201000005-0 e validade 04/2024.

As sementes de café utilizadas foram da cultivar Catuaí IAC 62, adquiridas através de doação da Fundação Procafé, localizada no município de Varginha – MG.

**Figura 28 – Casa de vegetação – Bioensaios**



Fonte: (a) Foto da autora; (b) Google Maps.

### 5.2.1 Composição das misturas, produção e acompanhamento de mudas

Os tratamentos utilizados para o cultivo das sementes foram compostos por mistura de borra de café *in natura* (BCIN) e o substrato comercial (SB) (testemunho), nas proporções indicadas na Tabela 18.

**Tabela 18 – Composição dos grupos experimentais**

Tratamentos	Proporções (%)	
	SB	BCIN
T1	-	100
T2	75	25
T3	50	50
T4	25	75
T5	100	-

Fonte: Elaborada pela autora.

O substrato comercial utilizado foi o Biomix Mudas & Plantio Orgânico, classificado como substrato balanceado, totalmente isento de pragas e doenças, pH equilibrado, pronto para uso na produção de mudas em cultivos orgânicos em geral. O composto orgânico Biomix é formulado por pó ou fibra de coco, casca de pinus moída e compostada e Biokashi (aditivo orgânico com macro e micronutrientes). As principais características físico-químicas estão mencionadas na Figura 29.

Figura 29 – Característica do substrato orgânico



Fonte: Biomix (2024).

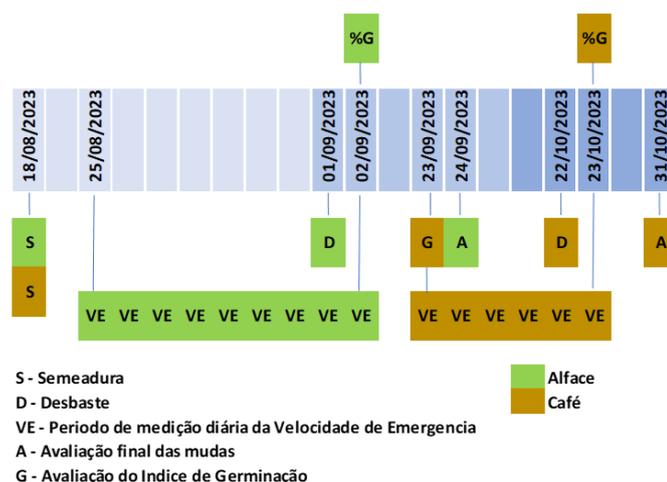
O delineamento experimental adotado foi de blocos inteiramente casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições em unidades experimentais com seis células. Foram utilizadas bandejas de polipropileno atóxico na cor preta, fotoestabilizado com aditivo antiultravioleta, com 128 células de 5 cm de altura, para as sementes de alface, e 50 células com 50 cm<sup>3</sup> de capacidade por célula em formato de tubete, para as sementes de café.

Para compor as misturas dos tratamentos utilizou-se balança semianalítica e mistura em bandejas plásticas até completa homogeneização.

Após o enchimento dos tubetes, foram semeadas duas sementes em cada unidade, e então procedeu-se rega diária e acompanhamento conforme parâmetros estabelecidos.

Foram acompanhadas todas as fases da germinação em todos os tratamentos (Figura 30).

Figura 30 – Linha temporal de acompanhamento dos bioensaios



Fonte: Elaborada pela autora.

As avaliações das mudas foram realizadas quando estas apresentaram porte suficiente para o processo de transplante, segundo Filgueiras (1982), quando se determinou:

- A altura das mudas partindo do colo (na altura do substrato) até o a inflexão da folha mais alta;
- O número de folhas de cada muda, contando-se uma a uma;
- A massa fresca da parte aérea e da raiz, separando-se a parte aérea das raízes, e a massa seca da parte aérea e das raízes, após permanecerem em estufa a 65° C por um período de 72 horas.

A porcentagem de germinação foi obtida utilizando-se a Equação 6:

$$\%G = \frac{(N_i \times 100)}{N_s} \quad (\text{Equação 6}),$$

sendo

- $N_i$  – número de sementes germinadas;
- $N_s$  – número de sementes semeadas.

Para a velocidade de emergência foi utilizada a Equação 7:

$$VE = \sum N_i / D_i \quad (\text{Equação 7}),$$

sendo

- $N_i$  – número de sementes germinadas;
- $D_i$  – dias após o plantio.

Para a alface, o desbaste foi realizado ao completar 14 dias da semeadura, quando foram medidos a velocidade de emergência e o índice de germinação. A avaliação das mudas foi realizada 35 dias após o plantio.

Para o café, o desbaste foi realizado completos 36 dias da semeadura, com as medições da velocidade de emergência e do índice de germinação. A avaliação das mudas foi realizada 74 dias após o plantio.

Ao final do experimento com as mudas de alface, procedeu-se a avaliação das partes aéreas e das raízes quanto à absorção de cafeína. Para tanto, foi empregada a metodologia proposta por Capuci (2019), descrita no Capítulo 3. As amostras foram preparadas e procedeu-se a leitura no espectrofotômetro na faixa de 273 nm. Os resultados foram expressos em g/L.

### 5.3 Resultados e discussão

Experimentos em geral com adição de resíduos orgânicos como parcela compositora de substrato alternativo para culturas produzem rendimentos mais elevados, desde que o material orgânico utilizado não contenha fatores inibidores (Cordovil et al, 2006). Neste experimento, a adição da borra de café *in natura* ao substrato comercial impactou no crescimento das plantas.

Os dados foram processados e submetidos a uma análise de variância (ANOVA), seguida de um teste de comparação entre médias (teste de Tukey), utilizando o software Origin 8.5® da Origin Lab USA.

#### 5.3.1 Bioensaio – alface

Os resultados obtidos para as mudas de *L. sativa* em substrato contendo diferentes porcentagens de borra de café fresca constam na Tabela 19, Figura 31 e Figura 32.

**Tabela 19 – Resultados mudas de alface em BCIN**

Tratamento	IG (%)	VE (%)	Alt (cm)	NF (un.)	MSPA (g)
T1 – 100% BCIN	53,33 <sup>a</sup>	0,17 <sup>bc</sup>	0,87 <sup>b</sup>	1,20 <sup>c</sup>	0,02 <sup>b</sup>
T4 – 75% BCIN	33,33 <sup>a</sup>	0,10 <sup>c</sup>	0,68 <sup>b</sup>	1,17 <sup>c</sup>	0,04 <sup>b</sup>
T3 – 50% BCIN	63,33 <sup>a</sup>	0,25 <sup>abc</sup>	7,22 <sup>a</sup>	5,63 <sup>ab</sup>	0,14 <sup>b</sup>
T2 – 25% BCIN	70,00 <sup>a</sup>	0,32 <sup>ab</sup>	6,48 <sup>a</sup>	4,96 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>
T5 – 0% BCIN	86,67 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	9,39 <sup>a</sup>	8,63 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>
CV (%)	46,75	43,98	41,98	41,42	73,43
F (4, 24)	2,39	5,61	18,13	15,78	20,24
p	0,09	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Legenda: BCIN – borra de café *in natura*; IG – índice de germinação; VE – velocidade de emergência; Alt – altura das plantas; NF – número de folhas; MSPA – massa seca da parte aérea; CV – coeficiente de variação.

Os dados experimentais foram comparados entre si utilizando One-way ANOVA seguido de teste de Tukey. Médias com letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa entre si ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pela autora.

O uso de BCIN em diferentes concentrações foi utilizado como tratamento para a avaliação do crescimento de mudas de alface. Nesse caso, o índice de germinação (Figura 31a) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), indicando que, nesse caso, o uso de BCIN como substrato no plantio das mudas de alface não apresentou interferência em sua germinação em nenhuma das concentrações avaliadas.

Ao avaliar a capacidade de emergência, termo que se refere ao tempo que uma semente leva para germinar e dar origem a uma plântula visível acima do solo, foi possível observar que

a concentração de BCIN no substrato influenciou nesse parâmetro, apresentando diferença significativa entre as amostras (Figura 31b). Nesse caso, as amostras com 0%, 25% e 50% de BCIN não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Entretanto, os tratamentos com 75% e 100% apresentaram diferença significativa do tratamento com 0% de BCIN, indicando que, a partir dessa concentração, o uso de BCIN apresenta maior toxicidade com relação à velocidade de emergência. Vale ressaltar que, mesmo o tratamento com 100% de BCIN apresentando diferença significativa do tratamento com 0% de BCIN, ele não apresentou diferença significativa dos tratamentos com 25% e 50% de BCIN, já o tratamento com 75% de BCIN não diferiu significativamente do tratamento com 50% de BCIN ( $p < 0,05$ ). Ao analisar o gráfico, entretanto, observa-se uma diminuição ao aumentar a concentração de BCIN até a concentração de 75%, sendo atenuada ao utilizar 100% de BCIN.

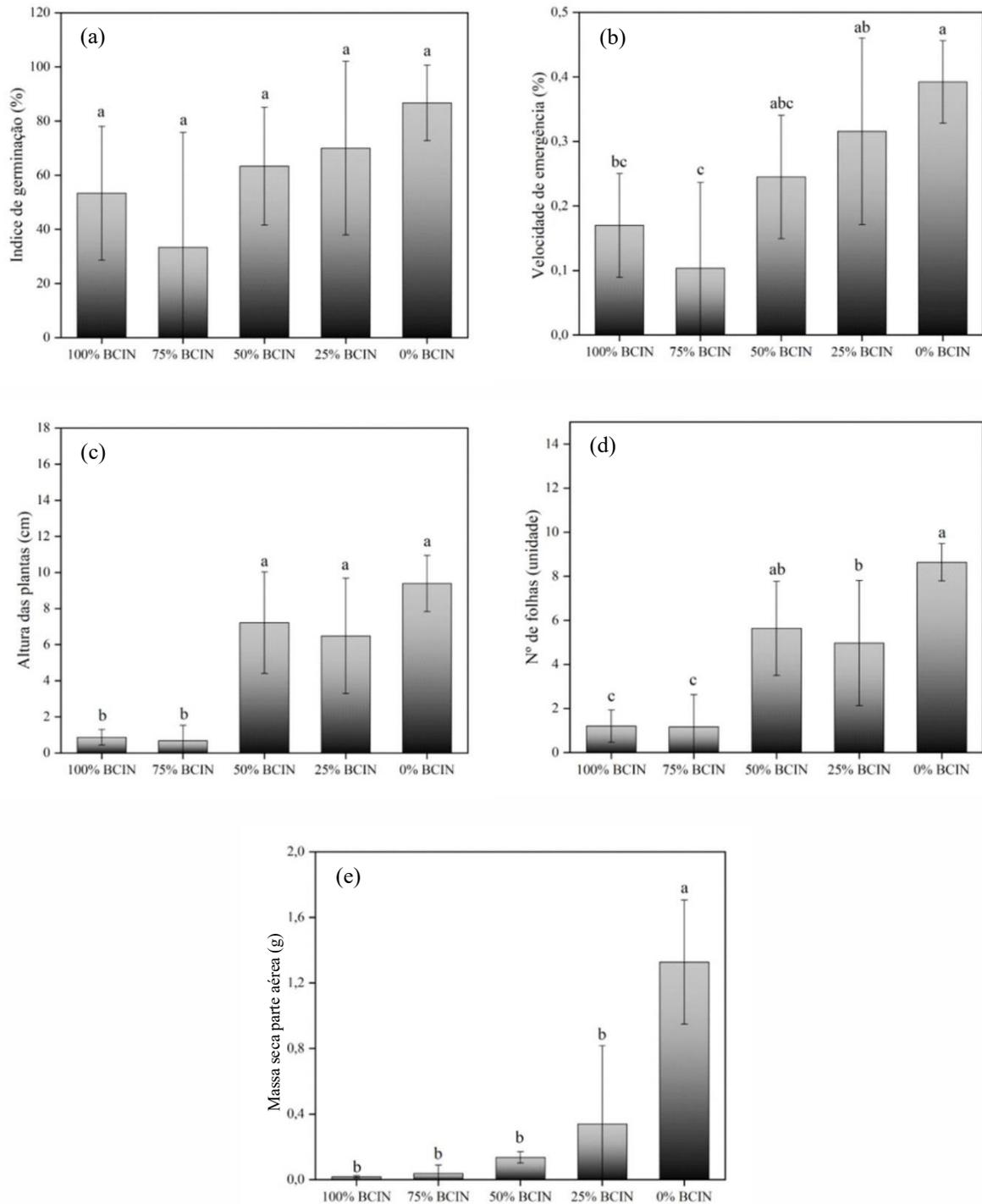
Com relação à altura das plantas (Figura 31c), observa-se que não houve diferença significativa entre as amostras com 0%, 25% e 50% de BCIN ( $p < 0,05$ ). Entretanto, utilizando 75% e 100% de BCIN, observa-se uma diminuição do tamanho das plantas, não apresentando diferença significativa entre si.

O número de folhas (Figura 31d) apresentou comportamento semelhante ao da altura das plantas. Nesse caso, o tratamento com 25% de BCIN apresentou diferença significativa do tratamento com 0% de BCIN. Entretanto, o tratamento com 50% de BCIN não apresentou diferença significativa nem de 0% de BCIN nem de 25% de BCIN ( $p < 0,05$ ), indicando que as melhores respostas foram encontradas com 0% ou 50% de BCIN. Assim como para a altura das plantas, os tratamentos com 75% e 100% de BCIN influenciaram de forma negativa o número de folhas observado.

Wangen (2015) reportou efeito inibidor linear para altura e massa fresca das mudas de alface, embora, em níveis de 5% e 10% de borra de café, a taxa de emergência das mudas de alface não tenha sido afetada.

Deve-se ressaltar que os elevados coeficientes de variação (CV) obtidos na Tabela 19 se devem a serem oriundos de ensaios de campo, nos quais as sementes estão expostas às intempéries e outras variáveis de teste de composição dos substratos.

**Figura 31 – Resultados dos ensaios com borra de café *in natura* e sementes de alface**

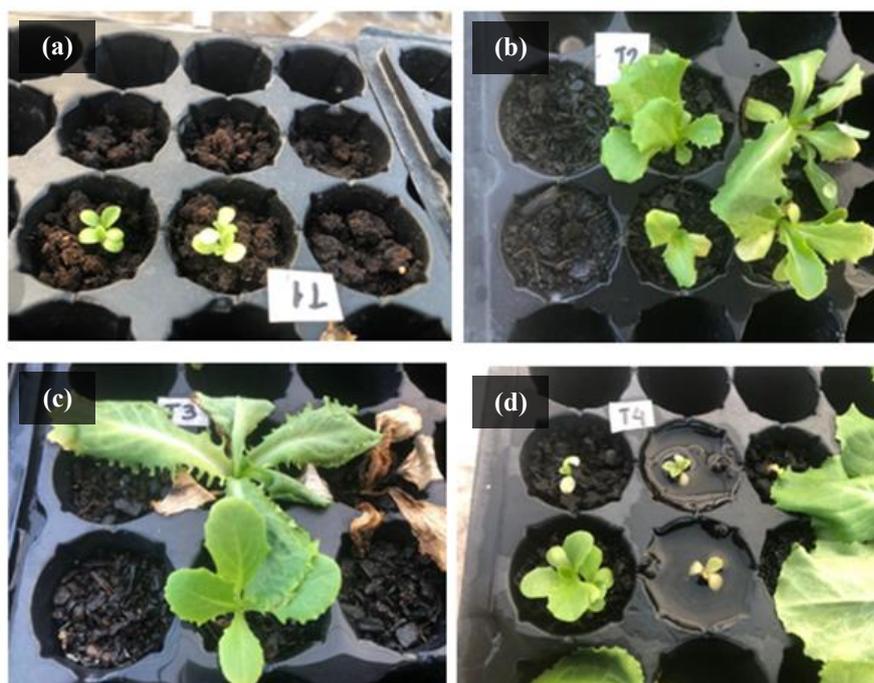


Legenda: BCIN – borra de café *in natura*.

Os dados experimentais foram comparados entre si utilizando One-way ANOVA seguido de teste de Tukey ( $F(4, 24) = 15,78$ ;  $p < 0,01$ ). Colunas com letras diferentes apresentam diferença significativa entre si ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pela autora.

**Figura 32 – Mudanças de alface após finalização do experimento com BCIN**



Legenda: BCIN – borra de café *in natura*; T1 – 100% BCIN; T2 – 25% BCIN; T3 – 50% BCIN; T4 – 75% BCIN  
Fonte: Fotos da autora.

Ao término do experimento, foram observadas mudas com folhas amareladas no tratamento T2 – 25% BCIN (Figura 32b) e T3 – 50% BCIN (Figura 32c) e com crescimento inibido nos tratamentos T1 – 100% BCIN (Figura 32a) e T4 – 75% BCIN (Figura 32d).

É sabido que a cafeína, dos alcaloides existentes no café, tem sido mais estudada, inclusive tendo seu conteúdo em folhas e sementes já sido definido e quantificado com aferição, juntamente com a comprovação de seu potencial alelopático (Santos et al., 2001).

Geralmente os sintomas de fitotoxicidade apresentados pelas plantas, decorrentes da ação de aleloquímicos, consistem na inibição parcial ou total da germinação de sementes, danos no sistema radicular, desorganização no mecanismo de absorção, clorose e necrose foliar, podendo levar até à morte da planta (Patrick, 1971).

Objetivando determinar uma possível absorção da cafeína pelas plantas, as amostras após secagem foram trituradas e então submetidas à metodologia de determinação de teor de cafeína, proposta por Capuci (2019) e descrita no Capítulo 3.

Não foi possível determinar a absorção de cafeína para os tratamentos T1 e T4, tendo em vista que o valor obtido da MSPA de ambos os tratamentos foi insuficiente para tal.

As amostras foram analisadas em triplicata e não houve quantificação de cafeína em nenhuma delas, como mostra a Tabela 20. A determinação foi realizada via espectrofotometria após extração com clorofórmio.

Tabela 20 – Concentração de cafeína nas amostras de alface

Amostra	Absorbância (Abs)	Concentração real (mg/L)	Concentração de cafeína (g/100 g)
MA 25% BCIN	0	0	0
MR 25% BCIN	0	0	0
MA 50% BCIN	0	0	0
MR 50% BCIN	0	0	0

Legenda: MA – massa da parte aérea; MR – massa da raiz; BCIN – borra de café *in natura*.  
Fonte: Elaborada pela autora.

Resultados semelhantes ao deste bioensaio foram observados por Cruz et al. (2012), que relataram um efeito positivo da borra de café, expresso por um aumento na quantidade de clorofilas nas folhas de alface e um ligeiro aumento na biomassa vegetal, após incorporação de quantidades reduzidas de café expresso fresco nos meios de cultivo, com até 20% de adição de borra de café.

### 5.3.2 Bioensaio – café

Os resultados obtidos para as mudas de *Coffea arabica* cultivar IAC 64 em substrato contendo diferentes porcentagens de borra de café fresca constam na Tabela 21, Figura 33 e Figura 35.

Tabela 21 – Resultados das mudas de café germinadas em BCIN

Tratamento	IG (%)	VE (%)	Alt (cm)	NF (un.)	MSPA (g)
T1 – 100% BCIN	0,00 <sup>c</sup>	0,00 <sup>c</sup>	0,00 <sup>d</sup>	0,00 <sup>c</sup>	0,00 <sup>b</sup>
T4 – 75% BCIN	16,67 <sup>bc</sup>	0,02 <sup>bc</sup>	1,52 <sup>cd</sup>	0,93 <sup>c</sup>	0,02 <sup>b</sup>
T3 – 50% BCIN	63,33 <sup>ab</sup>	0,08 <sup>b</sup>	6,99 <sup>ab</sup>	4,77 <sup>ab</sup>	0,14 <sup>b</sup>
T2 – 25% BCIN	60,00 <sup>ab</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	5,28 <sup>bc</sup>	2,63 <sup>bc</sup>	0,12 <sup>b</sup>
T5 – 0% BCIN	100,00 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	11,93 <sup>a</sup>	6,90 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>
<b>CV (%)</b>	55,99	53,33	50,87	58,49	70,11
<b>F (4, 24)</b>	11,02	13,87	16,25	12,49	10,78
<b>p</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Legenda: BCIN – borra de café *in natura*; IG – índice de germinação; VE – velocidade de emergência; Alt – altura das plantas; NF – número de folhas; MSPA – massa seca da parte aérea; CV – coeficiente de variação. Os dados experimentais foram comparados entre si utilizando One-way ANOVA seguido de teste de Tukey. Médias com letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa entre si ( $p < 0,05$ ).  
Fonte: Elaborada pela autora.

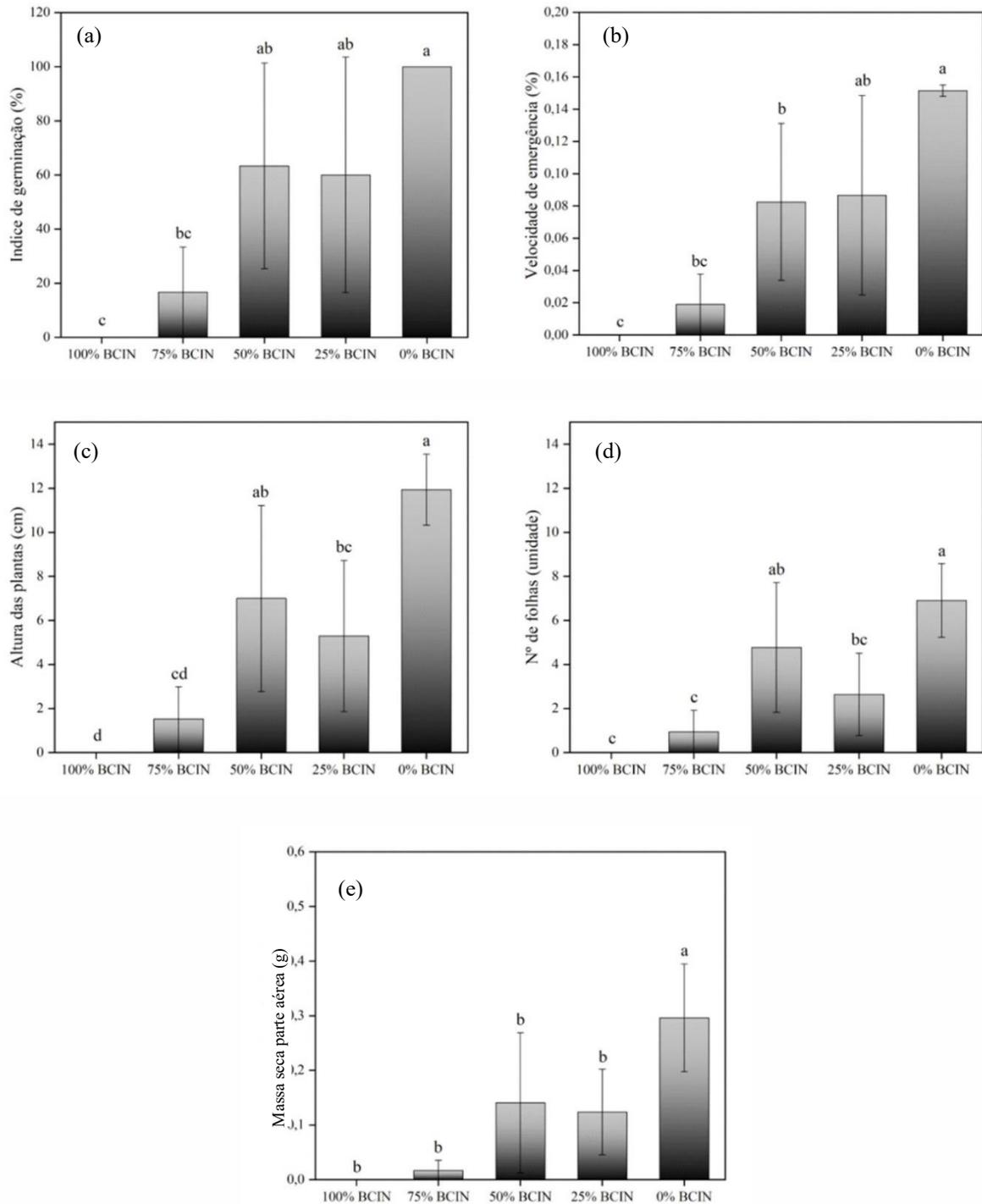
Não houve germinação em nenhuma das amostras com o tratamento T1 com 100% de borra de café *in natura*. Fato este que pode ser fundamentado nos achados de Kiehl (2010), que afirma a borra de café *in natura* apresentar alta atividade microbiológica durante o processo de decomposição, o que pode torná-la imprópria para uso agrícola.

Torres et al. (2012) desenvolveram estudo semelhante com borra de café seca ao sol, nas proporções de 100% e 50%, com substrato comercial, registrando IG de 0,00% e 31,25% após 60 dias da semeadura.

Quanto às variáveis VE (%), Alt (cm), MFPA (g) e MSPA (g), verificou-se que o tratamento T5 proporcionou os maiores resultados, observando-se uma variação decrescente para todos os outros tratamentos à medida que se aumentou a porcentagem de borra de café.

De modo semelhante ao tópico anterior, os altos coeficientes de variação (CV) da Tabela 21 se devem a serem oriundos de ensaios de campo, nos quais as sementes estão expostas às intempéries e outras variáveis de teste de composição dos substratos.

Figura 33 – Resultados dos ensaios com BCIN e sementes de café



Legenda: BCIN – borra de café *in natura*.

Os dados experimentais foram comparados entre si utilizando One-way ANOVA seguido de teste de Tukey ( $F(4, 24) = 15,78; p < 0,01$ ). Colunas com letras diferentes apresentam diferença significativa entre si ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Rosa e McDonald Jr. (2011), a melhor forma para descrever os estádios fisiológicos correspondentes aos eventos germinativos e pós-germinativos do embrião e desenvolvimento da plântula são baseados em mudanças morfológicas, em vez de dias após a semente, observadas durante o experimento conforme a Figura 34 (a, b, c, d).

**Figura 34 – Fases das mudas de café durante experimento com BCIN**



Fonte: Fotos da autora.

Segundo Went (1957), a germinação de sementes de cafeeiro é um processo normalmente lento, podendo demorar até 90 dias em condições sem controle ambiental, chegando a extremos de 120 dias quando em condições de baixa temperatura. Essa lentidão na germinação ocorre principalmente devido à retomada do crescimento e desenvolvimento do embrião, que geralmente é muito pequeno nas sementes de café (Camargo, 1998).

As mudas produzidas em tubetes demoram menos de 180 dias para estarem prontas, com quatro pares de folhas, enquanto as mudas produzidas por saquinho demoram cerca de 210 dias (Rehagro, 2020).

O experimento foi finalizado aos 105 dias, quando todas as plântulas emergidas já tinham mais de um par de folhas verdadeiras.

Para velocidade de emergência (VE), o experimento foi acompanhado aos 30, 45 e 60 dias após a semente e apresentou o resultado conforme Tabela 22.

**Tabela 22 – Emergência de plântulas de cafeeiro nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5**

Tratamento	Índice de germinação das plântulas (%)		
	30 dias	45 dias	60 dias
T5 – 0,0% BCIN	0,00	100,00	100,00
T2 – 25% BCIN	0,00	60,00	60,00
T3 – 50% BCIN	0,00	23,33	63,33
T4 – 75% BCIN	0,00	0,00	16,67
T1 – 100% BCIN	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora.

Algumas plantas do T4 – 75% BCIN, após germinarem e ao final do período de avaliação, apresentaram-se com crescimento estagnado, indicando que provavelmente estavam sob estresse nutritivo ou que a cafeína induziu alguma toxicidade, ativando uma sinalização de estresse, conforme Figura 35.

**Figura 35 – Sementes germinadas em substratos com 75% BCIN e 50% BCIN após 105 dias de semeadura**



Fonte: Fotos da autora.

Também é comprovado que a cafeína pode ter efeitos autoinibitórios na germinação das sementes de café (Baumann; Gabriel, 1984; Friedman; Waller, 1983).

A cafeína apresenta, ainda, a característica de se encontrar complexada ao potássio e de poder atuar como molécula armazenadora de nitrogênio, que, por ocasião de sua degradação, faz com que ocorra posterior liberação desse micronutriente (Santos et al., 2001).

Um possível motivo para o crescimento reduzido das plantas seria sido a taxa reduzida de absorção de N ou a liberação lenta pelas plantas, conforme apontado por Cruz e Cordovil (2015).

As folhas de ambas as plantas (mudas de café e alface) se tornaram amarelas e quebradiças. Conforme relatado por Green (2014), uma rega com solução de cafeína exógena reduziu a capacidade de retenção de água do solo, reduzindo assim a disponibilidade de água para as duas culturas testadas.

## 5.4 Conclusões

Ao realizar os ensaios com substratos compostos com borra de café *in natura*, pode-se afirmar o comportamento de inibição do crescimento das plantas de café e alface, à medida que se eleva a concentração de cafeína.

Os índices de crescimento — altura, número de folhas e massa fresca e seca da parte aérea — apresentaram diferentes resultados, atestando que cada semente apresenta uma sensibilidade própria quando exposta à cafeína.

Portanto, conclui-se que a melhor composição seria uma concentração máxima de 50% de BCIN para ambas as culturas, tendo em vista que as médias obtidas nesse tratamento não diferem estatisticamente das médias obtidas para o tratamento controle.

Conclui-se também que altas concentrações de borra de café *in natura* (T4 – 75% BCIN e T1 – 100% BCIN) podem impactar negativamente o crescimento e a altura das mudas de café, devido à restrição das raízes, dificuldade de drenagem, disponibilidade de nutrientes reduzida, competição entre plantas e estresse hídrico.

## Referências

ALMEIDA S. L. S. et al. Adição de Resíduos Orgânicos ao Substrato para Produção de Mudas de Café em Tubete. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 3, n. 123, p. 9-13, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **Estatísticas – indicadores da indústria de café no Brasil**. Disponível em: <http://www.abic.com.br/estatisticas.html>. Acesso em maio de 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> Acesso em: 7 jul. 2021.

BAUMANN, T. W.; GABRIEL, H. Metabolism and excretion of caffeine during germination of *Coffea arabica* L. **Plant & Cell Physiology**, v. 25, n. 8, p. 1431-1436, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076854>

BIOMIX. **Substrato Mudas & Plantio Orgânico**. 2024. Disponível em: <https://biomix.com.br/produto-biomix/substrato-mudas-plantio-organico-2/>. Acesso em: 1 jun. 2024.

CAPUCI, Ana Paula Silva. **Cristalização da cafeína extraída da casca do café**. 2019. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te>

CRUZ, R.; BAPTISTA, P.; CUNHA, S.; PEREIRA, J. A.; CASAL, S. Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds. **Molecules**, v. 17, n. 2, p. 1535-1547, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules17021535>

CRUZ, S.; CORDOVIL, C. S. C. M. S. Espresso coffee residues as a nitrogen amendment for small-scale vegetable production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 15, p. 3059-3066, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7325>

FAN, L.; SOCCOL, C. Coffee Residues. In: **Mushroom Grower's Handbook 2: Shiitake cultivation**. p. 92-95. Seul: MushWorld, 2005. Disponível em: [https://www.goba.eu/wp-content/uploads/2015/06/Mushroom\\_Growers\\_Handbook\\_2\\_-\\_Shiitake\\_Cultivation.pdf](https://www.goba.eu/wp-content/uploads/2015/06/Mushroom_Growers_Handbook_2_-_Shiitake_Cultivation.pdf). Acesso em: 20 fev. 2024.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DERLAMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Substratos alternativos na produção de mudas de Mimosa setosa Benth. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1075-1086, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509824996>.

FILGUEIRAS, F. A. R. **Manual de Olericultura**: Cultura e comercialização de hortaliças. 2. ed. v. 2. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. 357 p.

FRIEDMAN, J.; WALLER, G. R. Caffeine hazards and their prevention in germinating seeds of coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Chemical Ecology**, v. 9, p. 1099-1106, 1983.

GREEN, S. **The use of coffee grounds as a fertilizer and the effects of caffeine on plant life**. Prezi presentation. Kansas State University, US, 2014.

HARDGROVE, S. J. Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 18, n. 1, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.015>

KIEHL, E. J. Novos fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2010. 248p.

KLEIN, C. Utilização de substratos alternativos para a produção de mudas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 43-63, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v4i3.40742>.

MAZZAFERA, P.; YAMAOKA-YANO, D. C.; VITÓRIA, A. P. Para que serve a cafeína em plantas? **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 67-74, 1996.

PATRICK, Z. A. Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plant residues. **Soil Science**, v. 111, n. 1, p. 13-18, 1971.

REHAGRO. **Mudas de café em tubetes**: saiba como fazer. 2020. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/web-stories/mudas-de-cafe-em-tubetes-saiba-como-fazer/>. Acesso em: 1 jun. 2024.

ROSA, Sttela Dellyzete Veiga Franco da; MCDONALD JR., Miller B. **Modelo de crescimento de plântulas de café**: uma justificativa para reduzir o teste padrão de germinação. Brasília: Embrapa Café, 2011.

SAMPAIO, R. A. et al. Produção de mudas de tomateiro em substratos contendo fibra de coco e pó de rocha. *Horticultura Brasileira*, v. 26, n. 4, p. 499-503, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000400015>

SANTOS, Júlio César Freitas; COSTA, Rogério Sebastião Corrêa da; LEÔNIDAS, Francisco das Chagas; RODRIGUES, Vanda Gorete Souza. **Estudos alelopáticos relacionados ao café**. Documentos, 54. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001.

SEDIYAMA, N. A. M.; SANTOS, C. I. dos.; LIMA, C. P. de. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, Suplemento, p. 829-837, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201461000008>.

SILVA, M. A.; NEBRA, S. A.; MACHADO SILVA, M. J.; SANCHEZ, C. G. The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry. **Biomass and Bioenergy**, London, v. 14, n. 5-6, p. 457-467, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10034-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10034-4)

TORRES, Aibi Jorge; BREGAGNOLI, Marcelo; MONTEIRO, José Mauro Costa; CARVALHO, Carlos Alberto Machado. Emergência de plântulas de cafeeiro em substratos de borra de café. **Revista Agrogeoambiental**, v.4, n. 3, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v4n32012472>

VIDAL, M. B.; VITTI, M. R.; MORSELLI, T. B. G. A. Caracterização química de vermicompostos de diferentes substratos orgânicos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2007: Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia.

WANGEN, Dalcimar Regina et al. Borra de café na produção de mudas de alface, *Lactuca sativa* L. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

WANGEN, D. R.; CARDOSO, M.; FREITAS, R.; FERNANDES, E; DUARTE, G.; PINTO, A. F. Borra de café na produção de mudas de alface, *Lactuca sativa* L. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 11, n. 22, 2015.

WENT, F. W. **The experimental control of plant growth**. New York: The Ronald Press, 1957. p. 164-168 (Chronica Botanica, 17).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o modelo econômico vigente e os desafios de mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte da borra de café, no que diz respeito ao volume gerado no mundo e no Brasil, é mister encontrar alternativas para seu reuso.

Sabendo-se que a temática ainda é incipiente e que, na produção científica disponível sobre o tema, apenas cerca de 8,4% dos estudos, de acordo com a base Web of Science, são direcionados ao reuso no solo, é necessário um maior esforço em busca de um melhor gerenciamento.

Em se tratando dos ensaios de toxicidade usando sementes, pode-se inferir que os resultados com concentrações até 50% de borra de café *in natura* auxiliam a germinação, contribuindo para seu desenvolvimento e crescimento radicular. Entretanto, em concentrações de 75% e 100%, o meio torna-se tóxico para o desenvolvimento da planta durante sua germinação. Verificou-se que uma dose de 1,0256 g de cafeína pode inibir 50% de uma população.

Nos ensaios com minhocas, identificou-se que o extrato de borra de café em concentrações de até 50% não apresentou efeito tóxico potencial. Todavia, em doses equivalentes acima de 50%, ocorreu fuga dos organismos e limitação da função habitat, o que revela toxicidade.

Quando da realização dos bioensaios em casa de vegetação, foram observados resultados inibitórios relativos às dosagens acima de 50% em ambas as culturas, alface e café, para todas as variáveis avaliadas, excetuando-se o índice de germinação da alface, que não apresentou diferença significativa para as médias dos tratamentos. Os tratamentos 75% e 100% afetaram negativamente a altura, número de folhas e a massa fresca de parte aérea das mudas de café e alface.

Conclui-se que os níveis de concentração de 25% e 50% de borra de café *in natura* contribuem de forma positiva para a produção de mudas de café e alface, reduzindo em percentual equivalente a destinação de borra de café aos aterros locais.