

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA - SP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E BIOPROCESSOS

MESTRADO PROFISSIONAL

**APROVEITAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL DA TERMORRETIFICAÇÃO
DO CEDRO INDIANO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO
COMO BIOFERTILIZANTE**

VICTOR GALVÃO DOS SANTOS

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Danielle Goveia

ARARAQUARA – S.P.

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CÂMPUS DE ARARAQUARA - SP

APROVEITAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL DA TERMORRETIFICAÇÃO
DO CEDRO INDIANO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO
COMO BIOFERTILIZANTE

VICTOR GALVÃO DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Danielle Goveia

ARARAQUARA – S.P.

2023

S237a Santos, Victor Galvão dos.
Aproveitamento da água residual da termorretificação do cedro indiano e avaliação do potencial de aplicação como biofertilizante / Victor Galvão dos Santos. – Araraquara: [S.n.], 2023.
87 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista. “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de Biomateriais e Bioprocessos.

Orientadora: Danielle Goveia.

1. Tratamento térmico. 2. Madeira. 3. Nutrientes. 4. Toxicidade.
5. Fenol. I. Goveia, Danielle, orient. II. Título.

Diretoria do Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004030170P0
Esta ficha não pode ser modificada

VICTOR GALVÃO DOS SANTOS

APROVEITAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL DA TERMORRETIFICAÇÃO
DO CEDRO INDIANO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COMO
BIOFERTILIZANTE

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

Linha de pesquisa: Aproveitamento de Resíduos
Orientador: Prof.^a Dr.^a Daniele Goveia

Data da qualificação: 23/05/2023

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientador: Danielle Goveia

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp.

Membro Titular: Gláucia Aparecida Prates

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp.

Membro Titular: Wander Gustavo Botero

Universidade Federal de Alagoas - UFAL.

Local: Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP – Campus de Araraquara

Dedico este trabalho à minha esposa, à minha avó, aos meus pais, aos meus amigos, aos meus colegas de trabalho e à minha orientadora. Todos aqueles que foram fundamentais para a minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Andrea, Ikinho e Jean;

À minha avó Áurea;

À minha esposa Beatriz;

À minha orientadora Daniele.

“Só é digno da liberdade, como da vida, aquele que se empenha em conquistá-la.”

Johann Goethe

RESUMO

Na busca por técnicas para reduzir a poluição ambiental, bem como de novas matérias-primas a serem utilizadas, torna-se cada vez mais comum a realização de pesquisas e estudos para aproveitamento de resíduos gerados pelas indústrias. A termorreificação da madeira produz, por suas características, um líquido residual contendo frações de matéria vegetal, oriundas da degradação parcial da madeira. Desse modo, o presente trabalho buscou avaliar o aproveitamento do líquido residual da termorreificação de madeira da espécie *Acrocarpus fraxinifolius* (Cedro Indiano) como biofertilizante. Foram realizadas análise de macro e micronutrientes, ensaios de germinação, com sementes de milho (*Zea mays*), além disso, efetuaram-se testes de toxicidade, aguda (com *Daphnia magna*) e crônica (com *Desmodemus subspicatus*), de modo a avaliar possíveis efeitos danosos do líquido residual, partindo posteriormente para a Avaliação e Identificação de Toxicidade (AIT). Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados, aplicando-se tratamentos com concentrações de 0 (tratamento de controle); 1; 2; 3; 4 e 5 mL (ensaio de germinação). A análise química indicou teores satisfatórios de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e K, no que diz respeito à aplicação como biofertilizante. Durante o ensaio de germinação, as sementes que receberam doses do líquido residual não apresentaram desenvolvimento, ou seja, somente as sementes que foram irrigadas com água germinaram. Assim, os testes de toxicidade tiveram o objetivo de avaliar se o líquido é tóxico. O teste de toxicidade aguda indicou um fator de toxicidade (FT) >16 (unidade de medida que expressa quantas vezes a toxicidade de um material ultrapassa o limite estabelecido pela legislação), expressando efeitos tóxicos por parte do resíduo. Logo, o ensaio de Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT) foi utilizado para encontrar o composto químico tóxico presente no líquido. Desse modo, detectou-se concentrações de compostos fenólicos acima da legislação vigente (CONAMA – Resolução 430 de 2011). Tais compostos, provavelmente, originaram-se da degradação parcial da lignina presente na madeira e podem ser prejudiciais a ambientes aquáticos, devido à sua letalidade a organismos aquáticos, de modo que, mesmo em doses pequenas, pode causar a mortandade de peixes. Portanto, o líquido residual produzido durante a termorreificação da madeira de Cedro Indiano não apresentou viabilidade para aplicação como biofertilizante. Pode-se realizar tratamentos no resíduo, com o objetivo de neutralizar seus efeitos tóxicos, avaliando-se, posteriormente, sua utilização como biofertilizante ou ensaios para extração do fenol presente, para uso como matéria-prima em indústrias químicas.

Palavras – chave: Tratamento térmico. Madeira. Nutrientes. Toxicidade. Fenol.

ABSTRACT

In the pursuit of reducing in environmental pollution, as well as new raw materials to be used, it becomes increasingly common to elaborate works and research for the use of waste generated by industries. The thermorectification of wood, due to its characteristics, produces a residual liquid containing fractions of organic matter, arising from the partial degradation of the wood. Thus, the present work sought to evaluate the use of residual liquid from the thermamortification of wood of the species *Acrocarpus fraxinifolius* (Indian Cedar) as a biofertilizer. Macro and micronutrient analysis, germination assays were performed with corn seeds (*Zea mays*), in addition, acute (with *Daphnia magna*) and chronic (with *Desmodesmus subspicatus*) toxicity tests were performed in order to evaluate possible harmful effects of the residual fluid, starting later for the Toxicity Evaluation and Identification (TIA). A randomized block design was used, applying treatments with concentrations of 0 (control treatment); 1; 2; 3; 4 and 5 mL (germination assay). The chemical analysis indicated satisfactory contents of Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn and K, with regard to the application as biofertilizer. During the germination test, the seeds that received doses of the residual liquid did not show development, that is, only the seeds that were irrigated with water germinated. Thus, the toxicity tests aimed to evaluate whether the liquid is toxic. The acute toxicity test indicated a toxicity factor (TF) >16, expressing toxic effects on the part of the residue. Therefore, the Toxicity Assessment and Identification (TIA) assay was used to find the toxic chemical compound present in the liquid. Thus, concentrations of phenolic compounds above the current legislation were detected (CONAMA – Resolution 430 of 2011). Such compounds probably originated from the partial degradation of the lignin present in the wood. Therefore, the residual liquid produced during the thermamortification of Indian Cedar wood did not present viability for application as a biofertilizer. Treatments can be carried out on the waste, with the objective of neutralizing its toxic effects, later evaluating its use as a biofertilizer or assays for extraction of the phenol present, for use as raw material in chemical industries.

Keywords: Heat treatment. Wood. Nutrient. Toxicity. Phenol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Madeira termotratada sendo retirada do equipamento.	28
Figura 2	Exemplo de uma curva de tratamento térmico de madeira.	29
Figura 3	<i>Desmodemus subspicatus</i> visto com auxílio de um microscópio.	36
Figura 4	Placas de petri com as sementes de milho.	40
Figura 5	Amostra sobre o agitador magnético.	41
Figura 6	pHmetro digital utilizado no ensaio.	42
Figura 7	Solução de NaOH utilizada no ensaio.	42
Figura 8	Sementes do tratamento de controle (5 mL de água), na segunda contagem.	49
Figura 9	Sementes no tratamento com 1 mL de biofertilizante, na segunda contagem.	50
Figura 10	Sementes no tratamento com 2 mL de biofertilizante, na segunda contagem.	50
Figura 11	Sementes no tratamento com 3 mL de biofertilizante, na segunda contagem.	50
Figura 12	Sementes no tratamento com 4 mL de biofertilizante, na segunda contagem.	51
Figura 13	Sementes no tratamento com 5 mL de biofertilizante, na segunda contagem.	51
Figura 14	Sementes germinando no tratamento de controle, durante a 12 ^a contagem.	52
Figura 15	Sementes não germinadas nos tratamentos com biofertilizante, durante a 12 ^a contagem.	53
Figura 16	Partes básicas da semente de milho.	54
Figura 17	Corpos de prova do tratamento de controle para o ensaio de germinação com o biofertilizante com pH neutro.	55
Figura 18	Corpos de prova do tratamento com 1 mL para o ensaio de germinação com o biofertilizante com pH neutro.	56
Figura 19	Corpos de prova do tratamento com 2 e 3 mL para o ensaio de	56

germinação com o biofertilizante com pH neutro.

Figura 20 Corpos de prova do tratamento com 4 mL para o ensaio de germinação com o biofertilizante com pH neutro. 56

Figura 21 Corpos de prova do tratamento com 5 mL para o ensaio de germinação com o biofertilizante com pH neutro. 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise de macro e micronutrientes dos líquidos antes e depois do tratamento térmico.	45
Tabela 2	Número de plântulas normais em função dos dias.	49
Tabela 3	Número de plântulas normais em função dos dias para a amostra com pH corrigido.	55
Tabela 4	Resultados para o ensaio de toxicidade.	57
Tabela 5	Ensaio de AIT.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Biofertilizantes	16
2.1.1 Microrganismos presentes em biofertilizantes	17
2.1.2 Tipos de biofertilizantes utilizados na agricultura	18
2.1.2.1 Biofertilizantes bacterianos	18
2.1.2.2 Biofertilizantes fúngicos	18
2.1.2.3 Biofertilizantes EM	19
2.1.2.4 Biofertilizantes vermicompostos	20
2.1.3 Processo produtivo dos biofertilizantes	21
2.1.4 Composição química dos biofertilizantes	22
2.2 Resíduos madeireiros	22
2.2.1 Resíduos da indústria de celulose e papel	24
2.2.2 Cinzas	24
2.3 Termorreificação da madeira	25
2.3.1 Histórico da termorreificação da madeira	25
2.3.2 Processo de termorreificação da madeira	27
2.3.3 Mudanças na estrutura molecular da madeira durante o processo de termorreificação	29
2.3.3.1 Carboidratos	29
2.3.3.2 Lignina	30
2.3.3.3 Extrativos	31
2.3.3.4 pH	31
2.3.4 Espécies de madeira utilizadas na termorreificação	32
2.4 Cedro Indiano (<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>)	32
2.4.1 Características da espécie	33
2.4.2 Composição química do cedro indiano	33
2.5 Toxicidade	34
2.5.1 Ensaio de toxicidade aguda	34

2.5.2 Ensaio de toxicidade crônica	35
2.5.3 Avaliação e Identificação da Toxicidade	37
3 OBJETIVOS	38
3.1 Objetivo geral	38
3.2 Objetivos específicos	38
4 MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 Termorreificação da madeira	39
4.1.1 Coleta e armazenamento da “água” residual	39
4.2 Análise de macro e micronutrientes	39
4.3 Ensaio de germinação	40
4.4 Ensaio de germinação com o líquido em pH corrigido	41
4.5 Testes de toxicidade	43
4.5.1 Toxicidade aguda	43
4.5.2 Toxicidade crônica	43
4.5.3 Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT)	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Análise de macro e micronutrientes	45
5.1.1 pH do líquido residual	45
5.1.2 Nutrientes do líquido residual	46
5.1.3 Dureza da água	47
5.1.4 Condutividade elétrica do líquido residual	48
5.2 Ensaio de germinação	49
5.3 Ensaio de germinação com o líquido em pH corrigido	55
5.4 Análise de toxicidade	57
5.4.1 Toxicidades aguda e crônica	57
5.4.2 Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT)	59
5.4.2.1 DBO do efluente	60
5.4.2.2 Teor de fenóis do efluente	62
5.4.2.3 Teor de sólidos sedimentáveis	64
6 CONCLUSÃO	66
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÊNDICE A – Resultados para o ensaio de micro e macronutrientes	82
APÊNDICE B – Resultados para o ensaio de toxicidade	83

1 INTRODUÇÃO

Nos processos industriais que envolvem a madeira, usualmente, geram-se resíduos com alto percentual de matéria vegetal. Define-se como resíduo das indústrias de base florestal as sobras produzidas no processamento mecânico, físico ou químico, e que não são incorporadas ao produto final (MAEDA *et al.*, 2013).

A geração de resíduos tem sido significativa no setor florestal. Segundo o último anuário da ABRAF, em 2013, as indústrias madeireiras, no Brasil, produzem cerca de 41 milhões de toneladas de resíduos anualmente.

Tais resíduos são aplicados na geração de energia térmica, através da queima de biomassa florestal, ou na fabricação de painéis aglomerados, além do aproveitamento de resíduos oriundos de fábricas de papel para adubação do solo. Cerca de 63,3% dos resíduos provenientes de atividades florestais podem ser aplicados à geração de energia (IBÁ, 2020). Uma das principais vantagens da utilização de resíduos florestais consiste na agregação de valor de subprodutos, como, por exemplo, a densificação de cavacos de madeira em briquetes ou pellets, transformando-os em biocombustíveis potencialmente competitivos (DULYS-NUSBAUM *et al.*, 2019).

Devido à importância da agricultura no PIB brasileiro, há uma grande dependência do país por fertilizantes importados. Deste modo, pesquisadores vem estudando a viabilidade da aplicação de determinados resíduos, sejam eles de origem agropecuária, florestal, industrial ou urbana, como fertilizantes agrícolas. Determinados resíduos apresentam potencial para utilização como fertilizantes, pois promovem melhorias no solo, química, física e biologicamente falando. Além da possibilidade de agregação de valor em um resíduo e consequente redução de contaminações ou poluições ambientais ocasionadas pelo descarte do material residual ao meio ambiente.

Alguns fertilizantes de origem florestal vêm sendo desenvolvidos, como, por exemplo, o “biochar” (ou biomassa de origem vegetal processada por meio de pirólise), o qual, segundo Olsson (2020), consiste em uma espécie de carvão vegetal que pode ser aplicado na correção do solo. A professora Sandberg observou em pesquisas, na Universidade Karlstad, que o lodo e as cinzas produzidas como resíduos em fábricas de celulose e papel tornam-se eficazes fertilizantes em florestas.

Outro grande exemplo refere-se às cinzas, geradas pela queima de biomassa florestal, trata-se de um resíduo alcalino, com predomínio de CaO (25 a 35%), SiO₂ (18 a 25%), K₂O (10 a 15%), MgO (6 a 7%) e P₂O₅ (1,6 a 3,4%). Tal composição indica o potencial das cinzas tanto como condicionador de solo quanto como fonte de nutrientes para as plantas (CNI, 1989).

Um dos resíduos provenientes das indústrias madeireiras é o líquido gerado durante o processo de termorretificação da madeira. O qual consiste em um tratamento térmico que tem o objetivo de melhorar as propriedades tecnológicas da madeira, tais como estabilidade dimensional, coloração e durabilidade.

A termorretificação ou modificação térmica surgiu em meados de 1940 na Europa e, desde então, tem sido largamente utilizada (BORGES; QUIRINO, 2004). No Brasil, as pesquisas sobre o tema são recentes, contudo, vêm ganhando destaque ao longo dos anos. Dentre as aplicações da madeira termorretificada, destacam-se os revestimentos (forro, paredes e pisos), móveis, esquadrias (portas, janelas e seus batentes) e instrumentos musicais.

Nas etapas de aquecimento, durante o processo de termorretificação, ocorre a perda de massa, devido à degradação parcial dos componentes químicos que constituem a madeira. Esse fenômeno ocorre devido à despolimerização, via hidrólise, da celulose e hemiceluloses, na presença de água (MODES *et al.*, 2017). Desse modo, durante o processo de termorretificação da madeira, parte do material degradado pode apresentar índices de matéria orgânica interessantes (até 20%), no que diz respeito à sua aplicação como biofertilizante. De acordo com a Instrução Normativa DSA 25 de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos, quando em forma fluida, devem apresentar o valor mínimo de 8% de matéria orgânica (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2009).

De acordo com a EMBRAPA (2022), biofertilizantes são subprodutos oriundos da fermentação anaeróbica (sem a presença de oxigênio) de resíduos da lavoura ou dejetos animais. Sob a forma líquida, o biofertilizante apresenta uma complexa composição de nutrientes (como nitrogênio, fósforo e potássio), podendo atuar tanto como fertilizante, como defensivo agrícola, em determinadas situações. Outra possível aplicação dos biofertilizantes são como corretivos para o pH do solo. Além disso, os biofertilizantes proporcionam à terra maior porosidade, permitindo assim uma maior penetração do ar nas camadas mais fundas.

Os biofertilizantes podem ser aplicados na região foliar da planta (quando se encontram no estado líquido) ou diretamente no solo. Eles possibilitam a substituição, completa ou parcial, dos fertilizantes químicos e apresentaram bons resultados no cultivo de cereais, pastagens e hortaliças (EMBRAPA, 2022).

Deste modo, este trabalho focou na busca de um destino adequado para um resíduo industrial (água residual da termorretificação), de modo a aproveitá-lo como biofertilizante, principalmente pela possível quantidade de matéria orgânica presente no líquido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biofertilizantes

De acordo com a Coordenação de Agroecologia, do Ministério da Agricultura (2017), a palavra “bio” significa vida e “fertilizante” refere-se a tudo aquilo que fertiliza ou fecunda. Desse modo, biofertilizante corresponde à “fertilização através da vida”. São constituídos por adubos produzidos de diversas maneiras mediante ingredientes disponíveis nas propriedades, como esterco, leite, caldo de cana, cinzas etc., os quais podem ser enriquecidos com, por exemplo, pó de rocha, microrganismos, entre outros.

Embora a densidade de nutrientes em materiais orgânicos seja relativamente modesta, a maior parte dos biofertilizantes que fornecem nitrogênio, apresentam nitrogênio insolúvel e agem através da liberação lenta. Desse modo, podem elevar os mecanismos de armazenamento físico e biológico de nutrientes do solo, evitando-se os riscos do excesso de fertilização.

Segundo Moreira e Apelesso (2006), em um biofertilizante é possível encontrar, além dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, zinco, molibdênio, ferro, manganês, cobre etc.); hormônios, que auxiliam no desenvolvimento das plantas; álcool e fenol, os quais ajudam as plantas a desenvolverem suas células e; por fim, microrganismos benéficos, os quais colaboram nos processos de defesa das plantas e na disponibilização de nutrientes.

Outra função dos biofertilizantes diz respeito ao controle de doenças de plantas, podendo atuar mediante a antibiose (presença de antibióticos em sua composição); competição (presença da comunidade microbiana); indução de resistência (tanto microbiana quanto pelos compostos existentes) e ação direta e/ou indireta no fornecimento de nutrientes às plantas (BETTIOL *et al.*, 1998).

De acordo com um estudo realizado por Dufrénoy, avaliando-se a relação entre o estado nutricional das plantas e sua resistência a pragas e doenças, o pesquisador constatou que condições desfavoráveis ao desenvolvimento celular tendiam a promover o acúmulo de metabólitos solúveis não utilizados, tais como açúcares e aminoácidos, observando-se que tal fenômeno parecia favorecer o ataque de pragas e doenças nas plantas. Posteriormente, Francis

Chaboussou confirmou tais observações em sua tese sobre a teoria da trofobiose, na qual evidenciou que as plantas eram mais suscetíveis a pragas e doenças devido ao acúmulo de açúcares e aminoácidos livres nos tecidos vegetais (CHABOUSSOU, 2006). O autor constatou ainda que tais metabólitos eram provenientes de distúrbios na síntese proteica, podendo ser desencadeado pelo fornecimento desequilibrado de nutrientes minerais (como o excesso de nitrogênio, proveniente de fontes muito solúveis), além da exposição das plantas a substâncias tóxicas, tais como moléculas de componentes de agrotóxicos (como o diclorodifeniltricloroetano, oxicarboxin e triforine).

Na composição inicial dos biofertilizantes, predominam-se metabólitos primários, açúcares, ácidos graxos, proteínas, lipídeos e bases nitrogenadas. Entretanto, o teor destes compostos é reduzido após as fases iniciais de maturação do biofertilizante, remanescendo os componentes minerais. A composição química dos biofertilizantes pode variar de acordo com o método de preparo, o tempo de decomposição, a população microbiana, temperatura e pH do composto e, principalmente, o material que o origina (MEDEIROS; LOPES, 2006).

2.1.1 Microrganismos presentes em biofertilizantes

Entender a diversidade microbiológica em biofertilizantes é fundamental para entender quais microrganismos estão presentes, bem como a maneira pela qual são afetados pela variação do tempo de maturação do produto, quais fatores ambientais podem influenciá-los e como podem contribuir para a nutrição vegetal (EMBRAPA, 2017).

Os microrganismos eficientes são importantes apostas no que diz respeito ao desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis, reduzindo-se o uso de insumos químicos. Outro fator importante, diz respeito ao controle biológico, por parte dos microrganismos presentes em biofertilizantes. Encontraram-se fungos, actinobactérias e outras espécies bacterianas nos fertilizantes biológicos (MARROCOS *et al.*, 2012).

Segundo Ahring *et al.* (2001), a maior parte dos microrganismos presentes na digestão anaeróbica de esterco bovino é composta por bactérias (cerca de 60% a 80%), sendo, em sua maioria, pertencentes ao gênero *Bacillus*. O *Bacillus subtilis* é comumente isolado de biofertilizantes, caracterizando-se por ser uma espécie com alto potencial para o controle biológico de diversas doenças (MO *et al.*, 2013. De acordo com observações de Tratch e

Bettiol (1997), há diferentes espécies de fungos filamentosos e leveduriformes presentes nos biofertilizantes.

A tecnologia da fermentação anaeróbica de microrganismos benéficos é capaz de preservar, completamente, a quantidade de nitrogênio. Portanto, a capacidade das bactérias de concentrar o nitrogênio atmosférico e convertê-lo em uma forma adequada ao consumo por parte da planta, aprimora os fatores de crescimento nas culturas. Através da mobilização de fosfatos pouco solúveis e ácido fítico, a cepa microbiológica retém fósforo e potássio no solo.

2.1.2 Tipos de biofertilizantes utilizados na agricultura

Cada tipo de biofertilizante caracteriza-se pela composição da flora microbiológica, destinada a culturas e solos individuais. O tipo de biofertilizante relaciona-se, geralmente, à maneira como é produzido. Na maior parte, utilizam-se esterco, além de plantas, frutas e verduras. A principal matéria aplicada como fertilizante biológico é o esterco de gado, pois ele apresenta fácil fermentação, pelo fato de já apresentar diversas bactérias decompositoras.

2.1.2.1 Biofertilizantes bacterianos

Através da biotecnologia, isola-se as bactérias nodulares, as quais consistem na base do biofertilizante bacteriano. Mediante simbiose com as plantas, ele fornece nitrogênio e fósforo ao solo. Dentre eles, encontra-se o “Nitragin”, aplicado no solo e no tratamento de sementes de leguminosas; a “Azobacterina”, utilizada em solos pododólicos (solos úmidos, ricos em sílica, mas isentos de nitrogênio e fósforo, muito comuns em florestas mistas); entre outros como o “Azotovit”, a “Fosforobacterina”, a “Phosphatovit” e o “Rizotorfin”. Segundo Catroux (1991) o uso de biofertilizantes que contêm bactérias fixadoras fornece quantidades suficientes de células viáveis para induzir uma rápida colonização rizosfera (região onde o solo e as raízes das plantas entram em contato), de modo a permitir uma ocorrência veloz de nodulação, após a germinação das sementes, promovendo uma maior produtividade.

2.1.2.2 Biofertilizantes fúngicos

Os biofertilizantes a base de fungos saprófitos, comumente utilizados em jardins, decompõem enzimaticamente resíduos orgânicos em minerais. Há alguns exemplos

comerciais como o “Globioma Biota Max”, o qual consiste em 4 tipos de fungos *Trichoderma*, protegendo o solo contra parasitas e o “Rostmoment”, que funciona como estimulante de vida vegetal, aumentando assim o rendimento de grãos e hortaliças. De acordo com Khan *et al.* (2010), os fungos são eficientes na conversão de fosfatos inorgânicos insolúveis em solúveis. Gêneros como *Aspergillus* e *Penicillium* são os que apresentam maior capacidade de solubilização (MENDES *et al.*, 2014).

Segundo Whitelaw (1999), há uma correlação entre a efetividade na solubilização de fosfatos inorgânicos insolúveis por parte dos microrganismos fúngicos e a redução do pH. Esses fungos agem através da produção e secreção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, tornando o meio mais ácido, ou podem agir como agentes complexantes dos elementos que acompanham o íon fosfato (Ca, Al e Fe) (LIN *et al.*, 2006).

A natureza do ácido orgânico produzido consiste em uma característica específica de cada isolado fúngico e varia conforme as condições de cultivo. Esses ácidos reagem com minerais fosfatados, liberando fósforo à solução do solo, disponibilizando, dessa forma, o fosfato, melhorando assim o suprimento da planta (GYANESHWAR *et al.*, 2002).

2.1.2.3 Biofertilizantes EM

Contêm microrganismos eficazes (effective microorganisms, em inglês), que contribuem para a restauração da fertilidade dos solos e até aumentam a resistência ao gelo, em lugares e épocas com climas frios. São exemplos o “Baikal EM-1”, que aumenta consideravelmente a fertilidade em hortaliças e o “Biorost”, que promove a síntese de húmus, de modo a melhorar a produtividade da colheita.

Os microrganismos eficazes, também chamados de organismos regenerativos, produzem substâncias úteis às plantas e, através do metabolismo secundário, podem produzir hormônios e vitaminas, melhorando, desse modo, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BONFIM *et al.*, 2011).

Organismos eficazes são encontrados naturalmente em solos férteis e em plantas, coexistindo em meio líquido. Segundo Bonfim *et al.* (2011), eles são compostos por leveduras, as quais utilizam substâncias liberadas pelas raízes das plantas, sintetizam vitaminas e ativam outros microrganismos eficazes ao solo; actinomicetos, que controlam

fungos e bactérias patogênicas, além de aumentar a resistência das plantas; bactérias produtoras de ácido lático, as quais controlam organismos nocivos e liberam nutrientes às plantas, através da fermentação da matéria orgânica não curtida; e, por último, bactérias fotossintéticas, que usam a energia solar na forma de luz e calor.

2.1.2.4 Biofertilizantes vermicompostos

Solos processados por minhocas são enriquecidos com substâncias e microrganismos úteis ao desenvolvimento de culturas. Desse modo, também chamado de biohumus, este tipo de biofertilizante melhora a estrutura do solo, acelera o crescimento das plantas, elimina a presença de possíveis microfloras patogênicas, além de proporcionar um alto nível de sobrevivência das mudas. O vermicomposto “AgroVerm” caracteriza-se pelo aumento da capacidade de umidade e hidrofobicidade, há também o “Auxin”, que estimula o crescimento de frutas.

De acordo com Compagnoni e Putzolu (1985), vermicompostagem consiste em envolver diversos resíduos orgânicos em processos fermentativos e humificantes e, com o auxílio de minhocas, possibilita um produto curado a cerca de 45 a 60 dias. Na primeira fase da vermicompostagem, estão envolvidos, exclusivamente, fungos e bactérias, enquanto na segunda fase, as minhocas atuam em conjunto, acelerando a decomposição, produzindo-se, desse modo, um composto com qualidade superior.

As minhocas são de extrema importância, segundo Martinez (1991), para a decomposição de resíduos, pois ingerem rapidamente a matéria orgânica, transformando-a em um composto rico em elementos como nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, essenciais ao desenvolvimento das plantas. A *Eisenia foetida* é a espécie mais utilizada na vermicompostagem, pelo fato de ser amplamente disseminada e por apresentar uma grande faixa de tolerância à temperatura.

De acordo com Tomati *et al.* (1995), estudos indicam que a vermicompostagem, quando comparada a materiais produzidos sem a presença de minhocas, acelera a estabilização da matéria orgânica, produz um composto com menor relação carbono-nitrogênio, possibilita maior capacidade de troca catiônica e maior quantidade de substâncias húmicas e fitormônios.

2.1.3 Processo produtivo dos biofertilizantes

A produção de biofertilizantes consiste na condução controlada da digestão de resíduos orgânicos, podendo ser enriquecido através da adição de nutrientes durante ou ao final do processo (EMBRAPA, 2018).

Os biofertilizantes podem ser produzidos mediante dois métodos, em meio anaeróbico (sem ar) e aeróbico (com ar), obtendo-se, do processo, um sistema de duas fases, uma sólida, utilizada como adubo organomineral, e a outra líquida, utilizada como adubo foliar (BURG; MAYER, 1999).

Segundo a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC (1982), a fermentação aeróbica pode ser levada a efeito com substratos orgânicos e inorgânicos. Quando os substratos orgânicos são aplicados, sua degradação pode ser completa ou incompleta. Sendo que, na fermentação aeróbica completa, o substrato orgânico é totalmente degradado, convertendo-se em CO_2 e H_2O . Já na fermentação aeróbica incompleta, os substratos orgânicos são parcialmente oxidados, liberando os produtos das oxidações no meio. Os substratos inorgânicos também servem para propósitos de fermentação em processos típicos de fermentação aeróbica. Há exemplos como a oxidação do hidrogênio molecular pelas bactérias do hidrogênio, a oxidação de compostos de enxofre inorgânico por bactérias de enxofre, a oxidação de compostos de nitrogênio inorgânico por Nitrosomas e Nitrobacter, e do ferro por ferrobactérias. Além das bactérias, também atuam nos processos de fermentação aeróbica os fungos e os actinomicetos.

Por outro lado, a fermentação anaeróbica consiste em um processo de três estágios. No primeiro, compostos orgânicos insolúveis são convertidos, através da hidrólise enzimática, em compostos orgânicos solúveis com cadeia de carbono mais curta, devido à ação de microrganismos. Estes compostos solúveis formados constituem-se em substratos para os microrganismos do segundo estágio, transformando-se em ácidos orgânicos, principalmente em ácido acético, com cadeias de até seis átomos de carbono. No terceiro e último estágio, ocorre a formação de metano, onde bactérias metanogênicas utilizam ácido acético, produzido no estágio anterior, para a sua produção (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC, 1982) Portanto, a fermentação anaeróbica consiste em um

processo no qual materiais orgânicos complexos são convertidos em compostos mais simples, na ausência de ar ou oxigênio livre.

Através desses processos, os quais são os princípios de produção dos biofertilizantes, há muitas formas de se elevar a sua concentração de nutrientes, dando origem aos chamados biofertilizantes enriquecidos. Os processos de enriquecimento podem ser realizados com a adição de cinzas vegetais, plantas e frutas trituradas, farinha de rochas naturais, leite, esterco bovino e de aves (TIMM *et al*, 2004).

2.1.4 Composição química dos biofertilizantes

Segundo Santos (1992), biofertilizantes, geralmente, contêm macro e micronutrientes assimiláveis pelo vegetal, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, ferro, cloro, sílica, molibdênio, boro, cobre, zinco e manganês. O pH dos fertilizantes biológicos pode variar entre 7,0 a 8,0, podendo ser menor quando a fermentação for incompleta.

Geralmente, os estudos realizados não apresentam a composição química do produto final, contudo, por se tratar de um produto fermentado e ter como base a matéria orgânica, possui, em sua composição, a maior parte dos elementos necessários para a nutrição das plantas.

Na literatura, encontram-se alguns exemplos de biofertilizantes analisados quanto à quantidade de nutrientes, como o esterco de galinha, rico em nitrogênio, possui baixa relação C:N (carbono:nitrogênio), ou seja, maior concentração de nutrientes, bem como mineralização mais rápida (EMBRAPA, 2022). A vinhaça, produzida durante a destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar, apresenta altos teores de potássio. Lodos de esgoto, por exemplo, apesar de carentes em potássio, geralmente, possuem grandes concentrações de fósforo.

2.2 Resíduos madeireiros

De acordo com Soares (2015), o setor florestal brasileiro apresenta grande importância econômico-social, devido ao seu amplo fornecimento de matéria-prima, que vai da biomassa

para geração de energia (lenha e carvão), madeira para construção civil, movelaria até a celulose e papel.

Segundo o IBÁ (2019), o Brasil possui cerca de 7,84 milhões de hectares, sendo 35% dessa área destinada à produção de celulose e papel, 13% à produção de carvão para siderurgia, 6% ao setor de painéis de madeira e pisos laminados, 9% a investidores financeiros, 30% a produtores independentes, 4% a produtos sólidos em madeira e 3% para outros fins. Do total de áreas plantadas, 5,7 milhões de hectares consistem em florestas de eucalipto e 1,6 milhões de hectares são compostas por florestas de pinus. Derivados do processamento da madeira, os resíduos madeireiros como o cavaco, pó de serra e até licor negro (proveniente do processo produtivo da celulose); constituem matérias-primas importantes para determinados setores.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, considera como resíduo sólido todo “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam soluções técnicas ou economicamente viáveis (BRASIL, 2010, artigo 3º, inciso XVI). Portanto, os geradores de resíduos precisam elaborar programas de reciclagem ou reaproveitamento dos seus resíduos.

A aplicação de resíduos em áreas produtivas como insumo florestal ou agrícola é definido em função de suas características, composição química e em informações disponíveis sobre a interação solo-planta-insumo, de modo a assegurar sua eficiência para melhoria em atributos do solo e no fornecimento de nutrientes às plantas.

A classificação de resíduos no Brasil é determinada pela norma NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual distingue os resíduos de acordo com os seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, instruindo quanto aos métodos de manuseio e gestão de cada tipo de resíduo (ABNT, 2004).

Os resíduos, de acordo com a ABNT (2004), são classificados em 3 classes, sendo a Classe I para resíduos perigosos (para materiais inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos), Classe IIA para resíduos não perigosos e não inertes (para materiais

biodegradáveis, combustíveis ou solúveis em água), e Classe IIB para resíduos não perigosos e inertes (materiais não solúveis em água).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é responsável pela fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Para um resíduo ser aplicado como fertilizante, corretivo ou condicionador de solo, há a necessidade de se proporcionar benefícios ao sistema solo/planta, sem prejudicar o meio ambiente e o ser humano, além de se obter o registro ou autorização de uso e aplicação emitido pelo MAPA (BRASIL, 2009).

2.2.1 Resíduos da indústria de celulose e papel

Durante o processo de fabricação da celulose, geram-se resíduos como lodos, dregs e grifts, além das cinzas leves. Outro resíduo consiste na lama de cal, a qual ocorre durante a manutenção de equipamentos utilizados na etapa de recuperação do licor de cozimento dos cavacos de madeira (CNI, 1989).

Durante o processamento da madeira para produção de celulose e papel, os efluentes líquidos gerados são tratados em estações de tratamento de esgoto, composto por três etapas, as quais produzem três tipos de resíduos, sendo eles o primário (processo de decantação que separa impurezas, como minerais, terra e fibras não recuperáveis), o secundário (reator biológico que separa a matéria orgânica) e o terciário (processo de clarificação que separa o hidróxido de alumínio) (MAEDA *et al.*, 2013).

Segundo Bergamin *et al.* (1994), no processo de recuperação do licor de cozimento da madeira para extração da fibra celulósica, no processo Kraft, são produzidos três tipos de resíduos, sendo eles o dregs, grits e a lama de cal. O dregs são gerados na caldeira de recuperação do licor de cozimento, consiste em um resíduo sólido, de cor escura, odor característico, de granulometria fina e natureza alcalina. O poder de neutralização do dregs equivale ao poder do carbonato de cálcio puro (WALDEMAR; HERRERA, 1986). No caso do grits, ele provém da decomposição térmica da lama de carbonato de cálcio, oriunda da caustificação no forno de cal (apagamento da cal virgem), apresentando um poder de neutralização equivalente a 72% do carbonato de cálcio puro. Por fim, a lama de cal consiste em um sólido rico em óxido de cálcio (cal) e com baixos níveis de óxido de magnésio e sódio.

2.2.2 Cinzas

As cinzas são produzidas pela queima de biomassa, como cavaco, pó de serra, maravalha e cascas, em caldeiras para geração de energia térmica. Sua composição química depende do material utilizado (principalmente da espécie de madeira), consiste em um resíduo alcalino, com predomínio de óxido de cálcio, dióxido de silício, óxido de potássio, óxido de magnésio, pentóxido de fósforo, apresentando, deste modo, potencial como condicionador de solo e fonte de nutrientes para as plantas (CNI, 1989).

De acordo com Vance (1996), uma das características mais importantes para atuar como corretor de solo refere-se à capacidade neutralizante de determinados componentes presentes nas cinzas, como os hidróxidos e carbonatos de cálcio, magnésio e potássio.

2.3 Termorreificação da madeira

A termorreificação consiste em um tratamento que visa melhorar a estabilidade dimensional e a durabilidade da madeira, no qual o material é submetido a altas temperaturas com auxílio de vapor, aquecendo-o sem promover sua carbonização. Geralmente, é realizado em autoclaves, onde a madeira permanece durante horas ou até dias, a depender do processo aplicado, exposta a temperaturas que vão de 100 a 250° C. O processo é isento de produtos químicos nocivos ao meio ambiente, pois utiliza-se somente de calor para promover o tratamento.

2.3.1 Histórico da termorreificação da madeira

Há séculos que processos de modificação da madeira são aplicados de modo a melhorar suas propriedades, bem como aumentar seu tempo de vida útil, seja através da carbonização ou queima das superfícies (técnica conhecida como Shou Sugi Ban), ou por aplicação de óleos e ceras (JONES; SANDBERG, 2020).

Segundo Källander (2016), exemplos antigos de aplicação tratamentos térmicos em madeira foram observados em edifícios escandinavos da idade do bronze, nos quais concentrações de carvão indicavam que as extremidades dos postes das estruturas foram carbonizadas.

A modificação térmica de madeiras é uma técnica que foi desenvolvida na década de 40 do século XX e tem sido largamente estudada e aplicada industrialmente na Europa (BORGES; QUIRINO, 2004). Os primeiros trabalhos científicos publicados sobre o tratamento térmico da madeira foram feitos por Stamm e Hansen em 1930, na Alemanha. Em seguida por White na década de quarenta nos Estados Unidos. Na década de cinquenta, os alemães Bavendam, Runkel e Buro deram continuidade à investigação sobre o assunto. Kollman e Schneider publicaram suas descobertas na década de sessenta e Rusche e Burmester na década de setenta. Mais recentemente, os trabalhos de pesquisas foram realizados na Finlândia, França e Holanda em 1990. Contudo, o trabalho mais completo e abrangente foi conduzido, em 1996, pela instituição, VTT Technical Research Centre of Finland, na Finlândia (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

A modificação térmica da madeira foi estudada cientificamente no início do século XX. O objetivo era aprender como o processo melhorava as características da madeira, além de aumentar sua resistência à umidade e identificar aplicações adequadas para a madeira termorretificada. Uma das áreas de pesquisa foi o uso da madeira termicamente modificada na indústria da aviação. Até a década de 1980, pesquisas sobre termorretificação foram realizadas, principalmente, na Alemanha e nos EUA. A primeira instalação comercial de modificação térmica foi estabelecida na Alemanha, no início da década de 1980, mas as operações não alcançaram escalas industriais (INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION, 2021).

De acordo com a International ThermoWood Association (2021), na década de 1990, Finlândia, França e Países Baixos foram líderes em pesquisa sobre a modificação térmica da madeira. Um grande avanço no campo realizou-se na Finlândia, em 1993, quando a VTT (Instituto de Pesquisa Técnica da Finlândia), em colaboração com empresas da indústria madeireira, desenvolveu o processo ThermoWood[®], em escala industrial, para melhorar as propriedades da madeira através da aplicação de calor.

Hoje, a ThermoWood[®] é uma marca internacional, sua produção e volumes estão aumentando constantemente. A madeira termorretificada mediante o processo ThermoWood[®], é produzida em todo o mundo, em países como Finlândia, Suécia, Polônia, Portugal, Bélgica, Turquia, Japão, Canadá e Irã. A gama de aplicações da madeira modificada termicamente expandiu-se rapidamente, como revestimentos e produtos de design de interiores, construção

de pátios e jardins, além da indústria da carpintaria (INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION, 2021).

2.3.2 Processo de termorretificação da madeira

Na Europa, o processo de termorretificação da madeira é bastante difundido, onde alguns foram patenteados, sendo eles o Retification[®] e Perdure[®] (França), o Oil Heat Treatment – OHT (Alemanha), Plato[®] Wood (Países Baixos) e Thermowood[®] (Finlândia) (OLTEAN *et al.*, 2007). Tais processos diferenciam-se pela presença de oxigênio ou nitrogênio, aplicação ou não de vapor e óleos.

De acordo com Rousset *et al.* (2004), a maior estabilidade dimensional da madeira termorretificada deve-se à redução da higroscopicidade (absorção de água), promovida pela degradação das hemiceluloses (constituente mais higroscópico da parede celular), à ruptura dos grupos hidroxílicos (OH) livres da região amorfa da celulose e, por fim, à reticulação dos polímeros que compõem a madeira.

Outra característica adquirida através da termorretificação consiste na alteração da cor da madeira, podendo promover uniformidade, além de tons semelhantes aos das espécies nobres de madeira tropical. Deste modo, agrega-se valor a madeiras reflorestadas de baixo custo.

Contudo, há também desvantagens provenientes do processo, como a perda de massa, que contribui significativamente para a redução da densidade da madeira e, conseqüentemente, diminui sua resistência mecânica. Segundo Garcia *et al.* (2012), diversos estudos apontam uma perda de massa progressiva de acordo com o aumento do tempo e da temperatura do processo.

O tratamento térmico (Figura 1) baseia-se na modificação controlada da madeira através de calor, vapor e água. O processo é composto por quatro etapas, sendo elas a secagem em alta temperatura, a modificação térmica, resfriamento e condicionamento da umidade. O termotratamento resulta em mudanças físicas e químicas permanentes. De modo que as novas propriedades permanecem inalteradas, mesmo quando a madeira é processada por métodos como desdobro ou aplainamento.



Figura 1: Madeira termotratada sendo retirada do equipamento.

Fonte: Associação Internacional de Madeira Termorretificada – Adaptado (2021).

De acordo com a International Thermowood Association (2021), no início do processo, a madeira é empilhada em pacotes, que são transferidos para o forno. Durante a modificação térmica, a madeira é protegida por meio de vapor, que também influencia as mudanças permanentes que ocorrem.

Inicialmente, o forno é aquecido rapidamente a 100°C, em seguida, a temperatura é gradualmente elevada até o nível desejado. Durante esse processo, a madeira seca e seu teor de umidade reduz até zero. Após a secagem em alta temperatura, o forno é mantido em temperatura constante, iniciando-se a modificação propriamente dita.

Durante a última fase, a temperatura no forno é diminuída através de um sistema de pulverização de água. Quando a temperatura permanece suficientemente baixa, o teor de umidade da madeira é aumentado utilizando-se água e vapor para melhorar sua usinabilidade e estabilidade dimensional. Após a fase de resfriamento, o teor de umidade da madeira é de 4 a 7%.

A duração do processo depende da classe do produto, espécie da madeira e matéria-prima, teor de umidade e dimensões. A madeira adquire coloração marrom durante o tratamento, quando o calor altera suas propriedades químicas. Madeiras macias (baixa a média densidade) secretam a resina e outros compostos orgânicos. Enquanto extrativos são removidos de madeiras duras (alta densidade). Um sistema de controle especial é usado para ajustar a temperatura e evitar que a madeira colapse. Diferentes configurações são usadas para diferentes espécies e dimensões de madeira. O gráfico da Figura 2 apresenta o exemplo de uma curva de termorretificação de madeira.

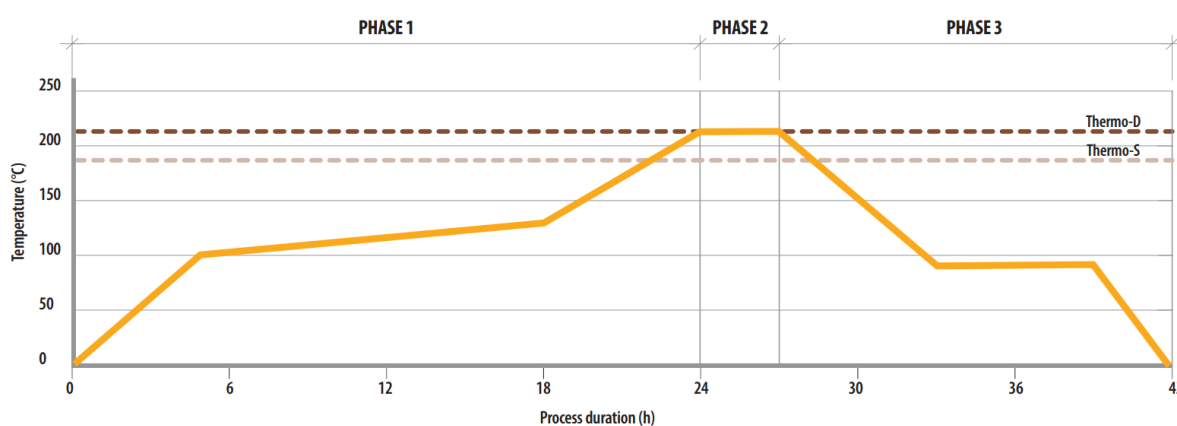


Figura 2: Exemplo de uma curva de tratamento térmico de madeira.

Fonte: Associação Internacional da Madeira Termorretificada - Adaptado (2021).

2.3.3 Mudanças na estrutura molecular da madeira durante o processo de termorretificação

Os principais componentes da madeira são celulose (40-50%), hemiceluloses (25-35%) e lignina (25-30% em madeiras macias e 20-25% em madeiras duras), além dos extrativos (cerca de 5%).

2.3.3.1 Carboidratos

De acordo com a International Wood Association (2021), a celulose e as hemiceluloses são carboidratos que atuam como componentes estruturais da madeira. A celulose apresenta uma cadeia longa (DP 5.000-10.000), composta de unidades de glicose, enquanto as hemiceluloses possuem cadeias mais curtas (DP 150-200), composta por vários monossacarídeos. A composição e quantidade de hemiceluloses variam de uma espécie de

madeira para a outra. Ambos os grupos sofrem alterações durante a modificação térmica, contudo, a maioria das mudanças ocorrem em hemiceluloses com alto teor de oxigênio.

A temperaturas abaixo de 300° C, o grau de polimerização durante a decomposição da celulose diminui, a água é eliminada e radicais livres, grupos carbonila, carboxila e hidroperóxido, monóxido de carbono, dióxido de carbono e carvão de madeira reativa são gerados (GALLIO *et al.*, 2019).

À medida que a madeira é aquecida, ácido acético é formado a partir das hemiceluloses acetiladas por hidrólise. O ácido liberado serve como um catalisador durante a hidrólise de hemiceluloses para açúcares solúveis. Além disso, o ácido acético despolimeriza as microfibrilas da celulose na região amorfa. O ácido hidrolisa as ligações das unidades de glicose, quebrando a celulose em cadeias mais curtas.

Segundo Esteves e Pereira (2009), após modificação térmica, o teor de hemiceluloses da madeira é significativamente menor. Como resultado, a quantidade de material que fungos saprotróficos (organismos que se alimentam de matéria orgânica) podem atacar é consideravelmente menor, ou seja, a madeira termicamente modificada adquire maior resistência à decomposição fúngica em comparação com a madeira padrão. À medida que as hemiceluloses se degradam, a concentração de grupos hidroxilas absorventes de água diminui e a estabilidade dimensional da madeira termicamente modificada melhora, comparada à madeira não tratada.

2.3.3.2 Lignina

A lignina mantém as células da madeira unidas. A matéria escura na madeira, referentes às células da lamela média, consiste principalmente de lignina. Também é encontrada nas paredes celulares primárias e secundárias. É composta principalmente de unidades de fenilpropano, que são tipicamente unidas por ligações de éter e carbono-carbono (DP 10-50). As madeiras macias contêm principalmente unidades guaiacil de fenilpropano, enquanto as madeiras duras contêm unidades guaiacil e seringil de fenilpropano em quantidades praticamente iguais. Ambas também contêm pequenas quantidades de p-hidroxil fenilpropano (INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION, 2021).

Durante a modificação térmica, as ligações entre unidades de fenilpropano são parcialmente quebradas. Ligações de éter arila entre unidades de seringil quebram mais facilmente que as ligações entre unidades guaiacil. As reações termoquímicas são mais comuns em cadeias laterais aliadas do que em ligações éter aril-alquila. Quanto maior o tempo de autohidrólise, mais reações de condensação ocorrem. Os produtos da reação de condensação incluem b-cetonas e grupos conjugados de ácido carboxílico (FONTOURA *et al.*, 2015).

Conforme expresso por Huller *et al.* (2017), de todos os constituintes da madeira, a lignina apresenta maior capacidade de suportar o calor. Sua massa só começa a diminuir a temperaturas superiores a 200° C, quando as ligações éter b-arila começam a quebrar. Em altas temperaturas, o teor de metóxi da lignina diminui e algumas de suas unidades não condensadas são transformadas em unidades semelhantes ao difenilmetano. Assim, a condensação do tipo difenilmetano é a reação mais comum dentro da faixa de temperatura de 120-220° C. Durante a modificação térmica, essa reação apresenta efeito significativo sobre as propriedades da lignina, como sua cor, reatividade e dissolução.

2.3.3.3 Extrativos

A madeira contém pequenas quantidades de constituintes em pequenas moléculas, denominados extrativos, que incluem terpenos, gorduras, ceras e fenóis. Os extrativos de várias espécies de madeira são heterogêneos na natureza, e seu número de compostos é extremamente alto. Os extrativos não são componentes estruturais da madeira, e a maioria dos seus compostos evaporam facilmente durante a modificação térmica.

2.3.3.4 pH

Segundo a International Wood Association (2021), durante a modificação térmica, o valor do pH da madeira diminui, tornando os produtos modificados termicamente significativamente mais ácidos que a madeira padrão. Por exemplo, o valor de pH da madeira termorretificada é de cerca de 4, enquanto o valor do pH de um produto padrão correspondente está entre 4,5 e 5. Em comparação aos valores de pH, pode-se observar que uma redução de 0,3 unidade no valor do pH se traduz em uma duplicação da quantidade de ácido (escala logarítmica). A acidez afeta o tratamento superficial pois pode impedir que

alguns agentes possam aderir à superfície da madeira. Isso pode ter impacto sobre a corrosão de fixadores metálicos. Portanto, fixadores de metal usados com madeira termicamente modificada devem ser resistentes a ambientes ácidos ou aços inoxidáveis.

2.3.4 Espécies de madeira utilizadas na termorreificação

Em países como a Finlândia, as espécies mais utilizadas no tratamento térmico são o pinus (*Pinus sylvestris*), o abeto vermelho (*Picea abies*), a bétula (*Betula pendula*) e álamo (*Populus tremula*). Além disso, outras espécies começaram a ser testadas recentemente, tais como o pinheiro radiata (*Pinus radiata*), o freixo (*Fraxinus excelsior*), o lariço (*Larix sibirica*), o amieiro (*Alnus glutinosa*), a faia (*Fagus silvatica*) e eucalipto (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

No Brasil, o processo é pouco conhecido, sendo que somente 2 empresas, atualmente, realizam o tratamento térmico da madeira, a Vale do Cedro (localizada em Ribeirão Branco – SP) e a TW Brazil (situada em Ponta Grossa – PR). A primeira trata madeiras como pinus (*Pinus spp.*), eucalipto (*Eucalyptus spp.I*), tauari (*Couratari spp.*), pinho cuiabano (*Schizolobium parahyba*), caixeta (*Simarouba amara*), carvalho americano (*Quercus rubra*), paricá (*Schizolobium amazonicum*), cedro australiano (*Toona cilliatta*) e, principalmente, cedro indiano (*Acrocarpus fraxinifolius*). Enquanto a segunda se especializou no tratamento térmico da madeira de teca (*Tectona grandis*).

2.4 Cedro Indiano (*Acrocarpus fraxinifolius*)

Pioneira no reflorestamento de Cedro Indiano no Brasil, a Vale do Cedro trata termicamente a madeira produzida por essa espécie, de modo a tonalizá-la e, principalmente, protegê-la contra agentes xilófagos, haja vista que consiste em um material suscetível ao ataque de brocas.

A espécie *Acrocarpus fraxinifolius*, conhecida mundialmente pelo nome comum de mundani ou árvore de ripa, na Ásia (LORENZI *et al.*, 2003), e cedro-rosado ou cedro indiano, na América do Sul (ERAUSQUIM, 2012) é, relativamente, bem estudada nos países Asiáticos.

No Brasil, a espécie é praticamente desconhecida. Apenas Prado *et al.* (2003)

desenvolveram estudos das características físicas e químicas da madeira de várias procedências de *Acrocarpus fraxinifolius* e concluíram que a espécie produz madeira leve (0,438 g/cm³), com fibras curtas (1.2 mm), alto teor de extrativos totais (10.6%) e baixo teor de lignina (20,1%). Os autores acima observaram, ainda, que a madeira é estável, com baixos valores de retratibilidade (9,0%) e com anisotropia de concentração aceitável (1,8%), características estas apropriadas para processamento mecânico e para movelaria. No aspecto silvicultural, não se tem conhecimento da realização de trabalhos científicos com *Acrocarpus fraxinifolius* no Brasil.

2.4.1 Características da espécie

De acordo com Rai (1976), o Cedro Indiano pertence à família, subfamília *Caesalpinioideae* e ocorre, naturalmente, em florestas mistas perenifólias (árvores cujas folhas se mantêm durante o ano todo) da Índia, Bangladesh, Indonésia, Nepal e Miami, em latitudes entre 23° e 27° ao norte. Originalmente, a espécie distribui-se em altitudes de até 1.500 m acima do nível do mar, em regiões com temperaturas entre 19° a 28° C e precipitações anuais de 1.000 a 2.000 mm. Suas árvores crescem em solos rasos e compactados, contudo, o potencial de seu crescimento é observado em solos franco-argilosos, profundos, bem drenados e com pH entre 4 e 7.

As árvores possuem troncos retilíneos, podendo atingir até 20 m de altura e 50 cm de diâmetro. A espécie inicia a sua floração após o oitavo ano de idade e apresentam sementes pequenas (em média, de 12.000 a 32.000 sementes por quilo).

2.4.2 Composição química do cedro indiano

De acordo com Pinati *et al.* (2018), o cedro indiano apresenta em sua composição química cerca de 8,15% de teor de extrativos, 40,34% de teor de lignina, 50,88% de holocelulose e 0,64% de teor de cinzas.

Desse modo, a composição química de espécies de madeira, em especial, do cedro indiano, contribui para proporcionar matéria orgânica adequada à fertilização de solos, através da deposição de nutrientes. Segundo estudos realizados por Dedecek *et al.* (2007), a elevada concentração de nutrientes em resíduos industriais (resíduos de celulose e cinzas de madeira)

contribuiu para aumentar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, sugerindo o uso dos resíduos da indústria de celulose como fonte alternativa desses nutrientes para as plantas.

2.5 Toxicidade

A ecotoxicologia é uma área especializada da toxicologia ambiental, que analisa os efeitos tóxicos causados por agentes químicos e físicos sobre as populações em ambientes aquático e/ou terrestres que integram o ecossistema. O desenvolvimento de protocolos para testes de toxicidade permite definir a faixa de toxicidade tolerável, obtendo-se o conhecimento de níveis aceitáveis e servem de referência na tomada de decisões para órgãos públicos reguladores (RONCO *et al.*, 2004).

Nos estudos de ecotoxicologia, organismos representativos do ambiente são expostos a várias concentrações do efluente ou da substância potencialmente tóxica a ser testada, por período determinado. Em testes agudos, são observadas letalidade e imobilidade em um curto intervalo de tempo, geralmente de 24-48h. O resultado do teste é expresso em Concentração Efetiva Inicial Mediana - CE(I)50 48h, que corresponde à concentração da amostra no início do ensaio, que causa efeito agudo a 50% dos organismos expostos em 48 horas, nas condições de teste (DYER *et al.*, 2008).

A toxicidade, pelo tempo de resposta e manifestação, pode ser aguda, subcrônica ou crônica. Em aguda, os efeitos tóxicos se manifestam rapidamente, em uma única exposição e/ou por um curto período. Na crônica, os efeitos da toxicidade se manifestam após repetidas exposições, por um longo tempo de vida. Já a toxicidade subcrônica é um ponto ao meio entre as duas.

2.5.1 Ensaios de toxicidade aguda

Testes de toxicidade aguda são estudos experimentais, feitos com organismos-teste que determinam se um efeito adverso observado ocorre em um curto período (geralmente, em até 14 dias) após a administração de uma única dose da substância testada ou após múltiplas dosagens administradas em até 24 horas. Seu objetivo é determinar a Concentração Letal Média (CL50), na qual metade dos indivíduos morre depois de determinado tempo de exposição ao agente tóxico.

Um dos organismos-teste utilizados em análises de toxicidade aguda corresponde à *Daphnia magna*, um microcrustáceo de água doce facilmente encontrado no hemisfério norte, é amplamente utilizada em testes de toxicidade aguda e crônica, testes regulatórios, bem como em pesquisa básica ecotoxicológica (U.S.EPA, 2000). Estes organismos, que apresentam um ciclo de vida de cerca de trinta dias, são os mais indicados para bioensaios rápidos, pois são sensíveis a uma grande diversidade de poluentes, são facilmente cultiváveis em laboratório, são relativamente pequenos, possuem alta fecundidade, e reprodução partenogênica (HANAZATO, 1998).

Na cadeia alimentar, estes organismos desempenham o papel de consumidores primários, pois alimentam-se por filtração de material orgânico particulado, principalmente de algas unicelulares (KNIE; LOPES, 2004). Estes microcrustáceos se reproduzem por partenogênese cíclica, assim, durante a maior parte do ano, as populações consistem quase inteiramente de fêmeas. A produção de machos é estimulada, principalmente, devido às baixas temperaturas, ou à alta densidade de indivíduos e subsequente acumulação de produtos de excreção, e/ou uma diminuição de disponibilidade de alimento

2.5.2 Ensaios de toxicidade crônica

Toxicidade crônica compreende no desenvolvimento de efeitos colaterais causados por exposição, a longo prazo, a toxinas, drogas ou outros agentes estressores, sendo este um objeto de estudo importante na toxicologia aquática. Os efeitos colaterais relacionados à toxicidade crônica podem ser letais. Tais efeitos incluem alterações no crescimento, reprodução ou comportamento. A toxicidade crônica é oposta à toxicidade aguda, pois a última ocorre durante um período mais curto e envolve concentrações tóxicas mais altas. Exames toxicológicos podem ser realizados para avaliar a toxicidade crônica de diferentes contaminantes (COSTA *et al.*, 2008).

Algas são um conjunto heterogêneo de organismos que varia em tamanho, de pequenas células individuais a algas gigantes, as quais pertencem a diferentes linhagens evolutivas. Como resultado, as algas são, em sua maioria, definidas por traços ecológicos e conhecidamente espécies fotossintéticas, que produzem oxigênio e vivem em *habitats* aquáticos. O conceito das algas protistas fotossintéticas inclui as que são eucariontes,

conhecidas como algas verdes, e as procariontes chamadas de cianobactérias, ou algas azuis (GRAHAM *et al.*, 2009).

Desmodesmus subspicatus, de acordo com Hegewald *et al.*, 2000, consiste em uma alga verde planctônica (Figura 3), a qual representa os produtores primários nos ecossistemas de água doce. Desse modo, são a base do ciclo de vida na água, servindo de alimentos para outros organismos; além disso, destaca-se na manutenção do equilíbrio do ambiente aquático, pois participam do ciclo biogeoquímico, especialmente nos ciclos do carbono, oxigênio, nitrogênio, fósforo e silício (KNIE; LOPES, 2004).

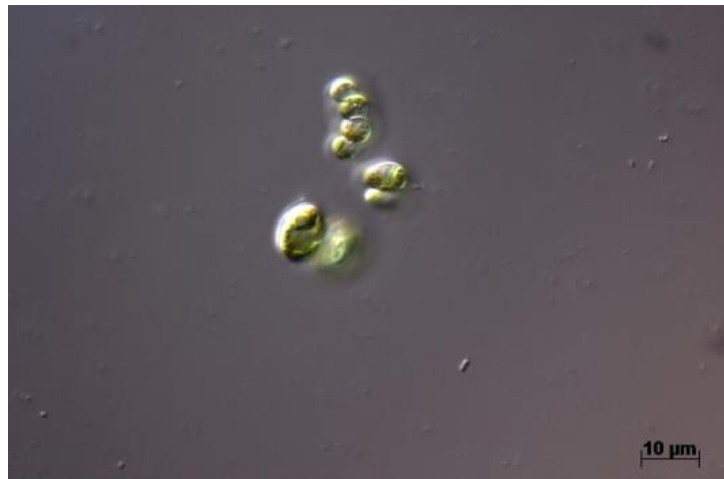


Figura 3: *Desmodesmus subspicatus* visto com auxílio de um microscópio.

Fonte: Culture Collection of Algae & Protozoa.

Sicko-Goad e Stoermer (1988) observaram que algas apresentam respostas fisiológicas rápidas, provocadas por compostos tóxicos, podendo ser aplicadas como bioindicadores biológicos, verificando-se a qualidade da água e impacto ambiental.

De acordo com Lewis (1990), as algas são mais sensíveis, quando comparadas aos peixes, utilizando-se substâncias como surfactantes, combustíveis e herbicidas. De acordo com Greene *et al.* (1988), algas se mostram sensíveis a muitos metais, considerando-se o teste com alga fundamental devido à importância ecológica que esse organismo possui no ecossistema.

A base da avaliação de testes com algas é a curva de crescimento da população durante 72 ou 96 horas (RATTE *et al.*, 2003).

Para *Desmodesmus subspicatus*, a “Concentração Inibitória”, que causa efeito em 50% dos organismos (CI50), indica a concentração nominal da amostra que causa efeito crônico a 50 % dos organismos durante o tempo de exposição e FT que representa a menor diluição que induz efeito tóxico a 20% de inibição do crescimento algáceo (ABNT, 2011).

2.5.3 Avaliação e Identificação da Toxicidade

A Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT) consiste na remoção sequencial de diversas frações químicas, em conjunto com o teste de toxicidade das frações obtidas. De acordo com a USEPA (1991), United States Environmental Protection Agency, a AIT é composta por 3 fases: caracterização da amostra com base em suas características físico-químicas, identificação dos agentes tóxicos presentes, confirmação da hipótese através de ensaios químicos e toxicológicos adicionais.

A AIT é utilizada quando há necessidade de se avaliar o que pode gerar toxicidade em determinado efluente. Substâncias como metais pesados, compostos orgânicos voláteis, sólidos totais dissolvidos, orgânicos apolares e oxidantes levam toxicidade aos efluentes líquidos, tanto os gerados nos processos, quanto os que passaram por algum tratamento.

Os ensaios para Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT) podem ser realizados por laboratórios especializados (privados ou de universidades) disponíveis no mercado. A bibliografia de referência para os estudos de AIT pode ser obtida em manuais da EPA (MOUNT; NORBERG-KING, 1993).

Durante os ensaios para AIT, são aplicados diversos testes de modo a rastrear a toxicidade do efluente, tais como o teste de toxicidade base, o qual possui o objetivo de identificar quais tratamentos reduzem ou eliminam efeitos tóxicos do líquido; teste com adições de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético), o qual verifica se a toxicidade vem de determinados metais catiônicos na amostra; teste com adição de tiosulfato de sódio, para detectar a presença de compostos oxidantes (como o cloro, por exemplo) e de alguns metais; teste de toxicidade com filtração, com o objetivo de identificar se a toxicidade provem de sólidos filtráveis; teste de toxicidade com aeração da amostra, voltado à detecção de compostos voláteis ou oxidáveis; e teste com extração em fase sólida, destinada a determinar se a toxicidade da amostra deve-se a ocorrência de compostos orgânicos não polares.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar as características do líquido residual do tratamento térmico e desenvolver uma opção de reaproveitamento do líquido residual da termorretificação do Cedro Indiano, aplicando-o como biofertilizante. Haja vista que esse efluente é despejado no solo, devido ao desconhecimento de seu conteúdo, no que se refere possíveis nutrientes que ele possa apresentar.

3.2 Objetivos específicos

Desse modo, os objetivos específicos foram definidos:

- ✓ Avaliação das características químicas do resíduo do termotratamento, através de análise química de sua composição, identificando parâmetros como teor de macro e micronutrientes, pH, condutividade elétrica e dureza;
- ✓ Analisar seu potencial agrônomo e os efeitos das diferentes concentrações e doses na absorção de nutrientes e produtividade no desenvolvimento de milho, acompanhando-se o índice de germinação de suas sementes;
- ✓ Verificar a existência de toxicidade em seu conteúdo, utilizando-se ensaios de toxicidade e fracionamento químico para identificar agentes tóxicos em sua composição.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Termorretificação da madeira

O processo de termorretificação foi realizado na empresa Vale do Cedro, localizada no município de Ribeirão Branco – SP.

O tratamento térmico foi iniciado em temperatura ambiente (25 °C), aquecendo-se a madeira durante 1 hora, até atingir a temperatura de 140° C, a qual foi mantida durante 1 hora e 30 minutos. Após este período, a alimentação de vapor foi interrompida, iniciando-se, desse modo, o resfriamento da madeira. Estes parâmetros são utilizados pela empresa nos tratamentos da madeira de cedro indiano (*Acrocarpus fraxinifolius*). De modo que, a cada espécie de madeira, as variáveis do processo podem mudar.

4.1.1 Coleta e armazenamento da “água” residual

Ao fim do resfriamento, coletou-se 10 L de líquido residual do tratamento térmico, através da tubulação de descarga do condensado, utilizando-se recipientes higienizados.

Anteriormente ao processo de termorretificação, coletou-se, também, 5 L de água contida no interior do gerador de vapor, para fins comparativos (água antes e após o processo). Este material foi coletado através do tubo de escape de água do gerador de vapor.

Posteriormente, os recipientes foram armazenados em refrigerador, de modo a evitar a ataques de fungos e deterioração do material coletado.

4.2 Análise de macro e micronutrientes

Primeiramente, realizaram-se as análises químicas da água, coletada anteriormente ao tratamento, e do líquido residual, para verificar quais substâncias químicas estão presentes em sua composição. O material foi encaminhado ao Laboratório de Análises Agronômicas (Itapeva/SP), certificado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) – Nutriceler, para a determinação da quantidade de macro e micronutrientes, dureza total (relacionada à presença de sais de cálcio e magnésio), condutividade elétrica e pH. As concentrações dos íons Ca, Mg,

Cu, Zn, Mn, K e Fe foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, com análises feitas em triplicata.

4.3 Ensaio de germinação

Foram montados, sobre placas de petri, sistemas usando sementes de milho híbrido SHS 2050, da fabricante Sementes Santa Helena, mantendo-se as sementes acomodadas em camas de algodão, na ausência do líquido residual da termorretificação (corpos de prova de controle) e com diferentes concentrações diárias do biomaterial (1; 2; 3; 4 e 5 mL). O corpo de prova de controle foi irrigado com 5 mL diários de água potável.

Em cada placa de petri, foram adicionadas 5 sementes de milho, utilizando-se 8 placas de petri por tratamento (Figura 4). A quantidade de sementes por placa de petri foi determinada de modo a acomodar o maior número de sementes possível sem que houvesse competição durante o crescimento, considerando-se as dimensões das placas de petri utilizadas. As sementes permaneceram em local arejado e sob luz artificial.

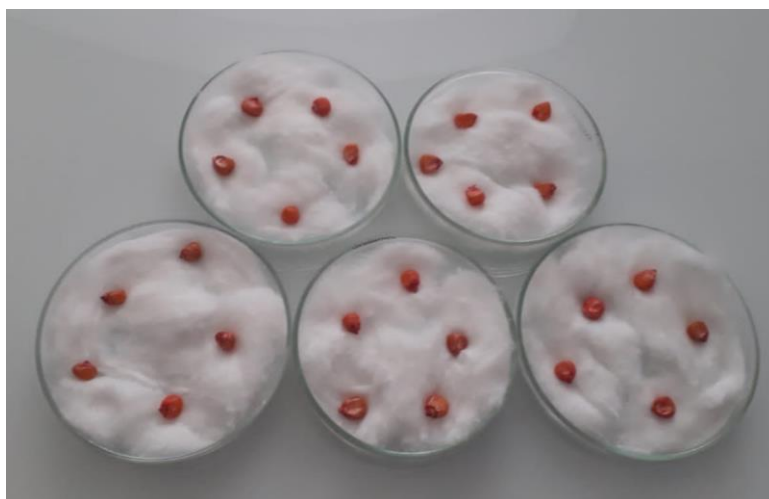


Figura 4: Placas de petri com as sementes de milho.

As avaliações foram realizadas aos quatro dias após o início do teste, considerando-se germinadas todas as sementes que apresentaram plântulas normais na primeira contagem, conforme a RAS (Regras para Análise de Sementes) (BRASIL, 2009). Desse modo, na primeira contagem, todas as plântulas normais que se demonstrarem adequadamente desenvolvidas morfolologicamente perfeitas, ou seja, apresentando todas as estruturas

essenciais (sistema radicular, hipocótilo, cotilédones e radícula) e livres de lesões ou rachaduras foram removidas e classificadas como fortes. Plântulas que não apresentaram tais requisitos permaneceram no teste até a última contagem que, ocorreu no décimo quinto dia após a sementeira. Durante a última leitura, todas as plântulas que sobraram foram avaliadas em normais fortes ou normais fracas. As sementes que não germinaram foram classificadas como duras, dormentes ou mortas (VIEIRA, 1994).

4.4 Ensaio de germinação com o líquido em pH corrigido

Devido aos resultados obtidos com o ensaio de germinação de sementes (item 4.3), o pH do efluente foi corrigido de modo a avaliar se houve alguma interferência nos valores obtidos durante o teste.

Durante o ensaio, foram inseridos 850 mL do líquido residual em um béquer, o qual foi colocado sobre um agitador magnético (Figura 5), medindo-se o pH da amostra com um pHmetro digital (Figura 6). Em seguida, foi adicionada ao líquido uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), conforme apresentado na Figura 7, em gotas utilizando-se uma pipeta até que a amostra fosse neutralizada (pH igual a 7).



Figura 5: Amostra sobre o agitador magnético.



Figura 6: pHmetro digital utilizado no ensaio.

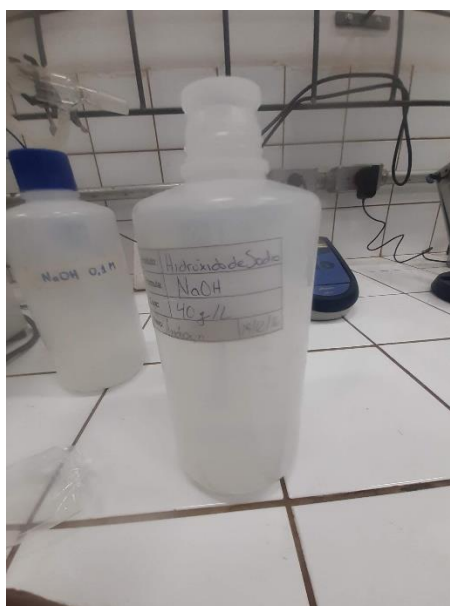


Figura 7: Solução de NaOH utilizada no ensaio.

Com o pH do líquido residual corrigido, foi realizado novamente o ensaio de germinação com as sementes de milho, replicando-se o procedimento realizado no item 4.3. Ou seja, foram acondicionadas 5 sementes em cada placa de petri, totalizando-se 8 placas por tratamento. O ensaio de germinação foi realizado com base na metodologia indicada pela RAS (Regras para Análise de Sementes), oficializado pelo Ministério da Agricultura, desde 1967.

4.5 Testes de toxicidade

De acordo com os resultados obtidos no ensaio do 4.4, houve a necessidade da realização de testes de toxicidade do efluente, de modo a identificar possíveis efeitos danosos a organismos vivos, por parte do líquido.

4.5.1 Toxicidade aguda

O teste de toxicidade aguda com *Daphnia magna* consiste na exposição dos neonatos em concentrações distintas da amostra de forma crescente, resultando em uma faixa de concentrações (de 50 a 200 mL de água residual/L de água) que causa a imobilidade e mobilidade de 100% dos organismos. Deste modo, determina-se a concentração em que se observa a imobilidade de 50% dos organismos (CE₅₀). Para a validação dos testes é realizado um controle negativo contendo apenas água de diluição e o controle do solvente, contendo o mesmo teor de solvente da maior concentração teste.

Os testes foram realizados de acordo com a norma NBR 12713 (2022), em triplicata, pelo laboratório Teclab.

4.5.2 Toxicidade crônica

O cultivo e o teste de toxicidade crônica com *Desmodesmus subspicatus* foram realizados de acordo com a NBR 12648: 2011 (ABNT). O cultivo foi mantido em meio de cultura (CHU), conforme a norma; na sala de cultivo, em condições controladas. Nos ensaios com *D. subspicatus*, o efeito avaliado foi o crescimento algáceo, sendo o tempo de ensaio de 72 horas. O teste foi realizado sobre luminosidade de 7000 lux, mantido sobre agitação constante em mesa agitadora orbital “shaker”, em ambiente com temperatura controlada entre 23 e 27°C. O inóculo utilizado para o teste foi uma pré-cultura de 3 dias e as medidas de concentração foram feitas a partir de contagem na câmara de Neubauer (ADAMS, *et al.*, 2017). O teste foi feito em triplicata e foram utilizadas as concentrações: 5 mL/L; 10 mL/L; 20 mL/L; 40 mL/L e 80 mL/L (mL da água residual/L de água), pelo laboratório Teclab.

4.5.3 Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT)

Com o objetivo de identificar possíveis componentes tóxicos no líquido residual, a amostra foi fracionada de modo a quantificar a concentração de elementos como arsênio, bário, benzeno, cianeto, fenóis, estireno, entre outros.

Este ensaio foi realizado pelo laboratório Freitag, localizado em Timbó - SC, utilizando-se a metodologia estabelecida pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW). De acordo com a Rede Metrológica de Minas Gerais (2022), tal método fornece recursos abrangentes para medir os atributos biológicos, químicos e físicos das águas e oferece orientação para escolher entre os métodos disponíveis para elementos específicos e compostos. A metodologia foi publicada pela American Public Health Association, American Water Works Association e Water Environment Federation.

Os resultados do ensaio foram expressos em mg/L e comparados com a legislação vigente - CONAMA - Resolução nº 430: 2011, Seção I e II.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de macro e micronutrientes

A análise realizada pelo laboratório indicou os resultados expressos na Tabela 1, onde denominou-se “natural” a água coletada anteriormente ao tratamento térmico e “termo” o líquido residual oriundo deste processo. Observando-se aumentos significativos nas quantidades de nutrientes contidas nas amostras após a termorretificação, além do aumento da dureza total. Contudo, a condutividade elétrica, juntamente com o pH diminuíram significativamente.

Tabela 1: Análise de macro e micronutrientes dos líquidos antes e depois do tratamento térmico.

Líquido	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	K (mg/L)	Dureza total (mg/L de CaCO ₃)	E.C. μS/cm	pH
Termo	50,5	6,0	0,7	36,4	8,7	2,2	8,3	151	2,45	3,8
Natural	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	3,1	0,9	3	51,90	6,0

Fonte: Labceler (2022).

5.1.1 pH do líquido residual

A análise mostrou que o biofertilizante apresentou um pH de 3,8. Nestas condições de pH, o desenvolvimento da cultura é comprometido, pois permite a acidificação do solo no qual o líquido será aplicado. Observa-se que, geralmente, os nutrientes possuem melhor absorção com pH em torno de 6,5.

Segundo Malavolta (1979), a faixa ideal de pH do solo para um melhor desenvolvimento das plantas é de 6,0 a 6,5. Nessa faixa de pH, os nutrientes presentes no solo e/ou nas adubações, são aproveitados e absorvidos pelas plantas de modo geral, auxiliando no seu desenvolvimento e produção. Os solos ácidos apresentam problemas para a agricultura porque as plantas não se desenvolvem bem nestas condições.

5.1.2 Nutrientes do líquido residual

Quanto aos nutrientes, a análise indicou presença de cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e potássio (K). Sendo estes alguns dos componentes fundamentais ao desenvolvimento de plantas. Como comparativo, pode-se citar os biofertilizantes líquidos Vairo e Agrobom, analisados pela Embrapa Semi-Árido, que apresentaram, respectivamente, 0,33 e 0,24 mg de cálcio/L, 0,21 e 0,10 mg de magnésio/L, 0,06 e 0,16 mg de cobre/L, 4,5 e 0,6 mg de ferro/L, 0,10 e 0,02 mg de manganês/L, 0,33 e 0,15 mg de zinco/L, 7,1 e 7,6 g de potássio/L.

O potássio (K) participa de processos vitais ao metabolismo celular, como o controle da abertura dos estômatos (mantém a planta hidratada) e o transporte de substâncias pelo floema e a ativação de mais de 50 enzimas (OLNESS; BENOIT, 1992).

Enquanto o cálcio (Ca) participa como componente estrutural da lamela média de paredes celulares formando sais com pectina: pectato de cálcio, o que confere propriedades cimentantes à lamela média.

Já o magnésio (Mg), está presente na molécula da clorofila, perfazendo 2,7% de seu peso. O cobre (Cu) é um dos nutrientes necessários à formação da clorofila. O ferro (Fe) em baixa quantidade no solo acarreta uma baixa produção de clorofila. E o manganês (Mn) está presente, também, na clorofila, na produção de carboidratos e no metabolismo do nitrogênio nas plantas (SILVA, 2011).

Por fim, o zinco (Zn) é importante no desenvolvimento dos botões florais, na produção de grãos e sementes, bem como influi na velocidade de maturação das plantas e sementes. (SILVA, 2011).

Segundo Andrade *et al.* (1975), as necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. Esta extração total depende, portanto, do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, tanto na produção de grãos como na de silagem, é necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que esta extrai, os quais devem ser fornecidos pelo solo e através de adubações.

Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produção, e que a maior exigência do milho se refere a nitrogênio e potássio, seguindo-se de cálcio, magnésio e fósforo (BULL, 1993).

Em relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Por exemplo, para uma produção de 9 t de grãos/ha, são extraídos: 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 110 g de cobre, 400 g de zinco, 170 g de boro e 9 g de molibdênio. Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos quanto a deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio (EMBRAPA, 2006).

De acordo com Coelho (2005), a análise do solo tem se mostrado útil para discriminar respostas do milho à adubação potássica. Aumentos de produção em função da aplicação de potássio foram observadas em solos com teores muito baixos e com doses de até 120 kg de K₂O/ha (óxido de potássio por hectare). Nos solos do Brasil Central, a quantidade de potássio disponível é normalmente baixa e a adubação com esse elemento produz resultados significativos. Aumentos de produção de 100% com adição de 120 a 150kg de K₂O/ha são comuns nesses solos.

No Brasil, o zinco é o micronutriente mais limitante à produção do milho, sendo a sua deficiência muito comum na região Central do país, onde predominam os solos sob vegetação de cerrado, os quais geralmente apresentam baixo teor de zinco no material de origem.

De acordo com Galvão (1994), os métodos de extração e interpretação da análise do solo para micronutrientes ainda não estão bem estabelecidos, mas alguns trabalhos de calibração foram realizados para o zinco com resultados satisfatórios. As recomendações de adubação com zinco para o milho no Brasil variam de 2,0 a 4,0 kg/ha.

5.1.3 Dureza da água

Quanto à dureza da água, de acordo com a Tabela 1, observou-se aumento quanto ao valor do líquido após o tratamento térmico da madeira (de 3 para 151 mg/L CaCO₃). De acordo com a APDA (Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem da Água), a dureza da água reflete a presença de sais de metais alcalino terrosos, predominantemente cátions de cálcio e de magnésio, ou cátions de outros metais, como bário, ferro, manganês, estrôncio e

zinco, sendo que, frequentemente, estão na forma complexa. Segundo a associação, uma água é designada por água dura quando apresenta propensão à formação de sais insolúveis. Pelo contrário, uma água que apresenta teores reduzidos de sais é denominada como macia.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (2012), uma água é designada por água muito dura quando apresenta uma concentração em carbonato de cálcio (CaCO_3) superior a 180 mg/L; dura com concentração entre 120 e 180 mg/L, moderadamente dura entre 60-120 mg/L e macia quando os teores em carbonato de cálcio são menores que 60 mg/L. Deste modo, o líquido analisado pelo laboratório passou de uma água macia para uma água moderadamente dura, provavelmente, devido à presença de componentes como cálcio, magnésio, ferro, manganês e zinco adquiridos durante o processo de termorreificação.

5.1.4 Condutividade elétrica do líquido residual

De modo contrário, o valor da condutividade elétrica dos líquidos analisados baixou (de 51,9 a 2,45 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica é denominada condutividade e depende da concentração dos íons presentes na solução: cátions e ânions. A condutividade elétrica tem como principal objetivo calcular a quantidade de minerais sólidos dissolvidos na solução aquosa.

Segundo a EMBRAPA (2018), a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação após a adição da solução de fertilizantes não deve ultrapassar 200,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Valores maiores são permitidos quando a cultura fertirrigada é tolerante à salinidade. A condutividade elétrica depende do tipo de sais de uma solução e da concentração dessa solução.

Portanto, o resíduo possui características que o aproximam de um biofertilizante líquido, como o Vairo e o Agrobom, citados anteriormente, em relação à sua concentração de macro e micronutrientes e à condutividade elétrica. Contudo, no que diz respeito à sua dureza e pH, os valores obtidos podem inviabilizar a aplicação do resíduo como biofertilizante, surgindo-se a necessidade de tratamentos, como a correção do pH, por exemplo.

5.2 Ensaio de germinação

Passados os 4 dias da sementeira, foram realizadas contagens sobre o número de plântulas normais, indicadas na Tabela 2. Pôde-se observar, de acordo com as Figuras 8 a 15; que somente no tratamento de controle houve germinação das sementes. Tal inibição no desenvolvimento das sementes, pode ser ocasionado por uma possível toxicidade do líquido residual, ou por sua natureza ácida.

Tabela 2: Número de plântulas normais em função dos dias.

Número de plântulas normais															
Tratamento	Contagem														
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	12 ^a	13 ^a	14 ^a	15 ^a
Controle	12	12	16	17	20	22	22	25	26	27	27	29	29	29	29
1 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

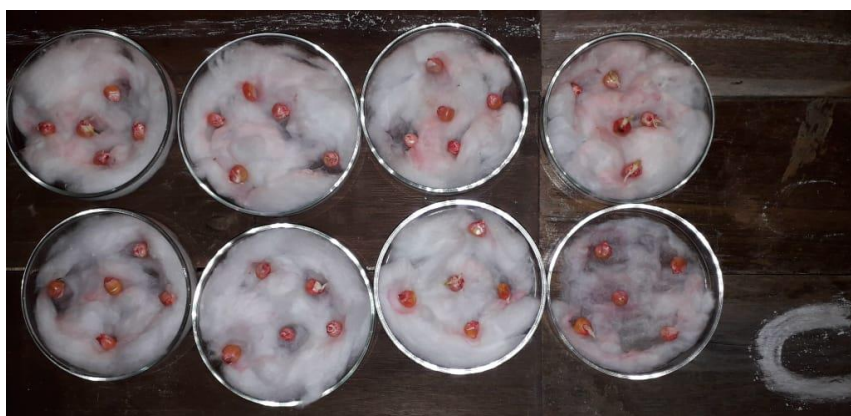


Figura 8: Sementes do tratamento de controle (5 mL de água), na segunda contagem.



Figura 9: Sementes no tratamento com 1 mL de biofertilizante, na segunda contagem.



Figura 10: Sementes no tratamento com 2 mL de biofertilizante, na segunda contagem.



Figura 11: Sementes no tratamento com 3 mL de biofertilizante, na segunda contagem.



Figura 12: Sementes no tratamento com 4 mL de biofertilizante, na segunda contagem.



Figura 13: Sementes no tratamento com 5 mL de biofertilizante, na segunda contagem.



Figura 14: Sementes germinando no tratamento de controle, durante a 12ª contagem.



Figura 15: Sementes não germinadas nos tratamentos com biofertilizante, durante a 12ª contagem.

A semente do milho é classificada como cariopse, dividindo-se em três partes: pericarpo, endosperma e embrião, conforme apresentado na Figura 16. O pericarpo consiste em uma camada fina e resistente, constituindo a parte mais externa da semente. Já o endosperma é a parte envolvida pelo pericarpo e apresenta maior volume, constituída de amido e outros carboidratos. A parte do endosperma que fica em contato com o pericarpo denomina-se aleurona e é rica em proteínas e enzimas, além de ser determinante no processo de germinação. Enquanto o embrião localiza-se ao lado do endosperma e possui os primórdios de todos os órgãos da planta desenvolvida. A sacarose desloca-se do endosperma ao embrião, onde é utilizada como fonte de energia para o início do desenvolvimento da radícula, sendo esta a primeira estrutura a romper o pericarpo (SANGOI *et al.*, 2007).

Em condições favoráveis de umidade e temperatura, a semente de milho germina entre 5 a 6 dias (CORRÊA, 2001).

As sementes plantadas absorvem água, incham e começam a crescer. A radícula passa a alongar-se primeiramente, seguida pelo coleótilo, com plúmula incluída, onde ocorre a alongação do mesocótilo, que empurra o coleótilo para a superfície do solo (EMBRAPA, 2006).

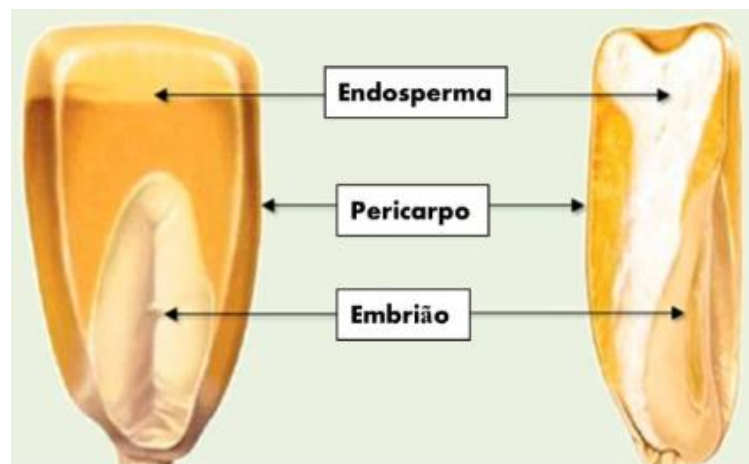


Figura 16: Partes básicas da semente de milho.

Fonte: Amaral e Bernardes (2012).

Para garantir sua germinação, o milho necessita de umidade adequada e de temperatura do solo superior a 10 °C. Em condições favoráveis, o milho leva de 4 a 7 dias para emergir. Entretanto, o uso de sementes de pior qualidade, aliado à ocorrência de condições ambientais adversas por ocasião do plantio, pode resultar em baixa percentagem de germinação e menor velocidade de emergência das plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Durante o processo germinativo, a água atua como agente estimulador e controlador, uma vez que promove o amolecimento do tegumento, favorecendo a penetração do oxigênio, o aumento do volume do embrião e dos tecidos de reserva. Além do estímulo às atividades metabólicas básicas, favorecendo o crescimento do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 1986). Potenciais hídricos negativos, especialmente no começo da embebição, inviabilizam a sequência dos eventos germinativos da semente durante a absorção de água (HEBLING, 1997).

5.3 Ensaio de germinação com o líquido em pH corrigido

Utilizando-se a amostra com pH neutro, as sementes de milho foram irrigadas, contando-se o número de plântulas normais a partir do 4º dia da semeadura. Os resultados estão apresentados na Tabela 3, onde pode-se observar que, novamente, apenas no tratamento de controle houve germinação das sementes, indicando que o pH da amostra não teve influência sobre os resultados. As Figuras 21 a 25 apresentam as sementes durante o ensaio.

Tabela 3: Número de plântulas normais em função dos dias para a amostra com pH corrigido.

Número de plântulas normais															
Tratamento	Contagem														
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	12 ^a	13 ^a	14 ^a	15 ^a
Controle	7	12	15	19	20	23	25	25	26	28	29	29	29	29	29
1 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Figura 17: Corpos de prova do tratamento de controle para o ensaio de germinação com o biofertilizante em pH neutro.

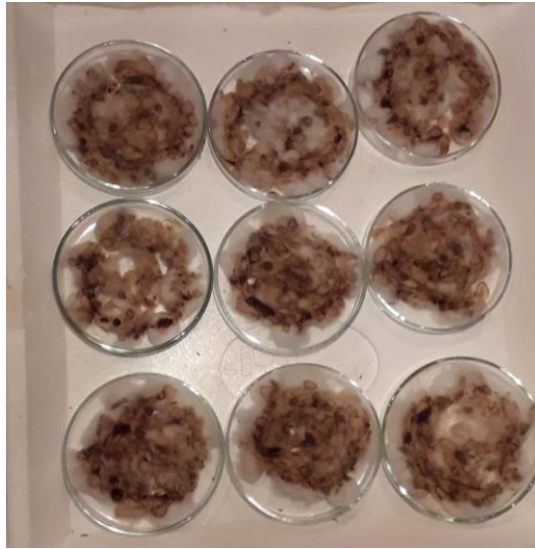


Figura 18: Corpos de prova para o tratamento com 1 mL do biofertilizante em pH neutro.

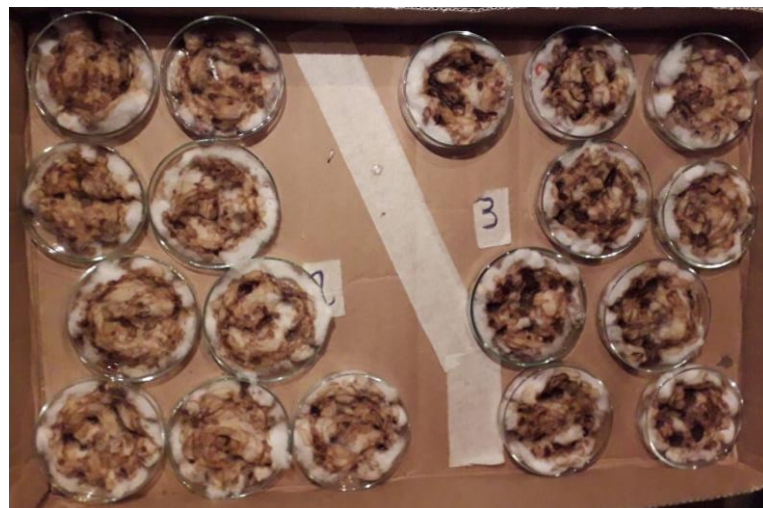


Figura 19: Corpos de prova dos tratamentos com 2 e 3 mL do biofertilizante em pH neutro.



Figura 20: Corpos de prova do tratamento com 4 mL do biofertilizante em pH neutro.



Figura 21: Corpos de prova do tratamento com 5 mL do biofertilizante em pH neutro.

5.4 Análise de toxicidade

5.4.1 Toxicidades aguda e crônica

Primeiramente, avaliou-se a toxicidade aguda, determinando-se o fator de toxicidade (FT), seguida pela concentração de oxigênio dissolvido, através do método eletrométrico; teor de salinidade, pelo método de condutividade elétrica; densidade aparente, utilizando-se um picnômetro; O ensaio realizado pelo laboratório Teclab produziu os resultados expressos na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do ensaio de toxicidade.

Análise	Resultado	Legislação
Ecotoxicidade Aguda com <i>Daphnia magna</i>	>16 FT	≤ 1 FT
Oxigênio Dissolvido	3,8 mg/L	5 mg/L
Salinidade	1 %	5 a 8%
Densidade Aparente	1 g/mL	-
CE 50	Não identificado	>100 mg/L
Ecotoxicidade Crônica com <i>Desmodesmus Subspicatus</i>	>16 FT	≤ 1 FT

Fonte: Teclab (2022).

O resultado para a ecotoxicidade com *Daphnia magna* indicou um fator de toxicidade (FT) maior que 16, indicando alto efeito tóxico por parte da amostra. De acordo com o

CONAMA, desde o ano de 2018, os empreendimentos licenciados passaram a atender ao limite máximo de toxicidade: $FT \leq 1$ (toxicidade aguda ausente). Este parâmetro representa a maior concentração da amostra na qual não se observa efeito deletério sobre os organismos-teste.

Em um estudo realizado por Freiburger (2017), efluentes oriundos da indústria alimentícia apresentam fator de toxicidade igual a 32, para testes com *Daphnia magna*. Peitz e Xavier (2014), obtiveram o valor de 2 para o fator de toxicidade de um efluente gerado durante a polpação kraft, para produção de celulose.

Na Tabela 4 foi expresso o valor para o oxigênio dissolvido, de 3,8 mg/L. O valor mínimo para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 é de 5,0 mg/L, mas existe uma variação na tolerância de espécie para espécie. O oxigênio dissolvido exprime a quantidade de oxigênio atmosférico dissolvido na água ou efluente devido à diferença de pressão parcial, determinando a capacidade de um corpo d'água manter vida aquática e a capacidade de autodepuração de ambientes. Oliveira (2013) obteve um valor de 6,41 mg/L para um efluente kraft analisado.

Outro parâmetro obtido com o teste de toxicidade foi a salinidade, indicando 1% para a amostra analisada. A salinidade consiste em um fator que ocasiona interferências na sobrevivência e reprodução de *D. magna*, a qual possui tolerância a uma faixa entre 5 e 8%. Os níveis de salinidade ideais podem variar de acordo com a espécie e estágio de vida, e precisam ser levados em conta em cada caso particular.

Na irrigação, a salinidade refere-se à presença na água de eletrólitos minerais dissolvidos em concentrações que possam prejudicar a atividade agrônômica. Os principais componentes são cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- e CO_3^{2-}) dissociados (HILLEL, 2000). Estes são os constituintes maiores de qualquer matriz aquosa natural. A água adequada à irrigação não depende unicamente do teor total de sais nela contido, mas também no solo e dos tipos de sais.

Na Tabela 4, não foi apresentado um valor para a concentração efetiva (CE_{50}), pois este parâmetro não foi identificado, haja vista que a imobilidade dos microrganismos foi verificada em concentrações muito baixas. Botelho *et al.* (2010) avaliaram a toxicidade em extrato de nim (árvore tropical nativa da Índia, muito utilizada na produção de madeira, como planta medicinal, e mais recentemente como bioinseticida), o qual apresentou uma CE_{50} de

0,032 mg/L. Em um estudo feito por Nakagome *et al.* (2007) para o fipronil (inseticida de amplo espectro que danifica o sistema nervoso central do inseto, muito utilizado para prevenção de pulgas e carrapatos em cães), obteve-se o valor de 0,18 mg/L para a CE₅₀.

Por fim, a toxicidade crônica é dependente da toxicidade aguda, pois, uma vez o efluente apresentou efeitos deletérios aos organismos a curto prazo, a longo prazo os prejuízos serão ainda maiores. Por este motivo, para a toxicidade crônica também foi expresso o valor maior que 16 (>16 FT).

Portanto, uma provável explicação para a não germinação das sementes de milho, seria o efeito tóxico do efluente analisado. Murari (2017) observou redução no índice de germinação de sementes de milho (*Zea mays*) submetidas a concentrações de cádmio. Asahide *et al.* (2012) identificaram efeitos inibitórios na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*) devido à presença de sulfato de mercúrio (HgSO₄) na água de irrigação. Durante um ensaio de fitotoxicidade, realizado por Silva (2021), para um efluente lixiviado de aterro sanitário, em nenhuma das concentrações do líquido se obteve germinação em sementes de alface (*Lactuca sativa*), tomate cereja (*Solanum lycopersicum*).

Matias *et al.* (2015), explicam que estresses abióticos prejudicam o crescimento do eixo embrionário, assim como as rotas fisiológicas e bioquímicas responsáveis por desencadear o processo germinativo nas sementes, reduzindo assim a porcentagem de germinação nas plantas.

5.4.2 Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT)

O teste realizado pelo laboratório determinou as concentrações de diversos componentes químicos como benzeno, fenóis, hidrocarbonetos, óleos vegetais e gordura animal, mercúrio, entre outros. Cada composto químico identificado teve o seu valor de concentração (em mg/L) comparado à legislação vigente.

Na Tabela 5 encontram-se somente os parâmetros que apresentaram concentrações superiores aos recomendados pela legislação. Contudo, planilha completa pode ser encontrada no Apêndice C.

Tabela 5: Ensaio de AIT.

Parâmetro	Resultado	Legislação	Intervalo de Confiança (95%)
Determinação de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	6384,0 mg/L	Redução de 60%	± 0,3
Determinação de Fenóis pelo Método Espectrofotométrico através da 4-Nitroanilina	7,68 mg/L	≤ 0,5 mg/L	± 0,03
Determinação de Sólidos Sedimentáveis	2,0 mL/L	≤ 1,0 mL/L	± 0,1

Fonte: Freitag (2023).

De acordo com a legislação CONAMA - Resolução nº 430: 2011 Seção I e II, constata-se que os parâmetros Determinação de Fenóis pelo Método Espectrofotométrico através da 4-Nitroanilina e Determinação de Sólidos Sedimentáveis não atendem aos limites estabelecidos pela legislação.

5.4.2.1 DBO do efluente

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através da decomposição aeróbia realizada por microrganismos no meio aquático. No caso do efluente em questão, o conteúdo de matéria orgânica deve-se à degradação parcial da madeira durante o processo de termoretificação. Não foi possível determinar o percentual de redução desse analito pois o líquido residual não é despejado em um corpo d'água, de modo a verificar se o corpo d'água receptor é capaz de reduzir o valor em, ao menos, 60%. Contudo, para fins comparativos, águas residuárias domésticas de concentração forte possuem demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) próximo a 300 mg L⁻¹, enquanto dejetos de suínos manejados em fossa de retenção, em unidades de crescimento e de terminação, chegam a apresentar DBO de 50.000 mg/L (OLIVEIRA, 1993).

De modo geral, águas consideradas poluídas apresentam DBO maior que 10 mg/L (EMBRAPA SÃO CARLOS, 2016). Efluentes oriundos do curtimento de peles de ovinos do laboratório de couros da Embrapa Pecuária Sudeste expressaram valores de 4.932 mg/L para a DBO.

De acordo com a legislação vigente (CONAMA – 430 de 2011), a DBO máxima para esgotos deve ser de 60 mg/L. Portanto, o líquido residual, comparado a outros efluentes, apresenta um alto valor para a DBO. Porém, somente este número não é suficiente para estimativa quanto ao seu potencial de poluição, de modo que isso depende da capacidade de um corpo d'água receptor de reduzir a demanda aos percentuais exigidos pela lei.

Logo, caso um corpo receptor não suporte, em suas condições naturais, a demanda exigida pelo líquido, deve-se implementar um ou mais tipos de tratamento, de modo a promover a aeração do curso d'água. Métodos como a utilização de aguapés (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) como agente fitodepurador, emprego de reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência), além de filtros biológico e anaeróbio.

Segundo Pescod (1992), o aguapé apresenta alto desenvolvimento, mesmo em águas poluídas, podendo absorver metais pesados, além de sua eficiência na redução da DBO. Deste modo, em ambientes aquáticos, os aguapés operam como um substrato vivo para as atividades microbiológicas, promovendo uma redução da matéria orgânica presente.

Outra possibilidade de tratamento do efluente, consiste no emprego do reator UASB, muito utilizado no tratamento de efluentes domésticos e industriais, devido ao seu potencial de remoção da matéria orgânica (relacionada à DBO) (KATO *et al.*, 2003). Geralmente, este reator funciona como primeiro estágio na estabilização da matéria orgânica, demandando, posteriormente, uma etapa de pós-tratamento. É comumente utilizado em estações de tratamento de esgoto sanitário ou de efluentes industriais.

Por fim, podemos citar o uso dos filtros biológico e anaeróbio, sendo o primeiro também chamado de biofilme, no qual micro-organismos se desenvolvem sobre uma matriz biológica aderida a uma superfície, possibilitando a degradação de substâncias orgânicas contaminantes; enquanto o segundo não se utiliza de oxigênio, o que torna o processo de degradação mais lento, haja vista que a taxa de crescimento de microrganismos anaeróbios é baixa (SILVA; GONÇALVES, 2004).

5.4.2.2 Teor de fenóis do efluente

De acordo com a Tabela 5, a concentração de fenóis presente foi de 7,68 mg/L, sendo que a Resolução nº 430: 2011, do CONAMA, determina valores máximos de 0,5 mg/L.

A lignina é um polímero fenólico, sendo a hidroxifenila um monômero da lignina (pequena molécula composta por um único mero). Deste modo, tais compostos fenólicos são derivados da lignina, a qual é parcialmente degradada durante o tratamento térmico da madeira. Ela contém unidades de fenilpropanos, que podem ser denominadas de p-hidroxibenzil, guaiacol e siringol (CHAKAR; RAGAUSKAS, 2004).

Os compostos fenólicos presentes na lignina são de grande interesse e atualmente têm sido foco de diversas pesquisas devido a propriedades como sua atividade antioxidante, atividade antimicrobiana, aplicação na indústria de fármacos e produção de compostos aromáticos, além de apresentarem propriedades redox capazes de inibir o processo de oxidação. (GARCÍA *et al.*, 2017).

Oliveira (2013), ao realizar uma caracterização físico-química de um efluente kraft obteve um valor de 17,5 mg/L para compostos fenólicos. Efluentes aquosos gerados nas coquearias, geralmente, apresentam compostos fenólicos na faixa de concentração de 80 a 123 mg/L. Valores médios de 7,8 mg/L foram encontrados em um estudo realizado por Bender *et al.* (2018), onde se avaliou o efluente gerado por uma indústria de papel e celulose.

Os efluentes de plantas industriais, tais como refinarias, gaseificadores de coque e plantas petroquímicas, frequentemente contêm elevados teores de compostos orgânicos, entre eles os compostos fenólicos. A toxicidade destes compostos, em ambientes aquáticos, tem sido bastante estudada e está bem estabelecido que a presença destes contaminantes, em níveis de ppm, afeta significativamente as propriedades organolépticas da água. Outra característica indesejável destes contaminantes é o fato de que, no processo de cloração da água potável, a sua reação com cloro produz clorofenóis e policlorofenóis que são carcinogênicos (BRITTO; RANGEL, 2008).

O fenol é uma substância incolor e cristalina usada como desinfetante e na produção de várias resinas poliméricas, como por exemplo, a baquelite. Por ser muito solúvel em água e constitui-se em um sério contaminante para o meio ambiente (CUNHA; AGUIAR, 2014).

A contaminação de compostos fenólicos em águas potáveis pode causar sérios problemas de saúde pública. A presença destes compostos em doses subletais afeta os sistemas nervoso e circulatório, com redução do crescimento de células sanguíneas. Em ambientes aquáticos, podem provocar a morte de peixes, mesmo em concentrações na faixa de 1 mg/L.

De acordo com Vieira (1991), compostos fenólicos são possíveis inibidores naturais da germinação de sementes. Alguns autores observaram que a presença de fenóis no tegumento controla a entrada de oxigênio no interior da semente, fixando o O₂ que a semente está absorvendo, impedindo sua chegada ao interior da semente (EDWARDS, 1973). Segundo Dietrick (1986), alguns inibidores de crescimento em plantas têm natureza fenólica, como ácido salicílico, ácido cumárico e cumarina.

As principais tecnologias convencionais empregadas no abatimento de fenol em efluentes industriais são: o tratamento biológico, os processos de extração, o tratamento com carvão ativado, os processos térmicos, o arraste com ar ou a osmose reversa (MONTIBELLER, 2012).

O processo de adsorção com carvão ativado consiste em uma operação de transferência de massa, na qual um constituinte (adsorbato) se transfere da fase fluida (líquida ou gasosa) para uma fase sólida (adsorvente). No tratamento de efluentes, a adsorção é aplicada em etapas de polimento final, quando há necessidade de um tratamento com qualidade elevada. Os carvões ativados apresentam alto teor de carbono e passam por processamentos que têm o objetivo de aumentar sua porosidade interna. Desse modo, após ativado, o carvão possui elevada superfície interna (localizada no interior de sua rede de poros), na qual grande parte do processo de adsorção ocorre. Portanto, trata-se de um material que permite a adsorção de moléculas sem alterar a composição química do produto adsorvido (VACLAVIK, 2010).

Outra técnica amplamente utilizada compreende na oxidação por ar úmido, na qual o oxigênio funciona como agente oxidante. Este método é aplicado quando o efluente aquoso está muito diluído para incineração ou muito tóxico para se utilizar de tratamentos biológicos. Para que essa oxidação ocorra, são necessárias temperaturas entre 180° a 315° C e pressões de 2 a 15 Mpa, de modo que a matéria orgânica insolúvel (compostos fenólicos, por exemplos) é convertida em substâncias mais simples e solúveis (CUNHA; AGUIAR, 2014).

Tratamentos biológicos também são alternativas para a remoção de compostos fenólicos em efluentes. Segundo Cunha e Aguiar (2014), exemplos de microrganismos empregados incluem *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Candida tropicalis*, entre outros. Eles podem metabolizar fenóis, devendo-se, contudo, controlar parâmetros como pH e temperatura, de modo a garantir o desenvolvimento de tais microrganismos.

Processos de remoção de fenóis em soluções aquosas são muito utilizados quando há interesse em aplicações industriais para os compostos fenólicos removidos. Um exemplo desse tipo de tratamento é a extração líquido-líquido, muito aplicada (depois da destilação) em etapas de transporte de massa, aplicada em refinarias de petróleo, hidrometalurgia, tecnologia nuclear, bioquímicos e na purificação de biocombustíveis (KISLIK, 2012). Essa técnica consiste na separação baseada na diferença de solubilidade de ao menos um soluto entre duas fases líquidas, parcialmente miscíveis. Portanto, mediante processos difusivos, um soluto (originalmente dissolvido em uma fase aquosa) pode se transformar em solvente. Os principais processos baseados na extração líquido-líquido são os de extração com membrana, extração intensificada eletricamente, extração com transição de fases e extração com pressurização.

Por fim, tratamentos térmicos são comumente utilizados para a remediação de efluentes contaminados por compostos voláteis, podendo envolver processos de arraste com ar ou de extração. O método, basicamente, envolve a injeção de ar no interior da água contaminada, transferindo-se os compostos voláteis para a fase gasosa e separando-os por um sistema de extração de vapor (BRITTO; RANGEL, 2008).

5.4.2.3 Teor de sólidos sedimentáveis do efluente

Por último, obteve-se um valor de 2,0 mL/L para sólidos sedimentáveis, encontrando-se acima do estabelecido pelo órgão regulamentador ($\leq 1,0$ mL/L). Os sólidos sedimentáveis constituem a parte de maior granulometria dos sólidos suspensos contidos na amostra, e que sedimenta rapidamente nos leitos dos rios (ABNT NBR: 10561, 1988). Ensaio realizado por Zanith (2016) indicaram valores médios de 2,50 mL/L, para líquidos residuais de uma indústria alimentícia.

A presença de sólidos sedimentáveis ou em suspensão, podem promover a formação de bancos de lodo que prejudicam a biodiversidade aquática em consequência de fenômenos de decomposição anaeróbica. Operações como gradeamento, peneiramento, caixas separadoras de óleos e gorduras, sedimentação e flotação são processos que removem os sólidos em suspensão sedimentáveis e flutuantes através de separações físicas.

O processo de gradeamento envolve grades metálicas que operam como uma barreira para os sólidos, permitindo-se remover aqueles com maiores dimensões. O espaçamento das

grades é determinado em função das dimensões dos sólidos grosseiros a serem removidos, sendo elas classificadas em grosseiras, médias e finas (SECRON *et al.*, 2010).

Por sua vez, o método de peneiramento é aplicado para a remoção de sólidos muito finos ou fibrosos. As peneiras utilizadas apresentam aberturas de malha situadas entre 0,25 e 5,0 mm, podendo ser estáticas ou móveis. Pode-se citar também o uso de caixas separadoras de óleos e gorduras, fundamentais para a remoção de graxas e óleos existentes no efluente. Apresentam três ou mais compartimentos que retêm o óleo sobrenadante, além de prover tempo de detenção hidráulica suficiente para suspender o óleo e sedimentar os sólidos (COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL, 2015).

A técnica de sedimentação é um processo físico, muito utilizado em estações de tratamento de água e esgoto, no qual partículas sólidas em suspensão são separadas da água, mediante ação gravitacional e diferença de densidades entre a água e as partículas. Tal separação proporciona a clarificação (processo de limpeza de líquidos turvos) do meio líquido com menor massa específica, além do espessamento do lodo depositado ao fundo do sedimentador. Tratamentos que utilizam o mecanismo de flotação buscam a remoção do óleo e de sólidos sedimentáveis com densidades inferiores à da água. Processos como este utilizam, geralmente, injeção de ar, de modo a arrastar as partículas pelas bolhas de ar para a superfície da lâmina d'água (ZHONG *et al.*, 2003).

Desse modo, recomenda-se a aplicação de combinações dos tratamentos citados, com o objetivo de neutralizar a toxicidade do efluente deste estudo. Avaliando-se, em cada etapa do tratamento, o percentual de redução da toxicidade, até atingir valores que se encontrem dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nº 430: 2011, do CONAMA.

6 CONCLUSÃO

A análise química do líquido residual indicou teores de micronutrientes satisfatórios, comparado a outros biofertilizantes já consolidados, para o desenvolvimento de plantas como o milho. Isso pode ser ocasionado devido ao teor de matéria vegetal presente no resíduo, oriunda da degradação parcial da madeira de Cedro Indiano. Apesar do pH ácido, constatou-se, por meio da sua neutralização, que a inibição sobre a germinação das sementes de milho não foi devida à acidez do líquido.

Segundo Orzari *et al.* (2013), a germinação de sementes é o resultado do balanço entre condições ambientais favoráveis e características intrínsecas às sementes, resultando na retomada do crescimento de um embrião, originando uma plântula. Fatores críticos do ambiente como água, oxigênio, luz, temperatura, substâncias químicas, acidez do solo e salinidade, além da dormência das sementes, influenciam significativamente no processo germinativo, indicando quando e como a germinação ocorre. Dessa forma, a presença de substâncias inibidoras pode ser uma das causas para dormência em sementes.

Por este motivo, tornou-se necessária a análise de toxicidade do efluente, indicando altos níveis de efeitos deletérios nos organismos testados (*Daphnia magna*). Haja vista que altas concentrações de determinados compostos químicos podem torná-los inibidores enzimáticos. Quando as atividades de enzimas como a α e β amilase são reduzidas ou até interrompidas, há comprometimento da respiração, dificultando o crescimento do eixo embrionário e da radícula (PENDIAS, 2000).

Outro fator relevante consiste na salinidade do líquido, haja vista que uma solução salina é capaz de reduzir a absorção de água por parte da semente (FERREIRA; REBOUÇAS, 1992). A salinidade e as secas estão entre os principais fatores estressantes que afetam negativamente o crescimento das plantas e produtividade das culturas (YOUSSEF, 2009). Sob condições salinas a espécie tende a ter uma redução na absorção de água pela semente em função do efeito dos íons, os quais causam distúrbios nos processos de germeabilidade de suas plântulas. Porém o grau de dano apresentado pela planta é dependente da tolerância da espécie à salinidade (NOBRE *et al.*, 2013).

Após a afirmação de toxicidade do líquido residual, o ensaio de Avaliação e Identificação da Toxicidade buscou fracionar o efluente em compostos químicos menores, de

modo a rastrear os agentes tóxicos. Tal teste identificou concentrações excessivas de compostos fenólicos, sólidos sedimentáveis e para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Assim, os efeitos dos ácidos fenólicos podem ser observados nos processos biológicos das sementes, como demonstrado por Lodhi (1982) que, testando uma mistura equimolar destes compostos, encontrou supressão na germinação de sementes de *Kochia scoparia*. Alguns trabalhos têm demonstrado o efeito de compostos fenólicos na inibição da germinação de sementes de mamão (TOKUHISA *et al.*, 2007). Diversos fenóis são encontrados naturalmente nas estruturas de sementes de algumas espécies de plantas, causando, geralmente, efeito de dormência nas plantas.

Portanto, o líquido residual proveniente do tratamento térmico da madeira de Cedro Indiano, apesar dos teores significativos de macro e micronutrientes, não apresentou viabilidade para aplicação como biofertilizante, devido à sua toxicidade. Porém, é possível a aplicação de tratamentos de modo a neutralizar os efeitos tóxicos do resíduo, podendo este ser analisado novamente como potencial biofertilizante. Uma combinação dos tratamentos citados, como gradeamento, peneiramento e flotação para os sólidos sedimentáveis; extração, degradação térmica ou biológica para os compostos fenólicos; e filtros biológicos ou anaeróbios para a demanda bioquímica de oxigênio podem ser utilizados no tratamento do efluente analisado.

Outra possível alternativa consiste em “focar as atenções” a demais aplicações para o efluente, explorando, por exemplo, os compostos fenólicos nele presentes. Fenóis são muito utilizados nas indústrias químicas como antioxidantes naturais, tintas, vernizes e agroquímicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.648**: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com algas (*Chlorophyceae*), 2011.
- ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: [s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2022.
- ADAMS, E.; CARNEIRO, R. D.; RAMSDORF, W. A. **Avaliação da ecotoxicidade de losartana potássica em *Desmodesmus subspicatus* e *Daphnia magna***: XXII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. Londrina, PR, 2017.
- AHRING, B. K.; IBRAHIM, A. A.; MLADENOVSKA, Z. Effect of temperature increase from 55 to 65° C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure. **Water Res.**, v. 35, p. 2446–2452, 2001.
- ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. **Modern corn production**. Champaign: A & L Publication, 2nd. ed., 1982. 371 p.
- AMARAL, R. C.; BERNARDES, T. F. Conhecendo e escolhendo híbridos de milho para silagem. **Milkpoint**, 2012. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/thiago-fernandes-bernardes/conhecendo-e-escolhendo-hibridos-de-milho-para-silagem-80791n.aspx#>. Acesso em: 21 de Junho de 2022.
- AMARO, G. B.; CARVALHO, S. I. C.; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; RIBEIRO, C. S. C. **Árvore do conhecimento**: Pimenta. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/Abertura.html>. Acesso em: 26 de Junho de 2022.
- ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA. **Embrapa disponibiliza híbrido voltado para mercado de milho verde**. 2018. Disponível em:

<https://aiba.org.br/noticias/embrapa-disponibiliza-hibrido-voltado-para-mercado-de-milho-verde/>. Acesso em 22 de Junho de 2022.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Évora: Portugal, 2014. Disponível em: <http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>. Acesso em 22 de Junho de 2022.

BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, E. Resíduo de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 97-120

BETTIOL, W.; TRATCH, R.; GALVÃO J. A. H. **Controle de doenças de plantas com biofertilizantes**. 1ª. ed. Jaguariúna, SP. EMBRAPA-CNPMA, 1998. 22 p.

BIOREDE. **Milho: *Zea mays* l.** 2022. Disponível em: <http://www.biorede.pt/page.asp?id=3485>. Acesso em 22 de Junho de 2022.

BONFIM, F. P. G.; HONÓRIO, I. C. G.; REIS, I. L.; PEREIRA, A. J.; SOUZA, D. B. Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM)**. 2ª. ed. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Fitotecnia, 2011. p. 11-12.

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2nd. ed. Viçosa – MG: UFV, 2017.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribea* var. *hondurensis* tratada termicamente. **Biomassa & Energia**, v. 1, n.2, p.173-182, 2004.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro 1998 e dá outras providencias. Publicado originalmente no Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 17 de maio 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprovar as normas sobre as

especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. Publicada originalmente no **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 jul. 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf>/view. Acesso em: 19 de maio 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRITTO, J. M.; RANGEL, M. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. **Química Nova**, v. 31, n.º. 1, p. 114-122, 2008.

BURG, I. C.; MAYER, P. H. **Alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças**. 7ª ed. Francisco Beltrão: GRAFIT, 1999. 153 p.

CARDOSO, C. A. R.; LIMA, M. E. F.; LIMA, L. E. G.; DORNELES, M. G. M. Piperina as a phytogenic additive in broiler diets. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.4, p. 489-496, 2012.

CARVALHO, S. I. C. **Estudos filogenéticos e de diversidade em *Capsicum* e sua aplicação na conservação e uso de recursos genéticos das espécies *C. frutescens* e *C. chinense***. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2014, 183 p. Tese de Doutorado.

CATROUX, G. Inoculant quality standards and controls in France. In: THOMPSON, J. A. (Ed.). **Expert consultation on legume inoculant production and quality control**. Rome: FAO, 1991. p. 113-120.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos**. São Paulo: Expressão Popular, 2006. 323 p.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Gerenciamento de resíduos em complexos integrados de papel e celulose**. Rio de Janeiro, 1989. 40 p.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 610-658.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.
Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª
aproximação. Belo Horizonte: CFSEMG, 1999, 359 p.

COMPAGNONI, L.; PUTZOLU, G. **Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus**. Barcelona: Editora de Vecchi, 1985. 127 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. **Instruções para instalação do sistema separador de areia e óleo**. Brasília, DF, 2010, 15p.

COORDENAÇÃO DE AGROECOLOGIA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA.
Biofertilizantes: Fertilidade do solo. p. 1, 2017. Disponível em:
<http://agroecologia.gov.br/publicacoes/biofertilizantes>. Acesso em: 08 de Abril de 2022.

CORRÊA, C. E. S. **Silagem de milho ou cana-de-açúcar e o efeito da textura do grão de milho no desempenho de vacas holandesas** – Lavras/UFLA, 2001. 102 p.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. Toxicity in aquatic environments: Discussion and evaluation methods. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820–1830, 2008.

CUNHA, F. S.; AGUIAR, A. P. Métodos para remoção de derivados fenólicos de efluentes aquosos. **Virtual Quim.**, v. 6, n. 4, p. 844-865, 2014.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O. Influence of residue management and soil tillage on second rotation *Eucalyptus* growth. **Sci. For.**, v. 74, p. 9-18, 2007.

DELOUCHE, J. C. O problema nem sempre é a qualidade das sementes. **Revista Seed News**, Pelotas, 2004.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C. **A evolução da produção de milho no mato grosso: a importância da safrinha**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC, Brasília – DF, 2007.

DULYS-NUSBAUM, E.; KLAMMER, S. S. H.; SWITON, S. M. How willing are different types of landowner to supply hardwood timber residues for bioenergy? **Biomass Bioenergy**, v. 122, n. 3, p. 45–52, 2019.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO DISTRITO FEDERAL. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes para hortaliças do Distrito Federal** – 1ª aproximação. Brasília: EMATER-DF, Embrapa Hortaliças, 1987, 50 p.

EMBRAPA. Biofertilizantes. **Árvore do Conhecimento** – Agroenergia. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília - DF, 2022. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>. Acesso em: 04 de Abril de 2022.

EMBRAPA. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul** - Safras 2013/2014 e 2014/2015. Pelotas - RS, 2013. 1ª ed., p. 15–27.

EMBRAPA HORTALIÇAS. In: REIFSCHNEIDER, F.J.B. **Capsicum**: Pimentas e pimentões do Brasil. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2015.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Pimenta (*Capsicum spp.*)**. Sistemas de produção, v. 2, 2007. Disponível em:

https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/Pimenta_capsicum_spp/botanica.html. Acesso em: 26 de Junho de 2022.

EMBRAPA. Microrganismos benéficos em biofertilizantes. **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília - DF, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/22865878/microrganismos-beneficos-em-biofertilizantes>. Acesso em: 29 de Abril de 2022.

EMBRAPA, Milho e Sorgo. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas - MG, 2006. (Circular Técnica Online, 75). Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_75.pdf. Acesso em 20 de Junho de 2022.

EMBRAPA. **Produção de biofertilizante**. Agência Embrapa e Informação Tecnológica. Macapá - AP, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189603/1/CPAF-AP-2018-FDR->

Biofertilizante.pdf?msckid=29173b81cff011ecba0deecea613609f. Acesso em: 09 de Maio de 2022.

EMBRAPA. **Raízes de plantas anuais:** tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos. Embrapa Soja. Londrina, 2014.

EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. **Comunicado técnico 130:** Preparo e Uso de Biofertilizantes Líquidos. Petrolina – PE, 2007. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br>. Acesso em: 22 de Janeiro de 2023.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review.

BioResources, v. 1, n. 4, p. 370-404, 2009. Disponível em:

[https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_04_1_%23%23%23%23_Esteves_P_Wood_Mod_Heat_Treatment/350)

[BioRes_04_1_%23%23%23%23_Esteves_P_Wood_Mod_Heat_Treatment/350](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_04_1_%23%23%23%23_Esteves_P_Wood_Mod_Heat_Treatment/350). Acesso em 16 de Junho de 2022.

ERAUSQUIM, O. G. **El cedro rosado de la India.** Disponível em:

<http://paulowniasperuanas.lacoctelera.net/post/2006/03/19/el-cedro-rosado-la-india>. Acesso em: 30 de Abril de 2021.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura:** Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, 2000, 402 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual olericultura** – agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2003, 412 p.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **Thermowood® handbook.** Helsinki, 2003.

FONTOURA, M. R.; GERALDI, V.; RODRIGUES, E. F.; MOI, C. C.; CERUTTI, G. C.; THIEL, B. R.; TREVISAN, R.; WASTOWSKI, A. D. Propriedades mecânicas e químicas da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg. tratada termicamente. **Ciência da Madeira**, v.6, n.3, p.166-175, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15210/cmadv6i3.7138>. Acesso em 16 de Junho de 2022.

FORNASIERI, D. F. **Manual da cultura do milho.** Jaboticabal: SP, 2007. p.37

FORTALEZA, J. M.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; OLIVEIRA, A. T.; RANGEL, L. E. P. Características físicas e químicas em nove genótipos de maracujá-azedo cultivado sob três níveis de adubação potássica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 124-127, 2005.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Estado da arte da digestão anaeróbia**. Belo Horizonte, 1982.

GALLIO, E.; ZANATTA, P.; CRUZ, N. D.; ZANOL, G. S.; SCHULZ, H. R.; GATTO, D. A. Influência dos tratamentos de termorretificação e furfurilação em propriedades tecnológicas de uma conífera. **Matéria**, v. 24, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0739>. Acesso em 16 de Junho de 2022.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num latossolo vermelhoescuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 229-233, 1994

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. L. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. **Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method**. *Wood Science and Technology*, v. 46, n. 1-3, p. 41-52, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-010-0387-6>. Acesso em 04 de Junho de 2022.

GRAHAM, L. E.; GRAHAM, J. M.; WILCON, L. W.; CUMMINGS. B. *Algae*. 2nd. ed. Pearson. 2009.

GYANESHWAR, P.; KUMAR, G. N.; PAREKH, L. J.; POOLE, P. S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, v. 245, n. 1, p. 83–93, 2002.

HEBLING, S. A. **Aspéctos ecofisiológicos da germinação de sementes de *E. contortisiliquum* (VELLOZO) MORONG**. 143f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.

HULLER, L. A. S.; HASELEIN, C. R.; SILVEIRA, A. G.; MENEZES, W. M.; TALGATTI, M.; SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188,

2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.90.1288>. Acesso em 16 de Junho de 2022.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2020**. Brasília: IBÁ, 2020.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **IBÁ em números**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://iba.org/dados-estatisticos>. Acesso em: 17 de Maio de 2022.

INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION. **Thermowood handbook**. Helsinki, p. 5, 2021.

JONES, D.; SANDBERG, D. A review of wood modification globally - Updated findings from COST FP1407. **Interdisciplinary Perspectives on the Built Environment**, v. 1, 31 p., 2020.

KATO, M. T.; FLORENCIO, L.; ARANTES, R. F. M. Post-treatment of UASB effluent in an expanded granular sludge bed recator type using flocculent sudge. **Water Science and Technology**, v. 48, n. 6, p. 279-284, 2003.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 56, n. 1, p. 73–98, 2010.

KISLIK, V. S. **Solvent extraction: Classical and novel approaches**. Amsterdam, Netherlands: Ind. Ed., Elsevier B. V., 576 p., 2012.

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. **Testes ecotoxicológicos: Métodos, técnicas e aplicações**. Florianópolis-SC: FATMA/ GTZ. 2004.

KÄLLANDER, B. **Drying and thermal modification of wood: Studies on influence of sample size, batch size, and climate on wood response**. PhD. Thesis, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden, 2016.

LEWIS, M. A. Are laboratory-derived toxicity data for fresh-water algae worth effort? **Environmental Toxicology and Chemistry**. v. 9, n. 2, p. 1279–1284, 1990.

LIN, T. F.; HUANG, H.; SHEN, F. T.; YOUNG, C. C. The protons of glucônico acid are the major factor responsible for the dissolution of tricalcium phosphate by *Burkholderia cepacia* CC-A174. **Bioresource Tecnology**, v. 97, p. 957-960, 2006.

LIU, L. **Ultrastructural study on dynamics of lipid bodies and plastids during ripening of chili pepper fruits**. *Micron*, [s.l.], v. 46, p. 43-50, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micron.2012.12.004>. Acesso em 26 de Junho de 2022.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Plantarum, 2003. 368 p.

MAEDA, S.; SILVA, H. D. da; DEDECEK, R. A.; COSTA, E. R. de O. **Resultados de pesquisa com lodo gerado na estação de tratamentos de efluentes de aparas de papel como insumo florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 2013). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/976691>. Acesso em? 19 de Maio de 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípio e aplicações**. 2^a ed. Piracicaba: Potafós, 319 p., 1997.

MARCOS FILHO, J. Germinação de sementes. In: CICERO, S. M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R. (Coord.) **Atualização em produção de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, p. 11-39, 1986.

MARROCOS, S. D. T. P.; JÚNIOR, J. N.; GRANGEIRO, L. C.; DE QUEIROZ ANBRÓSIO, M. M.; DA CUNHA, A. P. A. Composição química e microbiológica de biofertilizantes em diferentes tempos de decomposição. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 34-43, 2012.

MARTINEZ, A. A. **Folder sobre minhocultura**. Campinas: CAT. 1991.

MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. Oxford: Pergamon, 4th.ed., 270 p., 1989.

MELO, A. V.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, F. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor em sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 687-695, 2012.

MENDES, G. O.; FREITAS A. L. M.; PEREIRA O. L.; SILVA, I. R.; VASSILEV, N. B.; COSTA, M. D. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. **Annals of Microbiology**, v. 64, n. 1, p. 239–249, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Instrução Normativa SDA no 25, de 23 de Julho de 2009**. Brasília, DF, 28 jul. 2009. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>. Acesso em: 14 jul. 2022.

MO, X.; FU, Y.; PATEL, J. S.; & ZHANG, S. Surfactin and biofilm production by *Bacillus subtilis* IN937b, a biological control agent for suppressing *Phytophthora* blight on squash. In: **Phytopathology**. St Paul, MN 55121 USA: Amer. Phytopathological Soc., p. 98-98. 2013.

MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; HASELEIN, C. R. Efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *pinus taeda* e *eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 291–302, 2017.

MOREIRA, V. R. R.; CAPELESSO, E. **Orientações para uma agricultura de base ecológica no pampa gaúcho**. Gráfica Instituto de Menores, Bagé, 2006.

OLIVEIRA, H. V.; FILHO, E. R. M. **Influência do tamanho da semente na germinação do milho**. V Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, Maringá, 2007.

OLSSON, C. Biochar: Fertilização de florestas com resíduos de fábricas de papel. **Ambiental T4H**. Karlstad, p. 1, 2020. Disponível em: <https://ambiental.t4h.com.br/noticias/biochar-fertilizacao-de-florestas-com-residuos-de-fabricas-de-papel/#:~:text=Biochar%3A%20fertiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20florestas%20com%20res%C3%ADduos%20de%20f%C3%A1bricas,que%20seria%20devolvido%20%C3%A0%20floresta%2C%20fechando%20o%20ciclo>. Acesso em: 22 de Fevereiro de 2022.

OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying: a review. **BioResources**, v. 2, n. 4, p. 789-811, 2007.

PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, Rome, v. 47, 125 p., 1992.

PINATI, E.; FARIA, D. L.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; PROTÁSIO, T. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Painéis compensados sarrafeados produzidos com *Pinus oocarpa*, *Castilla ulei* e *Acrocarpus fraxinifolius*. **Ciência da Madeira**, v. 9, n. 3, p. 199-208, 2018.

PINTO, C. M. F.; LIMA, P. C.; SALGADO, L. T.; CALIMAN, F. R. B. Nutrição mineral e adubação para pimenta. **Informe Agropecuário**. EPAMIG: Belo Horizonte, v. 27, n. 235, p. 50-57, 2006.

PINTO, C. M. F.; SALGADO, L. T.; LIMA, P. C.; PIKANÇO, M.; PAULA JÚNIOR, T. J.; MOURA, W. M.; BROMMONSCHENKEL, S. H. **A cultura da pimenta (*Capsicum sp.*)**. Viçosa: EMPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Boletim Técnico 56), 39 p., 1999.

PINTO, K. M. S.; BARBOSA, L. A.; FERREIRA, D. S.; NASCIMENTO, L. C.; RÊGO, E. R.; BRUNO, R. L. A. Sanidade e fisiologia de sementes de pimenta *cambuci capsicum baccatum* l. var. *pendulum* tratadas com extrato de *lippia microphylla*. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 743-749, 2014.

PRADO, C. A.; PEREIRA, J. C. D.; MATTOS, P. P.; HIGA, A. R. Características físicas e químicas da madeira de *acrocarpus fraxinifolius*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Colombo, n. 14, p. 1-14, 2003.

RAI, S. N. Pre-treatment of *acrocarpus fraxinifolius* seeds. **Indian-Forester**. v. 102, n. 8, p. 488-491, 1976.

RATTE, H. T.; HAMMERS, M.; WIRTZ, C.; CLEUVERS, R. Ecotoxicity testing. Chapter 7. p. 221-274. In: MARKERT, B. A.; BREURE, A. M.; ZECHMEISTER, H. G. **Bioindicators and biomonitors**. New York: Elsevier Science, 9th. ed., 2003.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; RIBEIRO, C. S. C. Cultivo. In: RIBEIRO, C. S. C.; CARVALHO, S. I. C.; HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 11-14, 2008.

RONCO, A.; BÁEZ, M. C. D.; GRANADOS, Y. P. **Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas - Estandarización, intercalibración, resultados y implicaciones**. In: MORALES, G. C. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, 2004.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Rohund Werkstoff**, 2004; 62(2): 113-119. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-003-0459-5>. Acesso em 04 de Junho de 2022.

RUFINO, J. L. S.; PENTEADO, D. C. S. **Importância econômica, perspectivas e potencialidades do mercado para pimenta**. Informe Agropecuário, v. 27, n. 235, p. 7-15, 2006.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: SC, 2007. p. 28, 31.

SANTOS, A. C. V. **Biofertilizantes líquido, o defensivo da natureza**. Agropecuária Fluminense, 8. ed. Niterói: EMATER – Rio, 1992. 16 p.

SECRON, M. B.; GANDHI, G.; FILHO, O. B. **Controle da poluição hídrica gerada pelas atividades automotivas**. Centro de Tecnologia Mineral, ed. Rio de Janeiro - RJ, 2010. 74p.

SICKO-GOAD, L.; STOERMER, E. F. In: Toxic contaminants and ecosystem health: A great lakes focus. **Advances in environmental science and technology**. v.21. p. 19 – 52, 1988.

SILVA, G. M.; GONÇALVES, R. F. **Desempenho de um sistema UASB + filtro biológico percolador sem etapa de decantação tratando esgoto sanitário (Performance of a UASB + trickling filter system without secondary settler treating domestic wastewater)**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES. Anais... Campo Grande, Brasil, 2004.

SILVA, M. A. G. **Efeito do nitrogênio e potássio na produção e nutrição do pimentão em ambiente protegido**. 1998. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998. 86 p.

SILVA, P. **Gramíneas**. Instituto de Botânica – SP, 2018.

SOARES, M. T. S.; FROUFE, L. C. M. Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serapilheira. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 155-170.

SOUSA, J. M. P. F.; LEAL, M. A. A.; ARAÚJO, M. L. Produção de mudas de tomateiro utilizando húmus de minhoca e cama de aviário como substrato e o biofertilizante Agrobio como adubação foliar. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n.2, p.314. 2003.

TIMM, P. J.; GOMES, J. C. C.; MORSELLI, T. B. Insumos para agroecologia: Pesquisa em vermicompostagem e produção de biofertilizantes líquidos. **Revista Ciência & Ambiente**. Universidade Federal de Santa Maria, 29 ed. 2004.

TOMATI, U.; GALLI, E.; PASETTI, L.; VOLTERRA, E. Bioremediation of olive-mill wastewaters by composting. **Waste Management and Research**. v. 13. p. 509-518. 1995.

US EPA - Environmental Protection Agency. **EPA 821 – B-00-004**. Method guidance and recommendations for whole effluents toxicity (WET) testing (40 CFR Part 136), 2000.

VACLAVIK, F. D. **Avaliação e otimização do uso de zeólitas no tratamento terciário de efluentes líquidos industriais**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VANCE, E.D. Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. **Journal of Environmental Quality**. v. 25, p. 937-944, 1996.

WALDEMAR, C. J.; HERRERA, J. Avaliação do potencial de utilização de dregs e do grits como corretivo da acidez e fertilizante na agricultura. In: CONGRESSO ANUAL DO ABCP, 19., 1986. São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABCP, 1986. p. 447-453.

ZHANG, J.; SUN, X.; WANG, C. Treatment of oily wastewater produced from refinery processes using flocculation and ceramic membrane filtration. **Separation and Purification Technology**, v. 32, p. 93-98, 2003.

APÊNDICE A – Resultados para o ensaio de macro e micronutrientes.



LABCELER - LABORATÓRIO DE ANÁLISES AGRONÔMICAS LTDA
 Rua Antonio Edmundo de Oliveira Campos, nº 670 | Jardim Nova Napéva
 Itapeva SP | CEP 13403-640 | Fone: 15332-0989
<http://www.labceler.com.br> | contato@labceler.com.br

LAUDO - ANÁLISE DE ÁGUA

Data do Laudo: 05/05/2022

IDENTIFICAÇÃO DA ANÁLISE

Análise: Água
 Metodologia: pH, Absorção atômica.

Produtor: MADEIREIRA VALE DO CEDRO
 Propriedade: TERMO
 Município / UF: TORRINHA / SP

RESULTADO

Código	Local da Coleta	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	K	Dureza total de CaCO ₃	E.C. µS/cm	pH adimensional
AR49	Termo	50,5	6,0	0,7	36,4	8,7	2,2	8,3	151	2,45	3,8
AR50	Natural	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	3,1	0,9	3	51,90	6,0

Kenya Araújo
 Responsável Técnica
 CREA/SP nº 5070804784

Kenya Araújo

Fonte: Labceler (2022).

APÊNDICE B – Resultados para o ensaio de toxicidade.

Resultados Analíticos					
Ecotoxicologia					
Análise	Resultado	LQ	Incerteza	Referência	Data Análise
Ecotoxicidade Aguda com <i>Daphnia magna</i>	>16 Ft	1	-	ABNT NBR 12713/2016	11/10/2022
Oxigênio Dissolvido	3,8 mg/L	0,1	-	SMWW4500OG	11/10/2022
Potencial Hidrogeniônico	3,8 upH	0,1	-	SMWW4500-H+	11/10/2022
Salinidade	1 %	1	-	SMWW2520	11/10/2022
Densidade Aparente	1 g/mL	0,1	-	Refratômetro	11/10/2022
CE 50	- %	-	-	ABNT NBR 12713/2016	11/10/2022
Média Carta Controle	33,18 mg/L	-	-	ABNT NBR 12713/2016	11/10/2022
Limite Superior Carta Controle	80 mg/L	-	-	ABNT NBR 12713/2016	11/10/2022
Limite Inferior Carta Controle	20 mg/L	-	-	ABNT NBR 12713/2016	11/10/2022
Ecotoxicidade Crônica com <i>Desmodesmus subspicatus</i>	>16 Ft	1	-	ABNT NBR 12648/2018	11/10/2022

Data de Publicação: 15/10/2022 08:17

Notas
<p>O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo. Os resultados se aplicam a amostra conforme recebida, e são restritos a alíquota analisada no Laboratório. Quaisquer informações referente a validade dos resultados são de responsabilidade do solicitante, quando a amostragem não for realizada pelo Teclab. O Laboratório não considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável. Caso a Incerteza afete a Interpretação, a avaliação de risco deve ser realizada pelo solicitante.</p> <p>Legendas</p> <p>NA: Não Aplicável. LQ: Limite de Quantificação. EPA: Environmental Protection Agency SMWW: <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>, 23rd. Edition.</p> <p>As datas e horas apresentadas neste documento estão baseadas no fuso horário:(UTC-03:00) Brasília</p>

APÊNDICE C – Resultados para o ensaio de Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT).

PARÂMETRO	RESULTADO	LEGISLAÇÃO	U95%
1,1,2- Tricloroeteno	< 0,001 mg/L	Vide(**)	± 0,0000232
1,1- Dicloroeteno	< 0,001 mg/L	Vide(**)	± 0,0000232
1,2- Dicloroeteno (cis + trans)	< 0,001 mg/L	Vide(**)	± 0,0000232
Arsênio Total	< 0,001 mg As/L	≤ 0,5 mg/L	± 0,0005
Bário Total	0,172 mg Ba/L	≤ 5,0 mg/L	± 0,005
Benzeno	< 0,001 mg/L	≤ 1,2 mg/L	± 0,0000232
Boro Total	0,733 mg B/L	≤ 5,0 mg/L	± 0,006
Cádmio Total	< 0,0005 mg Cd/L	≤ 0,2 mg/L	± 0,0001
Chumbo Total	< 0,005 mg Pb/L	≤ 0,5 mg/L	± 0,002
Clorofórmio	< 0,001 mg/L	≤ 1,0 mg/L	± 0,0000232
Cromo Trivalente	0,111 mg Cr +3/L	≤ 1,0 mg/L	± 0,001
Determinação de Cianeto Livre pelo Método Colorimétrico	<0,010 mg CN - /L	≤ 0,2 mg CN/L	± 0,042
Determinação de Cianeto suscetível à cloração pelo método colorimétrico	<0,010 mg CN - /L	≤ 1,0 mg CN/L	± 0,042
Determinação de Cromo Hexavalente pelo Método Colorimétrico	<0,100 mg Cr +6/L	≤ 0,1 mg Cr +6/L	± 0,016
Determinação de Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	6384,0 mg/L	Redução de 60%	± 0,3
Determinação de Fenóis pelo Método Espectrofotométrico através da 4-Nitroanilina	7,68 mg/L	≤ 0,5 mg/L	± 0,03
Determinação de Fluoreto pelo método colorimétrico	9,00 mg/L	≤ 10,0 mg F/L	± 0,05

PARÂMETRO	RESULTADO	LEGISLAÇÃO	U95%
Determinação de Hidrocarbonetos Totais (óleos minerais) pelo método de extração Soxhlet	<17,6 mg/L	≤ 20,0 mg/L	± 1,5
Determinação de Nitrogênio Amoniacal pelo método titulométrico	14,32 mg N-NH3/L	≤ 20,0 mg N/L	± 0,06
Determinação de Óleos Vegetais e Gordura Animal pelo método de extração Soxhlet	<17,6 mg/L	≤ 50,0 mg/L	± 1,5
Determinação de Sólidos Sedimentáveis	2,0 mL/L	≤ 1,0 mL/L	± 0,1
Determinação Qualitativa de Materiais Flutuantes	Virtualmente Ausente -	Ausência	-
Estanho Total	< 0,056 mg Sn/L	≤ 4,0 mg/L	± 0,009
Estireno	< 0,001 mg/L	≤ 0,07 mg/L	± 0,0000232
Etilbenzeno	< 0,001 mg/L	≤ 0,84 mg/L	± 0,0000232
Mercúrio Total	< 0,0001 mg Hg/L	≤ 0,01 mg Hg/L	± 0,00005
Níquel Total	< 0,007 mg Ni/L	≤ 2,0 mg/L	± 0,001
Prata Total	< 0,001 mg Ag/L	≤ 0,1 mg/L	± 0,0005
Selênio Total	< 0,005 mg Se/L	≤ 0,30 mg/L	± 0,002
Sulfeto pelo método colorimétrico com azul de metileno	<0,050 mg S-2/L	≤ 1,0 mg S/L	± 0,030
Tetracloroeto de Carbono	< 0,001 mg/L	≤ 1,0 mg/L	± 0,0000232
Tolueno	< 0,001 mg/L	≤ 1,2 mg/L	± 0,0000232
Xilenos	< 0,001 mg/L	≤ 1,6 mg/L	± 0,0000232