



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

Recredenciada pela Portaria – MEC n.º 747, de 10/09/2020 – D.O.U. 11/09/2020

Mantenedora: UNIPAR – SOCIEDADE EMPRESARIAL LTDA.

Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura

ADELINE DOS SANTOS NOVAKOSKI

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA BOVINOCULTURA DE
LEITE: FERTIRRIGAÇÃO, BIOFILTRO E PRODUÇÃO DE MICÉLIO FÚNGICO**

**Umuarama
2025**

Adeline dos Santos Novakoski

Aproveitamento de águas residuárias de bovinocultura de leite: Fertirrigação, Biofiltro e Produção de Micélio Fúngico

Tese apresentada como parte das exigências para a obtenção do grau de Doutor em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pela Universidade Paranaense - UNIPAR.

Orientadora: Dra. Maria Graciela Iecher Faria Nunes

Coorientadora: Dra. Ana Daniela Lopes

Umuarama
2025

Ficha Catalográfica

N935a Novakoski, Adeline dos Santos.

Aproveitamento de águas residuárias da bovinocultura de leite: fertirrigação, biofiltro e produção de micélio fúngico / Adeline dos Santos Novakoski. – Umuarama : Universidade Paranaense - UNIPAR, 2025.

59 f.

Orientadora: Dr^a. Maria Graciela Iecher Faria Nunes.

Tese (Doutorado) – Universidade Paranaense - UNIPAR.

1. Águas residuárias. 2. Bovinocultura de leite. 3. Bagaço de cana-de-açúcar. 4. Fertirrigação. 5. Basidiomicetos. 6. Sustentabilidade ambiental. I. Universidade Paranaense - UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 636.214

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

Aproveitamento de águas residuárias de bovinocultura de leite: Fertirrigação, Biofiltro e Produção de Micélio Fúngico

Tese aprovada como requisito obrigatório para obtenção do Grau de Doutor no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

Dr. João Paulo Francisco
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Dr. Otavio Akira Sakai
Instituto Federal do Paraná - IFPR

Dra. Juliana Silveira do Valle
Universidade Paranaense - UNIPAR

Dr. Thiago Alberto Ortiz
Universidade Paranaense - UNIPAR

Dra. Maria Graciela Iecher Faria Nunes
Universidade Paranaense - UNIPAR

Universidade Paranaense – UNIPAR
Umuarama, 13 de março de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder a vida, a saúde e a oportunidade de realizar este trabalho. Agradeço também à minha família, que sempre me apoiou e incentivou, e aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, especialmente à minha orientadora Dra. Maria Graciela Iecher Faria Nunes e coorientadora Dra. Ana Daniela Lopes pela orientação competente e dedicada.

Gratidão ao professor Dr. João Paulo Francisco pela sua contribuição e apoio na realização deste trabalho principalmente na parte do Biofiltro, ao Senhor José Carlos Salesse dono da propriedade que nos forneceu as águas residuárias de bovinocultura leiteira, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense (UNIPAR), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Araucária. Minha gratulação aos membros da banca examinadora, pela avaliação criteriosa e construtiva, e a todos que contribuíram de forma direta e indireta para a plena realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I Água residuária de bovinocultura de leite e seu uso na fertirrigação de alfaces..... | 12 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 16 |
| 2.1 Caracterização da água residuária..... | 16 |
| 2.1.1 Aspectos agronômicos..... | 16 |
| 2.1.1.1 Análise estatística..... | 17 |
| 3. RESULTADO E DISCUSSÃO..... | 18 |
| 3.1 Composição da água e aspectos agronômicos..... | 18 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 25 |
| REFERÊNCIAS..... | 26 |
| CAPÍTULO II Nota técnica: Desenvolvimento de um protótipo de biofiltro a base de bagaço de cana-de-açúcar..... | 31 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 32 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 35 |
| 2.1 Análise biofiltro..... | 35 |
| 2.1.1 Confecção do biofiltro e montagem das colunas de filtração..... | 35 |
| 2.1.1.1 Coleta das amostras filtradas..... | 37 |
| 2.2 Determinação de Sólidos Totais, Sólidos Fixos Totais e sólidos voláteis totais...38 | |
| 2.2.1 Determinação de Sólidos em Suspensão Totais (SST)..... | 38 |
| 2.2.1.2 Análise estatística..... | 39 |
| 3. RESULTADO E DISCUSSÃO..... | 40 |
| 3.1 Análise biofiltro..... | 40 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 42 |
| REFERÊNCIAS..... | 43 |
| CAPÍTULO III Potencial do bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residual no crescimento de cogumelos Yanomamis e acúmulo de metais..... | 46 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 47 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 49 |
| 2.1 Fungos..... | 49 |
| 2.1.1 Subprodutos agroindustriais..... | 49 |
| 2.1.1.1 Determinação de metais..... | 50 |
| 2.1.1.1.1 Análise estatística..... | 50 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 3. RESULTADO E DISCUSSÃO..... | 51 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 54 |
| AGRADECIMENTOS..... | 55 |
| REFERÊNCIAS..... | 56 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Representação esquemática do biofiltro.....36
- Figura 1.** Curva de crescimento micelial dos fungos *Lentinus crinitus*, *Panus strigellus* e *Pleurotus albidus* em bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residuária.....51

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Caracterização da água residuária de bovinocultura de leite..... | 18 |
| Tabela 2 – Análise de variância das fontes de variação e as variáveis índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE)..... | 19 |
| Tabela 3 - Valores médios índice de velocidade de emergência (IVE)..... | 20 |
| Tabela 4 - Análise de variância das fontes de variação e as variáveis altura (ALT), diâmetro do coleto (DIAM), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR); massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR)..... | 21 |
| Tabela 5 - Valores médios de diâmetro do coleto, massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz das cultivares de alface <i>Lucy Brown</i> e <i>Vanda</i> submetidas a fertirrigação com concentrações de água residuária de bovinocultura leiteira..... | 22 |
| Tabela 6 - Valores médios de altura (ALT), massa seca de parte aérea (MSPA) obtidas na fonte de variação concentração de água residuária de bovinocultura leiteira (ARBL)..... | 24 |
| Tabela 7 - Valores médios de massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa seca de parte aérea (MSPA) obtidas na fonte de cultivares de alface..... | 24 |
| Tabela 1 - Caracterização físico-química da água residuária da bovinocultura de leite (ARBL) utilizada no experimento..... | 35 |
| Tabela 2 - Massa específica das partículas (ρ_p), massa específica (ρ_g), porosidade (P) e volume de poros (VP) do bagaço de cana-de-açúcar com faixa granulométrica entre 2 e 3 mm..... | 37 |
| Tabela 3 - Valores médios de Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos Totais (SFT), Sólidos Voláteis Totais (SVT), Sólidos Solúveis Totais, pH e condutividade elétrica (CE) ARBL após filtração..... | 40 |
| Tabela 1 - Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar..... | 49 |
| Tabela 2 - Crescimento micelial longitudinal total em tubos de borossilicato dos fungos..... | 51 |
| Tabela 3 - Metais encontrados na biomassa associada ao bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residuária..... | 52 |

Adeline dos Santos Novakoski

Aproveitamento de Águas Residuárias da Bovinocultura de Leite: Fertirrigação, Biofiltro e Produção de Micélio Fúngico

RESUMO

Esta tese aborda o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais e águas residuárias da bovinocultura de leite (ARBL), visando à redução de impactos ambientais e à valorização de subprodutos por meio de práticas integradas de fertirrigação, biofiltração e cultivo de fungos basidiomicetos. No Capítulo I, investigou-se o reaproveitamento de ARBL por meio da fertirrigação como alternativa sustentável para o manejo de efluentes da atividade leiteira. O experimento utilizou águas residuárias provenientes da limpeza da área de ordenha de 35 vacas, aplicadas em cultivos das cultivares de alface *Lucy Brown* e *Vanda* sob diferentes concentrações (25% a 100% ARBL). A cultivar *Lucy Brown* apresentou melhor desempenho em crescimento e produtividade nas concentrações de 75% e 100% ARBL, demonstrando o potencial da fertirrigação com ARBL na melhoria da eficiência produtiva e na preservação dos recursos hídricos. No Capítulo II, foi proposto e avaliado um biofiltro à base de bagaço de cana-de-açúcar (BC) para o tratamento de águas residuárias bovinas, explorando o potencial do resíduo como material de suporte para biofiltração. O experimento, conduzido no Laboratório de Microbiologia Agrícola da Universidade Paranaense, empregou colunas de filtração confeccionadas em PVC, preenchidas com BC. As análises físico-químicas indicaram que o biofiltro apresentou boa eficiência na remoção de sólidos totais, aumento gradual do pH e redução da condutividade elétrica, evidenciando retenção de sais e melhora da qualidade da água para uso em fertirrigação. Apesar de limitações pontuais na remoção de sólidos em suspensão, o sistema mostrou potencial como tecnologia simples, de baixo custo e ambientalmente adequada para o tratamento de efluentes agropecuários. No Capítulo III, avaliou-se o uso do bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residuária (AR) como substrato para o crescimento micelial longitudinal de fungos basidiomicetos. Foram estudadas as espécies *Lentinus crinitus*, *Panus strigellus* e *Pleurotus albidus*. O fungo *L. crinitus* apresentou o maior crescimento micelial (22,62 cm em 30 dias), destacando-se como o mais adaptado ao substrato. A análise da composição mineral da biomassa de *L. crinitus* produzida, apresentou cromo, cobalto, níquel, cádmio, zinco e alumínio, sendo o zinco o elemento em maior concentração (89,299 mg L⁻¹). Os resultados evidenciam o potencial do sistema para o tratamento de águas residuárias e a reciclagem de resíduos agroindustriais, além de demonstrar a capacidade de *L. crinitus* para aplicações em biorremediação e biossorção de metais. De forma integrada, os resultados reforçam o potencial de duas práticas sustentáveis e complementares: a fertirrigação com águas residuárias de bovinocultura e o uso do bagaço de cana-de-açúcar como biofiltro e substrato fúngico como estratégias eficazes para o tratamento de efluentes, a reciclagem de resíduos e a promoção da sustentabilidade no setor agropecuário.

Palavras-chave: águas residuárias, bovinocultura de leite, bagaço de cana-de-açúcar, fertirrigação, basidiomicetos, sustentabilidade ambiental.

Adeline dos Santos Novakoski

Use of Wastewater from Dairy Farming: Fertigation, Biofilter and Fungal Mycelium
Production

ABSTRACT

This thesis addresses the sustainable use of agro-industrial waste and dairy cattle wastewater (DWW), aiming at reducing environmental impacts and adding value to by-products through integrated practices of fertigation, biofiltration, and basidiomycete fungi cultivation. Chapter I investigated the reuse of DWW through fertigation as a sustainable alternative for managing effluents from dairy farming. The experiment used wastewater from cleaning the milking area of 35 cows, applied to crops of the lettuce cultivars Lucy Brown and Vanda under different concentrations (25% to 100% DWW). The Lucy Brown cultivar showed better growth and productivity performance at concentrations of 75% and 100% DWW, demonstrating the potential of fertigation with DWW in improving productive efficiency and preserving water resources. In Chapter II, a biofilter based on sugarcane bagasse (SB) for the treatment of bovine wastewater was proposed and evaluated, exploring the potential of the residue as a support material for biofiltration. The experiment, conducted at the Agricultural Microbiology Laboratory of the Paranaense University, employed filtration columns made of PVC, filled with SB. Physicochemical analyses indicated that the biofilter showed good efficiency in removing total solids, a gradual increase in pH, and a reduction in electrical conductivity, demonstrating salt retention and improved water quality for use in fertigation. Despite some limitations in the removal of suspended solids, the system showed potential as a simple, low-cost, and environmentally sound technology for the treatment of agricultural effluents. In Chapter III, the use of sugarcane bagasse moistened with wastewater (WW) as a substrate for the longitudinal mycelial growth of basidiomycete fungi was evaluated. The species *Lentinus crinitus*, *Panus strigellus*, and *Pleurotus albidus* were studied. The fungus *L. crinitus* showed the greatest mycelial growth (22.62 cm in 30 days), standing out as the most adapted to the substrate. The analysis of the mineral composition of the produced *L. crinitus* biomass showed chromium, cobalt, nickel, cadmium, zinc, and aluminum, with zinc being the element in the highest concentration (89.299 mg L⁻¹). The results highlight the potential of the system for wastewater treatment and the recycling of agro-industrial waste, in addition to demonstrating the capacity of *L. crinitus* for applications in bioremediation and biosorption of metals. In an integrated way, the results reinforce the potential of two sustainable and complementary practices: fertigation with cattle wastewater and the use of sugarcane bagasse as a biofilter and fungal substrate as effective strategies for wastewater treatment, waste recycling, and the promotion of sustainability in the agricultural sector.

Key-words: wastewater, dairy cattle farming, sugarcane bagasse, fertigation, basidiomycetes, environmental sustainability.

CAPÍTULO 1

Água residuária de bovinocultura de leite e seu uso na fertirrigação de alfaces

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de leite do mundo, com uma produção de 35,4 bilhões de litros em 2023, mas a pecuária leiteira gera significativos passivos ambientais, especialmente em relação aos efluentes líquidos. A água residuária de bovinocultura leiteira (ARBL) é composta por fezes, urina e resíduos de ração, e sua gestão inadequada pode contaminar corpos hídricos e solo, representando riscos à saúde pública. O reaproveitamento dessas águas, que contém nutrientes como nitrogênio e fósforo, pode beneficiar o solo e reduzir a necessidade de fertilizantes químicos, desde que manejado corretamente. O objetivo do trabalho foi caracterizar a água e verificar os efeitos produzidos na disposição final de água residuária de bovinocultura de leite (ARBL) empregada em diferentes doses, via fertirrigação. O experimento foi realizado no Laboratório de Microbiologia e Nematologia Agrícola da Universidade Paranaense (Unipar) com água residuária proveniente da limpeza do estábulo onde era coletado o leite de 35 vacas. As cultivares de alface *Lucy Brown* e *Vanda* foram semeadas e consideradas como um dos fatores experimentais. O experimento foi montado em um esquema fatorial 4×2 , com os tratamentos dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, incluindo três repetições. As concentrações (v/v) de ARBL foram obtidas por meio da diluição da água residuária bruta com água destilada, assim os tratamentos desse fator foram caracterizados pelas concentrações: 25% ARBL, 50% ARBL, 75% ARBL e 100% ARBL. Logo após a semeadura das cultivares de alface foi iniciada a fertirrigação com as concentrações de ARBL sendo avaliadas: altura e diâmetro do coleto, massa fresca da parte aérea e raiz, massa seca da parte aérea e raiz. A cultivar *Lucy Brown* apresentou melhores resultados nas concentrações de 75% e 100% ARBL de desenvolvimento e produção, mesmo em concentrações de ARBL baixas como de 25% e 50%. A fertirrigação com água residuária de bovinocultura de leite pode ser uma solução eficiente e sustentável para o manejo dos resíduos gerados por essa atividade. Além de contribuir para a preservação dos recursos hídricos, essa prática também promove o reaproveitamento de nutrientes, aumentando a eficiência produtiva.

Palavras chaves: Bovinocultura de leite. Cultivo de alface. Reaproveitamento de nutrientes. Gestão de resíduos. Efluentes líquidos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os cinco maiores produtores de leite do mundo, de acordo com informações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA, 2024). A pecuária leiteira é uma esfera de relevância para o complexo agroindustrial brasileiro (Souza, 2019). Conforme informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), a produção nacional de leite foi de 35,4 bilhões de litros em 2023 e o número de gado leiteiro ordenhado foi cerca de 15,7 milhões de animais (IBGE, 2024). Embora os ganhos sociais e econômicos do crescimento do setor de bovinocultura leiteira sejam positivos, sabe-se que o aumento está interligado com o crescimento de passivos ambientais intrínsecos a criação de bovinos, que ocasiona impactos negativos no meio ambiente especialmente nos efluentes líquidos e nas bacias hidrográficas (Zoccal, 2020).

Estima-se que no Brasil são produzidos cerca de 200 milhões de toneladas de resíduos e efluentes por animais que se encontram em sistema de produção de leite (Rays, 2018). Em média são gastos cerca de 200 a 250 litros de água por unidade animal dia, em sistema hidráulico de confinamento, sendo que cada animal produz cerca de 9 a 12% de seu peso corporal em esterco todos os dias (Rays, 2018). Em vista da enorme quantidade de água empregada para a limpeza e higiene das baias, a bovinocultura leiteira produz um enorme volume de água residuária, tornando-se um potencial poluidor em ocasiões de disposição inadequada dessa água, no solo. Nos cursos de água, podendo ocasionar contaminações nos corpos hídricos subterrâneos e superficiais (Caixeta; Fonseca; Nascentes, 2018).

A água residuária de bovinocultura leiteira (ARBL) é o líquido resultante da atividade de produção de vacas. É composto por fezes, urina, resíduos de ração, pelos, produtos de limpeza e desinfecção. Atividade microbiológica e parasitológica em águas residuárias de bovinocultura de leite é um aspecto de extrema importância para garantir a segurança e a qualidade dessas águas, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana (Flaglioni, 2019). As águas residuárias podem conter microrganismos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Esses microrganismos podem ser provenientes das fezes dos animais, esterco utilizado como fertilizante ou de outros resíduos perante as instalações da propriedade (Maciel et al., 2019). A presença desses microrganismos patogênicos representa um risco para a saúde humana e dos animais e pode afetar a qualidade do solo e dos corpos d'água, causando impactos ambientais (Maciel et al., 2019).

A recuperação e reutilização de águas residuárias vem sendo adotada por diferentes países no mundo (Barros et al., 2015). De acordo com Barros et al (2015) o reaproveitamento

de água não compreende apenas o manejo racional e eficiente, mas abrange uma contenção do consumo de água como o monitoramento de perdas e desperdícios, e a produção de resíduos. Os excrementos de bovinocultura leiteira têm quantidades relevantes de nitrogênio e fósforo, o manejo adequado e correto ocasiona benefícios aos solos, que em alguns casos descarta a utilização de fertilizantes químicos tradicionais e também propiciar destinação adequada. Todavia o seu manejo inadequado e incorreto pode provocar eutrofização dos corpos de água e contaminação do solo (Maciel et al., 2019).

A concentração de nitrogênio e fósforo é otimizada quando os efluentes oriundos do processo de transformação do leite são misturados com efluentes sanitários concebidos no próprio empreendimento. De acordo com Von Sperling (2005) os efluentes sanitários apresentam em média uma concentração de 50 mg/L de nitrogênio e 8,1 mg/L de fósforo. As águas brutas de laticínios, mesmo não tendo uma mistura prévia com os efluentes sanitários, exibem teores de nutrientes semelhantes e por vezes superiores aos do esgoto doméstico. Segundo Von Sperling (2005), cerca e 50% do fósforo presente em águas residuárias pode ser atribuído ao uso de detergentes, produto abrangentemente manejado na limpeza de equipamentos do processamento de leite, limpeza de pisos e utensílios de refeitórios.

As técnicas e métodos de tratamento de águas residuárias devem atender a legislação ambiental, devendo corresponder aos padrões de qualidade descritos na CONAMA 357/2005 que são limites para coliformes termotolerantes, para turbidez da água, para o pH, para cor verdadeira, para OD, DBO 5 dias a 20°C, e para substâncias em cada classe de qualidade CONAMA 430/2011 (Cunha et al., 2011).

A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes líquidos juntamente com a água de irrigação, permitindo uma distribuição uniforme dos nutrientes no solo e nas plantas (Campos et al., 2017). Portanto, a utilização de água residuárias de bovinocultura de leite na fertirrigação em mudas de alfaces pode ser uma alternativa sustentável e econômica. No caso específico das mudas de alface *Lucy Brown* e *Vanda*, são conhecidas por sua resistência a doenças e pragas, além de apresentarem um rápido crescimento e alta produtividade (Matsushima; Sakagami, 2013).

A alface é a hortaliça folhosa mais vendida e negociada no Brasil, sendo uma excelente fonte de sais minerais e vitaminas, ressaltando-se seu alto teor de vitamina A. É habituada a clima ameno, sendo propício para o cultivo no inverno quando alcança os maiores níveis de produção (Lopes et al., 2003). O Alface *Lucy Brown* e *Vanda* são cultivadas em todas as regiões do país, podem ser produzidas em todas as épocas do ano, desde que sejam utilizadas técnicas de manejo adequadas para o verão. No entanto, geralmente são cultivadas em climas amenos

como inverno ou outono. São as principais espécie de hortaliça consumidas pelos brasileiros. Tanto pelo fornecimento de seus nutrientes, que são extremamente benéficos para a saúde como pelo preço reduzido para o consumidor (Resende et al., 2007).

A planta de alface é uma dicotiledônea, pertence à classe Magnoliopsida, ordem asterales, família Asteraceae, é uma planta anual. A alface possui duas fases em seu ciclo, a vegetativa e a reprodutiva. A fase vegetativa tem durabilidade de proximamente 35 dias dependendo de condições climáticas. A fase reprodutiva é para a produção de sementes, ocorre após o máximo desenvolvimento vegetativo com a emissão da haste com flores amarelas agrupadas em capítulos. Na fase reprodutiva a planta é imprópria para comercialização, devido a produção em grande quantidade de uma substancia leitora e amarga categorizada de lactoaria (Figueira, 2007).

A irrigação com águas residuárias, especialmente hortaliças como alface da espécie *Lucy Brow* e *Vanda*, remete a uma preocupação latente que é a contaminação por organismos patogênicos. Bastos & Mara (1992) concluíram que a qualidade bacteriológica das hortaliças irrigadas com águas residuárias com qualidade recomendada pela OMS (Organização Mundial da Saúde) não oferece riscos à saúde pública. Foi observado que uma alface irrigada com águas residuárias de lagoa de estabilização, em clima quente e seco, que a interrupção da irrigação permite a descontaminação das plantas e do solo em uma semana (Figueira, 2007).

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo caracterizar a água e verificar os efeitos produzidos na disposição final da água residuária de bovinocultura de leite empregada em diferentes doses, via fertirrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da água residuária

O experimento foi realizado no Laboratório de Microbiologia e Nematologia Agrícola da Universidade Paranaense (Unipar) com água residuária proveniente da limpeza do estábulo de uma pequena propriedade localizada em Santa Eliza, distrito de Umuarama – Paraná (23°33'17.6"S 53°26'55.1"W). Neste recinto eram coletados o leite de 35 vacas.

2.1.1 Aspectos agronômicos

Bandejas de polipropileno com 32 células foram preenchidas com substrato comercial para hortaliças Humusfértil® tomando o cuidado de manter homogênea a quantidade de substrato por bandeja. Após serem preenchidas com substrato, cada bandeja foi saturada com água, por ascensão capilar e, após verificação da condição de saturação, as mesmas foram colocadas em recipiente para a drenagem do excesso de água. Ao se verificar que não havia mais água sendo drenada, as bandejas foram pesadas e, assim, considerou-se a massa obtida como a capacidade de máxima retenção de água do substrato. Nesta condição de umidade foram semeadas duas cultivares de alface: *Lucy Brown* e *Vanda*. As bandejas foram mantidas em estufa do tipo B.O.D com ajuste de temperatura de 28°C e fotoperíodo de 16 horas luz (Martins et al., 2016).

O experimento foi montado em um esquema fatorial 4×2 , com os tratamentos dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, incluindo três repetições. As duas cultivares foram tratadas como um dos fatores experimentais, combinando-as com quatro concentrações de água residuária de bovinocultura leiteira (ARBL), que constituem outro fator experimental.

As concentrações (v/v) de ARBL foram obtidas por meio da diluição da água residuária bruta com água destilada, assim os tratamentos desse fator foram caracterizados pelas concentrações: 25%, 50%, 75% e 100% ARBL. Logo após a semeadura das cultivares de alface foi iniciada a fertirrigação com as concentrações de ARBL. A fertirrigação foi realizada diariamente, sempre realizando a reposição do volume de água perdida. O volume a ser aplicado foi obtido por meio da diferença de massa entre as fertirrigações realizadas, sempre elevando a umidade à condição de máxima retenção de água.

Ao iniciar a emergência, três dias após a semeadura, foram feitas as avaliações de índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE). As avaliações das

plântulas foram realizadas diariamente, sempre à mesma hora. A obtenção do IVE foi realizada por meio da razão entre o número de plântulas normais, computadas em cada contagem, pelo número de dias da semeadura de cada leitura, seguindo de Maguire (1962).

Após 25 dias, 21 plântulas de cada tratamento foram avaliadas quanto à altura, diâmetro do coleto, massa fresca e seca parte aérea e raiz. A determinação da altura foi realizada com uma régua graduada em centímetros. O comprimento da parte aérea foi obtido medindo-se a distância entre o colo e o ápice da muda; o diâmetro do coleto foi determinado com o auxílio de um paquímetro com valores expressos em mm. As massas frescas de parte aérea e raiz foram obtidas após pesagem em balança analítica de precisão (0,01 g). As massas secas foram obtidas após secagem em estufa de circulação forçada de ar ajustada a 65°C, até atingirem peso constante, procedendo em seguida à pesagem em balança analítica de precisão.

2.1.1.1 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas utilizando-se o Teste de Tukey a 5 % de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico R (R, 2021).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Composição da água e aspectos agrônômicos

Tabela sobre a determinação da água residuária de bovinocultura leiteira contrasta os parâmetros de qualidade da água residuária da bovinocultura de leite com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005).

Tabela 1. Caracterização da água residuária de bovinocultura de leite (Laborsolo, 2022)

| Parâmetro de Qualidade | Valor obtido | Limite Permitido |
|---|--------------|------------------|
| Nitrogênio Total - N (%) | 0,13 | 0,020 mg/L |
| Fósforo Total – P ₂ O ₅ (%) | 0,02 | 0,020 mg/L |
| Potássio Solúvel – K ₂ O (%) | 0,02 | 0,020 mg/L |
| Cálcio Total – Ca (%) | 0,01 | 0,010 mg/L |
| Magnésio Total – Mg (%) | 0,01 | 0,005 mg/L |
| Enxofre Total – S (%) | 0,01 | 0,005 mg/L |
| Carbono Orgânico – Corg (%) | 0,44 | 0,020 mg/L |
| Relação Corg/N | 3,38 | - |
| Boro Total – B (mg kg ⁻¹) | 11,25 | 0,5 mg/L |
| Cloro Solúvel – Cl (mg kg ⁻¹) | 0,00 | 0,01 mg/L |
| Ferro Total – Fe (mg kg ⁻¹) | 20,21 | 0,3 mg/L |
| Manganês Total – Mn (mg kg ⁻¹) | 2,78 | 0,1 mg/L |
| Molibdênio Total – Mo (mg kg ⁻¹) | 5,12 | 0,01 mg/L |
| Sódio Total – Na (mg kg ⁻¹) | 21,66 | 0,5 mg/L |
| Níquel Total – Ni (mg kg ⁻¹) | 2,58 | 0,025 mg/L |
| Cromo Total – Cr (mg kg ⁻¹) | 0,29 | 0,05 mg/L |
| pH em CaCl ₂ | 6,80 | 6,0 - 9,0 |
| Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹) | 1,30 | 0,5 dS/m |
| Densidade (g cm ⁻³) | 1,00 | - |

Os valores obtidos para a água residuária de bovinocultura de leite estão, em sua maioria, acima dos limites permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os parâmetros que mais se destacam por estarem acima dos limites são: Nitrogênio Total, Carbono orgânico, boro total, ferro total, manganês total, molibdênio total e sódio total. Esses resultados indicam que a água residuária precisa de tratamento adequado para atender aos padrões de qualidade exigidos (Brasil, 2005).

Os altos níveis de boro, ferro e sódio na água residuária da bovinocultura de leite estão frequentemente relacionados a práticas de manejo inadequadas e ao uso excessivo de fertilizantes. O boro, um micronutriente comumente adicionado a fertilizantes, pode concentrar-se no solo e na água residuária quando manejado em quantidades copiosas (Hamacher et al.,

2019). Assim, o ferro é empregado para corrigir deficiências no solo, podendo resultar em concentrações superiores quando manuseado de forma inadequada (Wallace et al., 1984). O sódio, por sua vez, pode ser introduzido através de fertilizantes e da ração animal, especialmente em suplementos minerais, levando a excreções elevadas (Cardoso et al., 2019). Além disso, a qualidade da água de irrigação e a manuseio inadequado de dejetos animais como fertilizantes também auxiliam para a concentração desses elementos na água residuária. Portanto, é essencial revisar e adaptar as práticas de manejo para reduzir esses impactos e garantir a conformidade com os padrões de qualidade da água. (Albuquerque et al., 2022).

De acordo com a análise de variância, os resultados relacionados ao índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE) em diferentes concentrações de ARBL apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) somente para o fator cultivar, não sendo verificadas diferenças para o fator ARBL e nem para a interação ARBL \times cultivares, conforme apresentado na Tabela 2

Tabela 2. Análise de variância das fontes de variação e as variáveis índice de velocidade de emergência (IVE) e velocidade de emergência (VE)

| Fontes de Variação | GL | Quadrado médio | |
|--------------------------|----|----------------------|-----------------------|
| | | IVE | VE |
| ARBL | 3 | 3,035 ^{ns} | 23,580 ^{ns} |
| Cultivares | 1 | 10,689 ^{**} | 148,020 ^{ns} |
| ARBL \times Cultivares | 3 | 0,519 ^{ns} | 32,730 ^{ns} |

^{**}, * Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} não significativo
GL – Graus de Liberdade; ARBL – água residuária de bovinocultura de leiteira.

A ARBL não resultou em diferenças estatísticas para as variáveis IVE e VE, resultado também encontrado por Martins (2015) que verificaram que aplicações sucessivas de água residuária proveniente de tratamento de esgoto não afetaram a germinação e o desenvolvimento inicial de plântulas de alface. Além disso, um estudo de (Oliveira et al., 2019) também relatou que a utilização de água residuária não prejudicou a emergência e o crescimento de plântulas de alface, indicando que essa prática pode ser viável para o cultivo. Marcos Filho (2015) afirma que um dos principais limitantes na germinação de sementes é a salinidade da água, interferindo na porcentagem, na velocidade e uniformidade do processo germinativo.

Na Tabela 1 apresenta a caracterização da água residuária de bovinocultura de leite, destacando que o teor de sódio total (Na) é de 21,66 mg kg⁻¹, que ultrapassa o limite permitido de 0,5 mg/L. O elevado teor de sódio na água residuária pode interferir na porcentagem,

velocidade e uniformidade do processo germinativo, evidenciando a importância de monitorar a salinidade na utilização de água residuária para irrigação (Rossi et al., 2015).

Os efeitos da salinidade foram verificados na germinação de sementes de feijão por Oliveira et al. (2019) e como respostas verificaram que à medida que os níveis de salinidade eram aumentados os valores de IVE e VE obtidos diminuía significativamente. O ideal é que o substrato e a água utilizada apresentem valores de salinidade dentro da faixa indicada para as culturas em questão. Para a alface Rodrigues et al. (2022) indicam que o limite superior para diminuição do crescimento e desenvolvimento é de 1,50 dS m⁻¹, acima dos 1,30 dS m⁻¹ da ARBL utilizada neste estudo (Tabela 3). O valor de 1,50 dS m⁻¹ como sendo uma referência para o cultivo de alface também foi verificado por Rodrigues et al. (2022).

Um outro fator que afeta na porcentagem de germinação também tem sido atribuído é diminuição na absorção de água devido aos efeitos osmóticos do sódio, que limita a hidratação das sementes, e aos efeitos tóxicos do sal sobre o embrião ou sobre as células da membrana do endosperma (Kano et al., 2011; Marcos Filho, 2005). Porém, não é possível afirmar que os valores de sódio apresentados na Tabela 1 não possam causar qualquer efeito nas variáveis de germinação analisadas, uma vez que com aplicações sucessivas e em maior número do que as realizadas nesse estudo, podem resultar em efeitos negativos na IVE e VE de plântulas de alface. Cautela se faz necessária uma vez que Fonseca et al. (2011) verificaram a queda significativa da germinação das sementes do rabanete com o aumento de cloreto de sódio que diminuía o potencial hídrico para valores além de -0,4 MPa.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios de IVE obtidos para as cultivares *Lucy Brown* e *Vanda*.

Tabela 3. Valores médios índice de velocidade de emergência (IVE)

| Tratamento | IVE | CV (%) |
|-------------------|-------|--------|
| <i>Lucy Brown</i> | 6,42a | 10,74 |
| <i>Vanda</i> | 5,09b | |

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A cultivar *Lucy Brown* apresentou um valor de índice de velocidade de emergência (IVE) de 6,42a, enquanto a cultivar *Vanda* teve um IVE de 5,09b. Os resultados indicam que a cultivar *Lucy Brown* possui um desempenho estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$). Acredita-se que esses resultados sejam atribuídos a características inerentes a cada cultivar. Rodrigues (2019) observou que a cultivar *Lucy Brown* apresenta um desenvolvimento inicial robusto, com

um ciclo médio de 75 dias, enquanto a cultivar *Vanda*, com um ciclo médio de 60 dias, também demonstra suas próprias características de crescimento.

De acordo com os trabalhos realizados por Edmond; Matsushima; Sakagami (2013) o IVE e VE resultam em maior potencial fisiológico, baseando-se no princípio de quanto mais rapidamente a semente germina, maior será o seu vigor, o que pode explicar os resultados nas variáveis de crescimento verificados para a cultivar *Lucy Brown*, com resultados apresentados e discutidos a partir da Tabela 4.

Na Tabela 4 é apresentado o quadro da análise de variância de somas de quadrado médio para os fatores estudados e variáveis analisadas. Verificou-se interação ($p \leq 0,05$) entre os fatores ARBL \times Cultivares ao se analisar as variáveis diâmetro do coleto (DIAM), massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca de raiz (MFR). Não foi verificada interação significativa para as demais variáveis, porém a análise dos efeitos isolados revelou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nas médias de altura de plantas, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância das fontes de variação e as variáveis altura (ALT), diâmetro do coleto (DIAM), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR); massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR)

| Fontes de Variação | GL | Quadrado médio | | | | | |
|--------------------------|----|----------------------|---------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|
| | | ALT | DIAM | MFPA | MFR | MSPA | MSR |
| ARBL | 3 | 128,530** | 1,282** | 0,218** | 0,241** | 0,00045** | 0,00018** |
| Cultivares | 1 | 80,613** | 0,014** | 1,763** | 0,324** | 0,00098** | 0,00024** |
| ARBL \times Cultivares | 3 | 20,610 ^{ns} | 0,041* | 0,079** | 0,116** | 0,00015 ^{ns} | 0,00002 ^{ns} |

**,* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} não significativo
GL – Graus de Liberdade; ARBL – água residuária de bovinocultura de leiteira

Os valores médios das variáveis DIAM, MFPA e MFR de cultivares de alface *Lucy Brown* e *Vanda* fertirrigadas com concentrações de água residuária de bovinocultura leiteira estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores médios de diâmetro do coleto, massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz das cultivares de alface *Lucy Brown* e *Vanda* submetidas a fertirrigação com concentrações de água residuária de bovinocultura leiteira

| | Cultivar | Concentrações | | | | CV (%) |
|-----------------------------|-------------------|---------------|---------|---------|---------|--------|
| | | 100 | 75 | 50 | 25 | |
| Diâmetro do coleto (cm) | <i>Lucy Brown</i> | 0,366aA | 0,252bA | 0,170bA | 0,221bA | 13,64 |
| | <i>Vanda</i> | 0,377aA | 0,138bB | 0,141bA | 0,114bB | |
| Massa fresca de parte aérea | <i>Lucy Brown</i> | 0,557aA | 0,563aA | 0,498aA | 0,421bA | 19,69 |
| | <i>Vanda</i> | 0,328aB | 0,305aB | 0,307aB | 0,280aB | |
| Massa fresca de raiz | <i>Lucy Brown</i> | 0,183bA | 0,288aA | 0,275aA | 0,208aA | 20,27 |
| | <i>Vanda</i> | 0,083bB | 0,127aB | 0,198aB | 0,196aB | |

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verificou-se que para a variável diâmetro do coleto os maiores valores foram observados para o tratamento de concentração 100% ARBL, não sendo verificada diferenças estatísticas entre as cultivares. Monitorando doses crescentes de aplicação de água residuária via fertirrigação Jorge (2019) não verificou influência quando avaliou o diâmetro de plantas de alface ao final do ciclo de cultivo. De acordo com Martins et al. (2009) o maior acúmulo de nutrientes pela alface ocorre após o 12º dia, com picos verificados entre o 24 e 30º dias, portanto acredita-se que estando o tratamento 100% ARBL não diluído, mais nutrientes, em especial o nitrogênio, ficaram disponíveis para absorção das plantas. É importante ressaltar que o nitrogênio é o elemento referência para água residuária de bovinocultura de leite, sendo este o elemento verificado em maior quantidade (Erthal et al., 2010). Porém na tabela 05 deste trabalho o nitrogênio não apareceu em maior quantidade na ARBL. Em média, os valores de diâmetro de coleto no tratamento de 100% ARBL foram 53,52% superiores quando comparados aos demais tratamentos.

Autores relatam que culturas fertirrigadas com fertilizantes orgânicos apresentam maior produtividade quando comparadas com culturas que recebem fertilizante químico (Carvalho-Pupatto; Bull; Costa Crusciol, 2004; Federal; AGR, 2008; Grossi et al., 2014; Matos, 2007; Matos, 2014; Oliveira; Pinheiro; Campos, 2017), devido à grande quantidade de nutrientes e à elevada concentração de matéria orgânica que retém umidade do solo e ajudam a fixar nutrientes necessários à nutrição das plantas. Essa afirmação pode ser confirmada ao se comparar os resultados de diâmetros obtidos neste trabalho com os encontrados por Souza et al. (2022) que encontraram diâmetros de 0,30 cm ao se cultivar alface *Lucy Brown* com adubação química.

Diferenças entre as cultivares para diâmetro do coleto foram observadas para as concentrações de 75% e 25% ARBL, resultado esse que se manteve para as variáveis MFPA e MFR, porém para essas duas, as diferenças entre as cultivares ocorreu em todos os tratamentos de concentração. Considerando as variáveis de massa fresca, a cultivar *Lucy Brown* apresentou resultados superiores. A cultivar *Vanda*, por sua vez, também apresentou características que contribuem para seu desempenho. Segundo Melhorança Filho (2008), a cultivar *Lucy Brown* é associada a um vigor elevado, o que pode influenciar os resultados observados nas variáveis analisadas.

A absorção e aproveitamento do nitrogênio pode ocorrer de forma diferenciada entre cultivares de alface, conforme observado por Martins et al. (2009), sendo essa característica verificada neste estudo. Foi possível verificar também melhor desempenho para a variável MFPA nas concentrações de 25%, 50%, 75% e 100% ARBL, para a cultivar *Lucy Brown*, não sendo verificadas diferenças estatísticas. Nesses tratamentos, por se apresentarem com aplicação da água bruta (100% ARBL) e com as menores diluições (75 e 50% ARBL) podem ter fornecido maiores quantidades de nitrogênio ao substrato, que por sua vez promoveu um maior desenvolvimento de parte aérea. De acordo com Ferreira, Beltrão e König (2005), a taxa de crescimento das folhas é diretamente influenciada pelo suprimento de nitrogênio, o que torna o mesmo um dos fatores determinantes da taxa de acúmulo de biomassa.

O aumento da massa fresca de parte aérea (MFPA) com o incremento das doses de água residuária foi verificado por Ait-Mouheb et al. (2022), Gorfie et al. (2022) e Mahami et al. (2023). Essa elevação é discutida como resultado do aporte de nutrientes, especialmente o nitrogênio, que são adicionados ao sistema. A cultivar *Lucy Brown* apresentou um maior acúmulo de MFPA, refletindo também em valores superiores na variável de massa fresca de raízes (MFR). A cultivar *Vanda*, por sua vez, também demonstrou características que influenciam seu desempenho nas mesmas variáveis, com destaque para o tratamento de 100% ARBL.

Os valores médios de altura de plantas (ALT), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) para o fator concentração de ARBL e fator cultivar são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6. Valores médios de altura (ALT), massa seca de parte aérea (MSPA) obtidas na fonte de variação concentração de água residuária de bovinocultura leiteira (ARBL)

| Tratamento | ALT | MSPA | MSR |
|------------|---------|---------|---------|
| 100 | 11,571b | 0,014a | 0,002b |
| 75 | 13,456a | 0,013ab | 0,004ab |
| 50 | 13,723a | 0,011bc | 0,005a |
| 25 | 13,562a | 0,010c | 0,005a |
| CV (%) | 12,38 | 34,68 | 27,34 |

*Concentração de ARBL com média não seguida da mesma letra difere significativamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

CV – Coeficiente de Variação.

Tabela 7. Valores médios de altura(ALT),massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa seca de parte aérea (MSPA) obtidas na fonte de cultivares de alface

| Tratamento | ALT | MSPA | MSR |
|-------------------|--------|--------|--------|
| <i>Lucy Brown</i> | 13,76a | 0,015a | 0,005a |
| <i>Vanda</i> | 12,38b | 0,010b | 0,003b |
| CV (%) | 12,38 | 34,68 | 27,34 |

*Cultivar com média não seguida da mesma letra diferem significativamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

CV – Coeficiente de Variação.

Nota-se que o menor valor médio de altura foi no tratamento de 100% ARBL, com isso diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) dos demais. Resultado semelhante foi obtido por Sampaio *et al.* (2011) em plantas de meloeiro, que ao fornecerem água residuária de origem doméstica tratada verificaram que os maiores valores de altura foram obtidos na diluição de 50% água residuária e 50% água de abastecimento. O maior valor médio nesse estudo também foi obtido na concentração de 50%.

A intensificação de acúmulo de massa seca em plantas de alface, conforme verificado por Martins *et al.* (2009), ocorre a partir do 12º dia após emergência, se prolongando de forma acentuada até o 30º dia. Neste trabalho foi verificado maior acúmulo de MSPA no tratamento 100% ARBL (Tabela 7). Gorfie *et al.* (2022), trabalhando com alface irrigado com água residuária também observou um efeito positivo para a fitomassa total, onde as plantas irrigadas apenas com maiores concentrações do efluente apresentaram maior acúmulo de massa.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos neste trabalho, demonstrou que a utilização de água residuária de bovinocultura leiteira (ARBL) na fertirrigação de cultivares de alface, *Lucy Brown* e *Vanda*, apresenta potencial significativo para o desenvolvimento das plantas, embora com ressalvas em relação à salinidade e à concentração de nutrientes.

Entretanto, a cultivar *Lucy Brown* apresentando maiores valores de IVE, massa fresca e diâmetro do colete, sugerindo que suas características genéticas conferem um melhor desempenho sob as condições experimentais. A concentração de 100% de ARBL promoveu um aumento significativo no diâmetro do colete e na massa fresca de parte aérea da cultivar *Lucy Brown*, evidenciando a importância do nitrogênio presente na água residuária para o crescimento das plantas.

A utilização da água residuária da bovinocultura de leite na fertirrigação apresenta-se como uma alternativa viável e sustentável para a produção de alfaces e mudas. Além de contribuir para a preservação dos recursos hídricos, essa prática também promove o reaproveitamento de nutrientes. Assim, a fertirrigação com água residuária de bovinocultura de leite pode ser uma solução eficiente e sustentável para o manejo dos resíduos gerados por essa atividade.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. G. *et al.* Impactos socioambientais dos dejetos da pecuária no âmbito rural: uma revisão de literatura. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, 15(1), 517–528, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/360037443>.
- AIT-MOUHEB, N. *et al.* Effect of untreated or reclaimed wastewater drip-irrigation for lettuces and leeks on yield, soil and fecal indicators. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 8, p. 100053, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916122000081>.
- ALVES, W. W. A. *et al.* Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubada com nitrogênio e fósforo. **Revista Verde**, v. 4, n. 1, p. 41–46, 2009.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- APHA –American Public Health Association Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 5ed. Washington, p. 1219, 2015.
- BARBER, M. J., SMITH, D. L., & STODDARD, A. L. (2017). Coliforms in agricultural runoff: A review of sources, fate, and treatment. **Journal of Environmental Quality**, v. 46, 202-223.
- BARROS, H. M. M. *et al.* Reuso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 10, p. 11, 2015.
- BRANDÃO, L. P. *et al.* Perspectivas do uso de Efluente de Lagoas de Estabilização em Irrigação. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Vitória, ES. **Anais de VI SIBESA**. Rio de Janeiro; ABES, 2003.
- BRASIL – CONAMA. Instrução Normativa 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providencias**. Brasília – CONAMA.
- CAMPOS, A. D; *et al.* **Vantagens econômicas e ambientais do cultivo da acácia-negra no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.
- CARINI, F. *et al.* Nonlinear models for describing lettuce growth in autumn-winter. **Ciência Rural**, v. 50, n. e20190534, p. 1–12, 2020.
- CARDOSO, A. S. *et al.* Efeitos da ingestão de sais minerais na concentração de nitrogênio fecal e no volume e composição da urina de bovinos de corte. **Tropical Animal Health and Production**, 51(1), 171–177, 2019.
- CARVALHO-PUPATTO, J. G; BÜLL, L. T; COSTA CRUSCIOL, C. A. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1213–1218, 2004.

CARVALHO, H. P; SILVA, I. J. O. *et al.* Metais pesados presentes na água residuária de sistema de exploração leiteira do tipo “freestall”. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, v. 6, p. 1-8, 2006.

CUNHA, A. H. N. *et al.* O reuso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v. 7, 2011.

EDMOND, J B; DRAPALA, W J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seeds. **Proceedings of American Society of Horticultural Science**, v. 71, n. 2, p. 428–434, 1958.

ERTHAL, V. J. T. *et al.* Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura Physical and chemical changes in an Luvisol by the application of cattle farm wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 14, n. 5, p. 467–477, 2010.

FEDERAL, Universidade; AGR, Engenharia. Virgílio José Távira Erthal **Fertirrigação de Capim-Tifton 85 E Aveia Preta com Águas Residuárias de Bovinocultura: Efeitos No Solo E Nas Plantas** Viçosa Minas Gerais- Brasil. 2008.

FERREIRA, O E; BELTRÃO, N E M; KONIG, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 1, p. 893–902, 2005.

FONSECA, V. L. A; NASCENTES, R; CAIXETA, L. T. Técnicas de baixo custo para aproveitamento de água de chuva e reuso de água cinza: o início de uma cultura de conservação de água no Rio Paranaíba-MG. **Revista ELA-Diálogos em Extensão**, 2018.

FONSECA, A. S *et al.* Efeito da salinidade na germinação de sementes de rabanete. São José dos Campos: **UNIVAP**, p. 1–3, 2011.

FLAGLIONI, C. M. **Avaliação Microbiológica da Lactuca Sativa cv Valentina em pós-colheita produzidas no sistema agroecológico**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, 2019.

GRYTA, M. (2020). Separation of saline oily wastewater by membrane distillation. **Chemical Papers**, 74, 2277-2286. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01071-y>.

GORFIE, B. N. *et al.* Effect of brewery wastewater irrigation on soil characteristics and lettuce (*Lactuca sativa*) crop in Ethiopia. **Agricultural Water Management**, v. 269, p. 107633, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377422001809>>.

GROSSI, B. *et al.* **Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo** Effect of prolonged use of swine wastewater on soil properties. p. 299–309, 2014. Disponível em: <<http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/507/349>>.

HAMACHER, L, S. *et al.* Aproveitamento de água residuária de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela: efeitos na Atividade fotoquímica e na biomassa. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 53, p. 117-133, 2019. Disponível em: file:///C:/Users/rafae/Downloads/s_fernandes,+RBCIAMB_n53_117-133.pdf.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Agricultura e Pecuária**. 2023 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovportal/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em 15 jun 2023.

JORGE, M. F. **Tratamento e Disposição Final de Águas Residuárias de Bovinocultura em Solos sob Manejo Orgânico de Produção de Olerícolas**. 205 f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019.

KANO, C. *et al.* Germinação de sementes de alface obtidas de plantas cultivadas com diferentes doses de fósforo Lettuce seed germination from plant cultivated with different phosphorus levels. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 591–598, 2011.

LO MONACO, P. A. V. *et al.* **Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Engenharia na Agricultura, Viçosa-MG, 2009.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; SARMENTO, A. P.; JÚNIOR, A. V. L.; LIMA, J. T. Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, V.17 N.6, 473-480p. NOV. / DEZ. 2009

MACIEL, A. M. *et al.* Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um plano solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 151-171, 2019.

MAHAMI, T. *et al.* Microbial food safety of lettuce produced under irrigated wastewater from Onyasia River in Ghana. **Heliyon**, v. 9, n. 9, p. e19273, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023064812>>.

MARCOS FILHO, J. **Avaliação da qualidade de sementes**. Piracicaba - SP: FEALQ, 2015. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/002724502>>.

MARTINS, C. M. *et al.* Curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 123–128, 2009.

MARTINS, J. G. **Uso planejado de água residuária proveniente de estação de tratamento de esgoto na irrigação em cultura de alface crespa**. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11496>>.

MARTINS, F. R. *et al.* Cultivo de fungos em estufas B.O.D: Efeitos da temperatura e fotoperíodo no crescimento micelial. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 40, 123-132, 2016.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. [S.l.]: AEAGRI, (Caderno Didático n. 38), 2007.

MATOS. A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI. 140, 2007.

MATOS, A T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: UFV, 2014.

MATSUSHIMA, K. I; SAKAGAMI, J. I. Effects of Seed Hydropriming on Germination and Seedling Vigor during Emergence of Rice under Different Soil Moisture Conditions. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, n. 8, p. 1584–1593, 2013.

MELHORANÇA FILHO, A. L., PEREIRA, M. R. R., MARTINS, D., CASTRO, R. M., & NASCIMENTO, M. S. Produtividade de alface cv Lucy Brown influenciada por períodos de convivência com plantas infestantes e potencial alelopático da tiririca. **Bioscience Journal**, 24(3), 19–23, 2008. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6738>

NEVES, D. P. **Parasitologia humana**. 13 Rio de Janeiro: Atheneu, p. 588, 2016.

OLIVEIRA, A. P. D. S.; PINHEIRO, E. F.M; DE CAMPOS, D.V.B. Evaluation of the treatment of wastewater suinocultura using organic filter constituted of sugar cane bagasse. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1970–1984, 2017.

OLIVEIRA, L. L. P. *et al.* Efeito da água residuária de dessalinizadores na germinação de feijão-mungo-verde. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 37–41, 2014.

OLIVEIRA, A. D. A., BASTOS, R. G., & SOUZA, C. F. Adaptação de efluente doméstico para uso agrícola por tratamento biológico, físico e desinfecção por ultravioleta. **Revista Ambiente & Água**, 14(2), 1–7, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/my7gzqLgKfxBFWYWnXrMYkn/abstract/?format=html&lang=pt>

RAYS, M. W. A. **Avaliação da viabilidade do reuso de água para recarga de aquíferos na região metropolitana de São Paulo**, 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. SP. 2018.

RODRIGUES, R., BERTOSSI, A. P., GARCIA, G., ALMEIDA, J., & SILVA, E. Salinidade no desenvolvimento de cultivares de alface. **Agrarian Academy**, 9(1), 1–10, 2022. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2015b/salinidade.pdf>.

ROSSI, F.; GOMES, T. M.; TOL, J. C. H. B.; FERREZ, M. R.; LUZ, P. H. C.; AMBROSANO, E. J. Fitoextração de sódio pelo cultivo do milho em sucessão à produção da beterraba irrigada com águas residuárias de origem agroindustrial. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, p. 1–11, 2014. Disponível em: <https://www.aba-agroecologia.org.br/revista/cad/article/view/16448>.

SALES, W. B. *et al.* **Ocorrência de Coliformes Totais e Termotolerantes em pastéis fritos vendidos em bares no centro de Curitiba-PR**. Demetra: alimentação, nutrição & saúde, v. 10, n. 1, p. 77 – 85, 2015.

SAMPAIO, P. R. F. *et al.* Utilização de águas residuárias na germinação e desenvolvimento inicial de mudas de meloeiro amarelo outro. **Revista Verde**, v. 6, n. 1, p. 179–187, 2011.

SILVA, E. S., LIMA, M. T. FERREIRA, M. C., & OLIVEIRA, F.A. Avaliação da qualidade microbiológica de águas residuárias de bovinos em propriedades rurais no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 20, 703-715, 2019

SOUZA, R. S. *et al.* **Lettuce production in a greenhouse under fertigation with nitrogen and potassium silicate.** *Acta Scientiarum. Agronomy*. [S.l.]: scielo . , 2017.

SOUZA, J. C. G. *et al.* Crescimento e produtividade em cultivares de alface submetida à irrigação com diferentes níveis de salinidade. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. 1–11, 2022.

USDA. United States Department of Agriculture. **USDA Foreign Agricultural Service**. 2023.

ZOCCAL, R. **Leite no copo, no Brasil e no mundo.** Embrapa Gado de Leite, 2020. Disponível em: <http://www.baldebranco.com.br/leite-no-copo-no-brasil-e-no-mundo/>. Acesso em 15 jun 2023.

WALLACE, A., WALLACE, G. A., & ABOUN-ZAMZAM, A. M. Experiments on correcting iron deficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, 7(1-5), 211–222. 1984. <https://colab.ws/articles/10.1080%2F01904168409363187>.

CAPITULO II

Nota técnica: Desenvolvimento de um protótipo de biofiltro a base de bagaço de cana-de-açúcar

RESUMO

A água, composta por duas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio ($2H_2O$), é vital para a vida e participa de processos biológicos e ciclos naturais, como o ciclo hidrológico. Ao ser utilizada, torna-se residuária, absorvendo contaminantes de atividades domésticas, industriais e agrícolas, e pode ser classificada em águas residuais domésticas, industriais e agrícolas. Alternativas descentralizadas, como biofiltros, surgem como soluções promissoras para o tratamento de águas residuárias, utilizando materiais sustentáveis como o bagaço de cana-de-açúcar. Objetivo do trabalho é desenvolver e avaliar a eficiência de um biofiltro à base de bagaço de cana-de-açúcar para o tratamento de águas residuárias, explorando seu potencial como material de suporte para a biofiltração. O experimento foi realizado no laboratório de Microbiologia Agrícola da Universidade Paranaense, utilizando água residuária de bovinocultura. As colunas de filtração foram montadas com tubos de PVC, e o bagaço de cana-de-açúcar foi escolhido como material filtrante. A caracterização físico-química da água residuária foi realizada, e as análises incluíram determinação de sólidos totais, sólidos fixos e voláteis, além da coleta de amostras filtradas para análise de pH e condutividade elétrica. Os resultados mostraram que o bagaço de cana-de-açúcar é eficaz na remoção de sólidos totais, fixos e voláteis, embora a remoção de sólidos em suspensão não tenha apresentado diferença estatística significativa. O pH aumentou proporcionalmente ao volume filtrado, enquanto a condutividade elétrica diminuiu, indicando retenção de partículas salinas. A eficiência de remoção de sólidos aumentou com o uso contínuo do biofiltro, apesar de algumas limitações. Os biofiltros à base de bagaço de cana-de-açúcar demonstraram ser uma alternativa eficaz para o tratamento de águas residuárias bovinas, com significativa redução de sólidos totais. Embora o sistema tenha limitações na remoção de sólidos em suspensão, os resultados indicam que o uso de biofiltros pode contribuir para a melhoria do acesso à água de qualidade.

Palavras-chave: Reuso de água. Filtração biológica. Subprodutos agroindustriais. Efluentes.

INTRODUÇÃO

A água é um bem primordial para a vida na Terra, composta por duas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio ($2\text{H}_2\text{O}$), ela é fundamental para a sobrevivência de todos os seres vivos, operando um papel elementar em processos biológicos, como a fotossíntese e a regulação da temperatura corporal. Ademais, a água é um elemento primordial em vários ciclos naturais, como o ciclo hidrológico, que envolve a evaporação, a condensação e a precipitação (Santos, 2019).

No entanto, a água que utilizamos em nossas atividades diárias não preserva sua pureza. Após ser manuseada, essa água se transforma em água residuária. O que acontece nesse processo é que, durante o uso, a água absorve diversos contaminantes provenientes de atividades domésticas, industriais e agrícolas. Por exemplo, ao lavar roupas, cozinhar ou tomar banho, substâncias como detergentes, óleos, resíduos alimentares e produtos químicos são introduzidos na água (Duarte, 2007).

A água residuária, também conhecida como águas residuais ou esgoto, refere-se a essa água que contém contaminantes. Esta água pode ser classificada em diferentes categorias, dependendo de sua origem e composição: *água residual doméstica*; proveniente de residências, incluindo banheiros, cozinhas e lavanderias. Esta água contém uma mistura de matéria orgânica, detergentes, óleos e graxas. *Água residual industrial*; resultante de processos de fabricação e atividades industriais, podendo incluir substâncias químicas perigosas, metais pesados, solventes e compostos orgânicos voláteis. *Água residual agrícola*; derivada de práticas agrícolas, como irrigação e lavagem de equipamentos, frequentemente contaminada com pesticidas, fertilizantes e sedimentos (Pereira, 2006).

A utilização de águas residuárias no solo é prática comum apontada como uma forma de disposição final dessas águas. Os impactos do manuseio de águas residuárias nas propriedades físicas e químicas do solo só se exterioriza após um longo período de aplicação conforme as características do solo e do clima (Jorge, 2018).

Blanco & Folegatti (2005) afirmam que a principal limitação do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química, ou seja, total de sais distribuídos, presença de íons tóxicos e a concentração elevada de sódio em relação ao cálcio e magnésio, além da tolerância das culturas. Os sais solúveis podem estar inseridos nas águas de supervisão, em certas condições climáticas, salinizar o solo e modificar a composição iônica no complexo sortivo, alterando as características físicas e químicas do solo, como regime de água, aeração, nutrientes

e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetativo e a produtividade (Blanco & Folegatti, 2005).

Ela pode incluir resíduos orgânicos, produtos químicos, patógenos e outros poluentes. O tratamento adequado da água residuária é crucial para a proteção da saúde pública e do meio ambiente, pois a sua liberação sem tratamento pode resultar em contaminação de corpos d'água, no solo e até mesmo na água potável. O processo de tratamento visa remover ou reduzir esses contaminantes, permitindo que a água seja reutilizada ou devolvida ao meio ambiente de forma segura (Silva, 2018).

Os principais métodos incluem *tratamento primário*; remoção de sólidos e sedimentos através de processos físicos, como sedimentação. *Tratamento secundário*; processos biológicos, como a ativação de lodo, que degradam a matéria orgânica utilizando microrganismos. *Tratamento terciário*; remoção de nutrientes e poluentes específicos através de processos químicos e físicos, como filtração e desinfecção. *Reuso de água*; a água tratada pode ser reutilizada para irrigação, processos industriais ou mesmo para abastecimento, dependendo da qualidade alcançada (Costa, 2016).

Nessa conjuntura, os biofiltros emergem como uma alternativa promissora para o tratamento de águas residuárias, oferecendo uma abordagem mais econômica e eficiente. Os biofiltros são sistemas de tratamento biológico que utilizam um leito filtrante, composto por um material suporte inerte ou biológico (Carvalho Júnior, 2008).

O material suporte do biofiltro, também conhecido como "meio filtrante", desempenha um papel fundamental no desempenho do sistema. Ele fornece uma superfície de contato para a aderência dos microrganismos, além de promover a aeração e a distribuição uniforme da água. Diversos materiais podem ser utilizados como suporte em biofiltros, como rochas, areia, cascalho, argila expandida e materiais sintéticos. No entanto, a busca por materiais alternativos, renováveis e de baixo custo tem despertado o interesse de pesquisadores em todo o mundo (Naderloo; Baptist, 2018).

O bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto agroindustrial abundante e de baixo custo, surge como uma alternativa promissora para ser utilizado como suporte em biofiltros. A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica e social no Brasil, com uma produção anual de 713,2 milhões de toneladas, sendo a maior série histórica registrada pela Conab na safra 2023/2024, um aumento de aproximadamente 16,8% maior que no ciclo anterior. O bagaço, resultante da extração do caldo de cana, é gerado em grande quantidade pelas usinas de açúcar e álcool, sendo tradicionalmente utilizado como combustível para geração de energia (Conab, 2024).

No entanto, o bagaço de cana-de-açúcar possui características que o tornam um material promissor para ser utilizado como suporte em biofiltros. Sua estrutura fibrosa e porosa oferece uma ampla área de superfície para a aderência dos microrganismos, além de apresentar boa permeabilidade e capacidade de retenção de água (Cortez et al., 2008). Além disso, o bagaço de cana-de-açúcar é um material biodegradável e renovável, o que o torna uma alternativa sustentável em comparação com outros materiais de suporte (Cortez et al., 2008). Desta forma, este estudo tem como objetivo desenvolver e avaliar a eficiência de um biofiltro à base de bagaço de cana-de-açúcar para o tratamento de águas residuárias, explorando seu potencial como material de suporte para a biofiltração (Cortez et al., 2008).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Análise da água residuária

O experimento foi realizado no laboratório de Microbiologia Agrícola - campus sede da Universidade Paranaense, Umuarama/PR. Para tal, utilizou-se água residuária de bovinocultura de leite (ARBL) proveniente da limpeza hidráulica de uma sala de ordenha na qual são ordenhadas 35 vacas diariamente, localizada em Santa Eliza, distrito de Umuarama – Paraná (23°33'17.6"S 53°26'55.1"W). A caracterização química da ARBL está apresentada na Tabela 9.

Tabela 1. Caracterização físico-química da água residuária da bovinocultura de leite (ARBL) utilizada no experimento.

| Parâmetro | |
|--|--------|
| pH | 6,78 |
| Condutividade Elétrica (mS m ⁻¹) | 1,95 |
| Fósforo dissolvido (mg L ⁻¹) | 148,61 |
| Nitrogênio Total (mg L ⁻¹) | 985,82 |
| Nitrato (mg L ⁻¹) | 156,31 |
| Potássio (mg L ⁻¹) | 315,42 |
| Sódio (mg L ⁻¹) | 28,30 |

2.1.1 Confeção do biofiltro e montagem das colunas de filtração

As colunas de filtração foram montadas com tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e comprimento de 0,8 m. Na extremidade inferior do tubo, foi adaptado um tampão e, para permitir a coleta do efluente, conectou-se uma mangueira flexível de 25 mm de diâmetro, com um registro adaptado para interrupção ou não do fluxo da ARBL (Figura 1). Em virtude da possibilidade de um fluxo preferencial por parte da água residuária no momento da filtração, a rugosidade da parede interna das colunas de filtração foi aumentada por meio da colagem do próprio material filtrante nas margens internas da parede, formando uma fina camada para que, posteriormente, a coluna fosse preenchida. Adicionalmente, uma malha de nylon de 1 mm foi colocada no orifício da mangueira com o objetivo de evitar o carreamento do material filtrante junto com o efluente. Com a mesma finalidade supracitada, foi adicionada uma camada de 2 cm de algodão hidrófilo na parte inferior do tubo.

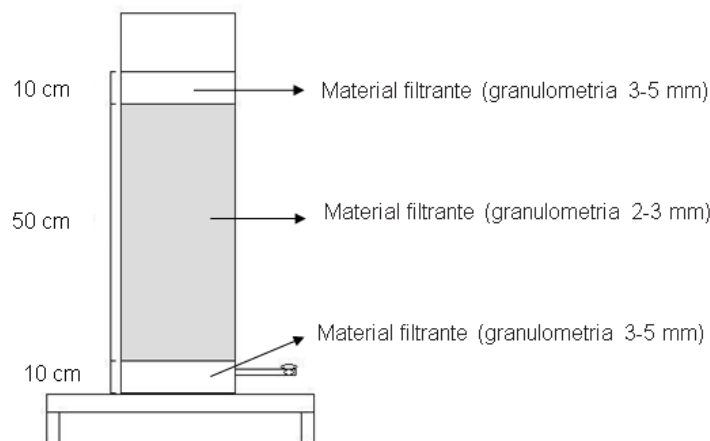


Figura 1. Representação esquemática do biofiltro.

Como material filtrante optou-se pelo uso de bagaço cana-de-açúcar, o qual foi seco naturalmente ao ar e, após completa secagem, triturado e peneirado de forma a obter granulometria entre 2 e 5 mm. O material filtrante foi ainda peneirado para obtenção de faixas granulométricas entre 2-3 mm e 3-5 mm, possibilitando a montagem de coluna filtrante conforme representado na Figura 1.

O material filtrante com granulometria entre 2 e 3 mm, responsável pela filtração da água residuária, foi acondicionado nas colunas entre as duas camadas de material com granulometria de 3 a 5 mm. O preenchimento das colunas de filtração foi feito de forma gradual, sempre em camadas de 10 cm, sob compressão de 10706 N m^{-2} , até ser atingida a altura de coluna de filtração desejada, 50 cm. Este valor de pressão foi determinado calculando-se a pressão exercida por um homem de 60 kgf de peso apoiado em um só pé.

Após a compressão dos materiais filtrantes em um corpo de prova calculou-se o volume ocupado e determinou-se a massa de cada material, sendo assim, por meio do conhecimento desses valores, foi possível calcular a massa específica dos materiais por meio da Equação 01.

$$\rho_g = \frac{m}{V_{\text{total}_1}} \quad (01)$$

em que:

ρ_g = massa específica da coluna, g cm^{-3} ;

m = massa do material acondicionado no “corpo de prova”, g; e

V_{total_1} = volume ocupado na coluna filtrante, cm^{-3} .

A massa específica das partículas foi determinada seguindo-se metodologia da Embrapa (1997). De posse dos valores de massa específica global e massa específica das partículas, foi possível calcular a porosidade do material filtrante (Equação 02) e o volume de poros (Equação 03), que é o volume ocupado pelos poros da coluna de material filtrante.

$$P = 1 - \frac{\rho_g}{\rho_p} \quad (02)$$

em que:

P = porosidade, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

ρ_g = massa específica global das partículas, g cm^{-3} ; e

ρ_p = massa específica das partículas, g cm^{-3} .

$$VP = P \times V_{\text{total}_2} \quad (03)$$

em que:

VP = volume total de poros, cm^3 ;

P = porosidade, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; e

V_{total_2} = volume ocupado da coluna de filtração, cm^3 .

Para efeito de análise, o volume de efluente coletado foi calculado com base no volume de poros que o material filtrante proporcionava à coluna de filtração. As coletas do efluente foram realizadas até que a taxa de filtração da água residuária correspondesse a valores inferiores a $0,2 \text{ L m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, conforme recomendação de Matos et al. (2002), pois, a partir desse ponto, o processo de selamento do filtro era máximo e havia a necessidade da troca do material filtrante. Nesse estudo, foi possível a filtração de um total de seis volumes de poros.

Na Tabela 3, estão apresentados os valores de massa específica das partículas (ρ_p), massa específica (ρ_g), porosidade (P) e volume de poros (VP) do bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 2. Massa específica das partículas (ρ_p), massa específica (ρ_g), porosidade (P) e volume de poros (VP) do bagaço de cana-de-açúcar com faixa granulométrica entre 2 e 3 mm.

| Material Filtrante | ρ_p g | ρ_g cm^{-3} | P cm^3 | VP cm^{-3} |
|--------------------------|---------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Bagaço de cana-de-açúcar | 0,483 | 0,151 | 0,685 | 2.691 |

É relevante mencionar que antes da filtração da água residuária, procedeu-se a lavagem dos materiais filtrantes, cujo objetivo foi eliminar o máximo possível de partículas sólidas que pudessem ser liberadas por estes materiais e promover a obtenção de uma amostra não confiável. Neste procedimento, foi aplicado 10 L de água limpa em cada filtro.

2.1.1.1 Coleta das amostras filtradas

A caracterização do efluente no processo de filtração foi realizada com a coleta de uma amostra, em triplicata, de 300 mL a cada volume de poro de ARBL filtrada. As amostras foram armazenadas a 4°C e encaminhadas para as análises que se seguem: determinação do pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos voláteis (SVT) e sólidos fixos totais (SFT).

2.2 Determinação de Sólidos Totais, Sólidos Fixos Totais e sólidos voláteis totais

Para determinação da análise, foram utilizados cadinhos de 100 mL, previamente mantidos em estufa a 103-105°C por duas horas, para posterior obtenção da massa do recipiente (MR). De posse desses valores, acrescentou-se em cada cadinho, um volume de 50 mL da amostra coletada do efluente no processo de filtração. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa a 103-105°C por 24 horas. Decorrido esse tempo, foram expostas à temperatura ambiente para resfriamento. Após atingirem temperatura ambiente, determinou-se sua massa em balança de precisão. A sequência de secagem, resfriamento e determinação da massa foi realizada até ser obtido um valor de massa constante, denominado massa da amostra seca (MS). Com os valores obtidos da massa do recipiente e massa da amostra seca, determinou-se a concentração de ST por meio da Equação 04.

$$ST = (M_s - M_R) \times \frac{1000}{V_{am}} \quad (04)$$

em que:

ST = Sólidos Totais, em mg L⁻¹;

M_S = Massa da amostra seca a 103-105°C + M_R, em mg;

M_R = Massa do recipiente, em mg; e

V_{am} = Volume da amostra, em mL.

As amostras utilizadas para determinação de ST, foram mantidas em forno mufla, com temperatura ajustada para 550°C ±5°C, por duas horas. Ao final desse processo, as cinzas foram pesadas, obtendo-se então os sólidos fixos totais (SFT). A diferença entre ST e SFT corresponderam aos valores de sólidos voláteis totais (SVT).

2.2.1 Determinação de Sólidos em Suspensão Totais (SST)

Para determinação de SST utilizou-se membrana Whatman de 0,47 µm, sendo que estas foram lavadas com água Mili Q e colocadas em estufa a 103-105°C para obtenção de sua massa seca (MFA). Um volume de 10 mL da amostra foi filtrado sob vácuo. O vácuo foi promovido por meio de uma bomba de vácuo conectada a um Kitassato de 250 mL.

Após filtração a vácuo, as membranas foram colocadas em estufa a 103-105°C por 24 horas, e em seguida mantidas em temperatura ambiente para resfriamento. Após atingirem temperatura ambiente, determinou-se a massa em balança de precisão, obtendo-se dessa forma a massa da membrana após a filtragem e secagem em estufa (M_{FD}). De posse dos valores M_{FA} e M_{FD} determinou-se a concentração de SST por meio da Equação 05:

$$SST = (M_{FD} - M_{FA}) \times \frac{1000}{V_{am}} \quad (05)$$

em que:

SST = Sólidos em Suspensão Totais, em mg L⁻¹;

M_{FD} = massa da membrana antes de ser usada na filtração, em mg;

M_{FA} = massa da membrana após a filtração, em mg.

2.2.1.2 Análise estatística

Para cada atributo físico e químico da ARBL filtrada, foram obtidos valores médios e concentrações relativas (C/C0), que expressam a razão entre a concentração ou valor do atributo físico ou químico no efluente (C) e no afluente (C0). Essa relação indica a porcentagem de remoção ou aumento do parâmetro analisado, sendo que, valor maior que 1,0 significa que o efluente possui teor do parâmetro analisado maior que o afluente.

Por meio da análise de regressão foi feito o ajuste de equações matemáticas relacionando a concentração relativa C/C0 em função do volume de poros de ARBL filtrado. A comparação das médias, com quatro repetições, referentes à filtração entre volume de poros foi realizada por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando o software R (R, 2023).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Análise água residuária

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros físicos e químicos da ARBL após a filtração com seis volumes de poros, bem como os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Verifica-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) para os parâmetros ST, SFT, SVT, SST, pH e CE analisados, não sendo verificadas diferenças estatísticas entre os valores médios obtidos para o parâmetro SSP.

Tabela 3. Valores médios de Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos Totais (SFT), Sólidos Voláteis Totais (SVT), Sólidos Solúveis Totais, potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) ARBL após filtração

| Volume de Poros | ST mg L ⁻¹ | SFT | SVT | SST | pH | CE mS m ⁻¹ |
|-----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| 1VP | 2625,5 ^a | 1447,2 ^a | 1178,2 ^a | 867,5 ^{ns} | 6,91 ^d | 1,70 ^a |
| 2VP | 2577,5 ^a | 1420,8 ^a | 1156,7 ^a | 892,5 ^{ns} | 6,99 ^d | 1,54 ^{ab} |
| 3VP | 2430,5 ^{ab} | 1339,7 ^{ab} | 1090,7 ^{ab} | 810,0 ^{ns} | 7,04 ^{cd} | 1,48 ^b |
| 4VP | 2294,0 ^{ab} | 1264,5 ^{ab} | 1029,5 ^{ab} | 830,0 ^{ns} | 7,10 ^{bc} | 1,48 ^b |
| 5VP | 2121,0 ^b | 1169,2 ^b | 951,8 ^b | 757,5 ^{ns} | 7,15 ^{ab} | 1,38 ^{bc} |
| 6VP | 2060,5 ^b | 1135,8 ^b | 924,7 ^b | 710,0 ^{ns} | 7,21 ^a | 1,25 ^c |

Os valores médios de ST, SFT e SVT apresentaram redução significativa (Figura 11) proporcional ao aumento do volume de efluente filtrado, o que indica que o biofiltro, aumenta a eficiência de remoção de sólidos ao longo do processo de filtração. Acredita-se que com a retenção de sólidos ocorre a diminuição do tamanho dos poros do material filtrante, aumentando a retenção e, conseqüentemente, a eficiência de remoção. No entanto, a continuidade do processo, pode resultar em interrupção completa do fluxo de ARBL filtrada e inviabilizar o processo (Viswanathan et al., 2021).

Magalhães et al. (2005) obtiveram remoções de ST presentes em águas residuárias de suinocultura entre 31 a 56 % quando utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar como material filtrante, no entanto, a granulometria adotada pelos autores foi superior a 5 mm. Remoções superiores foram encontradas por Lo Monaco et al. (2004), que obtiveram remoções de 60 a 70 % de ST de águas residuárias de suinocultura quando utilizaram a serragem de madeira como material filtrante. Francisco et al. (2014) obtiveram remoções de 60 % de ST de águas residuárias de bovinocultura quando o filtro orgânico possuía em sua constituição folhas de bambu.

Não foi verificada diferença estatística para os valores médios de SST após processo de filtração da água residuária de bovinocultura de leite, resultado contrário ao obtido por Magalhães et al. (2005) que verificaram remoções médias de 63%. Magalhães et al. (2005), obtiveram remoções de 90 a 99 %, valores esses obtidos após processo de filtração e posterior decantação, quando utilizaram bagaço de cana-de-açúcar como material filtrante e águas residuárias de suinocultura. Magalhães et al. (2006), verificaram que a maior remoção de SST são alcançados em materiais filtrantes com granulometrias nas faixas de 5 a 8 mm, pois a maior porosidade proporciona uma maior remoção de sólidos em suspensão.

Os mesmos autores verificaram que quanto maior a coluna de filtração, maior será a eficiência de remoção de SST, e, por esta razão, não recomendam colunas de filtração menores que 1,0 m e maiores que 1,5 m para remoção de SST. Vale ressaltar que se adotou no presente trabalho uma altura de coluna de filtração correspondente a 0,5 m e que a granulometria utilizada se encontrava numa faixa entre 2 e 3 mm, recomendada por Lo Monaco et al. (2004), para obtenção de maior eficiência na remoção de ST. Sendo assim, estes procedimentos empregados podem ter contribuído para a obtenção de valores de eficiência de remoção de SST menores que aqueles encontrados pelos autores supracitados. Estes resultados podem estar relacionados à retenção de partículas salinas presentes na água residuária, conforme relatado por Gryta (2020). Ao contrário do que foi observado por Oliveira et al. (2017) e Lo Monaco (2013) o processo de filtração diminuiu a concentração de sólidos a partir do primeiro volume de poros filtrado.

Os volumes de poros referem-se à quantidade de espaço vazio (ou poros) presente em um material filtrante, que pode ser utilizado para armazenar e permitir a passagem de líquidos ou gases. No contexto de filtração, como no tratamento de águas residuárias, os volumes de poros são fundamentais para entender a eficiência do processo de remoção de sólidos e outros contaminantes (Carvalho & Chinelatto, 2021).

Durante o processo de filtração, à medida que o líquido passa pelo material filtrante, os sólidos são retidos nos poros. Com o tempo, a retenção de sólidos pode diminuir o tamanho efetivo dos poros, o que pode levar a uma redução na eficiência de filtração e, eventualmente, à necessidade de substituição ou limpeza do material filtrante (Magalhães, 2005)

Os autores observaram que materiais filtrantes constituídos por restos vegetais liberam sólidos e aumentam, inicialmente a concentração de ST e SST. Bielińska e Antareva (2021) apenas verificaram redução de sólidos em suspensão após a metade do processo de filtração, neste estudo os autores conseguiram reduzir a concentração de SST de 3700 mg L⁻¹ para 700 mg L⁻¹ com a utilização de biofiltro constituído por folhas de carvalho e bétula.

4. CONCLUSÃO

Os resultados de filtração de águas residuárias de bovinocultura de leite foram observados com a utilização de bagaço de cana-de-açúcar como material filtrante, com redução significativa dos parâmetros Sólidos Totais, Sólidos Fixos Totais e Sólidos Voláteis Totais ao longo do aumento do volume filtrado. A eficiência de remoção de sólidos aumentou à medida que o biofiltro foi utilizado, embora a remoção de SST não tenha apresentado diferença estatística. O pH aumentou com o volume de filtrado, permanecendo dentro dos limites permitidos pela resolução CONAMA, que estabelece que o pH das águas para irrigação deve estar entre 6,0 e 9,0. A condutividade elétrica diminuiu, indicando retenção de partículas salinas. Com esses resultados os biofiltros à base de bagaço de cana-de-açúcar demonstraram uma alternativa eficaz para o tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite, contribuindo para a melhoria do acesso à água de qualidade para fertirrigação, sugerindo que o processo de filtração pode ser eficaz na remoção de sólidos, mas apresenta limitações para Sólidos Solúveis Totais.

REFERÊNCIAS

BIELIANSKA, O., & ANTAREYA, Y. (2021). Investigation of the process of processing liquid waste of urea production using a biofilter. Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences). <https://doi.org/10.31319/2519-2884.39.2021.14>.

BLANCO, F. F. FOLEGATTI, M. V. Acúmulo e distribuição de sais no solo em ambiente protegido em função da salinidade da água de irrigação e manejo da lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9(4), 435-441, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300006>. Acesso em 15 fev 2025.

BRASIL – CONAMA. Instrução Normativa 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências**. Brasília – CONAMA.

CARVALHO JÚNIOR, O. **Nova configuração de biofiltro aerado submerso utilizado no pós-tratamento do efluente de reator UASB**. Tese (doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-25052009-142404/publico/OrlandoCarvalho.pdf>. Acesso em 22 fev 2025.

CARVALHO, G. A; CHINELATTO, A. S. A. Obtenção de cerâmicas com porosidade graduada processadas pelas técnicas de colagem de barbotina e *freeze casting*. **Articles**. Cerâmica 67 (381). Jan-Mar 2021, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132021673813006>. Acesso em 20 fev 2025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento, junho 2024 – safra 2023/2024**: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5489-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2023-24> Acesso em: 02 fev. 2025

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. **Biomassa para energia**. Campinas: UNICAMP. 2008.

COSTA, L. S. **Tratamento de efluentes primário e secundário da indústria de carnes com microalgas**. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/665a2ddc-2f67-49ae-a68d-df706c235b91>. Acesso em 18 fev 2025.

DUARTE, A. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2007.tde-01102007-115214>. Acesso em: 03 mar 2025.

FRANCISCO, J. P; SILVA, J.G.B.; NASCENTES, A. L.; BATISTA DA SILVA, L.D; FOLEGATTI. **Desempenho de filtros orgânicos com o uso de sementes de moringa oleífera LAM**. Irriga, Botucatu, v. 19, n.4, p. 705-713, 2014.

FUNASA (2019). **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)**. Brasília/DF, 1ª edição, 2019. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false%3E. Acesso em 15 jan 2025.

GTSCA (2030). Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030. **IV Relatório Luz da Sociedade Civil da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável: Brasil**. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/relatorio-luz-2020/>. Acesso em 02 fev 2025.

JORGE, M. **Tratamento e disposição final de águas residuárias de bovinocultura em solos sob manejo orgânico de produção de olerícolas**. Tese (doutorado)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/4815>. Acesso em 02 abr 2025.

LO MONACO, P.A. V.; MATOS, A.T.; PEREIRA, M. S.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; BATISTA, A. P. S.; BAKER, S. A. A. Efeito da adição de diferentes substâncias químicas no extrato de sementes de moringa utilizado como coagulante no tratamento de esgoto sanitário. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p.1038-1048, 2013.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; JORDÃO, C. P.; CECON, P. R.; MARTINEZ, M. A. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.116-119, 2004.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; AZEVEDO, R. F.; DENICULI, W. Influência da compressão no desempenho de filtros orgânicos para tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.13, n.1, p.26-32, 2005.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENICULI, W.; TINOCO, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.2, p.472–478, 2006.

MAGALHÃES, M. A. **Modelagem do processo de filtração de água residuária de suinocultura em materiais orgânicos**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, 2005. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/387ef16b-9196-4b31-9e4e-e5a25be82333/content>. Acesso 28 Mar 2025.

NADERLOO, L.C.; BAPTISTA NETO, J.A.; RAMOS, A.M. Impactos ambientais do descarte de efluentes de laticínios: um estudo de caso no município de Ubá/MG. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 224-233, 2018.

OLIVEIRA, A. P. S.; PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B. Avaliação do tratamento da água residuária da suinocultura utilizando filtro orgânico constituído de bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Virtual de Química**, v. 9, nº. 5, 2017.

PEREIRA, E. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola**. Tese (doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2006.tde-17042006-171916>. Acesso em: 13 mar 2025.

PLANSAB (2019). **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Ministério do Desenvolvimento Regional – Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília/DF, 2019.

SANTOS, R. **Reuso de água residuária tratada no cultivo de hortaliças**. Tese (doutorado) Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 2019 Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191384>. Acesso em 13 fev 2025.

SILVA, S. W. **Tratamento de águas residuárias contaminadas com poluentes orgânicos emergentes utilizando processos avançados de oxidação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/184706>. Acesso em 15 fev 2025.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021). **Abastecimento de água**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/ab>. Acesso em 10 jan 2025.

VISWANTHAN, S., STEWART, M., & ROTHAMER, D. (2021). Experimental Investigation of the Effect of Pore Size Distribution on Nano-particle Capture Efficiency Within Ceramic Particulate Filters. **Emission Control Science and Technology**, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s40825-021-00184-4>.

WHO/UNICEF, 2019. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: Não deixar ninguém para trás - resumo executivo**. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por. Acesso em 25 jan 2025.

CAPÍTULO III

Potencial do bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residual no crescimento de cogumelos *Yanomamis* e acúmulo de metais

RESUMO

Os fungos basidiomicetos desempenham um papel crucial nos ecossistemas, contribuindo para a decomposição da matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes. Além disso, alguns micélios estabelecem associações benéficas com plantas, facilitando a absorção de nutrientes e a degradação de poluentes. Este estudo investigou o uso de bagaço de cana-de-açúcar (BC) umedecido com água residuária (AR) como substrato para o cultivo micelial de três espécies de fungos basidiomicetos: *Lentinus crinitus*, *Panus strigellus* e *Pleurotus albidus*. Objetivo foi investigar a capacidade de crescimento micelial de espécies de basidiomicetos *Yanomamis* em bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residual e a presença de metais. Os fungos foram cultivados em tubos de borossilicato com substrato umedecido com AR, e o crescimento micelial foi monitorado ao longo de 30 dias. *Lentinus crinitus* apresentou o maior crescimento, atingindo 22,62 cm, destacando-se das outras espécies. A análise de metais revelou a presença de cromo, cobalto, níquel, cádmio, zinco e alumínio, com concentrações mais elevadas na AR em comparação ao BC, sendo o zinco o metal mais concentrado. No entanto, metais tóxicos como chumbo e mercúrio não foram detectados, o que assegura a segurança do cultivo para consumo humano. O uso de BC umedecido com AR se mostrou eficiente e sustentável, oferecendo uma alternativa viável para o cultivo de fungos, com benefícios ambientais, como a reciclagem de resíduos agroindustriais e o tratamento de águas residuárias. Além disso, as espécies de fungos analisadas demonstraram potencial biotecnológico para processos de bioacumulação e biossorção de metais pesados, com destaque para *L. crinitus*, que se mostrou promissora para aplicações industriais, farmacêuticas e ambientais. Este estudo contribui para a implementação de tecnologias sustentáveis na agricultura e na gestão de resíduos, apontando para um futuro mais sustentável e com maior eficiência na utilização de recursos.

Palavras-chave: Água residuária; Basidiomicetos; Crescimento micelial; Práticas Sustentáveis.

1. INTRODUÇÃO

Os fungos basidiomicetos são importantes para ecossistemas, contribuindo para a decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes. Alguns micélios têm associações benéficas com plantas, ajudando na absorção de nutrientes e na degradação de poluentes (Choreño-Parra; Treseder, 2024).

Lentinus crinitus é um cogumelo do reino Fungi que pertence à classe Agaricomycetes. Este fungo desempenha um papel importante na decomposição da madeira e reciclagem de nutrientes (Santos Filho et al., 2023). Ele é encontrado em todo o mundo e produz corpos de frutificação comestíveis com propriedades medicinais, nutricionais e biotecnológicas, incluindo atividades antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas, antiviral e anticancerígenas (Santos Filho et al., 2023).

Panus strigellus é um tipo de fungo que causa podridão branca que cresce melhor em temperaturas entre 35 e 40°C. É encontrado na região tropical e foi consumido pelos povos Yanomami na Amazônia (Sousa Guimarães et al., 2024). Por outro lado, o gênero *Pleurotus* é um grupo de cogumelos cosmopolitas que se desenvolvem em troncos de árvores em decomposição, sendo um dos principais cogumelos comercializados no mundo, juntamente com *Agaricus* (Li et al., 2022). As espécies de *Pleurotus* possuem um sistema enzimático complexo que permite seu cultivo em diversos substratos ricos em lignina e celulose, como palha de arroz, lascas de madeira e resíduos agrícolas (Li et al., 2022).

A cana-de-açúcar é uma planta de grande importância para a produção de açúcar e biocombustíveis, representando uma fonte essencial de energia renovável. Pertencente ao gênero *Saccharum*, com seis espécies identificadas, a cana-de-açúcar desempenha um papel crucial na matriz energética, como evidenciado por Henry e Kole (2010), Lam et al. (2016) e Singh e Tiwari (2018). Segundo o Boletim da Safra de Cana-de-açúcar 2023/2024 o Brasil colheu aproximadamente 713.231,4 mil toneladas de cana-de-açúcar em uma área de plantio de 8.288,9 mil hectares. Deste total, foram produzidas 37,04 mil toneladas de açúcar e 27,37 bilhões de litros de etanol (Conab, 2024).

Entretanto, a crescente produção de cana-de-açúcar traz desafios ambientais significativos, como a eutrofização, a contaminação de recursos hídricos e a degradação do solo. Para mitigar esses impactos, são fundamentais práticas como o tratamento biológico, o reúso da água e o manejo integrado. A água tratada pode ser reutilizada para irrigação e limpeza, promovendo a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos. Além disso, o manejo integrado contribui para a redução da geração de águas residuais, favorecendo uma abordagem mais

sustentável na agricultura e na produção de biocombustíveis (Santos Silva; Dos Santos; López; 2020).

A produção de cogumelos a partir do bagaço de cana-de-açúcar é uma prática sustentável e econômica, gerando alimentos ricos em nutrientes e produtos com alto valor agregado. Uma das etapas importantes nesse processo é a umidificação do bagaço de cana-de-açúcar com água residuária de bovinocultura de leite. Essa prática não apenas proporciona a umidade necessária para o crescimento dos cogumelos, mas também contribui para a reciclagem de nutrientes presentes na água residuária, melhorando a eficiência do cultivo (Marques *et al.*, 2020). Essas práticas inovadoras não apenas ajudam na preservação do meio ambiente, mas também criam oportunidades econômicas, impulsionando um desenvolvimento mais sustentável e responsável (Barros *et al.*, 2015).

Portanto, o objetivo deste trabalho é investigar a capacidade de crescimento micelial de espécies de basidiomicetos *Yanomamis* em bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residual e a presença de metais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Fungos

Foram utilizados os basidiomicetos *Lentinus crinitus* (U9-1), *Panus striguellus* (U16-7) e *Pleurotus albidus* (U21-1), pertencentes à coleção de fungos do laboratório de Biologia Molecular da Universidade Paranaense - Umuarama/PR. Os fungos foram crescidos em meio de cultivo de ágar extrato de malte (AEM) 2% e mantido a $27\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, em ausência de luz. Após a recuperação do vigor de crescimento micelial foi selecionado como inóculo o micélio sem setoriamento. As linhagens foram cadastradas no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o número de registro A42E94F.

2.1.1 Subproduto agroindustrial

Bagaço de cana-de-açúcar (BC) proveniente de uma usina de cana-de-açúcar situada no município de Ibaiti, localizado no norte do Paraná (latitude $23^{\circ} 50' 56''$ Sul e a longitude $50^{\circ} 11' 16''$ Oeste), foi utilizado. O BC foi caracterizado quanto à umidade, teor de nitrogênio, conteúdo mineral, matéria orgânica, relação carbono/nitrogênio (C/N) (COSTA, 2023).

Tabela 1. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar

| Composição | Bagaço de cana-de-açúcar |
|-----------------------|---------------------------------|
| Carbono (%) | 44,12 |
| Nitrogênio (%) | 0,21 |
| Umidade (%) | 8,21 |
| Cinzas (%) | 3,56 |
| Relação C/N | 217,52 |

Fonte: Costa, 2024.

Em seguida, os substratos foram umedecidos com água residuária (AR) autoclavada, proveniente da limpeza do estábulo onde era coletado o leite de 35 vacas, localizado em Santa Eliza, distrito de Umuarama – Paraná ($23^{\circ}33'17.6''\text{S}$ $53^{\circ}26'55.1''\text{W}$), até atingir aproximadamente 80% de umidade. Os tubos de borossilicato foram preenchidos com aproximadamente 60 g do substrato úmido e autoclavados durante 2 horas a 121 °C . Após o resfriamento dos tubos, discos de AEM crescidos de micélio fúngico (25 mm) foram inoculados em uma das extremidades do tubo de borossilicato. Posteriormente os tubos foram vedados e

incubados em estufa a $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, com ausência de luz. O crescimento micelial longitudinal foi medido com régua a cada dois dias até que um dos fungos atingisse o final do tubo de borossilicato. Após, o fungo que apresentou melhor crescimento foi escolhido para a próxima etapa.

2.1.1.1 Determinação de metais

Após a definição da espécie fúngica que melhor apresentou crescimento, foi realizado crescimento de biomassa micelial em bagaço de cana-de-açúcar adicionados de água residuária para avaliar a capacidade de crescimento do fungo *Lentinus Crinitus* no bagaço umedecido. Cinco gramas de BC foram adicionados ao Erlenmeyer (250 mL) de boca larga e ocorreu a adição de 90 mL de água residuária. Como controle foram utilizados apenas o BC úmido com AR, e AR. Após foram autoclavados a $121\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Os Erlenmeyers, após a autoclavagem e resfriamento, foram inoculados com três discos de MEA de 0,5 mm de diâmetro contendo o micélio do fungo em estudo. O crescimento da biomassa micelial foi a $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 21 dias, no escuro, sem agitação. Após, o micélio juntamente com o BC foi seco em estufa de circulação de ar a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a obtenção de massa constante (Faria *et al.*, 2018).

Para a extração dos metais, à biomassa associada ao BC, BC e apenas AR, foram adicionados 1:12 (massa: volume) de HNO_3 (67%) e mantido a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 h. A mistura foi aquecida a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e adicionada de 1:6 (massa: volume) de H_2O_2 (30%) até completa solubilização do material. A mistura obtida foi filtrada em papel de filtro (porosidade de $14\text{ }\mu\text{m}$) lavado e o volume ajustado para 10 mL com água ultrapurificada. A concentração dos metais das amostras foi determinada a partir de espectrofotometria de emissão óptica, empregando plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP-OES) (ICAP PRO XP, Thermo Fisher). Para a análise, preparou-se uma curva de calibração (Leite *et al.*, 2024).

2.1.1.1.1 Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Para os ensaios foi utilizada análise de variância (ANOVA), e as diferenças entre as médias foram determinadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o software Sisvar 5.6

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Todas as espécies estudadas cresceram no BC umedecido com AR. Até o oitavo dia, *L. crinitus*, *P. strigellus* e *P. albidus* apresentaram crescimento semelhantes (Figura 3). Após *L. crinitus* se destacou preenchendo completamente o tubo no trigésimo dia (Figura 3 e Tabela 13). *P. strigellus* e *P. albidus* apresentam comportamento semelhante (Figura 3 e Tabela 13) no decorrer dos 30 dias de análise.

Figura 1. Curva de crescimento micelial dos fungos *Lentinus crinitus*, *Panus strigellus* e *Pleurotus albidus* em bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residuária.

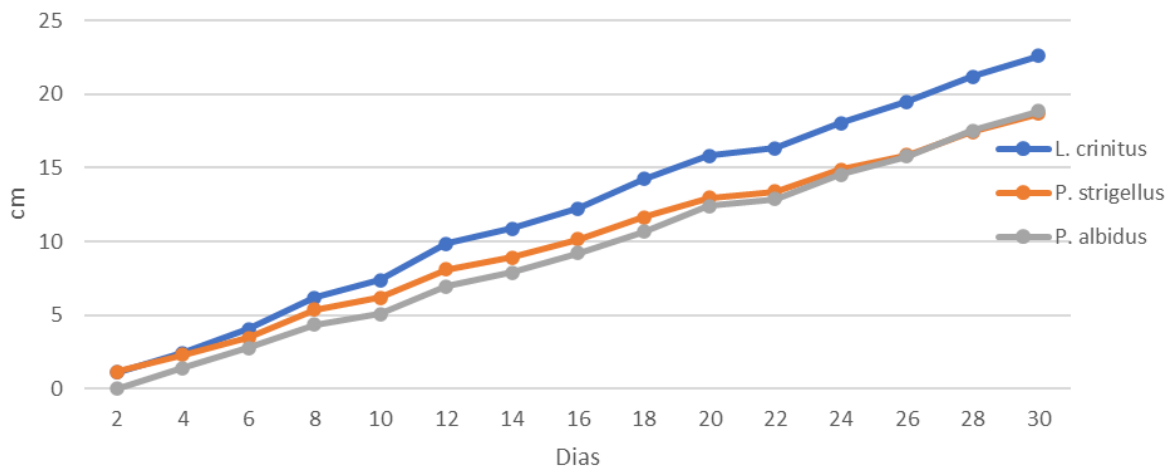


Tabela 2. Crescimento micelial longitudinal total em tubos de borossilicato dos fungos

| Fungos | Crescimento total (cm) |
|----------------------|---------------------------|
| <i>L. crinitus</i> | 22,62 ± 0,38 ^a |
| <i>P. strigellus</i> | 18,68 ± 1,32 ^b |
| <i>P. albidus</i> | 18,86 ± 0,10 ^b |

Os resultados são expressos com média ± desvio padrão. Médias indicadas por letras distintas apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados apresentados sugerem que o BC umedecido com AR pode ser uma boa alternativa para o cultivo de fungos, como *Lentinus crinitus*, *Panus strigellus* e *Pleurotus albidus*. As análises mostraram que todas as espécies cresceram bem no BC umedecido com AR, e *L. crinitus* se destacou por seu crescimento mais rápido, alcançando 22,62 cm de crescimento total após 30 dias. Isto pode ser atribuído a diferentes fatores, como a adaptação

dos fungos ao substrato ou características biológicas intrínsecas de cada espécie, como por exemplo a capacidade de produzir enzimas que auxiliam na degradação do substrato (Marim *et al.*, 2018).

O uso do bagaço de cana-de-açúcar para cultivo de cogumelos tem ganhado destaque (Zakil *et al.*, 2020; De Ayan *et al.*, 2023), não só pelo seu baixo custo e disponibilidade, mas também pelo seu potencial função como biofiltro (Guzmán-Bektrán *et al.*, 2024). Isso ocorre porque, em estudos recentes, o bagaço de cana tem mostrado boa capacidade de adsorver metais pesados e outros contaminantes do ambiente (Pachauappan *et al.*, 2022). O biofiltro, neste contexto, aproveita as propriedades do bagaço-de-cana, como sua alta área de superfície e composição química, para adsorver e reduzir a concentração de substâncias tóxicas (Fernandez *et al.*, 2013) presentes na água residuária utilizada para umedecer o BC. Desta forma resíduos de biofiltros a base de BC saturado de AR pode ser usado na produção de cogumelos. Os metais encontrados são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Metais encontrados na biomassa associada ao bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residuária

| Metais | Biomassa +BC+AR (µg/g) | BC+AR (µg/g) | AR (µg/g) |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cromo | 0,435 ± 0,285 ^{ab} | 0,553 ± 0,106 ^{ac} | 0,352 ± 0,006 ^{af} |
| Cobalto | 7,807 ± 2,968 ^{bab} | 8,609 ± 0,316 ^{bbc} | 34,88 ± 0,004 ^{ac} |
| Níquel | 0,662 ± 0,359 ^{bb} | 0,852 ± 0,125 ^{abc} | 1,313 ± 0,004 ^{ad} |
| Cádmio | 0,012 ± 0,004 ^{bb} | 0,017 ± 0,004 ^{bd} | 0,125 ± 0,001 ^{af} |
| Zinco | 16,293 ± 6,504 ^{ba} | 19,596 ± 2,704 ^{ba} | 89,299 ± 0,015 ^{aA} |
| Alumínio | 12,232 ± 2,812 ^{ba} | 9,917 ± 0,166 ^{bb} | 48,981 ± 0,001 ^{ab} |

BC - bagaço de cana-de-açúcar; AR - água residuária. Os resultados são expressos com média ± desvio padrão. Médias indicadas por letras minúsculas na mesma linha e letras maiúsculas na mesma coluna, apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Cromo, cobalto, níquel, cádmio, zinco e alumínio estavam presentes nas amostras. Todos eles em maior quantidade na AR quando comparado as outras amostras. Nesta análise o metal em maior concentração na AR foi o zinco, seguido do alumínio, como consequência também foram os em maior concentração na biomassa+BC+AR e BC+AR. Apesar desses metais estarem presentes, as concentrações encontradas foram baixas, variando de 0,012 a 89,299 µg/g.

Outro ponto importante é a ausência de metais pesados as amostras analisadas, o que é positivo, pois esses metais são extremamente tóxicos e sua presença nas amostras poderia

comprometer a qualidade dos cogumelos cultivados e a saúde humana (Jyothi et al., 2020). A não detecção de chumbo e mercúrio sugere que o BC umedecido com AR é uma boa opção para o cultivo de cogumelos com segurança, sem risco de contaminação por esses metais. Além disso, a concentração de metais como cádmio e cromo foi baixa, o que reforça a viabilidade do BC como substrato para o cultivo de fungos.

A importância de estudar o crescimento micelial em substratos sólidos, nesse caso em BC, é pensando na produção de basidiocarpo, pois antes da formação dos primórdios e posteriormente o corpo de frutificação é necessário que se tenha um crescimento robusto de micélio vegetativo (Berger *et al.*, 2022). *Lentinus crinitus* entre as espécies analisadas foi a que apresentou melhor resultado, este fungo é conhecido pelo seu potencial de bioacumular lítio (Faria *et al.*, 2022) e ferro (Meniqueti *et al.*, 2021), sempre apresentado crescimento robusto (Colla *et al.*, 2020). Mesmo sendo um fungo não convencional (não produzido comercialmente) já se sabe das suas atividades biológicas (Bertéli *et al.*, 2021; Bertéli *et al.*, 2022; Halabura *et al.*, 2023) apresentando interesse biotecnológico na indústria farmacêutica, alimentos e estética. Além disso já é conhecida a capacidade de bioissorção do substrato gasto do cultivo de *L. crinitus* (De Freitas *et al.*, 2023).

Em resumo, o BC umedecido com AR mostrou ser um substrato eficiente e sustentável para o cultivo de cogumelos. A não detecção de metais perigosos é um aspecto positivo para a segurança e qualidade do produto final, tornando o processo mais atraente para aplicações comerciais e industriais. A integração dessa tecnologia pode, portanto, contribuir significativamente para práticas agrícolas mais sustentáveis e para o tratamento de águas residuárias de forma mais eficiente.

4. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo destacam o potencial do bagaço de cana-de-açúcar umedecido com água residuária (BC+AR) como substrato sustentável para o cultivo de fungos. Entre as espécies analisadas, *Lentinus crinitus* apresentou desempenho superior, com crescimento total de 22,62 cm em 30 dias, superando significativamente *Panus strigellus* e *Pleurotus albidus*. Esse resultado demonstra a elevada capacidade de adaptação de *L. crinitus* ao substrato, possivelmente devido à sua produção de enzimas degradadoras que favorecem o aproveitamento dos nutrientes presentes no BC. Assim, *L. crinitus* surge como uma excelente alternativa para aplicações biotecnológicas, dado seu crescimento robusto e potencial em processos como bioacumulação e bioissorção, que ampliam sua relevância além do cultivo convencional.

Além disso, a análise da presença de metais revelou concentrações e a ausência de metais pesados de alto risco toxicológico. Esses achados reforçam a segurança e a viabilidade do BC+AR como substrato para cultivo de micélio, sem comprometer a qualidade do produto final. Considerando sua disponibilidade abundante e potencial para tratamento de água residuária, o uso do BC como substrato apresenta grande potencial para integração em sistemas de agricultura sustentável. Assim, o cultivo de fungos no BC+AR representa uma solução ambientalmente responsável e amigável, com benefícios econômicos e tecnológicos relevantes.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Programa de Pós - Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS

- BARROS, D. S.; *et al.* **Avaliação e caracterização da anemia em usuários atendidos pela Estratégia Saúde de Família.** 2015. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/11930>. Acesso em 16 ago 2024.
- BERGER, R. G. *et al.* Mycelium vs. Fruiting Bodies of Edible Fungi—A Comparison of Metabolites. **Microorganisms** 2022, 10, 1379. 2022.
- BERTÉLI, M. B. D. *et al.* Basidiocarp structures of *Lentinus crinitus*: an antimicrobial source against foodborne pathogens and food spoilage microorganisms. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 38, n. 5, p. 74, 2022.
- BERTÉLI, M. B. *et al.* *Lentinus crinitus* basidiocarp stipe and pileus: chemical composition, cytotoxicity and antioxidant activity. **European Food Research and Technology**, v. 247, p. 1355-1366, 2021.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação Geral da Política de Alimentação e Nutrição. **Guia alimentar para a população brasileira.** 2ª ed. Brasília/DF; Ministério da Saúde, 2014.
- COHEN, R.; PERSKY, L.; HADAR, Y. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 58, n.5, p. 582-594, 2002
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura mensal, janeiro de 2023.** Disponível em: www.conab.gov.br/conabweb. Acesso em 18 jul 2024.
- CHOREÑO-PARRA, E. M; TRESEDER, K. K. Mycorrhizal fungi modify decomposition: a meta-analysis. **New Phytologist.** 2024 Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.19748>. Acesso em: 05 mar 2025.
- DE, A. *et al.* Substrate level optimization for better yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production, using different ratio of rice straw and sugarcane bagasse. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 10, p. 270, 2023.
- DE FREITAS, J. D. S. *et al.* Biosorption of methylene blue by residue from *Lentinus crinitus* mushroom cultivation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 5, p. 110, 2023.
- FARIA, M. G. I. *et al.* Lithium bioaccumulation in *Lentinus crinitus* mycelia grown in media with different lithium sources and pH values. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 58, p. 87519-87526, 2022.
- FERNÁNDEZ H.T, RICO I.R, DE LA PRIDA J.J, *et al.* Biofiltração de sulfeto de dimetila usando *Hyphomicrobium* VS imobilizado e *Thiobacillus thioparus* TK-m em bagaço de cana-de-açúcar. **Environ Technol.** Jan 1; 34:257–262. 10.1080/09593330.2012.692713. 2013
- FERREIRA, D. F. S. A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

GUZMÁN-BELTRÁN, A. M. *et al.* Simultaneous biofiltration of H₂S, NH₃, and toluene using compost made of chicken manure and sugarcane bagasse as packing material. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-16, 2024.

HALABURA, M. I. W. *et al.* Light conditions affect the growth, chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of the white-rot fungus *Lentinus crinitus* mycelial biomass. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 669-686, 2023.

HENRY, R.J.; KOLE, C. **Genetics, genomics and breeding of sugarcane**. Enfield: Science Publisher, 2010.

JYOTHI, N. R. Heavy metal sources and their effects on human health. **Heavy metals-their environmental impacts and mitigation**, p. 1-12, 2020.

LAM, S. Y.; SHANKAR, V.; ERRAMILI, M. K.; MURTHY, B. (2016) Customer value, satisfaction, loyalty and switching costs: an illustration from a business-to-business service context. **Journal of the Academy of Marketing Science**, 32, 293-311. <http://dx.doi.org/10.1177/0092070304263330>

LEITE, E. C. *et al.* Biodisponibilidade de metais em sedimentos e peixes em áreas agrícolas e urbanas do rio Pirapó: toxicidade potencial e monitoramento ambiental. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, p. 17-29, 2024

LI, G. *et al.* Ligninolytic characteristics of *Pleurotus ostreatus* cultivated in cotton stalk media. **Frontiers in Microbiology**, 2022 Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.1035040/full>. Acesso em: 25 abr 2025

MACHRI C. I. *et al.* Mycelial biomass cultivation of *Lentinus crinitus*. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 6, 2020.

MARCELLA, R. C. **Fungos basidiomicetos para a produção de biocompósitos como substituto ao isopor na construção civil**. 2020. Tese (Doutorado em Biotecnologia Aplicada à Agricultura) - Universidade Paranaense, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Maria Graciela Iecher Faria Nunes.

MARQUES, A. S *et al.* Tratamento de água residuária da bovinocultura utilizando resíduos agroflorestais: retenção de poluentes ambientais. **Revista Virtual Química**, 12 (2), 335-344, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20200026>. Acesso em: 04 mar 2025.

MARIM, R A; AVELINO, K V; LINDE, G A; COLAUTO, N B; VALLE, J S. *Lentinus crinitus* strains respond differently to cultivation pH and temperature. **Genetics And Molecular Research**, v. 17, p. gmr16039885, 2018.

MARCANTE, R. de C.; MENIQUETTI, A.; PASCOTTO, C. R.; GAZIN, Z. C.; MAGALHÃES, H. M.; COLAUTO, N. B.; LINDE, G. A. **Bioacumulação de zinco em micélio de *Agaricus subrufescens***. Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR, Umuarama, v. 17, n. 4,

p. 249-252, out./dez. 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/5025-15606-3-PB.pdf>. Acesso: 21 ago. 2024.

MENIQUETI, A. B. *et al.* Iron bioaccumulation in *Lentinus crinitus* mycelia cultivated in agroindustrial byproducts. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, p. 4965-4974, 2021. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-021-01353-w> Acesso em 22 de novembro 2024.

PACHAIAPPAN, R. *et al.* A review on biofiltration techniques: recent advancements in the removal of volatile organic compounds and heavy metals in the treatment of polluted water. **Bioengineered**, v. 13, n. 4, p. 8432-8477, 2022.

PETERSEN, J. H. **The kingdom of Fungi**. Dinamarca: Gyldendal, 2012.

SANUMA, O. I.; Tokimoto, K.; Sanuma, C.; Autori, J.; Sanuma, L.R.; Sanuma, M.; Martins, M.S.; Menolli Jr., N.; Ishikawa, N.K.; Apiamö, R.M. 2016. **Sanöma samakönö sama tökö nii pewö oa wi itökö waheta: Ana amapö. Enciclopédia dos alimentos Yanomami (Sanöma): cogumelos**. 1st. ed. Hutukara Associação Yanomami, Boa Vista; Instituto Socioambiental, São Paulo, 108p.

SANTOS FILHO, J. R.; *et al.* *Lentinus crinitus*: Traditional use, phytochemical and pharmacological activities, and industrial and biotechnological applications. **Food Research International**, 172, 113179. 2023 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399692300724X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 abr 2025.

SANTOS SILVA, A. L; DOS SANTOS, E. C. L; LÓPEZ, A. M. Q. Indústria sucroalcooleira: qualidade de sua água de lavagem biotratada para reuso na fertirrigação. **Ciência Ambiental e Pesquisa em Poluição**. v, 27. 2020. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-07634-6?utm_source=. Acesso em 04 abr 2025.

SILVA NETO, C. M; et al. Bromatological aspects of *Lentinus crinitus* mushroom (Basidiomycota: Polyporaceae) in agroforestry in the Cerrado. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 659-664, 2019.

SINGH, S.; TIWARI, S. (2019). Climate Change, Water and Wastewater Treatment: Interrelationship and Consequences. In: Singh, R., Kolok, A. and Bartelt-Hunt, S., Eds., Water Conservation, Recycling and Reuse: **Issues and Challenges**, Springer, Singapore, 203-214. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3179-4_11

SOUSA GUIMARÃES, et al. A comprehensive phylogeny of *Panus* (Panaceae, Polyporales) and revisited Brazilian diversity. **Article**, n.19, v.23. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11557-024-01955-3?> Acesso em: 22 mar 2025.

ZAKIL, F. A. *et al.* Growth and yield of *Pleurotus ostreatus* using sugarcane bagasse as an alternative substrate in Malaysia. In: IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 022021.