



TECNOLOGIAS AMBIENTAIS INOVADORAS

Volume 1

Organizadoras
Rosana de Cassia de Souza Schneider
Carine Baggio
Sandra Elisia Lemões Iepsen

Organizadoras

Rosana de Cassia de Souza Schneider

Carine Baggiotto

Sandra Elisia Lemões Iepsen

**TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS
INOVADORAS**

Volume 1

Araraquara

Letraria

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Tecnologias ambientais inovadoras [livro eletrônico]:
volume 1 / organizadoras Rosana de Cassia de Souza
Schneider, Carine Baggio, Sandra Elisia Lemões Iepsen.
- Araraquara, SP: Letraria, 2023.

PDF.

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5434-048-9

1. Ecologia humana 2. Esgoto - Tratamento 3. Inovações
tecnológicas 4. Meio ambiente 5. Tecnologia - Aspectos
ambientais I. Schneider, Rosana de Cassia de Souza.
II. Baggio, Carine. III. Iepsen, Sandra Elisia Lemões.

23-172251

CDD-304.02

Índices para catálogo sistemático:

1. Meio ambiente : Influência do homem : Ecologia 304.2
Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

3º SIMPÓSIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Comissão Organizadora

Profa. Dra. Adriane L. Rodriguez

Profa. Dr. Enio Leandro Machado

Doutoranda Leticia Mesacasa

Doutoranda Sandra Elisia Lemões Iepsen

Profa. Dra. Rosana de C. de S. Schneider

Apoio

Milena Oliveira dos Santos

Ana Claudia Seibel Schuh

Comitê Científico

Adilson Ben da Costa

Adriane Lawisch Rodriguez

Andreas Kohler

Carine Baggiotto

Carlos A. Lutterbeck

Diego Prado de Vargas

Eduardo Alexis Lobo Alcayaga

Ênio Leandro Machado

Jorge André Ribas Moraes

Liane Mahlmann Kipper

Lisianne Brittes Benitez

Maria Viviane Gomes Muller

Rosana de Cassia de Souza Schneider

Valeriano Antonio Corbellini

Tiele Medianeira Rizzetti

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	8
SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: APLICAÇÕES PRÁTICAS	9
Carlos Alexandre Lutterbeck, Carine Baggiotto, Rosana de Cassia de Souza Schneider, Gustavo Stolzenberg Colares, Odorico Konrad, Adriane Lawisch Rodriguez e Ênio Leandro Machado	
POTENCIAL BACTERIANO DE DESCOLORAÇÃO DE CORANTES AZOICOS ALIMENTÍCIOS	28
Mariana Tomazi, Ana Paula Müller, Sabrina Beloni Vaz, Ana Carolina Müller, Bruno Kauã Oliveira Rosa, Lisianne Brittes Benitez	
ANÁLISE DE VIABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UM FRIGORÍFICO LOCALIZADO EM CONDOR/RS	40
Maurício Sandim, Demis Pessatto Faqui, Esteban Danilo Pacheco Calderón, Sandra Elisia Lemões Iepsen, Jorge André Ribas Moraes, Enio Leandro Machado	
EFEITO DO MÉTODO DE SECAGEM DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS NA DESCOLORAÇÃO DO CORANTE AZOICO AMARANTO	52
Sabrina Beloni Vaz, Ana Carolina Müller, Bruno Kauã Oliveira Rosa, Lisianne Brittes Benitez	
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO: UMA ANÁLISE DAS EMPRESAS PERTENCENTES AO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL POLOVEST ERECHIM	60
Tainá Stempkowski Terra, Rosiane Serrano, Raquel de Campos, Fernanda Caumo Theisen, Liane Mahlmann Kipper, Ana Julia Dal Forno	
ESTUDO PRELIMINAR DE UM NOVO PRODUTO A PARTIR DA MICROALGA <i>CHLORELLA SP.</i> COMO BIOESTIMULANTE DE GERMINAÇÃO	72
Eline Schmidt Limons, Alessandra de Oliveira Machado, Giséle Alves, Michele Hoeltz, Cláudio Luiz Mayer, Lisianne Brittes Benitez, Rosana de Cassia de Souza Schneider	
PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DA <i>CHLORELLA SP.</i> PRODUZIDA EM EFLUENTE DE CERVEJARIA ARTESANAL	80
Gisele Alves, Tiele Medianeira Rizzetti, Michele Hoeltz, Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante, Rosana de Cassia de Souza Schneider	

IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA EMPREGO DA UVA-DO-JAPÃO (<i>HOVENIA DULCIS THUNB</i>) EM PATENTES BRASILEIRAS	90
Isabel Grunevald, Patrik G. Wiesel, Liane Mahlmann Kipper, Eduardo A. Lobo	
WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: PARTIDA DO SISTEMA	101
Lenin Domingues Garcia, Tainá Conzatti, Camila Naele Giovanella Stacke, Ênio Leandro Machado, Carlos Alexandre Lutterbeck, Gustavo Stolzenberg Colares, Odorico Konrad	
EMPREGO DE MICROALGAS PARA A REMOÇÃO DE RESÍDUOS DE ATRAZINA E CLOMAZONE EM ÁGUAS UTILIZANDO FOTOBIORREATOR DE COLUNA DE BOLHAS	109
Luana Bertolo Y Castro Bender, Tiele Medianeira Rizzetti, Rosana de Cássia de Souza Schneider	
REMANESCENTES FLORESTAIS URBANOS E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	121
Marcos H. Schroeder, Patrik Gustavo Wiesel, Bruno Depra, Eduardo Alcayaga Lobo	
SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA APLICADA EM ESCALA REAL: DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ESGOTO DOMÉSTICO	132
Daniel Brinckmann Teixeira, Antônio Domingues Benetti, Adriane de Assis Lawisch Rodríguez, Rosana de Souza de Cássia Schneider, Marçal Pires, Günther Gehlen, Ênio Leandro Machado	
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA APLICADA A WETLANDS CONSTRUÍDOS	140
Eduardo E. A. Sosa, Deison A. T. Fochi, Letícia Mesacasa, Gustavo S. Colares, Fábio Oliveira, Daniel Brinckmann Teixeira, Maurício Kersting, Adriane L. Rodriguez, Carlos A. Lutterbeck, Ênio Leandro Machado	
ANÁLISE MULTI TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES LANDSAT 5 E 8 PARA OS ANOS DE 1986 E 2023	153
Bruno Deprá, Patrik Gustavo Wiesel, Marcos Henrique Schroeder, Eduardo Alcayaga Lobo	
NANOPARTÍCULAS DERIVADAS DE RESÍDUOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES: REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	164
Esteban Danilo Pacheco Calderón, Maurício Sandim, Carolina Vieira Barbosa, Adriane Lawisch Rodriguez, Enio Leandro Machado	

INDÚSTRIA DA MODA E O EXCESSO DE RESÍDUOS TÊXTEIS: DA PRODUÇÃO DE MICROPLÁSTICOS A POSSÍVEIS CAMINHOS SUSTENTÁVEIS **177**

Alessandra de Quadros, Liege Martini, Sandra Elisia Lemões Iepsen, Liane Mahlmann Kipper, Jorge André R. Moraes, Ana Julia Dal Forno, Rosiane Serran

CONDIÇÕES DE TRABALHO E SAÚDE DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS, DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19 NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ-PR **188**

Victoria Maria Scremin Corrêa Lima Ferreira, Maiza Karine Barcia, Tatiane Bonametti Veiga

APRESENTAÇÃO

Apresentamos este *e-book* como uma iniciativa para ampliar a divulgação das Tecnologias Ambientais Inovadoras. Nossa intenção é promover o compartilhamento de trabalhos realizados por grupos de pesquisa que se dedicam ao desenvolvimento, avaliação e aplicação dessas tecnologias, bem como das inovações envolvidas. Este livro é o resultado do nosso compromisso em avançar nessa área e o início é uma publicação que reúne trabalhos apresentados no Seminário Sul de Inovações em Tecnologias Ambientais. O evento teve como objetivo central fomentar a troca de experiências entre pesquisadores e pós-graduandos que se dedicam às Tecnologias Ambientais e às possíveis inovações no Sul do Brasil. Buscamos aproximar suas pesquisas, de modo que ao longo do tempo eles possam atuar em colaboração.

Organizado por integrantes dos corpos docente e discente do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), o Seminário ocorreu no formato virtual com atividades síncronas de apresentação das pesquisas e seus resultados. A programação envolveu ainda a realização de uma mesa redonda de abertura, a apresentação oral de 16 trabalhos científicos e uma palestra de encerramento. Neste seminário, foram debatidos trabalhos que vêm sendo realizados em diferentes instituições de pesquisa.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: APLICAÇÕES PRÁTICAS

Carlos Alexandre Lutterbeck^{1,2}, Carine Baggio¹, Rosana de Cassia de Souza Schneider^{1,3}, Gustavo Stolzenberg Colares^{4,5}, Odorico Konrad⁵, Adriane Lawisch Rodriguez¹, Ênio Leandro Machado^{1,3}

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900 Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

² Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

³ Departamento de Ciências, Humanidades e Educação, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – *Campus* Bento Gonçalves

⁵ Centro de Pesquisas em Energia e Tecnologias Sustentáveis – CPETS – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil.

No Brasil, o índice de tratamento de esgotos gerados nos municípios abrangidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) corresponde a pouco mais de 51% (SNIS, 2022). Considerando-se apenas a região Sul do país, estes dados são ainda mais alarmantes, sendo que apenas 46,7% da população desta região recebe tratamento de esgoto (SNIS, 2022). A ausência de sistemas de tratamento de efluentes e a consequente liberação destes sem um tratamento adequado acaba impactando negativamente toda a biota aquática de corpos hídricos (SNIS, 2022). Além disso, muitas doenças que se fazem presentes no território brasileiro estão diretamente relacionadas à falta de sistemas de tratamento de esgotos (DIEP *et al.*, 2021). Assim, uma das metas previstas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (6º ODS – Água Potável e Saneamento) e no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) é alcançar até o ano de 2033 o acesso universal ao esgotamento sanitário no território brasileiro.

Todavia, o tratamento de efluentes constitui-se como um dos maiores desafios do PLANSAB. Isso ocorre porque o Brasil, um país de tamanho continental, possui regiões com baixa densidade populacional, nas quais os altos custos do tratamento centralizado dificultam a implantação de estações de tratamento de esgoto, principalmente devido às grandes distâncias em que o efluente tem que ser transportado, muitas vezes exigindo estações de bombeamento para chegar à área de tratamento (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Comparado com o saneamento centralizado, o saneamento descentralizado está sendo progressivamente considerado como solução mais sustentável, sendo que a maioria não requer energia ou operação cara ou sofisticada, sendo fácil de se adaptar a diferentes contextos geográficos.

Embora ainda sejam comumente utilizados no tratamento descentralizado de efluentes no mundo todo, muitas vezes os tanques sépticos não atingem taxas satisfatórias de remoção de poluentes e dessa forma nutrientes e parte da matéria orgânica dissolvida podem passar pelo tratamento e permanecer no efluente (SAEED *et al.*, 2021). Nesse contexto, torna-se necessária a integração de unidades que possam garantir um tratamento adequado visando um descarte seguro.

Contudo, há diversas correntes científicas que têm defendido a importância não apenas do tratamento dos efluentes, a fim de que sejam atendidos limites máximos de emissões de poluentes estabelecidos por diferentes legislações para descarte em corpos hídricos, mas que se pense também no gerenciamento mais sustentável dos recursos hídricos com vistas ao conceito de economia circular (COLARES *et al.*, 2019). Dessa forma, além da adequação à legislação, os sistemas de tratamento podem também oferecer possibilidades de reuso das águas de acordo com diferentes finalidades, além

da recuperação de nutrientes, geração de bioenergia *in situ* e integração paisagística (COLARES *et al.*, 2021, DELL'OSBEL *et al.*, 2020). Cabe ressaltar que o marco nacional do saneamento básico (Lei n. 14.026/2020) inclui em sua redação a possibilidade de adoção de tecnologias para o tratamento descentralizado de efluentes sanitários, principalmente em áreas rurais, remotas ou ainda núcleos urbanos informais já consolidados.

Assim, considerando a efetiva aplicação do conceito de economia circular, há uma busca crescente de tecnologias limpas que possam ser utilizadas em sistemas de saneamento. Nesse contexto, destacam-se as chamadas Soluções Baseadas na Natureza (SBNs), que simulam e buscam otimizar as condições encontradas em ambientes naturais (DOTRO *et al.*, 2017). De acordo com a comissão europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2015), as SBNs são inspiradas e apoiadas pela natureza, projetadas para enfrentar desafios sociais de forma eficiente e que fornecem simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a construir resiliência. Segundo Langerberger *et al.* (2020), estas alternativas de tratamento podem, além de reduzir os problemas ambientais decorrentes da liberação dos poluentes, possibilitar a integração paisagística, assim como a recuperação de nutrientes, energia e o reuso de água.

Considerando-se as SBNs, sistemas envolvendo *Wetlands* Construídos (WCs) são considerados uma alternativa muito interessante, visto que podem ser projetados e operados para tratar diferentes tipos de efluentes e com reconhecidas vantagens, quando comparados com sistemas convencionais, principalmente no que se refere aos custos de instalação, operação e manutenção, assim como facilidade de operação dessas tecnologias (VYMAZAL, 2010). Os WCs são sistemas de engenharia que utilizam processos presentes em ambientes naturais e plantas para o tratamento de diversos tipos de efluentes (VYMAZAL, 2010). Estes sistemas vêm sendo utilizados há mais de 50 anos (COLARES *et al.*, 2023) e são projetados para empregar e até aprimorar os mecanismos físicos, químicos e biológicos dos processos de purificação da água (VYMAZAL, 2011).

Além da capacidade de reduzir o potencial eutrófico das águas residuais tratadas apenas por processos anaeróbicos ou mistos, os WCs possibilitam a recuperação de nutrientes e energia, bem como a reutilização das águas residuárias tratadas para diversos fins. Além disso, possuem menor impacto visual, uma vez que podem ter associados a eles potencial paisagístico, levam à produção de menores quantidades de lodo de esgoto quando comparados a estações tradicionais de tratamento de efluentes e à produção de biomassa que pode ser utilizada na alimentação animal e em alguns casos na produção de artesanato, quando do uso do Papiro nos tanques (DELL'OSBEL *et al.*, 2020) Apesar destas vantagens, a necessidade de utilização de grandes áreas de terra para obter boas

taxas de remoção de poluentes pode, em muitos casos, impedir a implementação destes sistemas de tratamento em locais que haja baixa disponibilidade de área (HORN *et al.*, 2014). Assim, a redução das áreas necessárias para sua implementação e a obtenção de taxas de remoção de poluentes satisfatórias, que possam atender às legislações vigentes, a utilização de WC em sistemas integrados, ou seja, associados a outros processos de tratamento, apresenta-se como uma alternativa muito promissora (LUTTERBECK *et al.*, 2017).

Ao longo dos últimos anos, autores têm dedicado suas pesquisas à incorporação de aspectos paisagísticos, utilizando diferentes plantas ornamentais nos sistemas de WCs. Dell Osbell *et al.* (2020) utilizaram 5 espécies ornamentais em seu estudo: *Canna x generalis*, *Equisetum sp.*, *Chrysopogon zizanioides*, *Hymenachne grumosa* e *Cyperus papyrus nanus* (Figura 1). Stefanotou *et al.* (2023) realizaram um estudo utilizando três espécies de plantas (*Trachelospermum jasminoides*, *Lonicera japonica*, *Callistemon laevis*) em um *Wetland* Construído de Fluxo vertical para o tratamento de águas cinzas. Os resultados obtidos mostraram que sistemas plantados com *L. japonica* e *C. laevis* melhoraram a estética do sistema e produziram água efluente de alta qualidade.

Leiva *et al.* (2018) utilizaram duas plantas ornamentais *Cyperus papyrus* e *Zantedeschia aethiopica* em sistemas de *Wetlands* Construídos de fluxo horizontal empregados para tratar os efluentes de uma comunidade rural no Chile. Embora não tenham identificado melhorias com relação ao desempenho do sistema quando comparado a uma monocultura, os autores afirmam que um sistema de tratamento cultivado com diferentes espécies ornamentais melhora a paisagem, a qualidade do *habitat* para a comunidade e a resistência ao estresse ambiental. Kotsia *et al.* (2020) vegetaram *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical com três espécies ornamentais, visando o tratamento de águas “cinzas”. Os resultados obtidos pelos autores demonstraram que a *Pittosporum tobira* e a *Hedera Helix* se adaptaram melhor, enquanto a espécie *Polygala myrtifolia* acabou sofrendo com uma perda parcial das folhas no inverno. Por fim, Kotsia *et al.* (2020) afirmam que o sistema testado com plantas ornamentais fornece uma solução técnica e economicamente viável para o tratamento de águas cinzas, com o benefício adicional de melhorar a estética de áreas urbanas, semiurbanas e turísticas.

De acordo com Kadlec e Wallace (2009), um policultivo (aplicação de mais de uma espécie simultaneamente) proporciona diversos benefícios ecológicos, pois o número de espécies vegetais e a complexidade estrutural dos ecossistemas geralmente têm relação direta com a riqueza de espécies da fauna silvestre. Estudos realizados por Letourneau *et al.* (2011) encontraram um efeito benéfico no uso de esquemas de diversificação de

plantas na supressão de herbívoros, aumentando seus inimigos naturais e reduzindo os danos à colheita. Em um estudo realizado por Bonner *et al.* (2015) no Jardim Botânico da Universidade Estadual de Oklahoma, foi encontrada maior abundância de inimigos naturais e polinizadores em policultivos quando comparados a sistemas com monocultivos, sugerindo esse tipo de cultivo como forma de melhorar a saúde e a reprodução das plantas.

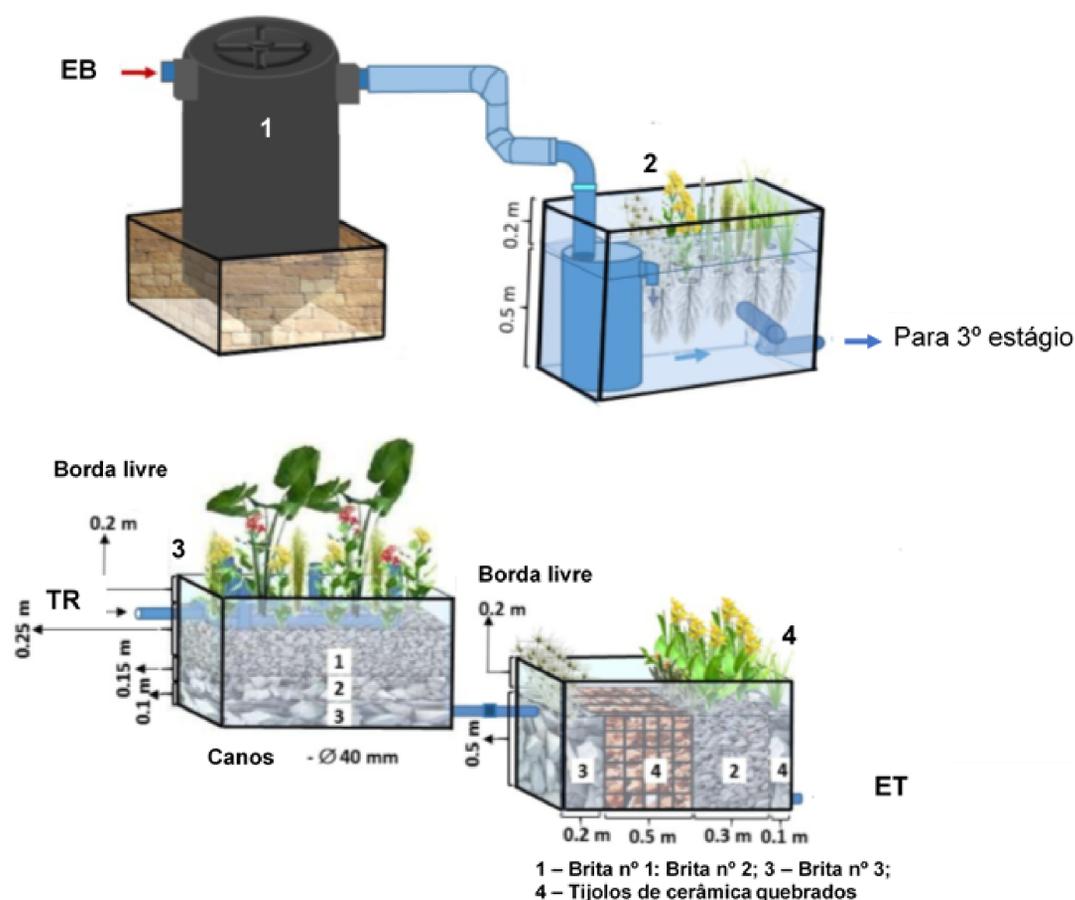


Figura 1. Representação Esquemática Detalhada do Sistema Integrado. **(1)**: Biodigestor – Reator/ Decantador Anaeróbico; **(2)**: Unidade de *Wetland* Flutuante; **(3)**: *Wetland* Construído de Fluxo Vertical; **(4)**: *Wetland* Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial; **EB**: Efluente Bruto **TR**: Tanque de Recirculação; **ET**: Efluente Tratado. Fonte: Dell’Osbel *et al.* (2020).

No que tange aos nutrientes, a liberação de compostos nitrogenados, principalmente na forma de amônia e fosfatos, pode levar à eutrofização de corpos hídricos, resultando em diversos problemas ambientais, sociais e econômicos. Assim, é necessário que os sistemas de tratamento de efluentes possam remover de forma eficiente estes compostos, a fim de garantir a liberação segura nos corpos hídricos. Nesse sentido, estudos empregando WCs têm oferecido, além da remoção, possibilidades de recuperação e reutilização destes compostos. Essa recuperação pode ocorrer através da incorporação na biomassa vegetal ou ainda pela adsorção e remoção de materiais reativos empregados como filtros no tratamento (DELL’OSBELL *et al.*, 2020).

Lima *et al.* (2018) obtiveram taxas de remoção de P total de $87 \pm 0,8\%$ em um sistema usando WC vertical e preenchido com tijolos quebrados em um estudo tratando efluentes

domésticos sintéticos. Hanna *et al.* (2023) investigaram a remoção de fósforo em um *Wetland* Flutuante equipado com concreto celular reciclado (CC) para melhorar o tratamento de fósforo (P) de águas residuais agroalimentares. De acordo com os autores, a maior parte da remoção de fósforo ocorreu pelos mecanismos de sorção e precipitação no CC, representando entre 79 e 94% da massa total de P removido durante o período de monitoramento. A absorção pelas plantas contribuiu com uma remoção muito inferior (min-máx: 4-6% da massa total de P removido). Já a fração restante de P foi removida por assimilação e sedimentação de algas e biológicas.

Os resultados dos estudos realizados por Shi *et al.* (2017) apontaram remoções totais de P de $99 \pm 2\%$ para tijolos vermelhos e $100 \pm 0,3\%$ para cinzas volantes de tijolos em um WC vertical, com o tratamento de esgoto sintético simulando esgoto de baixa resistência. Dell’Osbel *et al.* (2020) instalaram uma barreira adsorvente removível composta por resíduos de construção civil (tijolos quebrados) em uma unidade de WCs de fluxo horizontal. Os resultados obtidos apontaram uma remoção eficiente de fósforo (94%) após a passagem do efluentes pela unidade com barreira reativa.

Ainda em relação ao conceito de economia circular, os WCs têm sido amplamente discutidos como alternativa viável para, além de realizar o tratamento, oferecer possibilidade de reuso local das águas residuárias. Já no final da década de 1990, a NBR 13969 (ABNT, 1997) apresentou as 4 diferentes classes de água de reuso e os respectivos parâmetros de qualidade a serem atingidos. Dependendo do grau e da eficiência do sistema de tratamento, o efluente pode ainda ser reaproveitado para outras finalidades não potáveis e mais domésticas, tais como lavagem de pisos, irrigação de jardins, descargas de vasos sanitários e fins paisagísticos (lagos ou chafarizes), conforme descrito pela ABNT (1997).

Em nível estadual, a Resolução CONSEMA 419/2020 estabelece critérios e procedimentos para o reuso de águas residuárias no estado do Rio Grande do Sul. A Resolução define diferentes padrões de emissão dependendo da finalidade do reuso, sendo que, para fins urbanos, o efluente tratado deverá atender limites relacionados à presença de coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, cloro residual e condutividade elétrica. Já para fins agrícolas e florestais, o efluente tratado deverá atender uma quantidade muito maior de padrões de emissão, os quais englobam por exemplo pH, coliformes termotolerantes e as concentrações de diversos metais (CONSEMA – 419, 2020).

Entretanto, é importante destacar que nem todos os estados brasileiros possuem legislação própria para o reuso de efluentes líquidos, sendo nestes a NBR 13969 (ABNT, 1997) ainda a principal referência. Considerando uma abrangência internacional, a

legislação americana estabelece diretrizes para o reuso das águas residuárias através da EPA /600/R-12/618. Já na União Europeia, a Resolução 2020/741 do parlamento europeu e do conselho de 25 de maio de 2020, sobre requisitos mínimos para reutilização de água, estabelece os valores para o uso de água de reuso na irrigação agrícola, considerando quatro categorias de A (requisitos mais rigorosos) a D (requisitos mais baixos).

Os resultados da pesquisa realizada por Pereira *et al.* (2020), utilizando um sistema integrado composto por um reator anaeróbio, WC vertical, WC flutuante e WC horizontal subsuperficial para tratar efluentes de um campo universitário, apontam, de acordo com o preconizado na NBR 13969, possibilidades de reuso das águas residuárias tratadas na Classe IV para pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outras culturas, seja por escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Na pesquisa desenvolvida por Dell’Osbel *et al.* (2020), os resultados obtidos mostraram que o efluente final do sistema integrado com Reator Anaeróbio e WCs híbridos (combinações de diferentes tipos de WCs) atende os requisitos para ser classificado na Classe I, categoria mais rígida da NBR 13969/97. Esta classe de reuso permite, por exemplo, lavagem de carros e outros usos com contato direto do usuário com a água e possível aspiração de aerossóis pelo operador, inclusive em bebedouros, sempre contendo cloro residual entre 0,5 mg L⁻¹ e 1,5 mg L⁻¹.

Mais recentemente, estudos nessa área têm dedicado suas atenções a processos de recuperação/geração de energia *in situ*, através das chamadas células de combustível microbianas (CCM). Nesse sentido, dependendo da concepção e da operação, os WCs podem desenvolver naturalmente condições redox estratificadas, com zonas mais aeróbicas perto da superfície e zonas mais anaeróbicas no fundo, que são os mesmos requisitos e princípios de cátodos e ânodos em uma CCM (XU *et al.*, 2016). Assim, a fim de aproveitar este potencial redox, autores têm utilizado eletrodos nestas diferentes camadas (óxicas e anóxicas ou anaeróbicas), os quais quando conectados a um circuito externo e a presença de bactérias eletrogênicas, são suficientes para começar a gerar bioenergia (CORBELLA; PUIGAGUT, 2016). De acordo com Oodally *et al.* (2019), as CCMs consistem em dispositivos bioeletroquímicos que geram eletricidade a partir da oxidação da matéria orgânica por bactérias eletroquimicamente ativas.

O estudo de revisão publicado por Khandaker *et al.* (2021) faz um compilado das aplicações de sistemas de células de combustível microbiana em diferentes tipos de efluentes, incluindo os de origem doméstica, industrial e agroindustrial. Segundo os autores, os efluentes contêm muitos componentes orgânicos biodegradáveis que podem ser transformados em fonte de bioenergia. Khandaker *et al.* (2021) também ressaltam

o fato de a tecnologia poder ser utilizada no controle e na gestão da poluição, uma vez que estudos têm demonstrado que as CCM podem transformar compostos tóxicos em metabólitos menos nocivos. Esses resultados podem ser corroborados por Lutterbeck *et al.* (2020) que observaram uma diminuição global da toxicidade de efluentes oriundos de lavanderia hospitalar após o tratamento com CCM.

Colares *et al.* (2021) investigaram a geração de bioeletricidade em sistema integrado de tratamento de efluentes (Figura 2), composto por filtro anaeróbio, *wetlands* flutuantes e uma célula de combustível microbiana, utilizando efluentes gerados em um *campus* universitário e com características semelhantes ao doméstico. De acordo com os autores, a geração de energia sofreu influência do tamanho da raiz das plantas utilizadas, do tempo de detenção hidráulica e das condições climáticas. Segundo Colares *et al.* (2021), o tamanho das raízes das macrófitas impactou positivamente na geração de energia, devido à liberação de oxigênio, excreção de exsudatos e por proporcionar maior área de superfície para o crescimento do biofilme. Portanto, a seleção de plantas para geração de bioenergia deve priorizar macrófitas com maior desenvolvimento dos sistemas radiculares. Por outro lado, o tempo de detenção hidráulica e a alimentação em batelada esparsa impactaram negativamente a geração de bioenergia em circuito aberto, pois os valores das tensões médias tenderam a diminuir com o tempo, enquanto na configuração de circuito fechado (com cátodos conectados a resistências de 1000 Ω) as tensões médias em geral não apresentaram a mesma tendência de decréscimo.

Em relação aos efluentes industriais, um dos efluentes mais investigados, devido à presença de produtos químicos sintéticos, corantes e outros poluentes orgânicos, é o gerado nas indústrias têxteis (KHANDAKER *et al.*, 2021). Kalahil *et al.* (2011) utilizaram CCM para realizar a remoção da cor de efluentes de uma indústria têxtil. Os resultados obtidos indicaram reduções de cor de 77% no cátodo e 73% e no ânodo, enquanto as remoções de Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram de 77% e 71% nos sítios catódico e anódico respectivamente. Com relação à geração de bioenergia, a densidade de corrente medida foi de 1.7W.m⁻³ após 48 horas.

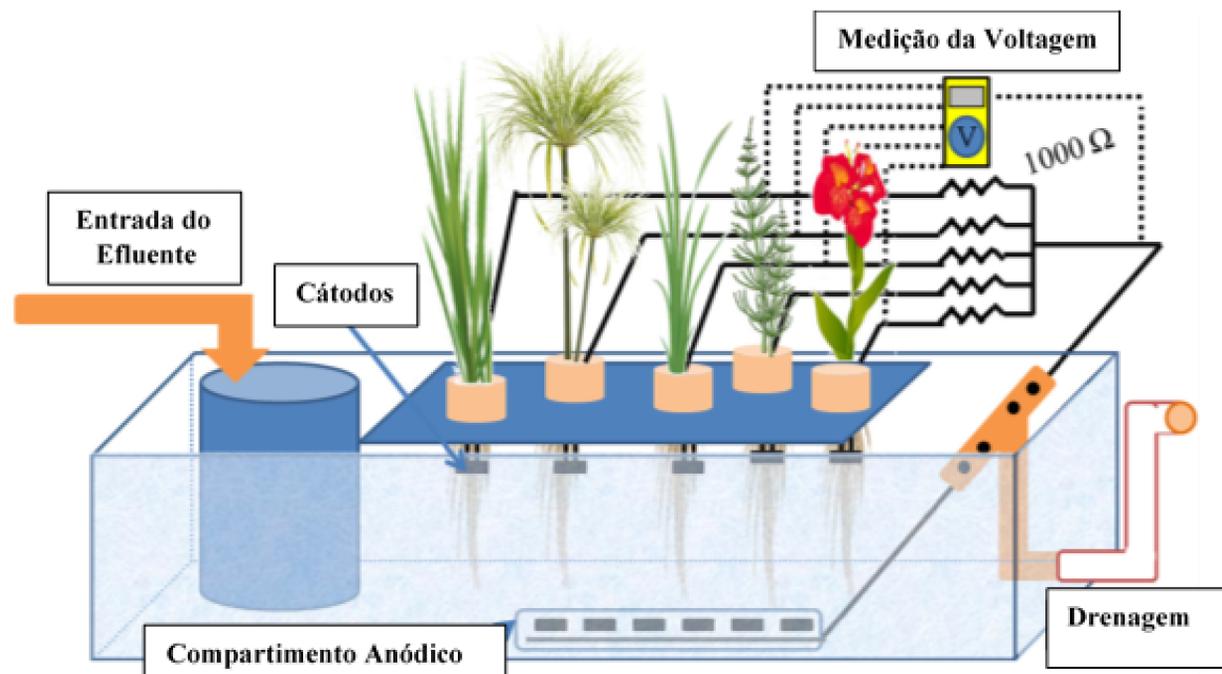


Figura 2. Sistema de *Wetlands* Flutuantes com decantador primário e integrado com Célula de Combustível Microbiana. Fonte: Colares *et al.* (2022).

Os efluentes produzidos em atividades como agricultura, matadouros de aves, bovinos e suínos, produção de laticínios, entre outros, pertencem ao grupo dos resíduos agroalimentares e são caracterizados pela alta carga orgânica e potencial tóxico (KHANDAKER *et al.*, 2021). Devido aos altos valores de DQO, além da presença de gorduras e carboidratos, os efluentes produzidos em abatedouros apresentam potencial para gerarem bioenergia em CCMs. O estudo realizado por Niessen *et al.* (2004) empregou um CCM de câmara única para tratar as águas residuárias de um abatedouro, atingindo uma densidade de corrente de cerca de 32 mW.m^{-2} com uma remoção de 72% de DQO. Outro efluente comumente utilizado em pesquisa com CCMs é o produzido em criadouros de porcos, uma vez que este possui presença de fezes, nutrientes, urina e outros compostos. Kim *et al.* (2007) observaram remoções de DQO e NH_3 de 85,6% e 73,6%, respectivamente, com uma densidade de corrente máxima de $382,5 \text{ mW.m}^{-2}$.

Diversos autores têm sugerido e avaliado potenciais aplicações para a bioenergia gerada em células de combustível microbianas, por exemplo, para produção de biohidrogênio e biocombustível, carga e descarga de ultracapacitores, sensores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no local, sensores de temperatura sem fio, carregamento de *smartphones* e também diodos emissores de luz (LEDs) e para iluminação interna (GUADARRAMA-PÉREZ *et al.*, 2019). Outros grupos de pesquisa sugerem a utilização da energia produzida em sistema bioelétricos em etapas de polimento final dos efluentes, por exemplo, processos oxidativos avançados (JAYASHREE *et al.*, 2019).

Muito embora diversos autores tenham obtido resultados promissores através do uso das CCM, estes foram em sua maioria obtidos através de sistemas desenvolvidos em escala

laboratorial. É consenso entre os pesquisadores que, para que ocorra o escalonamento desta tecnologia, ainda é necessário percorrer um longo caminho. Atualmente, os principais desafios da aplicação em escala real de CCMs estão relacionadas à baixa produção de energia, utilização de eletrodos que não encareçam demasiadamente o processo em escalas maiores, aumento da resistência interna criada a partir de unidades maiores, complexidade e variação das cargas poluentes dos efluentes, variações de temperatura e chuvas intensas, avaliação de novas espécies de macrófitas que possam promover maior liberação de oxigênio nas raízes e a inoculação de cepas microbianas para otimizar o desempenho (KHANDAKER *et al.*, 2021; DOTRO *et al.*, 2017; SAMAL *et al.*, 2021).

Por fim, o presente capítulo faz menção a outra SBN que vêm sendo frequentemente utilizada ao longo dos últimos anos, as microalgas. A revisão publicada por de Souza *et al.* (2019) aborda a associação das microalgas às tecnologias limpas. Segundo os autores, as microalgas têm se tornado uma importante alternativa de tecnologias limpas devido aos seus inúmeros benefícios, como a possibilidade de obtenção de bioprodutos, a biorremediação e as reduções nos impactos causados pelos gases do efeito estufa. De Souza *et al.* (2019) afirmam ainda que combinação de microalgas com águas residuárias pode ser uma alternativa adequada para melhorar as tecnologias limpas, uma vez que muitas espécies podem ser cultivadas neste meio, removendo contaminantes e reduzindo o uso de água potável para o cultivo, ao mesmo tempo em que produzem biomassa.

Diversas espécies de microalgas têm se mostrado eficientes em processos de biorremediação, removendo/eliminando nutrientes, patógenos, metais pesados e outros nutrientes. Além disso, devido ao fato de possuírem uma grande resistência a toxinas, espécies como *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, e *Ankistrodesmus* possuem capacidade de se desenvolverem em diferentes tipos de efluentes (ABDELFATTAH *et al.*, 2023). Dessa forma, cada vez mais as microalgas têm sido aplicadas no tratamento de diferentes efluentes, uma vez que oferecem diversas outras possibilidades além da remoção de poluentes e purificação das águas residuais, por exemplo, a produção de biomassa para diversas finalidades, como para alimentação animal e para produção de biocombustíveis e biofertilizantes. Além disso cabe ressaltar que o emprego das microalgas no tratamento de efluente pode contribuir para reduzir as concentrações de gases de efeito estufa e, portanto, do aquecimento global, uma vez que, através da fotossíntese, as microalgas promovem o sequestro de CO₂ da atmosfera.

Diversas pesquisas têm empregado as microalgas no tratamento de efluentes gerados em diferentes setores, como doméstico, industrial e hospitalar. Em relação aos

efluentes industriais, grande atenção tem sido dada à remoção de metais pesados dos efluentes. Nesse sentido, algumas espécies de algas verdes, incluindo *Chlorella miniata*, *C. vulgaris*, *C. reinhardtii*, and *Sphaeroplea*, mostraram-se eficientes na remoção destes compostos. Outros efluentes que têm sido submetidos ao tratamento com microalgas são os produzidos na indústria têxtil. O processo de ficoremediação, no qual poluentes como nutrientes, corantes, metais pesados e xenobióticos são removidos ou biotransformados pelas microalgas, tem sido amplamente utilizado. Segundo Tsai *et al.* (2010), a absorção de corantes por microalgas tem várias vantagens, incluindo o fato de ser ambientalmente benigna, ter alta eficiência de adsorção, ser um processo simples, utilizar materiais prontamente disponíveis e possuir baixos custos.

O estudo de revisão publicado por Abdelfattah *et al.* (2023) traz um compilado de espécies de microalgas que se mostraram eficazes na remoção de diferentes fármacos. De acordo com os autores, processos de biossorção, bioacumulação e biodegradação estão todos envolvidos na remoção de fármacos por microalgas do ambiente, sendo que a utilização destes mecanismos depende das propriedades físico-químicas destes compostos. De Godos *et al.* (ANO00) observaram taxas de absorção superiores a 50% para tetraciclina utilizando *Chlorella vulgaris*. Em outro estudo, Zhang *et al.* (2014) verificou que o principal mecanismo de remoção de 17 α -estradiol foi a biodegradação, atingindo uma taxa de 85% após 7 dias de tratamento com *Scenedesmus dimorphus*. Os resultados obtidos por Song *et al.* (2019) indicaram bioacumulação de Sulfametoxazol, carbamazepina, trimetoprima e florfenicol por difusão passiva usando *Chlorella sp.*

Em relação aos efluentes domésticos ou com características similares, as microalgas têm sido empregadas visando, além do tratamento, a geração de biomassa e a produção de biocombustíveis. Silveira *et al.* (2019) investigaram a eficiência do tratamento de efluentes gerados em um *campus* universitário através de um sistema integrado composto por reator anaeróbio, tanque de microalgas e *Wetlands* Construídos (Figura 3). Após 17 dias de tratamento, além da remoção da carga orgânica, o sistema conseguiu reduzir de forma eficiente a toxicidade dos efluentes. Em outro estudo realizado por Silveira *et al.* (2022), os autores avaliaram a potencialidade de um sistema integrado (reator anaeróbio + microalgas + *wetlands* construídos) realizar o tratamento de efluentes domésticos, além de produzir biogás a partir da biomassa gerada. Os resultados obtidos pelos autores indicam a possibilidade de utilização da biomassa algal (*Chlorophyceae*) para produção de biogás, com os melhores resultados durante a primavera. Nesse período, foram obtidos valores médios de potencial de geração de biogás e potencial de geração de metano de 502.70 NmL-gSV⁻¹ e 312.43 NmL-gSV⁻¹, respectivamente.

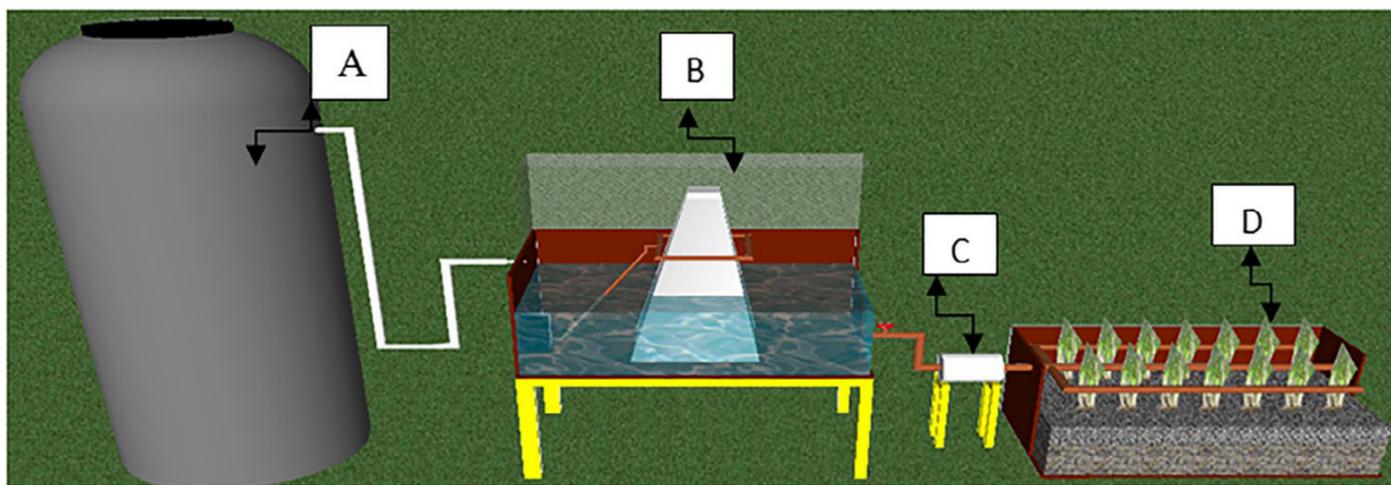


Figura 3. Representação Esquemática do Sistema utilizado por Silveira *et al.* (2022). (A) Reator Anaeróbio, (B) Fotobioreator de Microalgas, (C) Filtro Separador da Biomassa e (D) Unidade de Wetlands Construídos de Fluxo Vertical. Fonte: Silveira *et al.* (2022).

Embora muitos estudos tenham apresentado resultados promissores em relação à utilização de microalgas para diferentes finalidades, por exemplo, biorremediação, geração de biomassa e produção de biocombustíveis, é preciso salientar que foram realizados, em sua maioria, em escala laboratorial e muitas vezes sob condições controladas. Assim, da mesma forma, para as CCM, a utilização das microalgas no tratamento de efluentes com aproveitamento da biomassa ainda possui uma série de desafios que precisam ser superados. O primeiro deles está relacionado diretamente ao escalonamento da tecnologia para sistemas reais, nos quais há variação das condições ambientais. Um segundo ponto de dificuldade encontra-se na separação da biomassa das microalgas, principalmente em culturas suspensas. Além disso, é preciso buscar soluções para o tratamento de efluentes com alta toxicidade e coloração escura, uma vez que estes fatores costumam prejudicar o desenvolvimento das microalgas. O quarto ponto diz respeito aos modos de cultura das algas em diferentes regiões geográficas, considerando-se o fato de que há variações na disponibilidade de luz solar e nas temperaturas. Por fim, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que facilitem o monitoramento do desempenho, além de realizar uma análise detalhada dos custos envolvidos e, dessa forma, avaliar a viabilidade econômica do tratamento com microalgas quando comparado a métodos tradicionais (ABDELFATTAH *et al.*, 2023).

Dessa forma, as SBNs se apresentam como importantes tecnologias para sanear problemas de coleta e tratamento de efluentes de forma eficiente. Não somente, além do desempenho, as SBNs podem contribuir na busca pelo gerenciamento mais sustentável de recursos hídricos assim como na aproximação dos serviços de saneamento do conceito de Economia Circular, através da recuperação de recursos, sequestro de CO₂ da atmosfera, serviços ecossistêmicos e melhoria na qualidade de vida. Em contrapartida, fica evidente a necessidade de desenvolvimento de novas pesquisas visando o aprimoramento destas

tecnologias, seja através da compactação de sistemas (redução de necessidade de área), novas combinações de espécies de plantas e ainda aprimoramento da eficiência de tratamento dos sistemas implementados, uma vez que os padrões de qualidade ambiental tendem a ser mais restritivos com o passar do tempo. O presente *e-book* tem como objetivo apresentar algumas das pesquisas desenvolvidas e apresentadas no evento 3ª edição do Seminário Sul de Inovações em Tecnologias Ambientais, e de que forma esses estudos podem promover o avanço tecnológico e a difusão das SBNs na região sul brasileira.

AGRADECIMENTOS

Carlos Alexandre Lutterbeck agradece ao CNPq – Chamada CNPq/MCTI/BRICS-STI Nº 04/2022, Processo 440111/2022-6 e a FAPERGS Chamada 14/2022 – AUXÍLIO RECÉM-DOUTOR ou RECÉM-CONTRATADO – ARD/ARC, Termo de Outorga 300079/2023-0.

Carlos Alexandre Lutterbeck e Ênio Leandro Machado agradecem a FAPERGS/CNPq – PROGRAMA DE APOIO À FIXAÇÃO DE JOVENS DOUTORES NO BRASIL, Processo 300079/2023-0.

REFERÊNCIAS

ABDELFAH, A.; ALI, S. S.; RAMADAN, H.; EL-ASWAR, E. I.; ELTAWAB, R.; HO, S.-H.; ELSAMAHY, T.; LI, S.; EL-SHEEKH, M.M.; SCHAGERL, M.; KORNAROS, M.; SUN, J. Microalgae-based wastewater treatment: mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects. **Environmental Science Ecotechnology**, v. 13, 100205, 2023.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas/Brazilian Association of Technical Standards). NBR 13969: 1997. Projeto, Construção e Operação de Unidades de Tratamento Complementares e Disposição Final dos Efluentes de Tanques Sépticos: Procedimentos/Procedures. Rio de Janeiro.

ARIAS, C. A.; DEL BUBBA, M.; BRIX, H.. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. **Water Research**, v. 35, p. 1159-1168, 2001.

BONNER, C. B.; REBEK, E. J.; COLE, J. C.; KAHN, B. A.; STEETS, J. A. Interplanting Floral Resource Plants with Vegetable Plants Enhances Beneficial Arthropod Abundance in a Home Garden. **Oklahoma Native Plant Record**, v. 15, n. 1.

COLARES, G. S.; DELL'OSBEL, N.; WIESEL, P. G.; OLIVEIRA, G. A.; LEMOS, P. H. Z.; DA SILVA, F. P.; LUTTERBECK, C. A.; KIST, L. T.; MACHADO, Ê. L. Floating treatment *wetlands*: A review and bibliometric analysis. **Science of the Total Environment**, v. 714, p. 136776, 2020.

COLARES, G. S.; DE SOUZA CELENTE, G.; DA SILVA, F. P.; DE LORETO, A. C.; LUTTERBECK, C. A.; KIST, L. T.; MACHADO, Ê. L. Combined system for the treatment and reuse of urban wastewater: the efficiency of anaerobic reactors+ hybrid constructed *wetlands*+ ozonation. **Water Science and Technology**, v. 80, n. 2, p. 254-264, 2019.

COLARES, G. S.; DELL'OSBEL, N.; BARBOSA, C. V.; LUTTERBECK, C.; OLIVEIRA, G. A.; RODRIGUES, L. R.; BERGMANN C. P.; LOPEZ D. R.; RODRIGUEZ A. L.; VYMAZAL, J.; MACHADO, E. L. Floating treatment *wetlands* integrated with microbial fuel cell for the treatment of urban wastewaters and bioenergy generation. **Science of The Total Environment**, v. 766, p. 142474, 2021.

COLARES, G. S.; DELL'OSBEL, N.; CONRAD, I.; PARANHOS, G.; VAZ, S. B.; OLIVEIRA, G.; MESACASA, L.; FOCHI, D.; KONRAD, O.; RODRIGUES, L. R.; LUTTERBECK, C. A.; RODRIGUEZ, A. L.; VYMAZAL, J.; SEZERINO, P. H.; MACHADO, E. L. Influence of loading rates and feeding conditions on hybrid constructed *wetlands* integrated with microbial fuel. **Ecological Engineering**, v. 194, p. 107014, 2023.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – **CONSEMA – Resolução 419**. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reuso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no estado do Rio Grande do Sul. 2020.

CORBELLA, C.; PUIGAGUT, J. Microbial fuel cells implemented in constructed *wetlands*: Fundamentals, current research and future perspectives. **Contributions to science**, p. 113-120, 2016.

DA SILVA, F. P.; LUTTERBECK, C. A.; COLARES, G. S.; OLIVEIRA, G. A.; RODRIGUES, L. R.; DELL'OSBEL, N.; RODRIGUEZ, A. L.; LOPEZ, D. A. R.; GEHLEN, G.; MACHADO, E. L. Treatment of university campus wastewaters by anaerobic reactor and multi-stage constructed *wetlands*. **Journal of Water Process Engineering**, v. 42, p. 102119, 2021.

DE SOUZA, M. P.; HOELTZ, M.; BENITEZ, L. B.; MACHADO, Ê. L.; SCHNEIDER, R. D. Microalgae and Clean Technologies: A Review. **Clean – Soil, Air, Water**, 2019.

DELL'OSBEL, N.; COLARES, G. S.; OLIVEIRA, G. A.; RODRIGUES, L. R.; DA SILVA, F. P.; RODRIGUEZ, A. L.; LÓPEZ, D. A. R.; LUTTERBECK, C. A.; SLVEIRA, E. O.; KIST, L. T.; MACHADO, Ê. L. Hybrid constructed *wetlands* for the treatment of urban wastewaters: increased nutrient removal and landscape potential. **Ecological Engineering**, v. 158, p. 106072, 2020.

DIEP, L.; MARTINS, F. P.; CAMPOS, L. C.; HOFMANN, F.; TOMEI, J.; LAKHANPAUL, P. Linkages between sanitation and the sustainable development goals: A case study of Brazil. **Sustainable Development**, v. 29, n. 2, p. 339–352, 2021.

DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M., 2017. **Treatment Wetlands. vol. 7. IWA publishing, London, UK.**

EC, 2016. Background on green infrastructure. Retrieved from European Commission. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/background.htm>. Acesso em: 15 jun. 2023.

EPA, United States Environmental Protection Agency, **Guidelines for Water Reuse EPA/600/R- 12/618**, 2012.

GUADARRAMA-PÉREZ, O.; GUTIÉRREZ-MACÍAS, T.; GARCÍA-SÁNCHEZ, L.; GUADARRAMA-PÉREZ, V. H.; ESTRADA-ARRIAGA, E. B. Recent advances in constructed *wetland*-microbial fuel cells for simultaneous bioelectricity production and wastewater treatment: a review. **International Journal of Energy Research**, v. 43, p. 5106–5127, 2019.

HORN, T. B.; ZERWES, F. V.; KIST, L. T.; MACHADO, Ê. L. Constructed *wetland* and photocatalytic ozonation for university wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v. 63, p. 134–141, 2014.

KADLEC, R. H.; SCOTT, W. **Treatment Wetlands**, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2009.

KALATHIL, S.; LEE, J.; CHO, M. H. Granular activated carbon based microbial fuel cell for simultaneous decolorization of real dye wastewater and electricity generation, **New Biotechnology**, v. 29, p. 32–37, 2011.

KHANDAKER, S.; DAS, S.; HOSSAIN, M. D. T.; ISLAM, A.; MIAH, M. R.; AWUAL, M. D. R. Sustainable approach for wastewater treatment using microbial fuel cells and green energy generation – a comprehensive review. **Journal of Molecular Liquids**, v. 344, p. 117795, 2021.

KIM, J. R.; CHENG, S.; OH, S. E.; LOGAN, B. E. Power generation using different cation, anion, and ultrafiltration membranes in microbial fuel cells. **Environmental Science and Technology**, v. 41, p. 1004–1009, 2007.

KOTSIA, D.; DELIGIANNI, A.; FYLLAS, N. M.; STASINAKIS, A. S.; FOUNTOULAKIS, M. S. Converting treatment *wetlands* into “treatment gardens”: use of ornamental plants for greywater treatment. **Science of The Total Environment**, v. 744, p. 140889, 2020.

JAYASHREE, S.; RAMESH, S. T.; LAVANYA, A.; GANDHIMATHI, R.; NIDHEESH, P. V. Wastewater treatment by microbial fuel cell coupled with peroxicoagulation process. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n. 10, p. 2033–2045, 2019.

LANGERGRABER, G.; PUCHER, B.; SIMPERLER, L.; KISSER, J.; KATSOU, E.; BUEHLER, D.; MATEO, M. C. G.; ATANASOVA, N. Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. **Blue-Green Systems**, v. 2, p. 173–185, 2020.

LEIVA, A. M.; NUNEZ, R.; GOMEZ, G.; LOPEZ, D.; VIDAL, G. Performance of ornamental plants in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow constructed *wetlands* for treating wastewater. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 116–125, 2018.

LETOURNEAU, D. K.; ARMBRECHT, I.; RIVERA, S. R.; LERMA, J. M.; CARMONA, E. J.; DAZA, M. C.; ESCOBAR, S.; GALINDO, V.; GUTIERREZ, C.; LOPEZ, S. D.; MEJIA, J. L.; RANGEL, A. M. A.; RANGEL, J. H.; RIVERA, L.; SAAVEDRA, C. A.; TORRES, A. M.; TRUJILLO, A. R. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. **Ecological Applications**, v. 21, n. 1, p. 9–21, 2011.

LIMA, M. X.; CARVALHO, K. Q.; PASSIG, F. H.; BORGES, A. C.; FILIPPE, T. C.; AZEVEDO, J. C. R.; NAGALLI, A. Performance of different substrates in constructed *wetlands* planted with *E. crassipes* treating low-strength sewage under subtropical condition. **Science of The Total Environment**, v. 630, p. 1365–1373, 2018.

LUTTERBECK, C. A.; KIST, L. T.; LOPEZ, D. R.; ZERWES, F. V.; MACHADO, Ê. Life cycle assessment of integrated wastewater treatment systems with constructed *wetlands* in rural areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 527–536, 2017.

NIESSEN, J.; SCHRÖDER, U.; ROSENBAUM, M.; SCHOLZ, F. Fluorinated polyanilines as superior materials for electrocatalytic anodes in bacterial fuel cells, **Electrochemistry Communications**, v. 6, p. 571–575, 2004.

OLIVEIRA, G. A.; COLARES, G. S.; LUTTERBECK, C. A.; DELL'OSBEL, N.; MACHADO, E. L.; RODRIGUES, L. R. Floating treatment *wetlands* in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. **Science of the Total Environment**, v. 773, p. 145609, 2021.

OODALLY, A.; GULAMHUSSEIN, M.; RANDALL, D. G. Investigating the performance of constructed *wetland* microbial fuel cells using three indigenous South African *wetland* plants. **Journal of Water Process Engineering**, v. 32, p. 100930, 2019.

REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=EN>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SAEED, T.; AFRIN, R.; AL-MUYEED, A.; MIAH, M. J.; JAHAN, H. Bioreactor septic tank for on-site wastewater treatment: Floating constructed *wetland* integration. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, Issue 4, 105606, August 2021.

SAMAL, K.; KAR, S.; TRIVEDI, S. Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: design, mechanism and performance. **Journal of Environmental Management**, v. 251, p. 109550, 2019.

SHI, X.; FAN, J.; ZHANG, J.; SHEN, Y. Enhanced phosphorus removal in intermittently aerated constructed *wetlands* filled with various construction wastes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 28, p. 22524–22534, 2017.

SILVEIRA E. O.; LUTTERBECK, C. A.; MACHADO, E. L.; RODRIGUES, L. R.; RIEGER, A.; BECKENKAMP, F.; LOBO, E. A. Biomonitoring of urban wastewaters treated by an integrated system combining microalgae and constructed *wetlands*. **Science of the Total Environment**, v. 705, p. 135864, 2020.

SILVEIRA, E. O.; FELIZZOLA, N. M.; HICKMANN, E. V.; KONRAD, O.; LUTTERBECK, C. A.; MACHADO, E. L.; RODRIGUES, L. R. Energy recovery by anaerobic digestion of algal biomass from integrated microalgae/constructed *wetland* wastewater treatment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 13317–13326, 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS), 2020. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/diagnosticos_snis. Acesso em: 15 jun. 2023.

SONG, C.; WEI, Y.; QIU, Y.; QI, Y.; LI, Y.; KITAMURA, Y. Biodegradability and mechanism of florfenicol via *Chlorella* sp. UTEX1602 and L38: experimental study, **Bioresource Technology**, v. 272, p. 529–534, 2019.

TSAI, W. T.; CHEN, H. R. Removal of malachite green from aqueous solution using low-cost *Chlorella*-based biomass. **Journal of Hazardous Materials**, v. 175, p. 844–849, 2010.

VYMAZAL, J. Constructed *wetlands* for wastewater treatment. **Water**, v. 2, n. 3, p. 530–549, 2010.

VYMAZAL, J. Constructed *wetlands* for wastewater treatment: five decades of experience. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 61–69, 2011.

World Health Organization (WHO), 2019. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-unicef-who>. Acesso em: 15 jun. 2023.

XU, L.; ZHAO, Y.; DOHERTY, L.; HU, Y.; HAO, X. The integrated processes for wastewater treatment based on the principle of microbial fuel cells: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 60–91, 2016.

ZHANG, Y.; HABTESELASSIE, M. Y.; RESURRECCION, E. P.; MANTRIPRAGADA, V.; PENG, S.; BAUER, S.; COLOSI, L. M. Evaluating removal of steroid estrogens by a model alga as a possible sustainability benefit of hypothetical integrated algae cultivation and wastewater treatment systems. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 2, p. 2544–2553, 2014.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

POTENCIAL BACTERIANO DE DESCOLORAÇÃO DE CORANTES AZOICOS ALIMENTÍCIOS

Mariana Tomazi¹, Ana Paula Müller², Sabrina Beloni Vaz², Ana Carolina Müller³, Bruno Kauã Oliveira Rosa³, Lisianne Brittes Benitez^{1,2,3}*

¹ Curso de Biologia, Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900 Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

³ Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

*E-mail: lisianne@unisc.br

RESUMO

Os corantes azoicos são amplamente utilizados pela indústria alimentícia para melhorar a aparência de alguns alimentos, gerando grande volume de efluentes corados que levam à contaminação de cursos d'água, constituindo-se em um dos principais problemas de poluição ambiental. A degradação de corantes pode ser realizada por inúmeros grupos microbianos, sendo considerada uma tecnologia de remediação muito vantajosa para recuperar ecossistemas quando comparada a outras tecnologias. As bactérias, em especial, funcionam como agentes biológicos eficientes e baratos para biodegradar estes compostos. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial bacteriano na descoloração dos corantes azoicos amaranço, amarelo crepúsculo, tartrazina e vermelho 40 utilizados em indústrias de bebidas. Os microrganismos testados foram *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Arthrobacter* sp. e *Pseudomonas aeruginosa*. O monitoramento da descoloração foi realizado através da medida da absorvância nos λ máximos de cada corante. A bactéria que apresentou o maior percentual de descoloração e o corante que descoloriu em menor tempo foram selecionados para experimentos de avaliação da cinética de descoloração a pH 7,5 e temperatura de 30 °C. Também foi estudado o efeito das variáveis pH, temperatura e aeração do cultivo sobre o processo de descoloração. Dentre todos os microrganismos e corantes testados, a bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, após 66h de cultivo, apresentou o maior percentual de descoloração, 89% para o corante amaranço, sendo, portanto, o microrganismo e o corante selecionados para os demais experimentos. Na avaliação da cinética de descoloração, a bactéria alcançou uma eficiência de 92,60% com contagens na ordem de 10^8 UFC mL⁻¹. A máxima descoloração, 93%, foi alcançada a pH 7,0 e temperatura de 35°C em condições de microaerofilia. Concluiu-se que a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* foi capaz de descolorir o amaranço com elevada eficiência, podendo ser indicada como um potencial biorremediador deste corante azoico em águas residuais.

Palavras-chave: Corantes azo. *Pseudomonas aeruginosa*. Biodegradação. Amaranço.

1 INTRODUÇÃO

Os corantes alimentícios fazem parte de uma classe de aditivos alimentares que podem ser classificados em naturais e artificiais/sintéticos e têm a finalidade de conferir, intensificar ou padronizar a coloração dos produtos alimentícios, não possuindo valor

nutricional, apenas propósito estético (MESSIAS; SOUZA; REIS, 2016). Os corantes azoicos são compostos aromáticos com um ou mais grupos $-N=N-$ e constituem a classe líder de corantes sintéticos utilizados em solicitações comerciais. Quando liberados no ambiente, os corantes azo têm efeitos perigosos para a vida aquática e humana. Sua persistência e descarga no meio ambiente estão se tornando uma preocupação global (AJAZ; SHAKEEL; REHMAN, 2020). Os problemas causados pela contaminação ambiental com corantes azoicos destacam a importância do desenvolvimento de novos métodos de tratamento. Assim, o tratamento biológico surge como uma tecnologia de baixo custo e ecologicamente correta, que utiliza a produção enzimática de alguns microrganismos selecionados para descoloração e degradação de corantes (SCHIMDT *et al.*, 2019). Após a utilização para os mais diversos fins, a maioria das águas contendo corantes é descartada aleatoriamente em corpos d'água, sem nenhum tratamento. A biorremediação vem sendo amplamente utilizada no tratamento dessas águas residuais, com o uso frequente de células bacterianas (DE ALMEIDA *et al.*, 2019; BEKHIT; FARAG; ATTIA, 2020). A biorremediação é considerada uma tecnologia de remediação com mais vantagens para recuperar ecossistemas quando comparada a outras tecnologias devido especialmente à facilidade de operação com menores custos, além de ser um método ecologicamente correto, seguro e eficiente (SARAVANAN *et al.*, 2021; GUO *et al.*, 2019). As bactérias são geralmente incluídas em tratamento de águas residuais industriais, pois as mesmas podem se adaptar em ambientes diferentes e em diversas condições ambientais sob diferentes níveis de oxigênio, temperatura ou pH (KAPOOR *et al.*, 2021). O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial bacteriano na descoloração de corantes azoicos amplamente utilizados em indústrias de alimentos.

2 METODOLOGIA

2.1 CORANTES AZOICOS ALIMENTÍCIOS

Os corantes azoicos amarantho, amarelo crepúsculo, tartrazina e vermelho 40, utilizados no estudo, foram gentilmente cedidos por uma indústria de bebidas localizada no Vale do Rio Pardo e Taquari, RS. A cor e o código de referência de cada corante podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Coloração dos corantes e código de referência de aditivo alimentar (Sistema Internacional de Numeração – INS)

Corante	Coloração	INS
Amarelo Crepúsculo	Amarelo alaranjado	E110
Amaranto	Vermelho acastanhado	E123
Tartrazina	Amarelo	E102
Vermelho 40	Vermelho	E129

Fonte: Brasil (2018)

2.2 MICRORGANISMOS E CONDIÇÕES DE CULTIVO

As bactérias *Bacillus subtilis* (isolada de resíduo pó de tabaco), *Bacillus amyloliquefaciens* (isolada de solo), *Arthrobacter* sp. (isolada de resíduo de mandarinas orgânicas) e *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) pertencentes ao banco de cepas da UNISC foram testadas quanto ao seu potencial de descoloração dos corantes azoicos.

Cada bactéria foi inoculada em caldo cérebro-coração (BHI) e incubadas a 35°C por 24 horas. Após o crescimento dos microrganismos, o volume de 2 mL de inóculo foi adicionado a 95 mL de meio caldo de nutriente (extrato de carne: 2,0 g L⁻¹, extrato de levedura: 1,0 g L⁻¹, peptona: 5,0 g L⁻¹, NaCl: 1,0 g L⁻¹) acrescido de 5 mL da solução-estoque de cada corante (100 mg L⁻¹). O controle consistiu em caldo nutriente com corante e sem as bactérias.

2.3 EFICIÊNCIA DE DESCOLORAÇÃO

Os experimentos de descoloração com as bactérias selecionadas foram conduzidos em caldo nutriente para os quatro diferentes corantes azoicos (100 mg L⁻¹). Culturas ativadas (crescimento de 0,6 OD a 660 nm) de cada isolado foram inoculadas em caldo nutritivo com corante e os frascos de *erlenmeyer* foram incubados a 30°C em condições estáticas. Após o período de incubação, alíquotas de 1 mL de cada meio com corante e sua respectiva bactéria foram retiradas e centrifugadas a 10.000 rpm por 5 minutos. Os sobrenadantes foram então utilizados para o monitoramento da descoloração através da medida da absorvância nos λ máximos de cada corante (amaranto-526 nm; amarelo crepúsculo-495 nm; tartrazina-428 nm; vermelho 40-507 nm) (SINHA; LULU; VINO; OSBORNE, 2019). O tempo necessário para a descoloração completa foi igualmente

registrado. A absorvância foi medida nos controles e nas amostras e a eficiência da descoloração (%) foi calculada segundo a Fórmula 1, proposta por Dave e Dave (2009).

Fórmula 1:

Descoloração (%) =

I= Absorvância inicial

F= Absorvância da amostra descolorida

O microrganismo que apresentou o maior percentual de descoloração e o corante que descoloriu em menor tempo foram selecionados para os próximos experimentos.

2.4 CRESCIMENTO E DESCOLORAÇÃO DO CULTIVO EM BATELADA

Com base no desempenho da descoloração, o amaranto e a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* foram selecionados como o corante e o microrganismo modelos para estudos mais detalhados.

Primeiramente, a bactéria foi inoculada em 50 mL de caldo nutriente contendo o amaranto (100 mg L^{-1}) e incubada a 30°C estaticamente até atingir 10^8 UFC mL^{-1} (em aproximadamente 24 h). Esse inóculo bacteriano foi adicionado a 450 mL de caldo nutriente usando a mesma concentração de corante, pH 7,5 e incubado a 30°C sem agitação (modo estático).

Durante o período de incubação, alíquotas de 2 mL da solução foram coletadas a cada 12 h e centrifugadas a 7000 rpm por 5 min para a remoção das células bacterianas. Os sobrenadantes obtidos foram submetidos a leituras de absorvância usando um espectrofotômetro a 520 nm (λ para o amaranto). A porcentagem de descoloração do corante foi determinada pela equação descrita por Dave e Dave (2009). Simultaneamente, o número de unidades formadoras de colônias (UFC) foi determinado. Para tanto, diluiu-se 1 mL de cada alíquota obtida em solução salina (0,85%), as quais foram inoculadas em ágar nutriente e incubadas a 30°C por 24 horas. Após o tempo de incubação, o número de UFC foi determinado.

2.5 EFEITO DAS VARIÁVEIS PH, TEMPERATURA E AERAÇÃO NO PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO

Considerando a busca por condições ideais para o processo de descoloração do amaranto, foram avaliados diferentes valores de pH e temperatura e o cultivo do microrganismo em condições de microaerofilia (incubação estática) e aerobiose

(incubação sob agitação). O volume de 1 mL de uma cultura *overnight* da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* foi inoculado em 30 mL de caldo nutriente acrescido do corante amaranço (100 mg L^{-1}). Os frascos de *erlenmeyer* foram incubados nas temperaturas de 25°C e 35°C e nos pH de 6 e 7 em ambiente aeróbio e de microaerofilia. A eficiência da descoloração foi avaliada visualmente a cada 12 h até 96 h de cultivo. Após a completa descoloração visual da solução, avaliou-se a porcentagem de degradação do corante por espectrofotometria.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 TRIAGEM DA MELHOR CULTURA BACTERIANA DESCOLORANTE

Uma ampla variedade de microrganismos tem a capacidade de adsorver e/ou degradar corantes azoicos, constituindo-se em uma ferramenta promissora no tratamento de ambientes contaminados.

Como os resíduos das indústrias de alimentos estão repletos da mistura de vários corantes, este estudo testou a capacidade de quatro diferentes bactérias em descolorir quatro tipos de corantes azoicos. Dentre todos os microrganismos e corantes testados, *Pseudomonas aeruginosa* foi a bactéria que apresentou o maior percentual de descoloração, 89% para o corante amaranço na concentração de 100 mg L^{-1} , após 66 h de incubação a 30°C (Figura 1). Bactérias do gênero *Pseudomonas* podem ser isoladas de uma ampla gama de nichos ecológicos, como água, solo, animais e plantas (nos quais pode ser patogênica). Por possuírem grande capacidade de adaptação a ambientes diversos e desafiadores e capacidade de degradar compostos recalcitrantes, o gênero é amplamente explorado para a biorremediação. Além disso, não necessitam de suplementos nutricionais para serem cultivadas; basta um meio mineral simples com um único composto orgânico (KAHLON, R.; KAHLON, I., 2016).

O gênero *Pseudomonas* é descrito em diversos estudos como um microrganismo com grande potencial para a degradação de corantes azoicos (JASSIM; AL-AZZAWI, 2023; ZHANG *et al.*, 2021; BERA; TANK, 2021; TELKE *et al.*, 2012).

Uma cultura de *Pseudomonas* sp., isolada do sistema de tratamento de águas residuais de uma indústria têxtil, foi cultivada em meio contendo concentrações variáveis de amaranço (100 a 1400 mg L^{-1}), sob condições anóxicas estáticas, à temperatura de 35°C , pH 7,5 e mostrou eficiência de 100% na degradação do corante nas concentrações de 700 mg L^{-1} e 1400 mg L^{-1} após 24 e 72 h de cultivo, respectivamente (GREKOVA-VASILEVA, 2009).

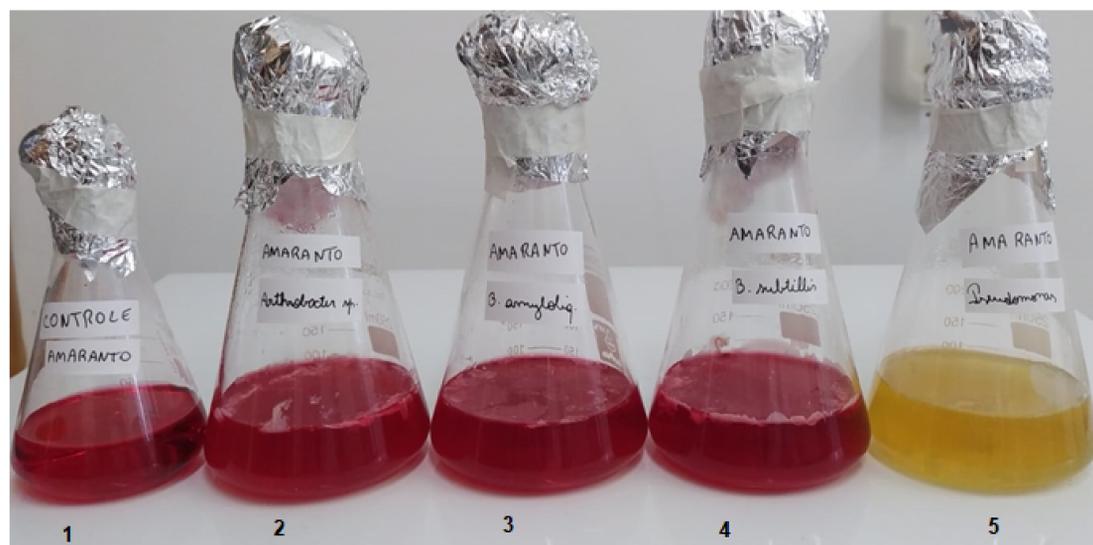


Figura 1. Descoloração do amaranço em 66 h de cultivo a 30 °C. 1: Controle (-); 2: Caldo nutriente-amaranto + *Arthobacter* (-); 3: Caldo nutriente-amaranto + *Bacillus amyloliquefaciens* (-); 4: Caldo nutriente-amaranto + *Bacillus subtilis* (-); 5: Caldo nutriente-amaranto + *Pseudomonas aeruginosa* (+). (-): teste negativo; (+): teste positivo

3.2 CINÉTICA DE CRESCIMENTO E DESCOLORAÇÃO DO AMARANTO POR *P. AERUGINOSA*

Para os experimentos de crescimento e decoloração do cultivo em batelada, as condições selecionadas foram pH 7,5 e temperatura de 30°C. É possível observar na Figura 2 o percentual de decoloração alcançado por *P. aeruginosa* e o crescimento da bactéria (UFC mL⁻¹) ao longo de um período de cultivo e coleta de amostras de até 84 horas.

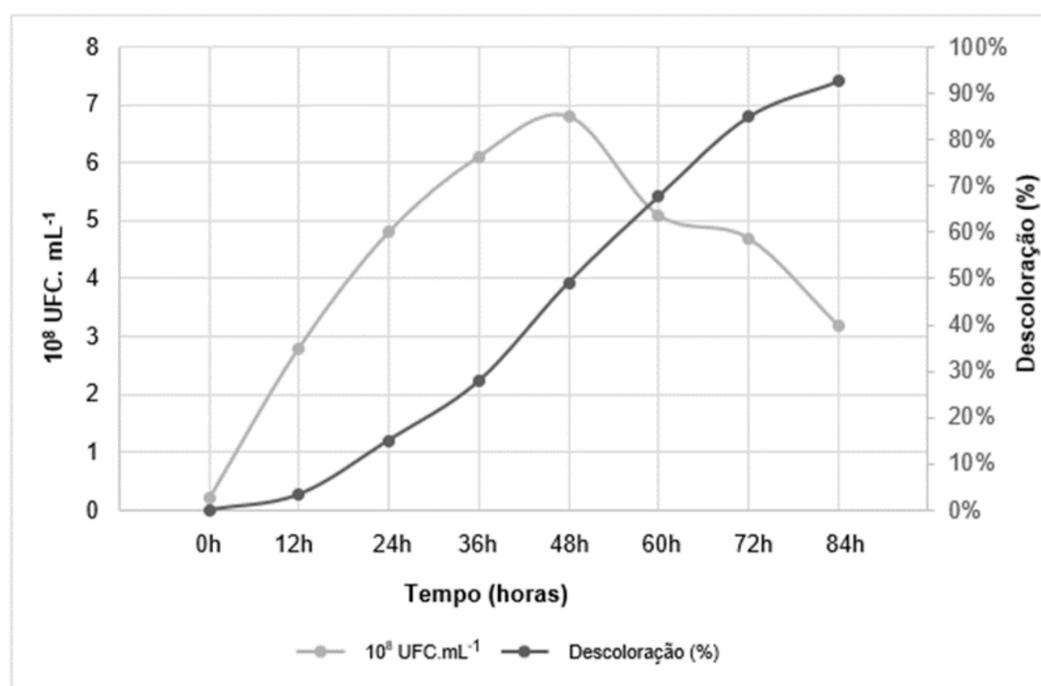


Figura 2. Perfil da cinética de crescimento em função do tempo na decoloração do amaranço por *Pseudomonas aeruginosa*

O perfil cinético de crescimento e decoloração do amaranço pela bactéria *P. aeruginosa*, em função do tempo, revelou que a degradação do corante foi iniciada

durante as primeiras horas da fase log ou de crescimento exponencial e foi observada até o período final (84 h) já na fase de declínio celular.

A bactéria *P. aeruginosa* apresentou uma fase de crescimento exponencial até 48 h de incubação, atingindo a contagem de $6,8 \times 10^8$ UFC mL⁻¹. Foi possível observar um pequeno platô na curva de crescimento seguido do início da fase de declínio celular. Na última avaliação, em 84 h, durante a fase de declínio celular, a contagem de células foi $3,2 \times 10^8$ UFC mL⁻¹ e o percentual de descoloração foi de 92,60%. A apresentação da fase de declínio, que coincide com a morte celular do microrganismo, sugere que o mesmo pode ter sido afetado pela formação de metabólitos tóxicos presentes no meio de cultivo a partir da degradação do corante amaranço.

Resultado semelhante foi encontrado por Sheela e Sadasivam (2020) no estudo da degradação do corante Reactive Black 5 por *Bacillus cereus*, onde a degradação teve início na fase exponencial de crescimento e atingiu seu máximo (88,7%) ao final da fase de declínio, evidenciando que os metabólitos envolvidos no processo de degradação do corante foram tanto primários como secundários. Chaturvedi *et al.* (2020), em estudo utilizando *Bacillus subtilis* MN372379 no tratamento de efluente contaminado com o corante azoico vermelho Congo, relataram que o corante estava sempre presente no biorreator, mesmo durante o crescimento bacteriano desacelerado, indicando que a escassez de substrato não foi a causa da inibição na taxa de crescimento durante a fase de desaceleração, sendo, portanto, atribuída à presença de subprodutos metabólicos tóxicos.

3.3 ESTUDO DAS CONDIÇÕES IDEAIS PARA DESCOLORAÇÃO (PH, TEMPERATURA E AERAÇÃO)

Na Tabela 2 podem ser observados os resultados relativos ao percentual de descoloração a partir dos valores de pH 6 e 7, em temperaturas de 25 °C e 35 °C e em condições de aerobiose (incubação sob agitação) e de microaerofilia (incubação estática).

Tabela 2. Resultados em condição estática para condições ideais de pH e temperatura para descoloração por *P. aeruginosa*

Condição	Descoloração (%)
pH 6 – 25 °C – aerobiose	87,0
pH 6 – 35 °C – microaerofilia	88,0
pH 7 – 25 °C – aerobiose	88,0
pH 7 – 35 °C – microaerofilia	93,0

A capacidade de adaptação dos microrganismos a variações de pH e temperatura pode torná-los mais eficientes na degradação de moléculas poluentes. Neste estudo, a *P. aeruginosa* foi capaz de descolorir o amaranço em todas as combinações de variáveis testadas, porém, apresentou o maior percentual de descoloração (93%) a pH 7, temperatura de 35°C e condição de microaerofilia (incubação estática). Além disso, à temperatura de 35°C a bactéria descoloriu o amaranço em menor tempo (72 h), independentemente do valor de pH, enquanto a 25°C o tempo necessário foi de 96 h.

Resultado similar foi observado em um estudo no qual a mudança na temperatura afetou significativamente a taxa de descoloração do corante azo remazol laranja 3R (50 mg L⁻¹) por *P. aeruginosa*, sendo a descoloração máxima (98,89%) registrada na temperatura de 40°C. A 10°C a taxa de descoloração foi de 50% e a 50°C obteve-se 71%, levando os autores a concluir que a eficiência da descoloração é afetada por aumento ou diminuição da temperatura (SURWASE *et al.*, 2012).

Para testar a capacidade de descoloração da *P. aeruginosa*, a bactéria foi inoculada em meio contendo água destilada acrescida apenas do corante amaranço nas concentrações de 50 mg L⁻¹ e 500 mg L⁻¹ em pH 7, à temperatura de 30°C. O microrganismo foi capaz de alcançar uma eficiência de descoloração de 97% em 6 h de cultivo (JADHAV, 2013). Bactérias capazes de degradar corantes geralmente exibem descoloração máxima em pH próximo ao neutro (SHAH, 2014).

No presente estudo não ocorreu descoloração do amaranço em condição de agitação (aerobiose). Este resultado coincide com a pesquisa de Schmidt *et al.* (2019) que testaram o potencial de descoloração do amaranço de dez isolados bacterianos de solo em condições aerofílicas e microaerofílicas e relataram que nenhum dos isolados cultivado sob agitação foi capaz de descolorir o amaranço. A possível explicação para este resultado é que nessa condição pode ocorrer a competição do oxigênio e dos compostos azo pelos portadores de elétrons reduzidos em condição aeróbia (KALME *et al.*, 2007).

Conforme Van der Zee e Villaverde (2005), a degradação bacteriana dos corantes azoicos inicia com a clivagem das ligações azo, com alta eficiência em baixas concentrações de oxigênio, resultando em aminas aromáticas que seriam então degradadas num processo quase exclusivamente aeróbio.

Várias enzimas estão relacionadas à degradação de corantes. O gênero *Pseudomonas* contém enzimas óxido-redutoras, tais como azoredutase, peroxidase e lacase que estão envolvidas na descoloração destes compostos (TELKE *et al.*, 2010). As azoredutases são enzimas presentes em bactérias degradadoras de corantes azoicos que catalisam

a clivagem redutiva de uma ligação azo e já foram identificadas em várias espécies, incluindo a *Pseudomonas aeruginosa* (KALYANI, 2009).

4 CONCLUSÕES

A bactéria *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) apresentou notável capacidade de descoloração do amarantho, apresentando condições ideais de descoloração em microaerofilia, a pH neutro e temperatura de 35°C. A descoloração ocorreu durante as fases exponencial e de declínio da curva de crescimento microbiano.

Os resultados encontrados neste estudo comprovam a eficiência da cepa de *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) sugerindo seu possível uso no tratamento de efluentes contendo corantes.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, código 001; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; à UNISC.

BACTERIAL POTENTIAL FOR DECOLORIZATION OF FOOD AZO DYES

ABSTRACT: The food industry widely uses Azo dyes to improve the appearance of some foods, generating large volumes of colored effluents that lead to the contamination of water courses, constituting one of the main problems of environmental pollution. Numerous microbial groups can perform the degradation of dyes, which is considered a very advantageous remediation technology to recover ecosystems compared to other technologies. Bacteria, in particular, function as efficient and inexpensive biological agents to biodegrade these compounds. This study evaluated the bacterial potential in the discoloration of the azoic dyes amaranth, twilight yellow, tartrazine, and red 40 used in beverage industries. The microorganisms tested were *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Arthrobacter* sp., and *Pseudomonas aeruginosa*. The discoloration was monitored by measuring the absorbance at the maximum λ of each dye. The bacteria that showed the highest percentage of discoloration and the dye that discolored in the

shortest time were selected for experiments to evaluate the kinetics of discoloration at pH 7.5 and a temperature of 30 °C. In addition, the effect of the pH, temperature, and aeration of the culture on the discoloration process was also studied. Among all the microorganisms and dyes tested, the bacterium *Pseudomonas aeruginosa*, after 66 h of cultivation, showed the highest percentage of discoloration, 89% for the amaranth dye. Therefore the microorganism and the dye were selected for the other experiments. In evaluating the discoloration kinetics, the bacterium reached an efficiency of 92.60% with counts in the order of 10^8 CFU mL⁻¹. The maximum discoloration of 93% was reached at pH 7.0 and a temperature of 35 °C under microaerophilic conditions. Therefore, it was concluded that the bacterium *Pseudomonas aeruginosa* could decolorize amaranth with high efficiency and may be indicated as a potential bioremediator of this azoic dye in wastewater.

Keywords: Azo dye. *Pseudomonas aeruginosa*. Biodegradation. Amaranth.

REFERÊNCIAS

AJAZ, M.; SHAKEEL, S.; REHMAN, A. Microbial use for azo dye degradation—a strategy for dye bioremediation. **International Microbiology**, v. 23, p. 149–159, 2020.

BEKHIT, F.; FARAG, S.; ATTIA, A. M. Decolorization and degradation of the Azo dye by bacterial cells coated with magnetic iron oxide nanoparticles. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 14, 100376, 2020.

BERA, S. P.; TANK, S. K. Bioremedial approach of *Pseudomonas stutzeri* SPM-1 for textile azo dye degradation. **Archives of Microbiology**, v. 203, p. 2669–2680, 2021.

BRASIL. Constituição (2018). Resolução n° 239, de 26 de julho de 2018. Brasília, Seção 1, p. 90. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34380515/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-239-de-26-de-julho-de-2018-34380387. Acesso em: 05 set. 2021.

CHATURVEDI, A.; RAI, B. N.; SINGH, R. S.; JAISWAL, R. P. A computational approach to incorporate metabolite inhibition in the growth kinetics of indigenous bacterial strain *Bacillus subtilis* MN372379 in the treatment of wastewater containing Congo Red dye. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 193, p. 2128–2144, 2021.

DE ALMEIDA, E. J. R.; MAZZEO, D. E. C.; SOMMAGGIO, L. R. D.; MARIN-MORALES, M. A.; DE ANDRADE, A. R.; CORSO, C. R. Azo dyes degradation and mutagenicity evaluation with a combination of microbiological and oxidative discoloration treatments. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 183, 109484, 2019.

GREKOVA-VASILEVA, M.; POPOV, I. D.; VASSILEV, TOPALOVA, Y. Isolation and characterization of microbial strain AZO29 capable of azo dye decolourization. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 23, p. 318-322, 2009.

GUO, X.; XIE, C.; WANG, L.; LI, Q.; WANG, Y. Biodegradation of persistent environmental pollutants by *Arthrobacter* sp. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 8429-8443, 2019.

JADHAV, S. B.; PATIL, N. S.; WATHARKAR, A. D.; APINE, O. A.; JADHAV, J. P. Batch and continuous biodegradation of Amaranth in plain distilled water by *P. aeruginosa* BCH and toxicological scrutiny using oxidative stress studies. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, p. 2854-2866, 2013.

JASSIM, H. J.; AL-AZZAWI, A. S. N. Bioremediation Degradation of dyes by using *Pseudomonas fluorescens*. **Journal of Survey in Fisheries Sciences**, v. 10, p. 4352-4358, 2023.

KAHLON, R.; KAHLON, I. **Pseudomonas: Molecular and Applied Biology**. India: Springer International Publishing, 2016.

KALME, S. D.; PARSHETTI, G. K.; JADHAV, S. U.; GOVINDWAR, S. P. Biodegradation of benzidine based dye Direct Blue-6 by *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1405-1410, 2007.

KALYANI, D.; CTELKE, A. A.; DHANVE, R. S.; JADHAV, J. P. Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated *Pseudomonas* sp. SUK1. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, p. 735-742, 2009.

KAPOOR, R. T.; DANISH, M.; SINGH, R. S.; RAFATULLAH, M.; KHALIL, H. P. S. Exploiting microbial biomass in treating azo dyes contaminated wastewater: Mechanism of degradation and factors affecting microbial efficiency. **Journal of Water Process Engineering**, v. 43, 102255, 2021.

MESSIAS, C. M. O.; SOUZA, H. M. S.; REIS, I. M. S. Consumption of ultra-processed food and food coloring agents by adolescents from a public school. **Adolescência & Saúde**, v. 13, p. 7-14, 2016.

SARAVANAN, A.; KUMAR, P. S.; VO, D. N.; JEEYANANTHAM, S.; KARISHMA, S.; YAASHIKAA, P. R. A review on catalytic-enzyme degradation of toxic environmental pollutants: Microbial enzymes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 419, 126451, 2021.

SCHMIDT, C.; BERGHAHN, E.; ILHA, V.; GRANADA, C. E. Biodegradation potential of *Citrobacter* cultures for the removal of amaranth and congo red azo dyes. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, p. 6863-6872, 2019.

SHAH, M. Effective treatment systems for azo dye degradation: a joint venture between physico-chemical & microbiological process. **International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation**, v. 2, p. 231-242, 2014.

SHEELA, T.; SADASIVAM, S. K. Dye degradation potential and its degradative enzymes synthesis of *Bacillus cereus* SKB12 isolated from a textile industrial effluent. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v. 8, p. 42-46, 2020.

SURWASE, S. V.; DESHPANDE, K. K.; PHUGARE, S. S.; JADHAV, J. P. Biotransformation studies of textile dye Remazol Orange 3R. **Biotech 3**, p. 267-275, 2012.

TELKE, A. A.; JOSHI, S. M.; JADHAV, S. U.; TAMBOLI, D. P.; GOVINDWAR, S. P. Decolorization and detoxification of Congo red and textile industry effluent by an isolated bacterium *Pseudomonas* sp. SU-EBT. **Biodegradation**, v. 21, p. 283-296, 2010.

TELKE, A. A.; KIM, S.; GOVINDWAR, S. P. Significant reduction in toxicity, BOD, and COD of textile dyes and textile industry effluent by a novel bacterium *Pseudomonas* sp. LBC1. **Folia Microbiologica**, v. 57, p. 115-122, 2012.

VAN DER ZEE, F. P.; VILLAVERDE, S. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes—a short review of bioreactor studies. **Water Research**, v. 39, p. 1425-1440, 2005.

ZHANG, Q.; XIE, X.; XU, D.; HONG, R.; WU, J.; ZENG, X.; LIU, N.; LIU, J. Accelerated azo dye biodegradation and detoxification by *Pseudomonas aeruginosa* DDMZ1-2 via fructose co-metabolism. **Environmental Technology & Innovation**, v. 24, 101878, 2021.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

ANÁLISE DE VIABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UM FRIGORÍFICO LOCALIZADO EM CONDOR/RS

Maurício Sandim^{1}, Demis Pessatto Faqui¹, Esteban Danilo Pacheco Calderón¹, Sandra Elisia Lemões Iepsen¹, Jorge André Ribas Moraes¹, Enio Leandro Machado¹*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

*E-mail: mauriciosandim@mx2.unisc.br

RESUMO

A utilização da água de reuso de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) pode ser uma alternativa para redução de impactos ambientais. Através do uso desse recurso, é possível conhecer benefícios ambientais, econômicos e sociais proporcionados pela reutilização da água nas atividades do processo do frigorífico. Dessa forma, o objetivo principal deste estudo foi analisar a viabilidade do reuso de água da estação de tratamento de efluentes em um frigorífico localizado no município de Condor-RS para as atividades que não demandam a utilização de água potável, como é o caso da limpeza de currais e pocilgas e lavagem de caminhões (carga viva). A pesquisa utilizou-se da metodologia classificada como pesquisa-ação, que conta com a ação dos autores para solução de problemas encontrados, relacionados aos impactos ambientais. Como resultados da pesquisa, conseguiu-se reutilizar a água residuária da ETE nos processos menos nobres como: limpeza de currais e pocilgas e lavagem de caminhões (carga viva), atendendo as demandas de volumes para esta finalidade.

Palavras-chave: Água de reuso. Tratamento de efluentes. Frigorífico.

1 INTRODUÇÃO

No planeta Terra, 99% de toda água presente não convém para consumo do ser humano ou necessita de elevado investimento para ser tratada e estar à disposição para usos mais nobres. Em relação ao consumo de água, 65% são usados na agricultura, 25% em indústrias e 10% com propósito urbano. Em geral, esta água consumida, após ser utilizada, é despejada no meio ambiente, com ou sem tratamento em condição de esgoto (SANTOS; MANCUSO, 2003). Conforme Hoekstra e Mekonnen (2012), a agricultura é responsável pela utilização de 92% de água doce em todo mundo, sendo que 29% desta é consumida para produção de carnes.

Os abatedouros e as indústrias frigoríficas mostram um considerável impacto ambiental devido à descarga de efluentes com alta concentração de matéria orgânica em seus resíduos (KOBYA; SENTURK; BAYRAMOGLU, 2006). Em frigoríficos, as águas residuárias são definidas por grande proporção nutricional e matéria orgânica, proveniente de seus processos produtivos. Desse modo, é preciso tratamento primeiro antes do destino final (TOCCHI *et al.*, 2013).

Conforme Pereira e Garcia (2017), as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) têm como finalidade a retirada de poluentes, matérias orgânicas e nutrientes existentes nas águas residuárias anteriormente ao regressar ao meio ambiente. Na indústria de produção de alimentos, os frigoríficos são responsáveis por um consumo elevado de água, com isso, o reuso de efluentes na indústria se torna uma maneira conveniente de preservação da água (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015; KOO; MOHAMMAD, 2011).

Constantemente a água é vista como solução natural renovável e infinita. Contudo, a água se trata de um artifício ambiental que limita o desenvolvimento sustentável, visto que muitos problemas de escassez estão associados, frequentemente, ao emprego de quantidades maiores que os volumes disponíveis de água, sendo usados por indústrias, agricultura ou em função do crescimento populacional (PINHATI *et al.*, 2014).

Conforme Oliveira *et al.* (2017), a demanda de água nos processos de produção agrícola vem aumentando, portanto, a aplicação do reuso de água residuária na indústria enfatiza o interesse na preservação e cuidado da qualidade ambiental. Segundo Adami e Schiavon (2021), os rios possuem uma competência natural de limpeza, porém se a dispensa de efluente for frequente e não estiver devidamente tratada pode agravar a água coletora. Atualmente, a utilização de águas de reuso é fundamental para diminuir os resíduos e recuperar recursos ambientais.

Portanto, águas de reuso são uma maneira sustentável de reutilizar a água. Segundo Barros *et al.* (2015), água de reuso é definida como reaproveitamento de águas resultantes de efluentes tratados. A oferta de recursos de águas doces está diminuindo, sendo assim, estratégias de gestão de águas e efluentes são uma boa alternativa ambiental. O reuso de água apresenta oportunidade de utilizar recursos de maneira mais sustentável (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2017).

A reutilização de água refere-se à aplicação de efluentes, tratados ou não, com o fim positivo para irrigação, utilização na indústria e fins urbanos não potáveis (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Segundo Weber, Cybis e Beal (2010), o termo reuso de efluentes prevê a utilização de uma água de inferior qualidade em relação à água potável. Em vista disso estabelece uma alternativa mais aceitável para que tornem demandas satisfatórias em águas menos restritivas.

Segundo Fletcher (2004), normalmente as águas de reuso de um frigorífico são basicamente misturas da água do processo de abate e dos produtos de limpeza. O efluente produzido no frigorífico abrange elevadas variantes na concentração de matéria orgânica, por exemplo: carboidratos, gordura e óleos e proteínas. Logo, o tratamento

de água de reuso de frigoríficos é de relevante importância para impedir o aumento de carga orgânica nas águas residuárias em estações de tratamento (MEIRAMKULOVA *et al.*, 2020).

Conforme Moura *et al.* (2020), no Brasil, a água de reuso vem sendo empregada em várias atividades não potáveis, por exemplo: agricultura, irrigação, limpeza urbana, lavagem de veículos, indústria e até banheiros de *shoppings*. Segundo Moruzzi (2008), o grande desafio para a utilização de técnicas seguras de água de reuso é a determinação de padrões de qualidade da água a ser reutilizada dependendo de seu objetivo. Normalmente, a segurança sanitária da água de reuso está relacionada com a eficiência da estação de tratamento de efluentes para proporcionar um efluente com qualidade que atenda ao seu emprego pretendido.

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade do reuso de água da estação de tratamento de efluentes em um frigorífico de Condor-RS para as atividades de limpeza de currais e pocilgas e lavagem de caminhões (carga viva).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo aqui desenvolvido utilizou-se da metodologia classificada como pesquisa-ação, que é conhecida como um modelo de pesquisa relacionada com diversas maneiras de ações coletivas, focadas na solução de problemas ou com finalidade de mudança. Esse modelo de pesquisa conta com a participação de sujeitos e apresenta um modo de ação planejada, variando conforme a área de execução (THIOLLENT, 2011).

A pesquisa-ação, além de ter resultados previstos para solucionar problemas, também gera conhecimento para problemas não calculados, criando conhecimento científico e teórico. Embora os resultados da pesquisa-ação sejam específicos, eles são capazes de esclarecer e indicar a outros processos como agir em problemas peculiares (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015).

Conforme Mello *et al.* (2012), o método de pesquisa-ação abrange cinco fases (Figura 1): planejar a pesquisa-ação; coletar dados; analisar dados; implementar ações e avaliar os resultados. As cinco fases são efetuadas em sequência e de maneira periódica e o resultado de uma etapa é analisado e ponderado na elaboração do seguinte ciclo a ser realizado.

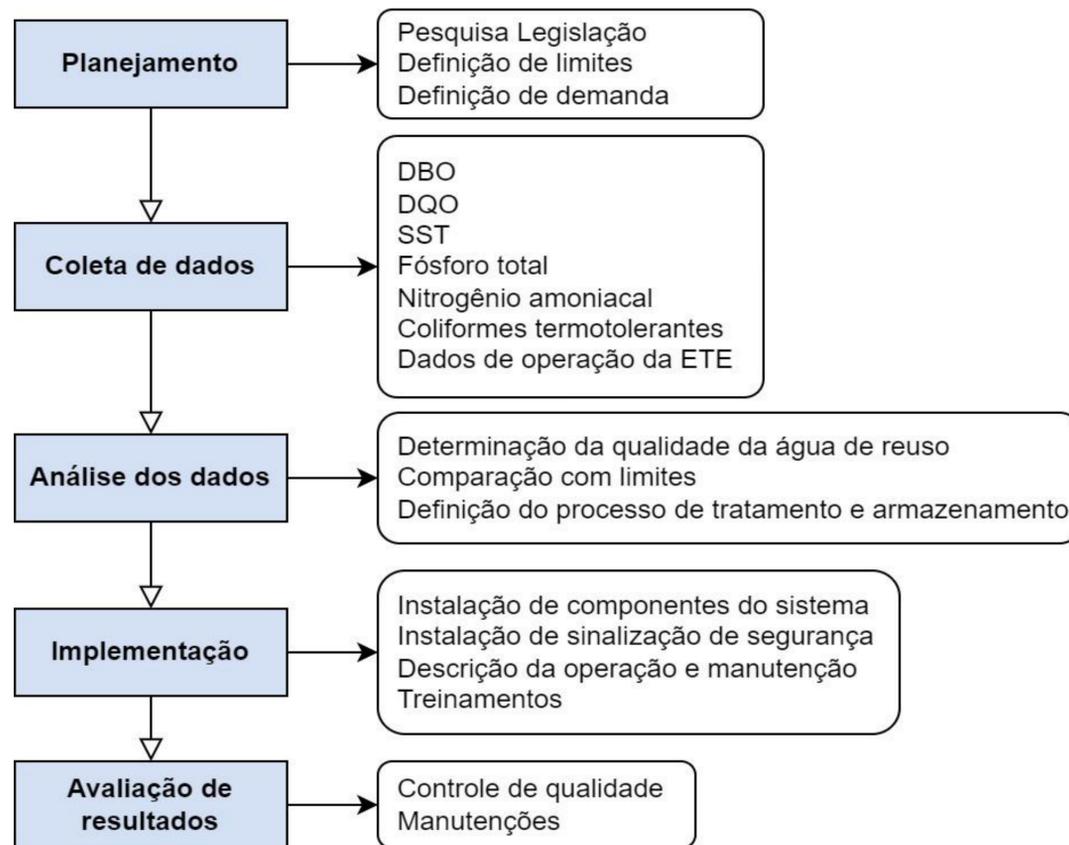


Figura 1. Fases da Metodologia do Estudo

O planejamento do sistema para reuso de efluentes tratados, que são produzidos na ETE (Figura 2) do frigorífico, encontra-se embasado em condições e regras apontadas em normas técnicas do Brasil em relação ao assunto de programas de reuso não potável. Do mesmo modo ocorre em literaturas técnicas referentes a esse conteúdo, visto que, muitas vezes, não se encontram normas que visam ou orientam sobre projetos de reuso de efluentes tratados.

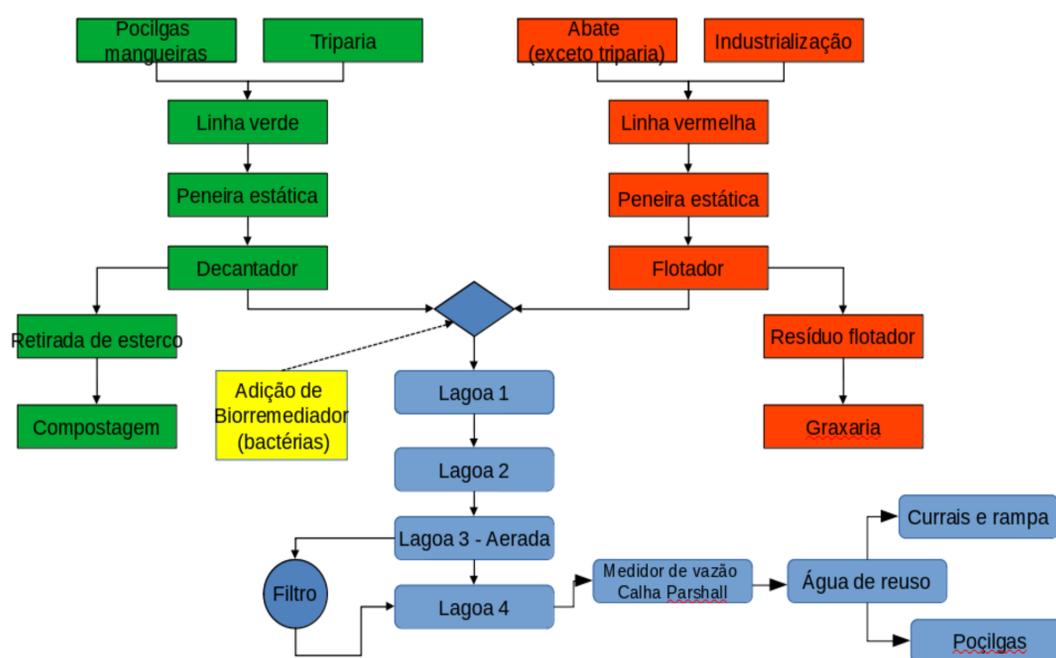


Figura 2. Fluxo de Funcionamento da Estação de Tratamento de Efluentes do Frigorífico

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, o reuso de águas residuárias tratadas ocorrerá somente em atividades menos nobres do processo do frigorífico, no qual não acontece contato com matéria-prima ou produtos acabados. O reuso será empregado em limpeza de currais, pocilgas e lavagem de caminhões (carga viva), reduzindo, assim, o uso de água potável e despejo de efluentes no meio ambiente.

Desta forma, primeiramente buscou-se fatores para dimensionar o quanto de volume será preciso para atender as demandas das atividades de limpezas e lavagens, e também a qualidade da água de reuso a ser utilizada nestes processos. No que diz respeito ao volume de água a ser reutilizada, não há um controle específico para se conhecer exatamente o volume a ser usado. Com isso, o volume a ser utilizado nessas atividades menos nobres foi considerado um valor percentual de 10% do volume total gerado de efluentes tratados diariamente do frigorífico.

Assim, foram dimensionados esses 10% de efluentes tratados do total produzido pela estação de tratamento da empresa, pois serão suficientes para atender a demanda das atividades inicialmente dimensionadas pelo estudo para a água de reuso. Em relação à concentração e qualidade do efluente, preestabelecidos, estipulou-se padrões mínimos para ser possível o emprego da água residuária nas atividades (Tabela 1). O volume da água a ser reutilizada será de aproximadamente 50m³/dia de um total de 560m³ dia⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 1. Padrão de Qualidade dos Efluentes Gerados

Faixa de vazão efluente (m ³ dia ⁻¹)	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)	Fósforo total		Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	Coliformes termotolerantes	
				(mg L ⁻¹)	Eficiência		NMP/100ml	Eficiência
500 ≤ Q < 1000	80	300	100	3	75%	20	10 ⁴	95%

Fonte: Resolução do CONSEMA n° 355/2017

Tabela 2. Capacidades do efluente tratado

Capacidades do efluente	Volume dia ⁻¹
Geração total de efluente tratado pela ETE	560 m ³
Reuso do efluente tratado (aproximadamente 10%)	50 m ³
Capacidade total do reservatório de acúmulo de efluente tratado para reuso	35 m ³

Fonte: Elaboração própria.

A ETE da empresa é responsável pelo tratamento primário do efluente, isto é, ela remove a máxima quantidade possível de resíduos sólidos da água. Em seguida, passa pelo tratamento secundário, que é constituído por quatro tanques dispostos em série. A ETE do frigorífico é dividida em duas linhas: linha vermelha, onde a predominância de resíduos é composta de sangue e gorduras e linha verde, onde predominam o esterco e o conteúdo ruminal.

Todo o resíduo sólido removido destas duas linhas é armazenado em *containers* os quais são transportados, sempre que necessário, para compostagem em área própria da empresa. Após removidos os sólidos, a parte líquida do efluente segue para os tanques, onde as bactérias do próprio ecossistema e outras intencionalmente adicionadas realizam a redução da carga orgânica.

O reuso da água da ETE acarreta benefícios ambientais, económicos e sociais proporcionados pela reutilização da água, dentre eles: a redução dos custos relativos aos sistemas de captação, abastecimento, tratamento, operação e distribuição de água potável, assim como na redução dos custos e volumes de geração e lançamento de efluentes tratados em curso d'água superficial. Inicialmente, as águas residuárias tratadas serão utilizadas apenas nas etapas menos nobres, em específico para limpezas de pisos e lavagens de caminhões (carga viva).

O sistema de reuso utilizado no frigorífico atende ao objetivo de reutilização de 50m³/dia do efluente tratado, contando com aproximadamente 10% do volume total de efluentes tratados produzidos pelo frigorífico. Estas atividades que recebem água de reuso não possuem ligação com água potável, conseguindo assim realizar a preservação do meio ambiente. As tubulações da água de reuso são de cores diferentes e contêm placas informando onde estão os pontos de fornecimento de água de reuso, nos locais de lavagem dos caminhões, pocilgas e currais.

Os padrões de qualidade da água de reuso atendem as normas para a finalidade que ela se destina, já que não é necessário atingir requisitos de potabilidade. Ainda assim, primeiramente estipulou-se padrões do atual sistema de tratamento de efluentes, que já possui qualidade satisfatória para a água de reuso nos objetivos apresentados.

A qualidade da água de reuso (tabela 3) traz as características dos efluentes do frigorífico, onde é realizado com frequência o monitoramento dos índices e parâmetros dos efluentes gerados na empresa. São realizados relatórios de controle que falam sobre as características das águas, quantidade de reuso e casos específicos em que as águas não podem ser reutilizadas, além de atitudes tomadas para fazer o descarte e atos corretivos nas operações.

Foi instalada uma bomba de reserva que contempla os reservatórios com a finalidade de substituir a bomba principal, caso venha a falhar. Referente à manutenção, o sistema será usado em um período curto se comparado ao período total em que as tarefas do dia a dia são realizadas. Seja qual for a ação relacionada à necessidade de manutenção, esta pode ser realizada em um tempo curto, voltando a funcionar imediatamente, e desta forma não sobrecarregando o sistema de reserva, conseqüentemente não ocorrendo demanda de lançar os volumes para reuso.

O processo de reuso da água não possui frequência de problemas operacionais, possibilitando assim o bom funcionamento para ser utilizado nas atividades de limpeza de currais e pocilgas e lavagem de caminhões (carga viva). Assim, todo sistema de reuso foi dimensionado com dois reservatórios com capacidade de 35.000 litros (Figura 3), que, com suas capacidades, atendem o volume de um dia inteiro de trabalho nas atividades escolhidas. Apesar disso, o sistema possui um “ladrão” no primeiro reservatório, caso ocorra alguma falha da ETE até o destino do reuso; quando acionado, o efluente já tratado vai diretamente para os recursos hídricos.

Tabela 3. Características dos efluentes brutos da empresa

Parâmetros	Efluente Bruto
Fósforo total	35,2 mg L ⁻¹
DQO	1.743 mg L ⁻¹
Nitrogênio total	144 mg L ⁻¹
Óleos e graxas totais	569 mg L ⁻¹
DBO	585 mg L ⁻¹
Sólidos sedimentáveis	19 mg L ⁻¹
Sólidos suspensos	1.185 mg L ⁻¹
Coliformes Termotolerantes	12 x 10 ⁹ NMP/ 100mL

Tanto o local da ETE quanto da parte de reuso de água estão sinalizados e isolados; somente quem é autorizado pode ter acesso, devido a questões sanitárias e de segurança. A empresa também possui operador capacitado para realização das atividades da ETE e do reuso de água, assim como responsável técnico habilitado pela empresa.

Além dos resíduos líquidos da ETE, os resíduos sólidos são armazenados em um silo e utilizados em áreas para cultivo de eucaliptos, que pertencem à empresa. A empresa dispõe de um total de 365 hectares e a aplicação se repetirá na mesma área a cada sete ou oito anos, sendo a aplicação anual em torno de 45 a 50 hectares. Com estas

áreas, a aplicação do resíduo será realizada de maneira diversificada, ocorrendo assim uma diminuição significativa na probabilidade de ocorrer alterações nos níveis de contaminantes de solo que porventura possam vir a surgir no composto orgânico.



Figura 3. Reservatórios do sistema de reuso da água do frigorífico

Os respectivos comprovantes do destino dos resíduos sólidos (venda, doação, etc.) e das análises dos efluentes líquidos ficam arquivados no estabelecimento por dois anos e estão sujeitos à fiscalização. O estabelecimento também deve verificar o licenciamento ambiental das empresas para quem destina seus resíduos. A cada renovação de licença, deve ocorrer uma auditoria ambiental, por parte da empresa que está destinando o resíduo.

4 CONCLUSÕES

Com a finalização dos resultados da pesquisa, consegue-se verificar que a quantidade de água reutilizada destinada para as atividades de limpezas de pisos e lavagens de caminhões (carga viva) atendeu a demanda de volume usada atualmente na empresa. Importante ressaltar que a ETE ainda dispõe de 90% de seus efluentes que possam ser reutilizados em outros processos, mantendo os padrões de qualidade da água de reuso.

O objetivo principal deste trabalho foi alcançado, pois conseguimos analisar a viabilidade do reuso de água da estação de tratamento de efluentes em um frigorífico de Condor-RS para as atividades de limpeza de currais e pocilgas e lavagem de caminhões (carga viva).

Assim, o estudo traz benefícios ambientais, econômicos e sociais apresentados pela reutilização da água, através da redução de custos relativos aos sistemas de captação,

abastecimento, tratamento, operação e distribuição de água potável. Também foram reduzidos custos e volumes de geração e lançamento de efluentes tratados no rio Palmeira.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - projeto 303934/2019-0) e a FAPERGS, pelo apoio financeiro, à UNISC e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

FEASIBILITY ANALYSIS OF WATER REUSE FROM THE EFFLUENT TREATMENT STATION IN A REFRIGERATOR LOCATED IN CONDOR/RS

ABSTRACT: Reuse water from the Effluent Treatment Station (ETE) is an alternative for reducing environmental impacts. With the use of this resource, it is possible to know the environmental, economic and social benefits provided by the reuse of water in the slaughterhouse process activities. Therefore, the main objective of this study was to analyze the feasibility of reusing water from the effluent treatment plant in a slaughterhouse located in the city of Condor-RS for activities that do not require the use of potable water, such as cleaning corrals and pigsties and washing of trucks (live load). The research used the methodology classified as action-research, in which it relies on the action of the authors to solve problems encountered, related to environmental impacts. As a result of the research, it was possible to reuse wastewater from the WWTP in less noble processes, such as: cleaning corrals and pigsties and washing trucks (live load), meeting the volume demands for this purpose.

Keywords: Reuse water. Effluent treatment. Refrigerator.

REFERÊNCIAS

ADAMI, L.; SCHIAVON, M. FROM circular economy to circular ecology: A review on the solution of environmental problems through circular waste management approaches. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 925, 2021.

BARROS, H. M. M.; BARROS, M. K. L. V.; DE PÁDUA SOUZA, L.; CHICÓ, L. R. *et al.* Reuso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 3, 2015.

BUSTILLO-LECOMPTE, C.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater: treatment, management and resource recovery. **Physico-chemical wastewater treatment and resource recovery**, p. 153-174, 2017.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of environmental management**, v. 161, p. 287-302, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. C. A distinctive analysis of case study, action research and design science research. **Revista brasileira de gestão de negócios**, v. 17, p. 1116-1133, 2015.

FLETCHER, D. L. Poultry Meat: Processing. **Encyclopedia of Animal Science; CRC Press: Boca Raton, FL, USA**, p. 740-743, 2004.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2012.

KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 133, n. 1, p. 172-176, 2006.

KOO, C. H.; MOHAMMAD, A. W. Recycling of oleochemical wastewater for boiler feed water using reverse osmosis membranes – A case study. **Desalination**, v. 271, n. 1-3, p. 178-186, 2011.

MEIRAMKULOVA, K.; ORYNBEKOV, D.; SASPUGAYEVA, G.; AUBAKIROVA, K. *et al.* The effect of mixing ratios on the performance of an integrated poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for a recyclable high-quality effluent. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6097, 2020.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Production**, v. 22, p. 1-13, 2012.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria**: uso racional e reuso. Oficina de Textos, 2005.

MORUZZI, R. B. **Reuso de água no contexto da gestão de recursos hídricos**: impacto, tecnologias e desafios. 2008.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E. *et al.* Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 791-808, 2020.

OLIVEIRA, J. F. D.; RODRIGUES, F. N.; FIA, R.; MAFRA, D. C. *et al.* Percolate quality in soil cultivated with application of wastewater from swine slaughterhouse and dairy products. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 1222-1235, 2017.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 531-538, 2017.

PINHATI, F. R.; DEL AGUILA, E. M.; TÔRRES, A. P. R.; SOUSA, M. P. D. *et al.* Avaliação da eficiência de degradação de hidrocarbonetos aromáticos por bactérias provenientes de estação de tratamento de efluente de refinaria de petróleo. **Química Nova**, v. 37, p. 1269-1274, 2014.

SANTOS, H. F. D.; MANCUSO, P. C. S. A escassez e o reuso de água em âmbito mundial. **Reuso de água**, 2003.

THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. *In*: THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2011. p. 136-136.

TOCCHI, C.; FEDERICI, E.; SCARGETTA, S.; D'ANNIBALE, A. *et al.* Dairy wastewater polluting load and treatment performances of an industrial three-cascade-reactor plant. **Process biochemistry**, v. 48, n. 5-6, p. 941-944, 2013.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Reuso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 119-128, 2010.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

EFEITO DO MÉTODO DE SECAGEM DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS NA DESCOLORAÇÃO DO CORANTE AZOICO AMARANTO

Sabrina Beloni Vaz^{1}, Ana Carolina Müller², Bruno Kauã Oliveira Rosa²,
Lisianne Brittes Benitez³*

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

² Bolsistas de Iniciação Científica, PPGTA-UNISC, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

³ Professor pesquisador, PPGTA-UNISC, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

*E-mail: sabrinabeloni@mx2.unisc.br

RESUMO

Os corantes são amplamente utilizados em muitas indústrias, como a de alimentos, a têxtil, de produção de papel e celulose e de cosméticos. Dentre os mais utilizados estão os azoicos devido a sua versatilidade de aplicação, estabilidade, diversidade de cores e preço. O descarte inadequado de efluentes contaminados com corantes azoicos na natureza é motivo de preocupação para os pesquisadores devido ao impacto que esse tipo de corante e as substâncias intermediárias de sua degradação causam à saúde humana e à biota aquática. Por esse motivo, o desenvolvimento de tratamentos ecologicamente amigáveis para a degradação desses corantes é importante. A utilização de nanopartículas na remediação de diversos poluentes é uma área consolidada, porém a síntese verde desse material é um campo relativamente novo, e estudos sobre parâmetros da síntese que influenciem na eficiência dessas nanopartículas são importantes para o avanço da pesquisa nessa área. O objetivo do presente trabalho foi de avaliar dois métodos de secagem para a transformação da suspensão coloidal das nanopartículas de ferro, sintetizadas a partir do extrato de erva mate em pó. O primeiro método consistiu em secagem na estufa 70°C por 8 hs, enquanto o segundo método foi de secagem em placa de aquecimento. Foi realizado o teste de descoloração do corante azo amaranth frente a diferentes concentrações das nanopartículas sintetizadas. Os resultados demonstram que as nanopartículas secas em placas de aquecimento apresentam uma taxa de descoloração de 36%, valor mais elevado quando comparado às nanopartículas secas em estufa que tiveram taxa de descoloração de 5%, o que pode estar relacionado com a oxidação da superfície das nanopartículas, visto que as nanopartículas sintetizadas em estufa levam em torno de 8 h para a secagem enquanto em placa de aquecimento o tempo de secagem foi de 2 h. Os resultados parciais deste estudo nos levam a concluir que é necessária a testagem de novos protocolos de secagem que busquem evitar a oxidação da superfície das nanopartículas metálicas.

Palavras-chave: Corante Azo. Síntese verde. Nanopartículas. Secagem.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os corantes são vastamente utilizados em diversos ramos industriais, como farmacêutico, alimentar e têxtil, por exemplo. Dentre os tipos de corantes utilizados pelas indústrias, mais de 70% são do tipo azo (AL-ENAZI, 2022). Os corantes azoicos

(-N=N-) são compostos orgânicos de origem sintética com estrutura molecular complexa que os torna estáveis e de difícil biodegradação (BEKHIT; FARAG *et al.*, 2020).

As substâncias intermediárias geradas pela degradação desse tipo de corante são tóxicas, cancerígenas e mutagênicas, que podem ser prejudiciais à saúde humana e à natureza (GU; YIN *et al.*, 2021). O descarte de efluentes contendo corantes azoicos nos corpos hídricos impede a penetração de luz solar, que é essencial para a fotossíntese dos organismos presentes no meio, além de interferir na transferência de oxigênio entre a água e o ar, prejudicando a qualidade da água e afetando diretamente a vida aquática (QIN; QIAN *et al.*, 2021; DIHOM; AL-SHAIBANI *et al.*, 2022).

Nesse contexto, há uma grande atenção ao desenvolvimento de técnicas eficientes para decomposição desses compostos. O método geralmente utilizado para o tratamento de efluentes contaminados com corantes azoicos envolve o uso de processos biológicos de adsorção e coagulação, este tipo de métodos é ineficaz devido à presença de grupos aromáticos e à estabilidade desses corantes (XIONG; HUANG *et al.*, 2020).

Recentemente, o tratamento de efluentes mediado por nanopartículas metálicas vem ganhando destaque devido às propriedades físico-químicas, biológicas e catalíticas únicas da nanopartículas (NOMAN; SHAHID *et al.*, 2020). Existem diversos métodos para sintetizar nanopartículas, os métodos químicos e físicos exigem diferentes condições ambientais dependendo do material precursor, além disso, são técnicas caras e demoradas que utilizam produtos químicos tóxicos (DEVI; MUHD JULKAPLI *et al.*, 2023). Por outro lado, a síntese verde utiliza fontes naturais, como plantas, bactérias, fungos e algas que são ricos em fitoquímicos e biomoléculas capazes de atuar como agente redutor e estabilizador, substituindo reagentes químicos nocivos ao meio ambiente (NGUYEN; NGUYEN *et al.*, 2023).

No entanto, a estabilidade de nanopartículas metálicas no ambiente é um desafio em sua utilização, pois são propensas à oxidação pelo ar devido a sua baixa estabilidade em condições naturais, requerendo armazenamento em ambiente inerte, por exemplo, adição de N₂ (RASMIYA BEGUM; JAYAWARDANA, 2023). Com o tempo, a estabilidade das nanopartículas em dispersões diminui, por isso uma alternativa é convertê-las em um produto seco mais estável. Os métodos de secagem térmica, como *spray drying*, representam risco de aglomeração das nanopartículas ao longo do processo, por isso, a liofilização é o método de secagem mais utilizado (DRAGAR; ILERŠIČ *et al.*, 2022).

No presente estudo, nanopartículas de ferro foram sintetizadas utilizando extrato de erva mate e FeCl₃. Para a conversão das nanopartículas, em dispersão para um pó seco,

foram testadas algumas formas de secagem, como secagem em estufa, mufla e chapa de aquecimento. A eficiência das nanopartículas foi testada para a descoloração do corante amarantho. O objetivo do presente trabalho foi de comparar a eficiência de dois métodos de secagem de nanopartículas, através de chapa de aquecimento e estufa (70°C).

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE FERRO

O extrato de erva mate foi preparado fervendo erva mate Madrugada® pura folha em água deionizada com concentração de 60 g.L⁻¹ a 80°C por 1 hora e filtrado a vácuo. As nanopartículas de ferro foram sintetizadas adicionando-se o extrato à 0,1 M FeCl₃ na proporção de volume 2:1 à temperatura ambiente. O aparecimento imediato da cor preta indica a redução dos íons Fe³⁺. Metodologia adaptada (WANG; JIN *et al.*, 2014). Para transformar a suspensão das nanopartículas em um pó seco, utilizou-se secagem em estufa a 70°C por 8 h e evaporação da água em chapa de aquecimento e posteriormente macerado com o auxílio do almofariz e pistilo.

Para avaliar se as nanopartículas poderiam descolorir o corante amarantho, um teste foi conduzido utilizando uma solução de 0,03 g.L⁻¹ de corante e variando a concentração de nanopartículas de 0,5 g.L⁻¹ a 6 g.L⁻¹ sob agitação orbital a 150 rpm e temperatura ambiente em um *shaker*. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A mudança de coloração da solução de verde para preto indica a formação de nanopartículas de ferro como podemos ver na Figura 1 exposta abaixo.

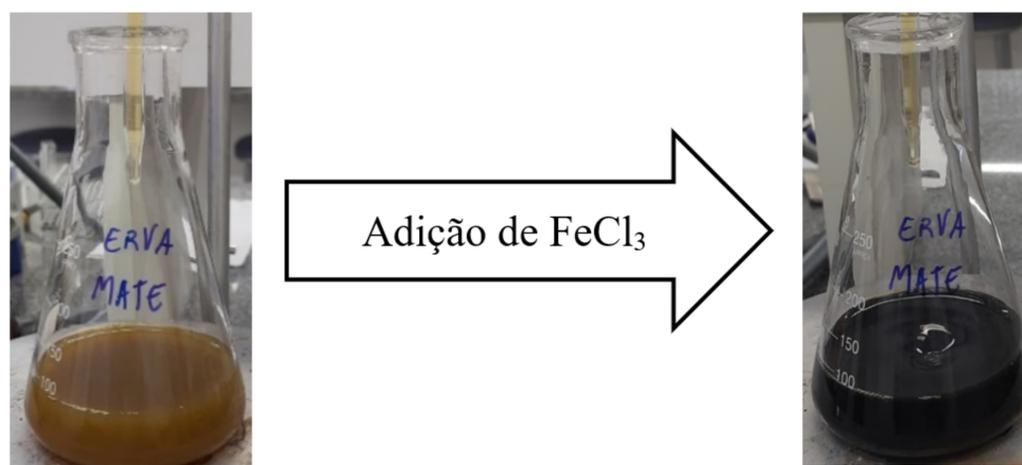


Figura 1. Esquema de síntese de nanopartículas de ferro a partir do extrato de erva mate.

Os métodos de secagem utilizados no trabalho são térmicos. Dependendo da adição de calor ao sistema para evaporação da água, é importante destacar que esse tipo de método pode levar à aglomeração das partículas consequentemente aumentando seu tamanho.

A Figura 2 traz um comparativo entre a eficiência de degradação do corante amarantho utilizando nanopartículas de ferro secas através de estufa e nanopartículas de ferro secas através de chapa de aquecimento.

Podemos observar na Figura 2 que as nanopartículas secas em chapa de aquecimento obtiveram uma maior taxa de descoloração do amarantho em comparação às nanopartículas secas em estufa. Esse resultado possivelmente ocorreu devido à suscetibilidade à oxidação da superfície das nanopartículas de ferro (ARAGAW; BOGALE *et al.*, 2021).

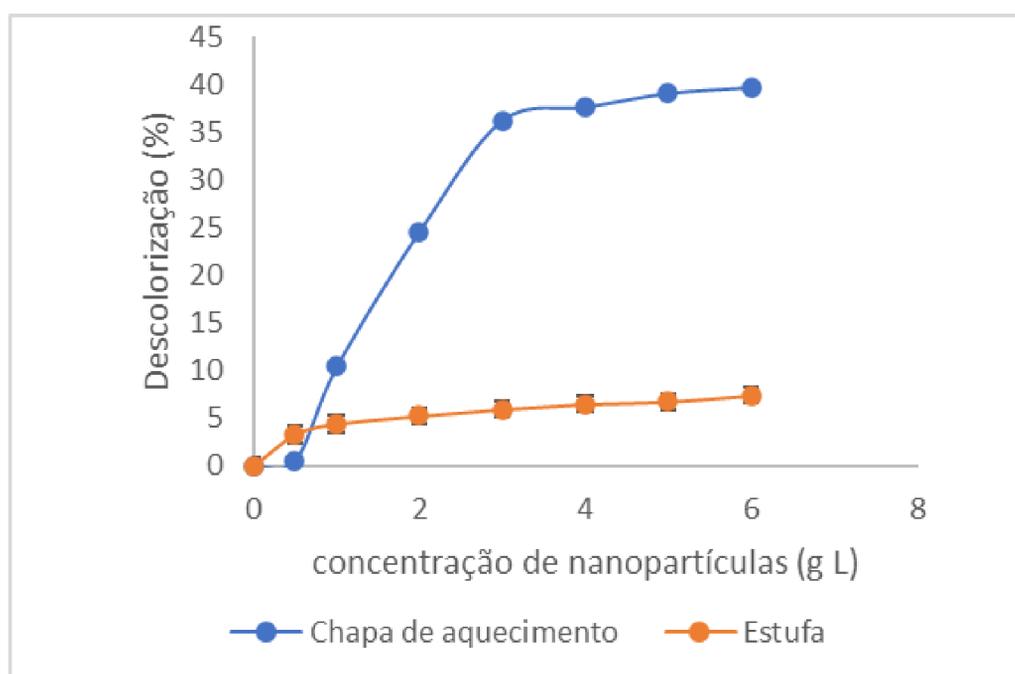


Figura 2. Gráfico da relação da concentração de nanopartículas secas na estufa e na chapa de aquecimento e sua porcentagem de descoloração do corante amarantho.

Além disso, podemos perceber a influência da concentração de nanopartículas na descoloração do corante amaranço. A Figura 2 demonstra que a eficiência de descoloração aumentou com o aumento da quantidade de nanopartículas de ferro, com a dosagem ótima em 3 g L^{-1} . A eficiência de remoção nas soluções de corante amaranço nas dosagens mais elevadas de nanopartículas de ferro resultou em menor degradação, pois as nanopartículas de ferro sintetizadas contêm polifenóis da erva-mate em sua superfície. O aumento na quantidade de nanopartículas na solução pode levar a maior descarga de polifenóis na solução aquosa contendo o corante (HASSAN; AL-KINDI *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o método de secagem de nanopartículas de ferro sintetizadas a partir da erva-mate em placa de aquecimento é mais eficiente que a utilização de estufa.

A síntese verde de nanopartículas é uma tecnologia recente se comparada aos métodos tradicionais de síntese de nanopartículas, por isso é importante o desenvolvimento de estudos que analisem os parâmetros envolvidos para o aumento de sua eficiência e que venham a tornar viável sua produção em larga escala.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento 001; à Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC).

EFFECT OF THE DRYING METHOD OF METALLIC NANOPARTICLES ON THE DECOLORIZATION OF AZOIC AMARANTH DYE

ABSTRACT: Dyes are widely used in many industries, such as food, textile, pulp, paper production, and cosmetics. Among the most used are the azoic ones due to their versatility of application, stability, diversity of colors, and price. However, the inadequate disposal of effluents contaminated with azoic dyes in nature is a matter of concern for researchers due to the impact that this type of dye and the intermediate substances of its degradation

cause on human health and aquatic biota. For this reason, the development of ecologically friendly treatments for the degradation of these dyes is essential. Furthermore, the use of nanoparticles in the remediation of various pollutants is a consolidated area. However, the green synthesis of this material is a relatively new field, and studies on synthesis parameters that influence the efficiency of these nanoparticles are essential for advancing research in this area. The objective of the present work was to evaluate two drying methods for transforming the colloidal suspension of iron nanoparticles synthesized from powdered yerba mate extract. The first method consisted of drying in an oven at 70 °C for 8 h, while the second was drying on a hot plate. In addition, the discoloration test of the azo dye amaranth was performed against different concentrations of the synthesized nanoparticles. The results show that nanoparticles dried on heating plates have a discoloration rate of 36%, a higher value when compared to nanoparticles dried in an oven that had a discoloration rate of 5%, which may be related to surface oxidation of the nanoparticles since the nanoparticles synthesized in an oven take around 8 h to dry. In contrast, on a heating plate, the drying time was 2 h. The partial results of this study lead us to conclude that it is necessary to test new drying protocols that seek to avoid surface oxidation of metallic nanoparticles.

Keywords: Azo dye; green synthesis, nanoparticles; drying.

REFERÊNCIAS

AL-ENAZI, N. M. Optimized synthesis of mono and bimetallic nanoparticles mediated by unicellular algal (diatom) and its efficiency to degrade azo dyes for wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 303, 135068, 2022.

ARAGAW, T. A.; BOGALE, F. M.; ARAGAW, B. A. Iron-based nanoparticles in wastewater treatment: A review on synthesis methods, applications, and removal mechanisms. **Journal Of Saudi Chemical Society**, v. 25, n. 8, 101280, 2021.

BEKHIT, F.; FARAG, S.; ATTIA, A. M. Decolorization and degradation of the Azo dye by bacterial cells coated with magnetic iron oxide nanoparticles. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 14, 100376, 2020.

DEVI, D.; MUHD JULKAPLI, N.; SAGADEVAN, S.; RAFIE JOHAN, M. Eco-friendly green synthesis approach and evaluation of environmental and biological applications of Iron oxide nanoparticles. **Inorganic Chemistry Communications**, 110700, 2023.

DIHOM, H. R.; AL-SHAIBANI, M. M.; RADIN MOHAMED, R. M. S.; AL-GHEETHI, A. A.; SHARMA, A.; KHAMIDUN, M. H. B. Photocatalytic degradation of disperse azo dyes in textile wastewater using green zinc oxide nanoparticles synthesized in plant extract: A critical review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 47, 102705, 2022.

DRAGAR, Č.; ILERŠIČ, N.; POTRČ, T.; NEMEC, S.; KRALJ, S.; KOCBEK, P. Electrospinning as a method for preparation of redispersible dry product with high content of magnetic nanoparticles. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 629, 122389, 2022.

GU, M.; YIN, Q.; WU, G. Metagenomic analysis of facilitation mechanism for azo dye reactive red 2 degradation with the dosage of ferroferric oxide. **Journal of Water Process Engineering**, v. 41, 102010, 2021.

HASSAN, A. K.; AL-KINDI, G. Y.; GHANIM, D. Green synthesis of bentonite-supported iron nanoparticles as a heterogeneous Fenton-like catalyst: Kinetics of decolorization of reactive blue 238 dye. **Water Science and Engineering**, v. 13, n. 4, p. 286–298, 2020.

NGUYEN, N. T. T.; NGUYEN, L. M.; NGUYEN, T. T. T.; TRAN, U. P. N.; NGUYEN, D. T. C.; TRAN, T. V. A critical review on the bio-mediated green synthesis and multiple applications of magnesium oxide nanoparticles. **Chemosphere**, v. 312, 137301, 2023.

NOMAN, M.; SHAHID, M.; AHMED, T.; NIAZI, M. B. K.; HUSSAIN, S.; SONG, F.; MANZOOR, I. Use of biogenic copper nanoparticles synthesized from a native *Escherichia* sp. as photocatalysts for azo dye degradation and treatment of textile effluents. **Environmental Pollution**, v. 257, 113514, 2020.

QIN, J.; QIAN, L.; ZHANG, J.; ZHENG, Y.; SHI, J.; SHEN, J.; OU C.. Accelerated anaerobic biodecolorization of sulfonated azo dyes by magnetite nanoparticles as potential electron transfer mediators. **Chemosphere**, v. 263, 128048, 2021.

RASMIYA BEGUM, S. L.; JAYAWARDANA, N. U. Green synthesized metal nanoparticles as an ecofriendly measure for plant growth stimulation and disease resistance. **Plant Nano Biology**, v. 3, 100028, 2023.

WANG, T.; JIN, X.; CHEN, Z.; MEGHARAJ, M.; NAIDU, R. Green synthesis of Fe nanoparticles using eucalyptus leaf extracts for treatment of eutrophic wastewater. **Science of The Total Environment**, p. 466–467, 210–213, 2014.

XIONG, Y.; HUANG, L.; MAHMUD, S.; YANG, F.; LIU, H. Bio-synthesized palladium nanoparticles using alginate for catalytic degradation of azo-dyes. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 28, n. 5, p. 1334–1343, 2020.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO: UMA ANÁLISE DAS EMPRESAS PERTENCENTES AO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL POLOVEST ERECHIM

Tainá Stempkowski Terra^{1}, Rosiane Serrano¹, Raquel de Campos¹,
Fernanda Caumo Theisen¹, Liane Mahlmann Kipper², Ana Julia Dal
Forno³*

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Erechim, RS, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA e Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – PPGSPI, Universidade de Santa Cruz do Sul, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, SC, Brasil.

*E-mail: tainaterra94@gmail.com

RESUMO

A inovação tecnológica vem sendo primordial para a indústria 4.0, ajudando no aumento da capacidade produtiva, melhoria do produto, ampliação de mercado e versatilidade produtiva. Tendo isso em vista, esse texto buscou analisar como a inovação tecnológica se faz presente nas indústrias cadastradas no Arranjo Produtivo Local, PoloVest Erechim. Para a metodologia, foi escolhido o método de pesquisa *Survey* descritiva, questionando sobre o contato com a inovação tecnológica nas indústrias. Como resultado, a pesquisa apontou que a maioria dos entrevistados possui contato com inovação tecnológica, sendo este contato feito de forma direta ou indireta. Porém, lacunas tecnológicas ainda precisam ser preenchidas para a indústria local conseguir atender as demandas, aumentar seu potencial e ter destaque no mercado, por meio de capacitação e a utilização de *softwares*.

Palavras-chave: Inovação. Indústria. Tecnologia. Vestuário.

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2011, foi usado pela primeira vez na Alemanha o termo de Indústria 4.0 que se conceitua como a Quarta Revolução Industrial (DRATH; HORCH, 2014). Essa estrutura de indústria prevê o contato direto entre máquinas e humanos, desenvolvendo redes para a proposição de produtos e serviços de forma autônoma (SILVA; SANTOS FILHOS; MIYAGI, 2015). A indústria 4.0 está ligada aos sistemas Ciber-Físicos, que são equipamentos que têm uma representação virtual e se conectam por meio da internet, tornando possível a troca de conhecimento, informações e dados em tempo real (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A utilização de tecnologia nos diversos setores, tais como o têxtil, exerce papel essencial, pois as empresas, para se destacarem no mercado precisam produzir e responder rapidamente às tendências de moda (ABECASSIS, 2006). Assim, é possível observar nas indústrias têxteis e de vestuário a busca por inovação em processos e métodos de produção, por meio da tecnologia.

A inserção tecnológica está ligada à inovação. Uma vez que, ao abordar o tema inovação, verifica-se que esta pode ser organizacional, de processos, de mercado, radical, incremental, disruptiva e tecnológica (ABECASSIS, 2006). A inovação tende a

oferecer um diferencial para as organizações, contudo é fundamental que os produtos e serviços sejam atualizados constantemente (BESSANT, 2009).

A inovação tecnológica, por sua vez, possui relação direta com o advento da indústria 4.0 e passa a ser difundida e utilizada como um meio para manter e amplificar a competitividade no mercado (ABECASSIS, 2006). A inovação tecnológica aplicada para o desenvolvimento de produto ou aprimoramento de processo, tema desta pesquisa, perpassa o valor agregado à marca, mas seu uso propicia redução de custos, falhas internas (PAVÃO, 2018), impactos sociais e ambientais.

No setor têxtil e de vestuário, a inovação tecnológica pode ser vista nos diversos setores, exemplos são: a aplicação da nanotecnologia e biotecnologia para desenvolvimento de estrutura das fibras, possibilitando a construção de tecidos resistentes, confortáveis, entre outras características (COSTA; ROCHA, 2009). A troca de informação e comunicação também pode ser identificada como uma inovação tecnológica na indústria da moda, com *softwares* que atuam de maneira interligada nas fases de desenho, modelagem e corte de peças do vestuário, sistemas como CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*). Além do acoplamento de aparelhos eletrônicos nas máquinas de costura, visando aumento de precisão nos acabamentos e a eficiência produtiva (COSTA; ROCHA, 2009).

Portanto, esse capítulo tem como objetivo analisar como a inovação tecnológica se faz presente nas indústrias vestuário usuárias ou associadas ao Arranjo Produtivo Local, PoloVest Erechim, descrevendo uma análise da realidade das empresas no que diz respeito ao emprego de recursos advindos da Indústria 4.0. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizada como metodologia a pesquisa *Survey*. Nessa abordagem, o pesquisador analisa a amostragem de um problema com o intuito de explanar conclusões acerca dessa amostra (MIGUEL *et al.*, 2011).

A indústria têxtil e de vestuário, por sua vez, se faz presente na economia do Alto Uruguai Gaúcho, com 333 empresas da área do vestuário, sendo 208 delas microempreendedores individuais, 54 microempresas, 8 empresas de médio porte e uma empresa de pequeno porte (DATA SEBRAE, 2020). Esses números incentivaram a criação de um arranjo produtivo local, voltado exclusivamente para a área têxtil e de vestuário, sendo assim, em 2016 com a associação de 24 empresas do vestuário, surgiu o Arranjo Produtivo Local, localizado na cidade de Erechim, na região norte do estado do Rio Grande do Sul.

2 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO SETOR TÊXTIL

Na moda, alguns dos processos de produção que envolvem a inovação tecnológica estão centrados nos setores de tecelagem, corte, costura, acabamento, projeto de produto e gestão de marca. A inovação tecnológica não precisa ser elaborada pela empresa; ela pode ser adquirida por outras instituições com o processo de difusão dos fluxos de conhecimento, que é quando não envolve interações com as fontes envolvidas (OCDE, 2005). Na indústria de vestuário, um exemplo de inovação tecnológica aplicado aos setores de desenvolvimento, modelagem, planejamento de encaixe, corte e programação da produção são os sistemas com vários *softwares* para solucionar demandas da indústria de forma integrada e autônoma (AUDACES, 2018).

O contato entre as indústrias com as inovações tecnológicas e os processos de inovação permitem vantagens (LINDGREEN, 2012) como a confiabilidade e rastreabilidade dos produtos desenvolvidos, por meio da disseminação da informação, o contentamento do consumidor final, ao receber o produto com qualidade e agilidade (KOWALSKI; WITTEL; GUSTAFSSON, 2013). Contudo, Campos (2021) salienta que, ao pensar em inovação tecnológica na moda, é preciso analisar o processo de produção de peças do vestuário e a necessidade de uma organização sistêmica enquanto indústria. No contexto desta pesquisa, aprofundar-se-á a inserção de inovações tecnológicas na indústria de vestuário, no que diz respeito a etapas de desenvolvimento de produto, modelagem e corte, por meio do uso de sistemas CAD/CAM (SILVEIRA, 2003). O sistema CAD/CAM é conceituado como tecnologia de múltiplas disciplinas, é um agrupamento de ferramentas usadas por várias áreas dentro da indústria (ROMEIRO; REYDON; LEONARDI, 1997).

3 METODOLOGIA

Para esta pesquisa, a metodologia definida foi a *Survey*, que tem como objetivo apurar informações e dados a partir de concepções e aspectos de um grupo, geralmente por meio de um questionário (MIGUEL *et al.*, 2011). Para Fink (1995), as principais características de pesquisas do tipo *Survey* são produzir informações quantitativas de uma determinada população e fazer o uso de instrumentos pré-definidos.

Usa-se a metodologia *Survey* quando se deseja respostas de questões do tipo “O quê?”, “Como?”, “Por quê?” e “Quanto?”, isto é, quando o ponto central é o porquê está acontecendo e como está acontecendo (FREITAS *et al.*, 2000). A presente pesquisa se conceitua como uma *Survey* descritiva, pois busca apresentar a diferença das situações,

eventos, atitudes ou opiniões dos grupos da pesquisa e descreve os fenômenos, podendo fazer ou não uma comparação das situações, identificando se a teoria está ou não de acordo com a realidade (PINSONNEAULT; KRAEMER, 1993). A pesquisa divide-se em 6 etapas, conforme mostra a Figura 1.

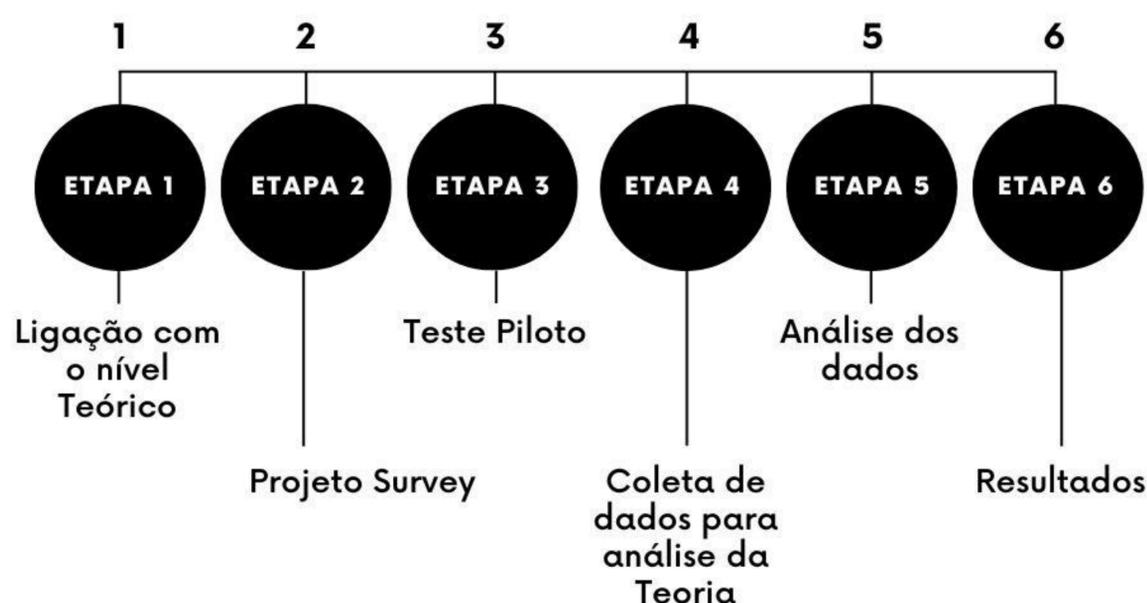


Figura 1. Etapas da pesquisa

Etapa 1 – Ligação com o nível Teórico: Realizou uma pesquisa com o objetivo de identificar estudos com uso de inovações tecnológicas para o setor têxtil e de vestuário. Baseado no referencial teórico, foram selecionadas empresas usuárias ou associadas ao Arranjo Produtivo Local PoloVest (APL), que se localiza no estado do Rio Grande do Sul.

Etapa 2 – Projeto Survey: Para a coleta de dados, foi desenvolvido um questionário no Google Formulários, sendo estruturado em três blocos, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Extrato da Estrutura do Questionário

Blocos	Objetivos	Exemplos de Questões
Bloco 1 - Bloco de Introdução	Este bloco objetiva conhecer o respondente e a empresa representada por este.	Nome (opcional): Idade: Formação: Trabalha na área do vestuário há quanto tempo?
Bloco 2 - Bloco Emprego de Inovação Tecnológica para a indústria.	Este bloco de questões busca compreender a realidade da empresa no uso de tecnologias inovadoras para o desenvolvimento e produção do produto têxtil ou de vestuário.	Para você, qual é a importância de estar sempre atualizado sobre as inovações tecnológicas do mercado? Você tem contato com alguma inovação tecnológica no seu trabalho? Por qual motivo sua empresa não utiliza recursos tecnológicos para o desenvolvimento do produto têxtil e de vestuário?

Blocos	Objetivos	Exemplos de Questões
Bloco 3 – Terceirização	Este bloco tem como objetivo verificar se a empresa terceiriza algum de seus processos e qual o nível de intensidade, pois o público respondente terceiriza processos de modelagem e corte	A empresa trabalha com terceirização? Você teria interesse em terceirizar algum processo? Por qual motivo a sua empresa não realiza terceirização? Se sim, que processo a empresa terceiriza?

Fonte: Elaboração própria.

A Plataforma Google Forms foi escolhida para o desenvolvimento e a aplicação do questionário, pois as plataformas *on-line* tornaram-se espaços voltados para pesquisa e negócios, facilitando assim a comunicação. As perguntas desenvolvidas eram abertas, fechadas, de múltipla escolha e de escala de avaliação (MARKONI; LAKATOS, 2010). A escala de intensidade usada foi a escala *Likert*, sendo 1 concordo totalmente e 5 discordo totalmente.

Etapa 3 – Teste Piloto: Conforme preconiza a metodologia *Survey*, foi aplicado um teste piloto com 3 empresas usuárias ou associadas ao APL, que possuem contato direto e indireto com tecnologia na área do vestuário. O questionário do pré-teste foi disponibilizado no dia 02/11/22, com o período de resposta de 2 dias. O objetivo do pré-teste foi a análise das questões desenvolvidas, sendo que os ajustes indicados pelos respondentes foram aceitos; o extrato deste é apresentado no Tabela 1.

Etapa 4 – Coleta de dados para análise da Teoria: A listagem de usuárias ou associadas informada pelo Arranjo Produtivo Local (APL) totalizou 32 unidades fabris divididas em micro, média e grande porte. A definição de porte das empresas levou em consideração a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, também conhecida como Estatuto Nacional da Microempresa, segundo a qual empresas de até 19 funcionários são consideradas microempresas (ME), de 20 até 99 funcionários são consideradas empresas de médio porte (EM) e de 100 a 500, ou mais, empregados são consideradas empresas de grande porte (EG) (SEBRAE, 2022).

Em primeiro momento, os respondentes deveriam ser da área de modelagem, pois são as ações disponibilizadas pelo APL. Em um segundo momento, abriu-se para os respondentes de áreas que utilizam *softwares* e inovações tecnológicas para o desenvolvimento das atividades. O pesquisador contatou as empresas via mensagem de texto e ligação e enviou o questionário no dia 08/11/2022. Observou-se que, nos dois primeiros dias, 09 empresas responderam e a pesquisa estagnou, sendo necessária

uma nova rodada de mensagens e ligações. Por fim, foram obtidas 16 respostas em um período de 10 dias. Observa-se que 50% das empresas enviaram as respostas; Fink (1995) declara que o tamanho da amostra coletada é correspondente ao necessário para que os resultados sejam confiáveis.

Etapa 5 – Análise dos dados: Para a análise dos dados, foi gerada uma planilha em .XLS (Microsoft Excel) contendo as respostas. Porém, a análise foi realizada manualmente.

Etapa 6 – Resultados: Essa etapa apresenta os resultados dessa pesquisa na seção 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro bloco buscou conhecer as empresas e os respondentes do questionário. No que diz respeito à idade, encontra-se uma variação de 23 a 64 anos nos respondentes. Dos respondentes, 75% possui ensino superior completo, dos quais 12,6% não são graduados na área de moda e vestuário, porém atuam respectivamente há 5 e 34 anos na indústria têxtil.

Existe uma variedade de produtos desenvolvidos pelas empresas vestuário usuárias ou associadas APL e os produtos variam de *lingerie*, confecção de vestuário em malha e tecido plano, *jeans*, *pet* e cama, mesa e banho. Vale destacar que o maior quantitativo de empresas que produzem um segmento foi a de uniformes, totalizando 6 respondentes. Com relação às funções dentro da empresa, vale destacar que apenas uma pessoa ocupa o cargo de *designer* (6,7%), 25% são modelistas, 12% gerentes de produção e 56,3% ocupam outros cargos nas empresas como diretores ou gerentes e nenhuma pessoa ocupa os cargos de enfeitador e cortador.

No segundo bloco, apontou-se informações sobre o emprego da Inovação Tecnológica para a indústria. Destaca-se que 93,8% dos respondentes concordam totalmente ou parcialmente “que para se destacar no mercado é primordial que a empresa esteja ligada às inovações tecnológicas” (LEMOS; NASCIMENTO, 1999). Porém, 6,2% discordam parcialmente da afirmação. O Entrevistado 06 afirmou que “*investir em atualização tecnológica para as empresas significa assegurar que todas as funcionalidades operacionais estão a todo vapor, e ao mesmo passo em que coloca a concorrência para trás, garantindo entregas com maior qualidade, uma vantagem competitiva inestimável ao consumidor*”. Portanto, manter sua unidade fabril atualizada, no que se diz respeito à inovação tecnológica, é relevante, impactando na competitividade da empresa.

Com o intuito de entender como os participantes conceituam a tecnologia, foram propostas cinco afirmações para escolha. Assim, 62,5% das pessoas definem tecnologia como algo que melhora o dia a dia, 31,3% definem que tecnologia está cada vez mais acessível às empresas. Contudo, 6,3% definem como algo que dificulta o dia a dia e substitui a mão de obra humana.

Os respondentes foram instigados a responder se a empresa tinha contato com a inovação tecnológica direta ou indiretamente, em especial nos setores de modelagem, enfiado e corte, setores atendidos pelo APL – Polo Vest. Assim, 87,5% dos respondentes afirmam que a empresa tem contato direto e 12,5% afirmam que a empresa não tem contato com tecnologia nos setores citados. Como justificativa, os respondentes que afirmaram que a característica do produto desenvolvido, ou seja, o fato de a confecção ser sob medida, bem como dos altos investimentos que teriam que ser feitos não compensavam neste momento.

Porém, ao questionar sobre o contato do respondente com a tecnologia, 78,6% dos entrevistados responderam que o contato é direto nos setores de desenvolvimento de produto, modelagem, enfiado e corte. Outros 7,1% têm contato direto somente no setor de modelagem. Destaca-se que o contato indireto por meio de processos terceirizados corresponde a 14,3% dos entrevistados, pois realizam etapas do processo do APL – Polo Vest. Sobre o que levou a empresa a ter contato direto ou indiretamente com a tecnologia, alguns dos principais motivos foram a padronização da confecção, redução de tempo de trabalho, agilidade no processo e praticidade.

Com o intuito de verificar quais tecnologias estão presentes nas empresas, perguntou-se quais *softwares* são utilizados por estas, 57,1% responderam Audaces, 14,3% Optitex e 7,1% Lectra, ambos para desenvolvimento de modelagem e encaixe. Ainda, 21,4% destacaram o uso de outros *softwares* como Corel Draw e Pacote Adobe.

Após identificar o *software* que a empresa utiliza, 64,3% concordam totalmente com a afirmação de que os programas atendem às necessidades, 7,1% nem concordam e nem discordam, 28,6% concordam parcialmente. Sobre a linguagem do *software* ser acessível, 50% das empresas concordam totalmente com a informação, 28,6% concordam parcialmente e 21,4% nem concordam e nem discordam. Questionadas sobre as dificuldades com os *Softwares*, a maioria das empresas respondeu que são inexistentes.

Sobre a modelagem digital, o Entrevistado 09 respondeu que deixou de utilizar o *software* por “acreditar que o desenvolvimento da modelagem manual é mais fácil”. Bem

como, “já tentamos usar plataformas online para o desenvolvimento de modelagem, mas com pouca mão de obra qualificada no mercado, e uma procura significativa de uniformes, nossa empresa optou por manter os padrões de moldes já usados, por isso não utilizamos eles digitais, tem dado certo, pois nossos clientes são os mesmos em 20 anos, e os novos sempre se adaptam fácil aos tamanhos. Óbvio que se necessário ajustes, faremos sempre que possível.” (Entrevistado 09). O Entrevistado 07, por sua vez, descreve que “a modelagem começa a ser feita manualmente e apenas depois é transferida para o Software”.

Com relação à qualificação de mão de obra para atender o segmento, perguntou-se se já receberam algum tipo de treinamento: 57,1% afirmaram que sim e 42,9% informaram que não. A resposta negativa justifica a dificuldade de uso de tecnologia pelas empresas como apontado pelo Entrevistado 09. Contudo, dos entrevistados que mencionaram ter recebido treinamento, 12,5% afirmou que recebeu o treinamento em curso superior, 37,5% em treinamento interno da empresa e 50% em outro ou mais de um tipo de treinamento.

O objetivo do terceiro bloco de perguntas é compreender a realidade no que diz respeito à terceirização de processos da indústria têxtil, assim, 93,8% das empresas afirmam terceirizar alguma parte do processo de confecção de seus produtos e apenas 6,3% não terceirizam. Sobre os processos terceirizados atualmente, 53,3% terceirizam costura, 40% terceirizam corte e 6,7% terceirizam a parte de desenvolvimento de produto. Os entrevistados citam diversos motivos para a busca da terceirização, mas destaca-se redução de custos, falta de mão de obra, maquinário e espaço físico.

Campos (2021) aponta que a baixa qualidade técnica e gerencial das empresas dificulta os processos de terceirização e modernização. Os entrevistados ampliam esta análise ao destacarem a impossibilidade de concorrência com o *fast fashion*. Neste sentido, cabe justificar a importância de utilizar recursos tecnológicos com o objetivo de reduzir custos e melhorar o desempenho de processos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo teve como objetivo analisar como a inovação tecnológica se faz presente nas indústrias vestuário usuárias ou associadas ao Arranjo Produtivo Local, PoloVest Erechim, descrevendo uma análise da realidade das empresas no que diz respeito ao emprego de recursos advindos da Indústria 4.0. Assim, observa-se que o objetivo foi concretizado, pois verificou-se que as empresas utilizam recursos tecnológicos. Enfatiza-se a importância do processo de aprendizagem e da capacidade de se adaptar

às mudanças na tecnologia e no ambiente, para estar sempre à frente nas mudanças do mercado (CHRISTENSEN, 2007).

A partir da análise dos dados, foi possível constatar que a inovação tecnológica se faz presente direta e indiretamente nas indústrias ligadas. Assim, utilizar a inovação em suas capacidades produtivas é uma maneira relevante de ampliar horizontes. É possível afirmar que as empresas estão procurando se manter atualizadas para conseguir suprir suas demandas no que diz respeito à indústria 4.0.

Como sugestão de trabalho futuro, sugere-se identificar ações para suprir necessidades da cadeia produtiva têxtil e de vestuário, por exemplo, o desenvolvimento de diagnósticos para a solução de possíveis problemas na empresa. Também, sugere-se analisar quais os impactos do uso de recursos tecnológicos para minimizar os resíduos têxteis oriundos da transformação da matéria-prima (tecido) em produto acabado (peças do vestuário).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq pela bolsa de produtividade (Protocolo: 310204/2022-4) e do Edital FAPERGS 10/2021 Auxílio Recém-Doutor ou Recém-Contratado - Ard/Arc (N° 22/2551-0000585-3)

INNOVATION AND TECHNOLOGY IN THE CLOTHING INDUSTRY: AN ANALYSIS OF THE COMPANIES IN THE LOCAL PRODUCTIVE CLUSTER POLOVEST ERECHIM

ABSTRACT: Technological innovation has been essential to Industry 4.0, helping to increase production capacity, product improvement, market expansion, and production versatility. This article sought to analyze how technological innovation is present in the industries registered in the Local Productive Cluster, PoloVest Erechim. The methodology defined for the research was the Survey we questioned about the contact with technological innovation in the companies. The results of the research indicate that most of the interviewees have direct or indirect contact with technological innovations for clothing. However technological gaps still need to be filled for the local industry to meet the demands, increase its potential and stand out in the market through training and the use of the software.

Keywords: Innovation. Companies. Clothing. Technology.

REFERÊNCIAS

ABECASSIS-MOEDAS, C. Integrating design and retail in the clothing value chain: An empirical study of the organization of design. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 4, p. 412-428, 2006.

BESSANT, J. **Inovação e Empreendedorismo**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

AUDACES. **Industria 4.0 na Confecção**. 2018. Disponível em: <https://audaces.com/pt-br/blog/industria-4-0-na-confeccao-entenda-o-conceito>. Acesso em: 7 nov. 2022.

CAMPOS, A. Q. Innovation, conformity and other ambivalences in fashion design. **Moda Palavra e-periódico**, v. 14, n. 33, p. 37-58, 2021.

COSTA, A. R.; ROCHA, E. R. P. **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2009.

CHRISTENSEN, C. M.; ANTHONY, S. D.; ROTH, E. **O futuro da inovação**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

DATASEBRAE. Painel de empresas do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://datasebrae.com.br/totaldeempresas-11-05-2020/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

DRATH, R.; HORCH, A. Industries 4.0: Hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

FREITAS, H. *et al.* O Método de Pesquisa Survey. **Revista de Administração**, v. 35, n. 3, p. 105-112, jun./set. 2000.

FINK, A. **How to Sample in Surveys. Thousand Oaks**. Chicago: Sage Publications, Inc. 1995.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative industries 4.0**. Final Report, Acatech, 2013.

KOWALKOWSKI, C.; WITELL, L.; GUSTAFSSON, A. Any way goes: Identifying value constellations for service infusion in SMEs. **Industrial Marketing Management**, v. 42, n. 1, p. 18-30, 2013.

LEMOS, A. D.; NASCIMENTO, L. F. A Produção mais limpa como geradora de inovação e competitividade. **Revista Administração Contemporânea**, v. 3, n. 1, p. 23-46, jan./abr. 1999.

LINDGREEN, A.; HINGLEY, M. K.; GRANT, D. B.; MORGAN, R. E. Value in business and industrial marketing: Past, present, and future. **Industrial Marketing Management**, v. 41, n. 1, p. 207-214, 2012.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

OCDE. **Manual de Oslo**: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3. ed. 2005.

PAVÃO, J. A. *et al.* Influência dos fatores estratégia, inovação e tecnologia nos custos da qualidade no arranjo produtivo local de confecções. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 15, n. 34, p. 3-20, 2018.

PINSONNEAULT, A.; KRAEMER, K. Survey Research Methodology in Management Information Systems: an assessment. **Journal of Management Information Systems**, v. 10, n. 2, p. 75-106, 1993.

ROMEIRO, A. R.; REYDON, B.; LEONARDI, M. L. **Economia do meio ambiente**. Campinas: Instituto de Economia – EMBRAPA, 1997.

SEBRAE. **Lei Geral da Micro e Pequena Empresa**. 2022.

SILVA, R. M.; SANTOS FILHO, D. J.; MIYAGI, P. E. Modelagem de Sistema de Controle da Indústria 4.0 Baseada em Holon, Agente, Rede de Petri e Arquitetura Orientada a Serviços. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. São Paulo, 2015.

SILVEIRA, I. Análise da implementação do Sistema CAD na Indústria do Vestuário. **Moda Palavra**, São Paulo, V. 2, 2003.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

ESTUDO PRELIMINAR DE UM NOVO PRODUTO A PARTIR DA MICROALGA *CHLORELLA* SP. COMO BIOESTIMULANTE DE GERMINAÇÃO

Eline Schmidt Limons¹⁻², Alessandra de Oliveira Machado³, Giséle Alves¹⁻², Michele Hoeltz², Cláudio Luiz Mayer³, Lisianne Brittes Benitez¹⁻², Rosana de Cassia de Souza Schneider¹⁻²

¹Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

²Centro de Excelência em Produtos e Processos Oleoquímicos e Biotecnológicos – CEPPOB, TecnoUnisc, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

³Brazil Seed Tech, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

*E-mail: elineslimons@gmail.com

RESUMO

Em atendimento às necessidades de uma agricultura sustentável, é promissor o emprego de biomassa de microalgas para desenvolvimento de bioprodutos. As microalgas possuem componentes considerados essenciais ao desenvolvimento das plantas, podendo ser bioestimulantes em potencial. O objetivo deste estudo foi verificar se a microalga *Chlorella* sp. tem potencial de ser utilizada como bioestimulante de germinação de sementes de *Lactuca sativa* (alface). Foram realizadas 14 formulações de bioestimulante, as quais foram utilizadas na germinação de alface utilizando método descrito pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) do Ministério da Agricultura e Pecuária, usando como controle o tratamento somente com água. Para cada formulação, foram semeadas 100 sementes em caixas do tipo gerbox, utilizando papel do tipo mata-borrão. A diluição da formulação foi um parâmetro importante para uso das mesmas no tratamento da semente de alface. Constatou-se através do emprego de formulações bioestimulantes a base de microalga *Chlorella* sp. que foi possível obter plântulas melhor desenvolvidas do que com o emprego de água, além de acelerar a velocidade de germinação das sementes de alface.

Palavras-chave: Bioestimulante. Biomassa de microalgas. Hidrolisados. Germinação de sementes. Microalgas.

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional gera maior demanda de alimentos, o que nos leva a buscar novas tecnologias que visam aprimorar as técnicas de cultivo, com foco em plantas mais resistentes aos estresses bióticos e abióticos, gerando uma maior produtividade na lavoura com menores perdas, desde o plantio até a colheita (MARTINI *et al.*, 2021). Entretanto, a maioria dos insumos utilizados acaba tendo um impacto negativo ao meio ambiente, prejudicando e contaminando o solo, a água e o ar, além de carregar para a mesa do consumidor substâncias nocivas à saúde humana (BEHERA *et al.*, 2021).

No cultivo agrícola, além dos cuidados com o plantio e tratos culturais, a qualidade das sementes é notadamente importante, pois elas são as responsáveis por transportar as informações genéticas das plantas. Por este motivo, sementes tratadas com moléculas que auxiliam na sua germinação têm maior resistência aos estresses bióticos e abióticos, suportando mais as adversidades climáticas e se adaptando mais rapidamente às

condições do solo. Entretanto, o uso desenfreado de agrotóxicos vem causando muitos impactos ao meio ambiente e principalmente à saúde humana, e, para mitigar estes impactos negativos têm se buscado por soluções tecnológicas sustentáveis, assim como o desenvolvimento e a utilização de bioestimulantes que agem na germinação e no desenvolvimento de plantas (VARIA *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, o potencial biotecnológico das microalgas tem despertado interesse devido à sua capacidade de sintetizar várias substâncias, apresentando-se como um biorecurso promissor ao setor agrícola, por possuir micro e macronutrientes essenciais para a produção de compostos bioestimulantes ao crescimento e desenvolvimento de plantas (KUMAR *et al.*, 2022).

Portanto, este trabalho teve como objetivo a avaliação preliminar do potencial bioestimulante de formulações produzidas a partir de biomassa de *Chlorella* sp. para a germinação de sementes de alface.

2 METODOLOGIA

2.1 AMOSTRA

A microalga *Chlorella* sp. foi cultivada em lagoa tipo pista em cultivo de tanque aberto (*raceway pond*) em meio NPK 1 g L⁻¹. Após a produção, a biomassa foi centrifugada, seca e armazenada sob refrigeração. A moagem foi realizada em moinho de facas Tipo Willye Tecnal, modelo TE-680. A biomassa foi analisada pela quantificação de ácidos graxos, carboidratos, lipídeos e proteínas presentes na amostra.

2.2 PRODUÇÃO DOS HIDROLISADOS

Para a preparação das formulações, a biomassa da microalga *Chlorella* sp. foi hidrolisada. Os hidrolisados foram ajustados a pH 7,0 e diluídos com água. Ao todo foram preparados 14 hidrolisados, em um planejamento de 2² considerando a concentração do reagente de tratamento e distintos tempos de hidrólise (30, 60 e 90 min). Após a diluição, todos os hidrolisados foram armazenados sob refrigeração (de 4°C a 7°C).

2.3 TESTE DE GERMINAÇÃO

A análise do potencial bioestimulante dos hidrolisados foi realizada a partir de experimentos em laboratório na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*). Foi

utilizado método de germinação descrito pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) do Ministério da Agricultura e Pecuária do Brasil. Para cada solução, foram semeadas 100 sementes em caixas do tipo Gerbox, utilizando papel do tipo mata-borrão. Para cada papel foi utilizado um volume de solução que corresponde a 3 vezes o seu peso, promovendo o umedecimento com as formulações a serem testadas. A temperatura foi mantida em 20°C e com fotoperíodo de 12:12 (claro:escuro).

Foi conduzido um estudo controle com 100 unidades de sementes, nas mesmas condições dos hidrolisados, porém com a utilização de água para umedecimento do papel. Desta forma, foi possível fazer o comparativo da emergência e desenvolvimento das plântulas com a utilização de hidrolisados à base de microalgas e evidenciar a potencialidade do uso na germinação de sementes de alface.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE L.SATIVA

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos durante o acompanhamento visual diário do surgimento e desenvolvimento das plântulas de alface. Utilizamos a simbologia MC para representar cada hidrolisado preparado com sua respectiva porcentagem de diluição. Nos dois primeiros dias, foi possível observar o desenvolvimento da radícula, no terceiro dia, o desenvolvimento do sistema radicular e aéreo e no quarto dia, o desenvolvimento dos cotilédones. A finalização ocorreu no sétimo dia com a contagem de sementes mortas e de crescimentos anormais.

Foi possível notar o início do desenvolvimento radicular após algumas horas da semeadura. Observou-se protrusão radicular nos hidrolisados MC5-10, MC7-10 e MC2-50 com aproximadamente 15 h. No 1º e 2º dia houve a emissão de radícula, no 3º dia a parte aérea apresentou o mesmo nível de desenvolvimento do controle. Já no 4º dia observou-se a parte aérea com cotilédones abertos. Na concentração 10% todos estavam com o mesmo nível de desenvolvimento, porém alguns com cotilédones ainda presos. Já com os hidrolisados a 50%, estavam menos desenvolvidos e não houve uniformidade no crescimento. No 7º dia, a área foliar estava maior nas concentrações a 10%. Os hidrolisados MC1-10, MC2-10, MC3-10 e MC5-10 foram os que mais se destacaram na germinação, conforme demonstra a Figura 1.

A diluição foi um fator importante para garantir um resultado que se destacou ao ser comparado com a germinação em água. De acordo com Kumar *et al.* (2022),

os bioestimulantes são eficazes na regulação da respiração e fotossíntese quando empregados em pequenas porções, além de melhorar o desenvolvimento das plantas, facilitando a absorção de nutrientes e protegendo contra os efeitos dos estresses bióticos e abióticos.

Tabela 1. Observações realizadas durante os testes de germinação de sementes de alface tratadas com as diferentes formulações à base de biomassa de microalga *Chlorella* sp. durante o período de 7 dias, onde N= normais e A= anormais.

	1º dia (sist. radicular)	2º dia (sist. radicular)	4º dia (considerado apenas os cotilédones abertos)	7º dia finalização
Controle	99	100	0	99 N - 1A
MC1-10	100	100	64	100
MC2-10	100	100	67	100
MC3-10	99	100	50	100
MC4-10	100	100	14	100
MC5-10	100	100	39	100
MC6-10	100	100	2	100
MC7-10	100	100	14	100
MC1-50	100	100	0	96N - 4A
MC2-50	100	100	7	99N - 1A
MC3-50	53	98	0	32N - 68A
MC4-50	54	97	0	97N - 3A
MC5-50	81	99	0	99N - 1A
MC6-50	26	93	0	24N - 76A
MC7-50	88	100	0	99N - 1A

Fonte: Elaboração própria.

Varia *et al.* (2022) definem os bioestimulantes como compostos bioativos que agem diretamente no metabolismo, melhorando a germinação da semente e o crescimento da plântula. Por fim, os extratos de microalgas fornecem diversos componentes fundamentais para o desenvolvimento e crescimento das plantas como proteínas, carboidratos e lipídios, além de fitohormônios e compostos antioxidantes, sendo a presença destes componentes que envolvem o potencial bioestimulante das formulações à base de microalgas (BEHERA *et al.*, 2021).

Alguns estudos já vêm sendo realizados com hidrolisados de microalgas para a melhoria no desenvolvimento de outros cultivos, por exemplo, *Scenedesmus quadricauda* para o cultivo de tomates (BARONE *et al.*, 2019) e *Chlorella vulgaris* na germinação de semente de pepino (BUMANDALAI; TSERENNADMID, 2019). Mógor *et al.* (2018) investigaram o potencial bioestimulante da *Spirulina platensis* em plântulas de alface, por meio da pulverização no cultivo.

A partir daí, obtiveram resultados positivos no crescimento e desenvolvimento da planta, demonstrando ser um promotor de crescimento natural e matéria-prima promissora para formulações de bioestimulante. Portanto, a comparação destes trabalhos já realizados com nossos resultados preliminares permite indicar que há potencial bioestimulante nas formulações dos hidrolisados produzidos, podendo ainda ser feito o aprimoramento das formulações para a aceleração no cultivo de alface, assim como para outras culturas vegetais.

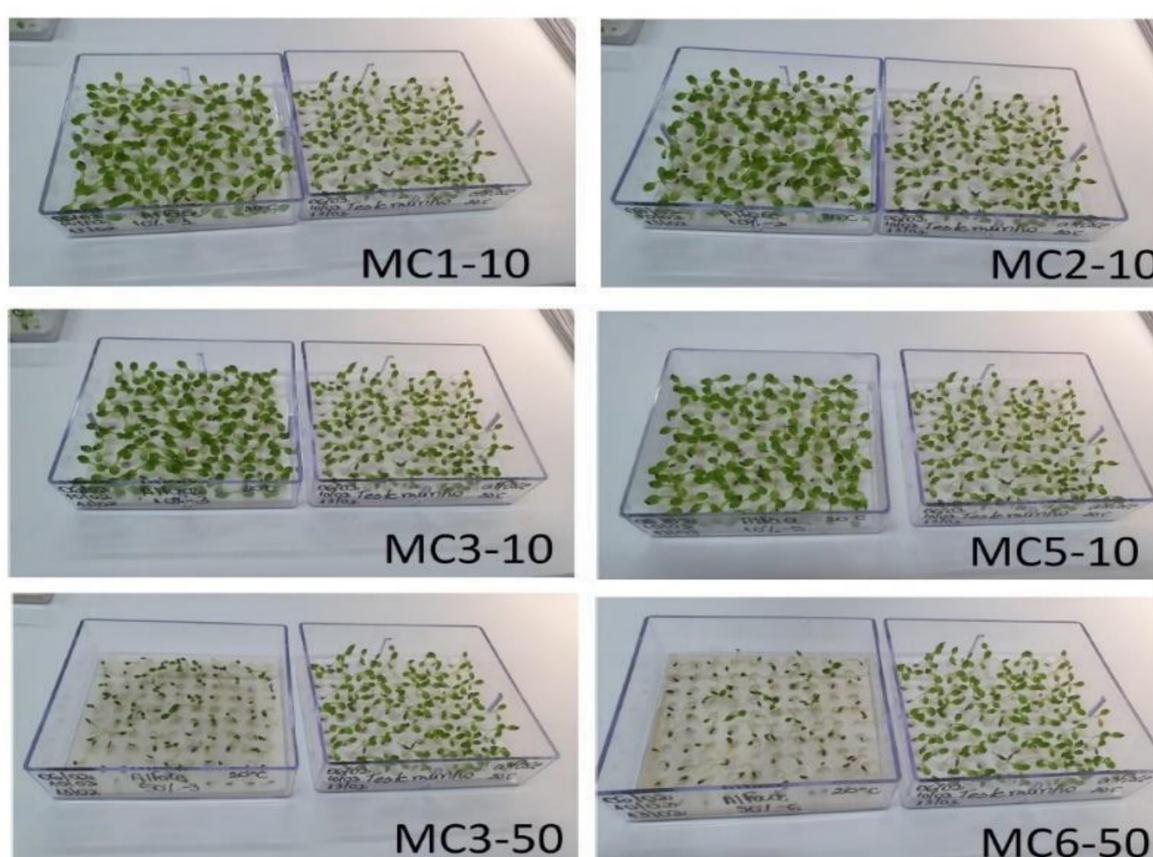


Figura 1. Registro fotográfico dos testes de germinação com as formulações a 10% de diluição após 7 dias.

4 CONCLUSÕES

Os testes preliminares de germinação mostraram que as formulações à base de biomassa de *Chlorella* sp. tem potencial para acelerar a germinação das sementes de alface. A diluição é um aspecto importante para viabilizar um resultado melhor e

constata-se que soluções mais concentradas tendem a ter um resultado menos eficiente daquele encontrado com o tratamento com somente água. Novos experimentos podem ser propostos com maior diluição das formulações.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia (SICT-RS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, código 001.

PRELIMINARY STUDY OF A NEW PRODUCT FROM THE MICROALGAE *CHLORELLA* SP. AS A GERMINATION BIOSTIMULANT

ABSTRACT: In order to meet the needs of sustainable agriculture, the use of microalgae biomass for the development of bioproducts is promising. Microalgae have components considered essential for plant development and may be potential biostimulants. The objective of this study was to verify if the microalgae *Chlorella* sp. has the potential to be used as a biostimulant for seed germination of *Lactuca sativa* (lettuce). Fourteen biostimulant formulations were made, which were used in lettuce germination using the method described by the Rules for Seed Analysis (RSA) of the Ministry of Agriculture and Livestock and using only water treatment as a control test. For each formulation, 100 seeds were sown in a gerbox type box, using blotting paper. The formulation dilution was an important parameter for using the formulations in the treatment of lettuce seed. It was found through the use of biostimulant formulations based on microalgae *Chlorella* sp. it was possible to obtain better developed seedlings than with the use of water, in addition to accelerating the germination speed of lettuce seeds.

Keywords: Biostimulant. Microalgae biomass. Hydrolyzed. Seed germination. Microalgae.

REFERÊNCIAS

- BARONE, V. *et al.* Novel bioprocess for the cultivation of microalgae in hydroponic growing system of tomato plants. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, n. 1, p. 465–470, 2019.
- BEHERA, B. *et al.* Integrated microalgal biorefinery for the production and application of biostimulants in circular bioeconomy. **Bioresource Technology**, v. 339, p. 125588, 2021.
- BUMANDALAI, O.; TSERENNADMID, R. Effect of chlorella vulgaris as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. **International Journal of Aquatic Biology**, v. 7, n. 2, p. 95–99, 2019.
- COLLA, G. *et al.* Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 28–38, 2015.
- FETTER, P. R. *et al.* Tobacco waste hydrolysate of stem and root of the tobacco plant for biostimulation in rice and corn seed germination. **Ciencia Rural**, v. 50, n. 8, p. 1–9, 2020.
- KUMAR, S. *et al.* Microalgal based biostimulants as alleviator of biotic and abiotic stresses in crop plants. *In: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Sustainable Agriculture: Advances in Microbe-based Biostimulants*: Elsevier, 2022. p. 195–216.
- MARTINI, F. *et al.* The potential use of Chlamydomonas reinhardtii and Chlorella sorokiniana as biostimulants on maize plants. **Algal Research**, v. 60, 2021.
- MÓGOR, Á. F. *et al.* Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 1, p. 453–460, 2018.
- VARIA, J. *et al.* Biostimulation with phycocyanin-rich Spirulina extract in hydroponic vertical farming. **Scientia Horticulturae**, 299, 2022.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DA *CHLORELLA* SP. PRODUZIDA EM EFLUENTE DE CERVEJARIA ARTESANAL

*Gisele Alves^{*1-2}, Tiele Medianeira Rizzetti¹⁻², Michele Hoeltz²⁻³, Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante, Rosana de Cassia de Souza Schneider¹⁻²*

¹Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

²Centro de Excelência em Produtos e Processos Oleoquímicos e Biotecnológicos – CEPPOB, TecnoUnisc, 96815-900, Santa Cruz do Sul, Brasil.

³InocullaTech, Santa Cruz do Sul, Brasil.

⁴Universidade Federal do Ceará. UFCE, Fortaleza, Brasil

*giselea@mx2.unisc.br

RESUMO

As microalgas são organismos unicelulares capazes de produzir uma biomassa rica em nutrientes. A *Chlorella*, uma das microalgas mais cultivadas mundialmente, é utilizada principalmente como suplemento alimentar e possui aplicações em tratamento de efluentes, produção de biofertilizantes, biocombustíveis e outros. Esta pesquisa específica teve como objetivo avaliar o perfil lipídico da *Chlorella* sp. cultivada em meio mineral suplementado com resíduo cervejeiro, visando a reutilização sustentável desses resíduos. O cultivo em meio fertilizante NPK foi conduzido com 0,5 a 6,0 g L⁻¹ e 3% de suplementação com resíduo cervejeiro. A partir da biomassa seca, foi possível obter um rendimento de lipídios de 2,7 ± 0,5 a 9,4 ± 1,9% com um perfil cromatográfico apresentando principalmente os ácidos graxos C16:0, C18:1, C18:2 e C18:3. Estes resultados indicam valor nutricional da biomassa de *Chlorella* sp. cultivada em resíduo de cervejaria artesanal no que se refere à composição lipídica, com potencial para alimentação animal.

Palavras-chave: Microalga. *Chlorella* sp. Resíduo Cervejeiro. Perfil lipídico.

1 INTRODUÇÃO

As microalgas são organismos unicelulares microscópicos que têm a capacidade de se desenvolver rapidamente, necessitando de fontes simples de cultivo, como temperatura, intensidade luminosa, meio de cultivo com nutrientes e pH (CHEW; CHIA *et al.*, 2018). Estudos têm demonstrado que as microalgas possuem uma rica composição nutricional em sua biomassa, sendo fontes de proteínas, carboidratos, lipídios, vitaminas, pigmentos e minerais (ALVES; RIZZETTI *et al.*, 2020). Devido a essa característica, as microalgas têm potencial para serem utilizadas na produção de alimentos, biocombustíveis, bioquímicos, produtos farmacêuticos e fertilizantes (SHAHID; MALIK *et al.*, 2020).

A *Chlorella* sp é uma das microalgas mais amplamente cultivadas e comercializadas em todo o mundo. De acordo com Safi, Zebib *et al.* (2014), devido ao alto valor nutricional encontrado na biomassa deste microrganismo, uma de suas principais aplicações é o suplemento alimentar, tanto para nutrição humana quanto animal. Além disso, a *Chlorella* é utilizada no tratamento de efluentes, na produção de biofertilizantes, biocombustíveis e na extração de lipídios.

Quanto à produção de lipídios, as microalgas sintetizam esses compostos a partir de fontes de carbono, que podem ser inorgânicas ou orgânicas (HUANG; HUNG *et al.*, 2016). Quando cultivada em condições ideais, a microalga *Chlorella* sp. pode atingir altos níveis de lipídios, variando de 5 a 40% de lipídios em sua biomassa seca (SAFI; ZEBIB *et al.*, 2014). A biomassa proveniente dessas espécies de microalgas também tem sido reconhecida como uma matéria-prima promissora para a produção de bioetanol ou biodiesel (RAN; WANG *et al.*, 2019).

As microalgas podem ser cultivadas em resíduos industriais, como o resíduo cervejeiro. Este tipo de resíduo pode conter em sua composição alta carga de nutrientes, o que torna esta produção economicamente viável (ORTENZIO; AMARAL *et al.*, 2015). Estes microrganismos podem crescer nesse tipo de resíduo e produzir uma biomassa de qualidade para diversos fins (DARPITO; SHIN *et al.*, 2015; FERREIRA; RIBEIRO *et al.*, 2017).

O resíduo úmido de cervejaria, um resíduo considerado limpo, surge como uma alternativa biotecnológica visando a redução de custos com o uso de meios de cultivo mais complexos para o cultivo de microalgas (SCHNEIDER; GRAEFF-HÖNNINGER *et al.*, 2013). Esse subproduto residual possui uma alta carga nutricional e potencial para a produção de biomassa de alto valor econômico, ao mesmo tempo em que pode minimizar os possíveis impactos ambientais causados pelo resíduo gerado pela indústria cervejeira (CHOI, 2016).

Existem duas abordagens principais para o cultivo de microalgas: sistemas abertos e sistemas fechados. Os sistemas abertos são mais econômicos em termos de instalação e operação, mas apresentam desafios como a vulnerabilidade a intempéries e a contaminação por outros organismos (LIYANAARACHCHI; PREMARTNE *et al.*, 2021). Por outro lado, os sistemas fechados, como os fotobiorreatores, oferecem um maior controle sobre as condições de crescimento e maior eficiência fotossintética, proporcionando uma biomassa livre de contaminação (DRAGONE, 2022).

Com base na necessidade de destinação apropriada dos resíduos gerados na produção de cerveja artesanal na região sul do Brasil e considerando o potencial de reutilização desses resíduos em processos biotecnológicos, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o perfil lipídico da microalga *Chlorella* sp. quando produzida em meio mineral com suplementação de resíduo cerveja artesanal.

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MEIO DE CULTIVO

O resíduo utilizado neste estudo foi coletado na Cervejaria Holy Sheep, produtora de cerveja artesanal, localizada ao centro da cidade de Santa Cruz do Sul/RS. Foram coletados resíduos de malteação, lupulagem e fermentação em diferentes processos da fabricação da cerveja. Para os experimentos, cada resíduo foi filtrado em malha de algodão para descarte dos sólidos maiores e centrifugados a 3600 rpm. Após, foram misturados em partes iguais, formando o meio de suplementação. Como meio de cultivo mineral, optou-se por utilizar uma solução de fertilizante agrícola contendo nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) da marca Yara Mila COMPLEX em concentração de 12%, 11% e 18%, respectivamente.

2.2 CULTIVO DA MICROALGA CHLORELLA SP.

A *Chlorella* sp. foi cultivada em meio fertilizante NPK com concentrações variando de 0,5 a 6,0 g L⁻¹. Os cultivos foram realizados em triplicata em frascos Erlenmeyer com volume de 1 L por 12 dias e a suplementação de resíduo cervejeiro foi de 5 mL a cada 2 dias, completando uma suplementação de até 3% no final do experimento.

2.3 ANÁLISE DO TEOR DE LIPÍDIOS E PERFIL CROMATOGRÁFICO

O teor de lipídios foi determinado pelo método *Bligh and Dyer* (1959). Inicialmente foram pesados 300 mg de biomassa seca em tubo de polipropileno de 45 mL. Após, foram adicionados 6 mL de uma solução 1:2 clorofórmio/metanol. As amostras foram ultrassonicadas por 45 min e deixados em repouso sob resfriamento, protegidos da luz, por 4 horas e novamente ultrassonicadas por 15 min. Os extratos foram centrifugados por 15 min a 2600 rpm e o sobrenadante final foi reservado. Na biomassa residual foram adicionados mais 3 mL da solução 1:2 clorofórmio/metanol, ultrassonicada e centrifugada por 15 min. Aos sobrenadantes foram adicionados 4 mL de água e 2 mL de clorofórmio e a seguir, centrifugados por 15 min. A fase clorofórmica foi transferida para balões de 25 mL, secos e pré-pesados, o extrato orgânico foi seco e a massa obtida foi registrada como conteúdo lipídico da amostra.

Para a determinação do perfil de ácidos graxos foi realizada a derivatização dos balões remanescentes da etapa anterior, adicionando aos balões 6 mL de solução

metanólica de hidróxido de sódio (1 g de NaOH/50 mL de metanol) seguida de refluxo com aquecimento por 20 min. Posteriormente, foram adicionadas às amostras 7 mL de solução de BF_3 e mantidas em refluxo por 4 min, em seguida, foi adicionado 5 mL de heptano, via condensador, com refluxo por mais 2 min. Após a amostra esfriar, adicionou-se aos balões 2 mL de solução saturada de NaCl para a visualização de duas fases, sendo que a fase superior foi recuperada em tubo de ensaio. Para a remoção de água residual, foi acrescentado 0,5 g de Na_2SO_4 anidro previamente seco (BRODNJAK-VONČINA; KODBA *et al.*, 2005).

2.4 ANÁLISE POR CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA A ESPECTROMETRIA DE MASSAS

Os extratos derivatizados foram analisados por cromatografia gasosa com espectrometria de massas (CG-MS, 5977B, Agilent, EUA). As condições instrumentais de análise foram: temperatura do injetor 280°C; volume de injeção: 1µL; modo de injeção: Split (1:20); vazão da fase móvel: 1 mL min⁻¹; gás de arraste: Hélio; coluna capilar: DB-Wax (60m x 0.25mm x 0.25µm); gradiente de temperatura do forno: temperatura inicial 60°C - 2min, taxa 4°C min⁻¹ até 200°C e taxa 6°C min⁻¹ até 260°C - 10min; temperatura do detector de massas: 260°C; Temperatura da fonte de ionização: 280°C; Modo de aquisição: scan.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após centrifugada e liofilizada, a microalga *Chlorella* sp. obteve rendimento de lipídios na biomassa seca de 2,7 ± 0,5 a 9,4 ± 1,9 %. Várias espécies de *Chlorella* foram compiladas em um estudo de Dragone (2022) e não apresentavam mais de 49,4% de lipídios. Com relação ao perfil lipídico, as amostras obtidas foram analisadas por GC/MS para a identificação do perfil lipídico, o qual está apresentado na Figura 1. Os ácidos graxos identificados estão presentes na Tabela 1.

O perfil cromatográfico encontrado para a *Chlorella* sp. produzida em meio mineral com suplementação de resíduo cervejeiro apresenta principalmente os ácidos graxos C16:0, C18:1, C18:2 e C18:3, da mesma forma que a maioria das oleaginosas utilizadas em ração animal.

Para *Chlorella* sp., Nayak, Suh *et al.* (2018) também observou os ácidos graxos apresentados na Tabela 1 acrescidos do ácido palmitoléico, utilizando para o cultivo em um meio que recebeu aporte de carbono inorgânico como CO₂ ou bicarbonato. A cepa de *Chlorella* sp. utilizada neste estudo, cultivada em meio mineral com resíduo

cervejeiro, não apresentou alto teor lipídico, no entanto, o perfil lipídico condiz com o que é esperado para esta microalga.

Considerando que o consumo desta biomassa possa ser para ração animal, este perfil lipídico é importante para suplementar ácidos graxos de importância nutricional. No entanto, ácidos poli-insaturados, como $\omega 3$, não foram observados nas amostras obtidas com diferentes concentrações de NPK. A importância de ácidos poli-insaturados foi discutida por Fawcett, Senhorinho *et al.* (2022) como suplemento para a alimentação humana e animal. Por outro lado, o perfil lipídico não difere do perfil lipídico da maioria das oleaginosas contendo ácidos graxos do C14:0 a C22:0.

Tabela 1. Ésteres metílicos de ácidos graxos encontrados nas amostras de microalga *Chlorella* sp. produzida em meio NPK suplementado com resíduo de cerveja artesanal.

Nº	Nome	Tempo de retenção (min)	Identificação	Concentração de NPK (g L ⁻¹)				
				0,5	1,0	1,5	3,0	6,0
1	Miristato de metila	25,05	C14:0	X	X	X	X	X
2	Palmitato de metila	29,91	C16:0	X	X	X	X	X
3	Estearato de metila	34,38	C18:0	X	X	X	X	X
4	Oleato de metila	34,78	C18:1	X	X	X	X*	X*
5	Linoleato de metila	34,81	C18:2	X	X	X	X	X
6	Linolenato de metila	35,78	C18:3	X	X		X	X
7	Octadecanoato de metila	37,11	C20:0	X				
8	Docosanoato de metila	42,36	C22:0	X				

* com isômero do C18:1

Fonte: Elaboração própria.

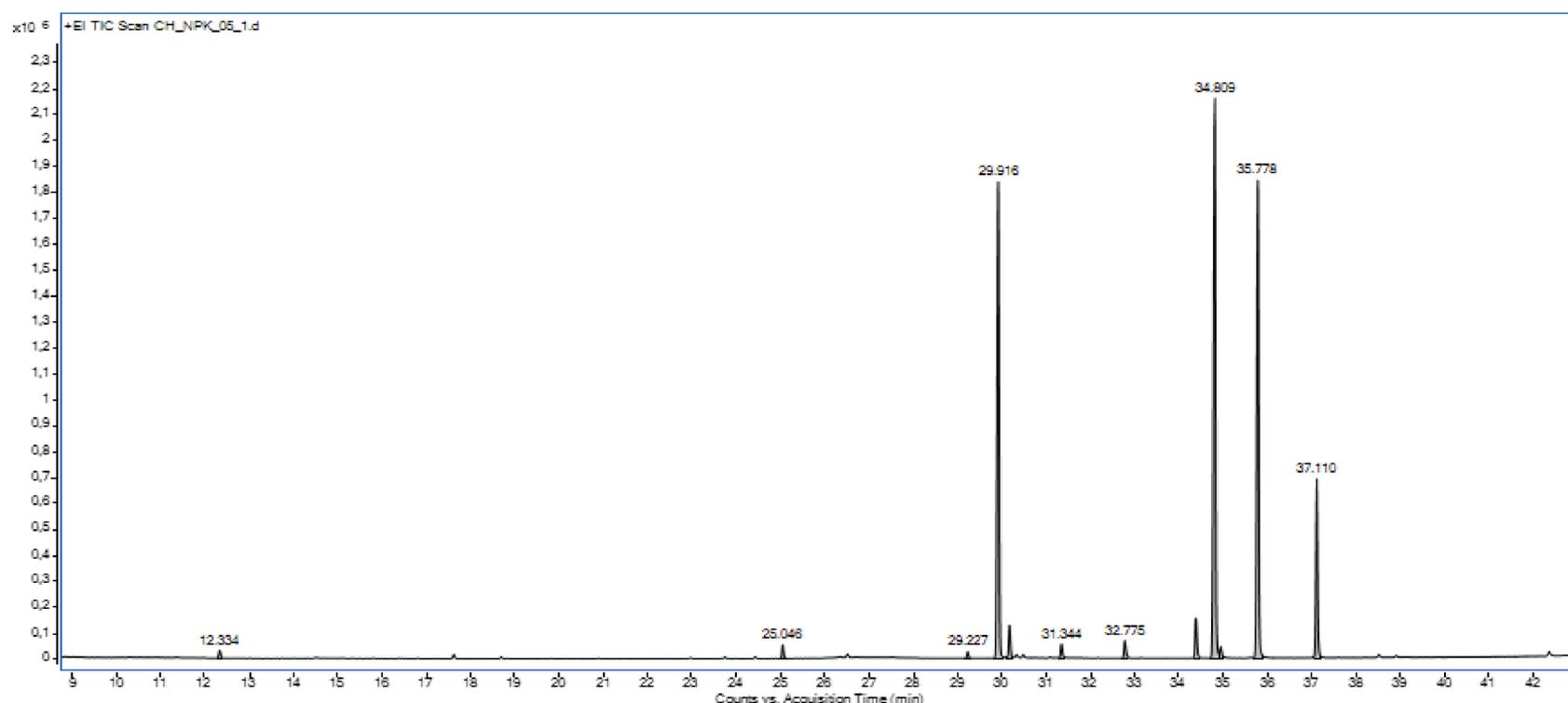


Figura 1. Cromatograma da fração lipídica da biomassa *Chlorella* sp. produzida em meio mineral (NPK com suplementação de 3% de resíduo cervejeiro).

4 CONCLUSÕES

A biomassa obtida a partir do cultivo de microalgas *Chlorella* sp. pode conter ácidos graxos importantes para o aproveitamento da biomassa contendo uma composição de ácidos graxos saturados e insaturados, no entanto, com baixo percentual lipídico total. A composição encontrada para diferentes concentrações de NPK e com suplementação de resíduo cervejeiro é similar à composição de lipídios oriundos de plantas oleaginosas e constata-se que é adequada para a alimentação animal, uma vez que a suplementação com resíduo cervejeiro não causa problemas associados a contaminações.

AGRADECIMENTOS

A Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia (SICT-RS) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), código 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), protocolo 306216/2022-1.

FATTY ACIDS PROFILE OF THE *CHLORELLA* SP. PRODUCED IN CRAFT BREWERY EFFLUENT

ABSTRACT: Microalgae are unicellular organisms capable of producing a nutrient-rich biomass. *Chlorella*, one of the most cultivated microalgae worldwide, is mainly used as a food supplement and has applications in effluent treatment, production of biofertilizers, biofuels and others. This specific research aimed to evaluate the lipid profile of *Chlorella* sp. cultivated in mineral medium supplemented with beer waste, aiming at the sustainable reuse of this waste. Cultivation in NPK fertilizer medium was carried out with 0.5 to 6.0 g L⁻¹ and 3% supplementation with brewery residue. From the dry biomass, it was possible to obtain a lipid yield of 2.7 ± 0.5 to 9.4 ± 1.9% with a chromatographic profile showing mainly the fatty acids C16:0, C18:1, C18:2 and C18:3. These results indicate the nutritional value of *Chlorella* sp. cultivated in craft brewery residue regarding lipid composition, with potential for animal feed.

Keywords: Microalgae. *Chlorella* sp. Brewery waste. Lipid profile.

REFERÊNCIAS

ALVES, G.; RIZZETTI, T. M.; WILGES, H. G.; SZARBLEWSKI, M. S.; BENITEZ, L. B.; SANCHEZ-BARRIOS, A.; HOELTZ, M.; SOUZA SCHNEIDER, R. D. C. de. Avaliação de formação de biofilme perifítico e identificação de microalgas em um sistema piloto Algal Turf Scrubber. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can J Biochem Physiol**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRODNJAK-VONČINA, D.; KODBA, Z. C.; NOVIČ, M. Multivariate data analysis in classification of vegetable oils characterized by the content of fatty acids. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 75, n. 1, p. 31-43, 2005.

CHEW, K. W.; CHIA, S. R.; SHOW, P. L.; YAP, Y. J.; LING, T. C.; CHANG, J.-S. Effects of water culture medium, cultivation systems and growth modes for microalgae cultivation: A review. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 91, p. 332-344, 2018.

CHOI, H.-J. Parametric study of brewery wastewater effluent treatment using *Chlorella vulgaris* microalgae. **Environmental Engineering Research**, v. 21, n. 4, p. 401-408, 2016.

DARPITO, C.; SHIN, W. S.; JEON, S.; LEE, H.; NAM, K.; KWON, J. H.; YANG, J. W. Cultivation of *Chlorella protothecoides* in anaerobically treated brewery wastewater for cost-effective biodiesel production. **Bioprocess Biosyst Eng**, v. 38, n. 3, p. 523-530, 2015.

DRAGONE, G. Challenges and opportunities to increase economic feasibility and sustainability of mixotrophic cultivation of green microalgae of the genus *Chlorella*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 160, 112284, 2022.

FAWCETT, C. A.; SENHORINHO, G. N. A.; LAAMANEN, C. A.; SCOTT, J. A. Microalgae as an alternative to oil crops for edible oils and animal feed. **Algal Research**, v. 64, 102663, 2022.

FERREIRA, A.; RIBEIRO, B.; MARQUES, P. A. S. S.; FERREIRA, A. F.; DIAS, A. P.; PINHEIRO, H. M.; REIS, A.; GOUVEIA, L. *Scenedesmus obliquus* mediated brewery wastewater remediation and CO₂ biofixation for green energy purposes. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1316-1327, 2017.

HUANG, M.-L.; HUNG, Y.-H.; YANG, Z.-S. Validation of a method using Taguchi, response surface, neural network, and genetic algorithm. **Measurement**, v. 94, p. 284-294, 2016.

LIYANAARACHCHI, V. C.; PREMARATNE, M.; ARIYADASA, T. U.; NIMARSHANA, P. H. V.; MALIK, A. Two-stage cultivation of microalgae for production of high-value compounds and biofuels: A review. **Algal Research**, v. 57, 102353, 2021.

NAYAK, M.; SUH, W. I.; LEE, B.; CHANG, Y. K. Enhanced carbon utilization efficiency and FAME production of *Chlorella* sp. HS2 through combined supplementation of bicarbonate and carbon dioxide. **Energy Conversion and Management**, v. 156, p. 45-52, 2018.

ORTENZIO, Y. T.; AMARAL, G. G.; SANTOS ALMEIDA, S. dos; OLIVEIRA, E. C. A. M. de. Cultivo de microalgas utilizando resíduos agroindustriais para a produção de biocombustíveis: perspectivas e desafios. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 5, n. 1, 2015.

RAN, W.; WANG, H.; LIU, Y.; QI, M.; XIANG, Q.; YAO, C.; ZHANG, Y.; LAN, X. Storage of starch and lipids in microalgae: Biosynthesis and manipulation by nutrients. **Bioresource Technology**, v. 291, 121894, 2019.

SAFI, C.; ZEBIB, B.; MERAH, O.; PONTALIER, P.-Y.; VACA-GARCIA, C. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 265-278, 2014.

SCHNEIDER, T.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; FRENCH, W. T.; HERNANDEZ, R.; MERKT, N.; CLAUPEIN, W.; HETRICK, M.; PHAM, P. Lipid and carotenoid production by oleaginous red yeast *Rhodotorula glutinis* cultivated on brewery effluents. **Energy**, v. 61, p. 34-43, 2013.

SHAHID, A.; MALIK, S.; ZHU, H.; XU, J.; NAWAZ, M. Z.; NAWAZ, S.; ASRAFUL ALAM, M.; MEHMOOD, M. A. Cultivating microalgae in wastewater for biomass production, pollutant removal, and atmospheric carbon mitigation; a review. **Sci Total Environ**, v. 704, 135303, 2020.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA EMPREGO DA UVA- DO-JAPÃO (*HOVENIA DULCIS* THUNB) EM PATENTES BRASILEIRAS

Isabel Grunevald^{1}, Patrik G. Wiesel¹, Liane Mahlmann Kipper¹,
Eduardo A. Lobo¹*

¹ Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

*E-mail: isabelgru@hotmail.com

RESUMO

A espécie *Hovenia dulcis* é considerada uma invasora introduzida e capaz de se adaptar a uma ampla gama de condições ambientais e crescer rapidamente, o que lhe permite competir com as espécies nativas por recursos, como nutrientes, água e luz solar. Em algumas partes do mundo, a *Hovenia dulcis* tem sido associada a impactos negativos sobre a biodiversidade local e ecossistemas naturais. Por essa razão, é importante monitorar e controlar a propagação dessa espécie invasora. Assim, no dia 27 de março de 2023 foram realizadas buscas em bancos de patentes, visando o mapeamento tecnológico de produtos e/ou processos que estão protegidos ou em processo, identificando no estado da técnica processos de patentes que estejam em trâmite ou tenham sido concedidas, que tivessem relação com o objeto da pesquisa. A pesquisa foi do tipo exploratória, com base em bibliometria, para fornecer um monitoramento tecnológico. As pesquisas demonstraram um número limitado de processos de patentes envolvendo a utilização da espécie, tendo sido localizados apenas quatro, com os critérios de busca aplicados. O processo mais antigo foi apresentado há mais de 45 anos, em 1977, e o mais recente em 2014. Este resultado demonstra que a espécie invasora apresenta um longo período de ocorrência e adaptação no país. Quanto ao critério tecnológico, a busca demonstrou que não existem justificativas para a manutenção da *Hovenia dulcis* junto à biodiversidade local e aos ecossistemas naturais.

Palavras-chave: *Hovenia dulcis*. Processos de patentes. Base tecnológica. Invasora. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Popularmente conhecida como Uva-do-Japão, a espécie *Hovenia dulcis* Thunb. é uma árvore pertencente à família Rhamnaceae, que em propriedades agrícolas no sul do país é utilizada comumente como uma espécie ornamental, ou, embora subaproveitada, como planta de uso múltiplo (CARVALHO, 1994).

Essa planta originária do continente Asiático destaca-se pelo seu porte alto, comportamento caducifólio, rápido crescimento, grande plasticidade e produção de compostos alelopáticos. Por ser uma espécie oportunista, a *H. dulcis* pode produzir significativos efeitos sobre o funcionamento do ecossistema, modificando as características ambientais locais através da redução da riqueza e abundância das

espécies vegetais nativas (BELLINGHAM *et al.*, 2018). Dentre as espécies de plantas invasoras conhecidas para a Mata Atlântica, a *H. dulcis* é considerada uma das mais críticas (ZENNI *et al.*, 2016) e em toda a América do Sul (PADILHA *et al.*, 2015).

Devido a sua alta produção de biomassa e comportamento caducifólia, a queda das folhas e dos pseudofrutos da *H. dulcis* pode liberar substâncias alopáticas capazes de impedir o estabelecimento de outras plantas próximas a ela (ARALDI, 2011). Outra característica da espécie e que favorece a sua dispersão é seu pseudofruto carnoso e adocicado, altamente atrativo para a fauna, sendo registrada na dieta de onívoros e frugívoros ocasionais da mastofauna nativa (KUESTER *et al.*, 2022), e principalmente na dieta da avifauna (LIMA, 2013). Estes fatores tornam a espécie altamente competitiva, afetando de forma substancial os ambientes invadidos.

As plantas invasoras podem contribuir para as mudanças climáticas, através de mecanismos como a liberação de grandes quantidades de gases de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), decorrentes da decomposição de matéria orgânica resultante da morte de plantas na competição pela busca de nutrientes para sua manutenção (OBERLE *et al.*, 2018). A presença de plantas exóticas invasoras pode modificar, ainda, as condições climáticas locais, como temperatura, umidade e vento, prejudicando a sobrevivência e a distribuição das espécies nativas (SOLFIYENI *et al.*, 2022).

Assim, fica demonstrada a necessidade de monitorar e controlar a propagação da *H. dulcis* em ecossistemas sensíveis como a Mata Atlântica e outros *hotspots* de biodiversidade global, a fim de preservar a biodiversidade e manter a integridade desses ecossistemas. Neste contexto, a *H. dulcis* é considerada uma espécie invasora e sua ampla utilização em áreas como alimentos, cosméticos e medicamentos tem levado a busca por registros de patentes para seus extratos e compostos.

As patentes são um título fornecido pelo Estado que garante ao titular (proprietário) da tecnologia (que pode ser um produto ou processo) exclusividade por um determinado período (no Brasil, 20 anos para patentes de invenção e 15 anos para patentes de modelo de utilidade). A exclusividade conferida refere-se à exploração comercial da tecnologia em todo território nacional, na qual, em contrapartida, o titular compartilha o acesso às informações da tecnologia, tornando-a acessível ao público (BARBOSA, 2003).

Para uma patente ser concedida requer-se a existência de três pressupostos legais: a novidade, considerando inexistente no estado da técnica; a atividade inventiva, havendo necessidade de aplicação do intelecto humano para o seu desenvolvimento; e a aplicação

industrial, sendo passível de reprodução. Em lei estão previstas as tecnologias que podem ou não ser objeto de patente (vide artigos 10 e 18 da Lei n. 9.279/96) (BRASIL, 1996). Como exemplos de tecnologias não patenteáveis podemos citar descobertas, teorias científicas e métodos matemáticos, obras científicas, entre outros.

As patentes têm como principal finalidade promover o desenvolvimento tecnológico no país, na medida em que o titular da tecnologia revela os detalhes de sua invenção em troca do privilégio da exploração econômica. Ao revelar sua invenção, permite que terceiros acessem o conhecimento contido no documento, utilizando-o no desenvolvimento de novas tecnologias, observada a sua vigência exploratória para fins de comercialização.

Além disso, o sistema de patentes ao disponibilizar o conhecimento permite que o mesmo possa ser aproveitado em estudos e investigações científicas, promovendo ainda a disseminação do conhecimento prático e econômico (FERREIRA *et al.*, 2009). Caso em que a Lei n. 9.279/96 dispõe claramente sobre o uso de tais informações, que estão permitidas para finalidade experimental, relacionada a estudos ou pesquisas científicas ou tecnológicas (art. 43, II) (BRASIL, 1996).

Assim, considerando a rápida expansão e o grande impacto ambiental da espécie *Hovenia dulcis*, esse trabalho propõe a identificação de aplicações tecnológicas da espécie através de uma busca de processos de patentes que a utilizem para finalidades variadas, incluindo processos de controle. Identifica-se, desta forma, possíveis contribuintes para a propagação da invasora.

2 METODOLOGIA

Para fins de identificação, no dia 27 de março de 2023, foram realizadas buscas em banco de patentes visando mapeamento tecnológico e o conhecimento sobre as tecnologias que estão protegidas ou em processo. Identificou-se, no estado da técnica, processos de patentes que estejam em trâmite ou tenham sido concedidas, que tenham relação com o objeto da pesquisa. Tem-se, assim, uma pesquisa exploratória, com base em bibliometria para fornecer um monitoramento tecnológico.

Para tanto, inicialmente, foi consultada a base de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). A base foi selecionada, pois apresenta os processos de patentes do Brasil. Aplicou-se os termos “*Hovenia*”, seguido de “*Hovenia dulcis*” e “Uva do Japão”, nos campos título e resumo, de forma independente. Nessa busca, foram localizados três processos.

Para complementar, uma busca secundária foi realizada na base Espacenet. Essa base, do Escritório Europeu de Patentes, apresenta mais de 140 milhões de processos de patentes, de diversos países do mundo, permitindo a busca em todo documento. Assim, foi utilizado o termo “*Hovenia dulcis*” aplicado a todos os campos, o que resultou em 2.447 documentos. Do total de resultados foi aplicado o filtro país de publicação e definido Brasil (“BR”), resultando em um processo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os 2447 resultados encontrados no Espacenet, em sua grande maioria, se destinam à utilização da *Hovenia dulcis* para tratar uma variedade de condições, incluindo ressaca, insônia, tosse e dor de cabeça. Estudos recentes sugerem que a *Hovenia dulcis* pode ter propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e hepatoprotetoras, o que a torna uma área de interesse para pesquisadores e empresas com ênfase em medicina e nutrição. Os registros de patente são principalmente focados em metodologias de extração de compósitos, fórmulas de medicamentos e receitas que incluem: chás, xaropes, iogurtes e bebidas fermentadas.

Uma análise detalhada para o Brasil dos processos de patentes resultantes, listados na Tabela 1, permite identificar oportunidades para uso da Uva-do-Japão, transformando a espécie em produto com algum valor agregado.

Como é possível observar na Tabela 1, em que se apresentam os processos de patentes identificados no INPI, não há muitos resultados que envolvam a utilização da espécie, tendo sido localizados apenas três com os critérios de busca aplicados. Ainda assim, observa-se que o processo mais antigo foi apresentado há mais de 45 anos, em 1977, e o mais recente em 2014, os quais serão detalhados na tabela 1.

Na busca da base Espacenet foi identificado o processo PI 0707070-5, intitulado como “Método para produção de uma bebida gaseificada fermentada funcional e bebida gaseificada”. O depósito do processo no Brasil ocorreu em 06 de março de 2007, possuindo como inventor e titular Tae-Gook Kwon. Trata-se de um processo originário da Coreia do Sul (KR20070091391), cuja solicitação de proteção foi encaminhada a diversos países por intermédio do Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT). No entanto, ele acabou sendo excluído de análise do presente trabalho, pois não utiliza a Uva-do-Japão como um componente fundamental na aplicação proposta, e sim como uma substância nutritiva aplicada à bebida gaseificada da presente invenção, na condição de materiais ácidos que intensificam a atividade da desidrogenase de álcool presentes em *Hovenia dulcis* Thumb.

Tabela 1. Processos de patentes de *Hovenia dulcis*. (Uva-do-Japão) identificados no INPI.

Número do Processo	Data do Depósito	Título	CIP
BR 10 2014 023310 5	19/09/2014	PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE FRAÇÃO DE SAPONINAS DE HOVENIA DULCIS A PARTIR DE CULTURAS DO TIPO CCC (<i>COMPACT CALLUS CLUSTERS</i>) E PRODUTO QUE COMPREENDE UMA FRAÇÃO DE SAPONINAS	C12P 33/20
BR 10 2012 018924 0	30/07/2012	FORMULAÇÃO FARMACÊUTICA CONTENDO EXTRATO DE <i>HOVENIA DULCIS</i> , PROCESSO DE OBTENÇÃO E USO DA MESMA NA PREPARAÇÃO DE ALIMENTO FUNCIONAL E FITOPREPARADO PARA O TRATAMENTO DA DIABETES, HIPERGLICEMIAS E DISLIPIDEMIAS	A61K 36/72
PI 7705805-4	25/08/1977	DO FRUTO <i>HOVENIA DULCIS THUMBERG</i>	A23L 11/00

Uma análise detalhada de cada um dos processos listados na Tabela 1 é apresentada, do mais recente ao mais antigo:

- Processo BR 10 2014 023310 5

O processo indicado é intitulado “PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE FRAÇÃO DE SAPONINAS DE HOVENIA DULCIS A PARTIR DE CULTURAS DO TIPO CCC (*COMPACT CALLUS CLUSTERS*) E PRODUTO QUE COMPREENDE UMA FRAÇÃO DE SAPONINAS”, depositado no INPI em 19 de setembro de 2014 e possui como inventores Ivan Gonçalves Ribeiro, Norma Albarello, Marsen Garcia Pinto Coelho e Tatiana Carvalho de Castro. A titular do processo é a Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

O objetivo do processo é proteger a obtenção de fração de saponinas provenientes de *Hovenia dulcis*., caracterizando cada uma das etapas de como atingir o objeto proposto, e por fim o produto alcançado, caracterizado por apresentar uma fração saponínica com teor de água de 90%+0.6 e uma massa de resíduo seco de 2,7902g formada por 61,5mg de Clorofila, 1,0252g de uma massa de células residual após as extrações com metanol e água, 18,8mg de um resíduo de lavagem com clorofórmio, 59,4mg de fenóis e 40,9m de saponinas.

No que se refere à Classificação Internacional de Patentes (IPC), o processo é identificado com: C12P 33/20 (1980.01) Preparação de esteroides; / contendo anéis heterocíclicos; C07J 75/00 (1985.01) Processos para a preparação de esteróides em geral; C07H 15/256 (1985.01) Compostos contendo radicais de hidrocarbonetos ou de hidrocarboneto substituído diretamente ligados a heteroátomos dos radicais sacarídeos; / Anéis carbocíclicos; / Sistemas cíclicos condensados tendo três ou mais anéis; / Radicais

de politerpeno; C12N 5/04 (1990.01) Células não diferenciadas de seres humanos, animais ou plantas, p. ex. linhagem de células; Tecidos; Sua cultura ou manutenção; Seus meios de cultura; / Células ou tecidos vegetais. O referido processo de patentes segue com trâmite vigente no INPI, aguardando a avaliação do Instituto no que se refere ao seu deferimento.

- Processo BR 10 2012 018924 0

O processo indicado é intitulado “FORMULAÇÃO FARMACÊUTICA CONTENDO EXTRATO DE *HOVENIA DULCIS*, PROCESSO DE OBTENÇÃO E USO DA MESMA NA PREPARAÇÃO DE ALIMENTO FUNCIONAL E FITOPREPARADO PARA O TRATAMENTO DA DIABETES, HIPERGLICEMIAS E FORMULAÇÃO FARMACÊUTICA CONTENDO EXTRATO DE *HOVÊNIA DULCIS*, PROCESSO DE OBTENÇÃO E USO DA MESMA NA PREPARAÇÃO DE ALIMENTO FUNCIONAL E FITOPREPARADO PARA O TRATAMENTO DA DIABETES, HIPERGLICEMIAS E DISLIPIDEMIAS”, depositado no INPI em 30 de junho de 2012 e possui como inventores Tanus Jorge Nagem, Tânia Toledo de Oliveira e Luana Farah Alvarenga. As titulares do processo são a Universidade Federal de Viçosa e a Universidade Federal de Ouro Preto.

Nesse processo, os inventores desejavam proteger o processo de obtenção, o uso e uma formulação farmacêutica a partir do extrato de *Hovenia dulcis*, para aplicação em um composto fitoterápico e na produção de um alimento funcional, indicando todas as suas respectivas etapas de preparo. No que se refere à classificação IPC, consta no processo: A61K 36/72 (2006.01) Preparações medicinais contendo materiais de constituição indeterminadas derivados de algas, líquens, fungos ou plantas, ou derivados dos mesmos, p. ex. medicamentos tradicionais à base de ervas; / Magnoliophyta (angiospermas); / Magnoliopsida (dicotiledôneas); / Rhamnaceae (família do espinheiro), p. ex. “Rhamus”, “Gouania” ou “Maesopsis”; A61K 131/00 (2006.01) Contendo ou obtido de sementes, nozes, frutos ou grãos; A61P 3/10 (2000.01) Fármacos para o tratamento de distúrbios do metabolismo; / para homeostase de glicose; / para hiperglicemia, p. ex. antidiabéticos. Em 24 de novembro de 2020, o processo foi arquivado, encontrando-se, portanto, em domínio público.

- Processo PI 7705805-4

Dos processos depositados, trata-se do mais antigo, depositado em 25 de agosto de 1977, intitulado “Do fruto *Hovenia dulcis thumberg*”, de Gervásio Leonardo Muller, inventor e titular do processo. O referido inventor reivindicava o uso em escala industrial do fruto da espécie, a ser aplicado como matéria-prima para obtenção de álcool, óleo vegetal, ração animal e adubo. O inventor, no entanto, não detalhou no documento em

que condições o fruto seria utilizado, como se exige na apresentação do documento de patente, sendo em 17 de novembro de 1981 o pedido indeferido e arquivado. A classificação IPC indicada foi: A23L 11/00 (2016.01) Grãos de leguminosas, i.e. dos frutos de plantas leguminosas, para produção de forragem ou alimentos; C11B 1/04 (1968.09) Produção de gorduras ou óleos graxos a partir de matérias-primas; / Pré-tratamento; / de matéria-prima vegetal.

Todos os processos de patentes recebem uma classificação de acordo com o seu conteúdo, seguindo a Classificação Internacional de Patentes (CIP), a qual prevê 8 seções divididas da seguinte forma: Seção A – Necessidades Humanas; Seção B – Operações de Processamento e Transporte; Seção C – Química e Metalúrgica; Seção D – Têxteis e Papel; Seção E – Construções Fixas; Seção G – Física; e Seção H – Eletricidade. Cada processo pode receber de uma a várias classificações, incluindo em seções distintas.

Ao observarmos os três processos identificados no escopo deste trabalho, constatamos que eles recebem apenas classificações das seções A (necessidades humanas) e C (química e metalúrgica), indicando um rápido direcionamento ao que se propõem.

4 CONCLUSÕES

Com o presente estudo, foi possível observar que há um baixo desenvolvimento tecnológico encaminhado por meio de processos de patentes no Brasil que envolvam o uso da espécie *Hovenia dulcis*, demonstrando, desta forma, que a espécie não apresenta interesses tecnológicos suficientes que pudessem justificar seu cultivo ou manutenção.

Estudos a nível mundial demonstram um grande interesse pela espécie, principalmente por suas propriedades medicinais, nutricionais e utilitárias. Em muitas culturas asiáticas, a espécie continua sendo objeto de interesse para pesquisadores em várias áreas.

Cabe destacar que, no território brasileiro, a espécie é reconhecida como uma planta exótica invasora e que produz substâncias com impactos à biodiversidade. Medidas estão sendo tomadas para controlar sua disseminação e minimizar seu impacto. Isso inclui a remoção manual de plantas invasoras e o uso de herbicidas específicos para controlar o crescimento da espécie.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental (PPGTA) – UNISC e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código 001.

IDENTIFICATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE USE OF JAPANESE GRAPE (*HOVENIA DULCIS*) IN BRAZILIAN PATENTS

ABSTRACT: The species *Hovenia dulcis* is considered an introduced invasive and capable of adapting to a wide range of environmental conditions and growing rapidly, which allows it to compete with native species for resources such as nutrients, water, and sunlight. In some parts of the world, *Hovenia dulcis* has been linked to negative impacts on local biodiversity and natural ecosystems. Therefore, it is important to monitor and control the spread of this invasive species. Thus, on March 27, 2023, searches were carried out in patent banks, aiming at the technological mapping of products and/or processes that are protected or in process, identifying in the state of the art patent processes that are in process or that have been granted, which were related to the research object. Tin-it like this, an exploratory research, based on bibliometrics, to provide technological monitoring. Research has shown a limited number of patent processes involving the use of the species, only four were located, with the search criteria applied. The oldest process was presented more than 45 years ago, in 1977, and the most recent in 2014. Demonstrating that the invasive species has a long period of occurrence and adaptation in the country. As for the technological criterion, the search showed that there are no justifications for the maintenance of *Hovenia dulcis* along with local biodiversity and natural ecosystems.

Keywords: *Hovenia dulcis*. Patent processes. Technological base. Invasive. Brazil.

REFERÊNCIAS

- ARALDI, D. B. **Interferência alelopática de extratos de *Hovenia dulcis* Thunb. na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.)**. 2011. Brenan (Doctoral dissertation), Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- BARBOSA, D. B. Uma introdução à propriedade intelectual. **Lumen Juris**, 2003.
- BELLINGHAM, P. J.; TANNER, E. V.; MARTIN, P. H.; HEALEY, J. R.; BURGE, O. R. Endemic trees in a tropical biodiversity hotspot imperilled by an invasive tree. **Biological Conservation**, v. 217, p. 47–53, 2018.
- BRASIL. **Lei n. 9.279/96**. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9279.htm. Acesso em: 15 jan. 2023.
- CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da uva-do-Japão (*Hovenia dulcis* Thunberg)**. Colombo: EMBRAPA–CNPFlorestas, 1994. 24p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/16964/1/circ-tec23.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- FERREIRA, A. A. *et al.* Patente como instrumento competitivo e como fonte de informação tecnológica. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 2, p. 209–221, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2009000200005>
- KUESTER, P. F.; WIESEL, P. G.; LOBO, E. **Frugivorous diet and food availability of *Cerdocyon thous* and *Lycalopex gymnocercus* in the Serra do Sudeste Region, Rio Grande do Sul, Brasil**, 2022.
- LIMA, R. E. M. D. **Dispersão de sementes de *Hovenia dulcis* Thunb. (*Rhamnaceae*) – uma espécie invasora em área de floresta estacional decidual**, 2013.
- OBERLE, B.; COVEY, K. R.; DUNHAM, K. M.; HERNANDEZ, E. J.; WALTON, M. L.; YOUNG, D. F.; ZANNE, A. E. Dissecting the effects of diameter on wood decay emphasizes the importance of cross-stem conductivity in *Fraxinus americana*. **Ecosystems**, v. 21, p. 85–97, 2018.
- PADILHA, D. L.; LOREGIAN, A. C.; BUDKE, J. C. Forest fragmentation does not matter to invasions by *Hovenia dulcis*. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, p. 2293–2304, 2015.

SOLFIYENI, S.; SYAMSUARDI, S.; CHAIRUL, C.; MUKHTAR, E. Impacts of invasive tree species *Bellucia pentamera* on plant diversity, microclimate and soil of secondary tropical forest in West Sumatra, Indonesia. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, v. 23, n. 6, 2022.

ZENNI, R. D. de Sá; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. Dez anos do informe brasileiro sobre espécies exóticas invasoras: avanços, lacunas e direções futuras. **Biotemas**, v. 29, n. 1, p. 133–153, 2016.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM UM *CAMPUS* UNIVERSITÁRIO: PARTIDA DO SISTEMA

Lenin Domingues Garcia^{*1}, *Tainá Conzatti*¹, *Camila Naiele Giovanella Stacke*², *Ênio Leandro Machado*³, *Carlos Alexandre Lutterbeck*³, *Gustavo Stolzenberg Colares*¹, *Odorico Konrad*^{1,4}.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ambiente em Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari, 95914-014, Lajeado, RS, Brasil.

² Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari, 95914-014, Lajeado, RS, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

⁴ Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis (Cpets), Universidade do Vale do Taquari, 95914-014, Lajeado, RS, Brasil.

*E-mail: lenindg@gmail.com

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a partida de um sistema *Wetland* Construído de Fluxo Vertical em escala real para o tratamento secundário de efluentes gerados em um *campus* Universitário. O sistema de tratamento foi preenchido com britas n.1, n.2 e n.3, foi operado em fluxo contínuo e com fundo saturado, sendo vegetado com 3 espécies de plantas: *Cyperus papyrus*, *Canna x generalis* e *Agapanthus* sp. As eficiências de redução para os parâmetros DBO5, P solúvel e Turbidez foram de: 44,4%; 58,8% e 99,3%, respectivamente. Em relação ao desenvolvimento das plantas, observou-se um rápido crescimento das espécies *Cyperus papyrus* e *Canna x generalis*, enquanto as mudas de *Agapanthus* sp. não se adaptaram tão bem às condições impostas. Apesar de o sistema ter demonstrado eficiência nesse primeiro momento, é necessário um monitoramento mais longo para verificar o desempenho de tratamento e o desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza. Fitorremediação. Saneamento. Alagados Construídos.

1 INTRODUÇÃO

O latente histórico de carência de políticas inclusivas de saneamento no país passa por mais um capítulo. Com a Agenda 2030, o Brasil se prontificou com os Objetivos de desenvolvimento sustentável a assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Concomitantemente, o Marco do Saneamento (Lei n° 9.984, 2000), que há décadas aguarda por maior diligência, passa por sistemáticas aprovações e remanejamentos. A influência de um cenário com o outro e a promessa de voluptuosos investimentos é plano de fundo da realidade melancólica em que se encontra o saneamento nacional. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2021, cerca de 84,2% dos brasileiros possuíam acesso ao serviço de abastecimento de água. Já na questão do esgotamento sanitário, os percentuais caem consideravelmente, pois 51,2% da população possuía tratamento de esgoto adequado (SNIS, 2022). Ou seja, cerca de metade da população brasileira ainda carece desse serviço público essencial.

Nesse contexto, soluções descentralizadas e tecnologicamente disruptivas ganham espaço, buscando proporcionar benefícios ambientais, sociais e econômicos, construindo modelos de negócios resilientes e sustentáveis na lacuna de infraestrutura que se observa

(GONZALEZ-FLO *et al.*, 2023). Soluções baseadas na natureza simulam processos naturais com objetivo de contribuir para o aprimoramento da gestão hídrica, podendo envolver a conservação e a reabilitação de ecossistemas naturais, ou a criação de processos naturais em ecossistemas modificados ou artificiais. Nessa linha de atuação surge a tecnologia dos *Wetlands* Construídos (BOANO *et al.*, 2020).

Os *Wetlands* naturais são ecossistemas aquáticos que ocorrem de forma natural. São pântanos, brejos, planícies de alagamento e manguezais (MADALENA, 2022). Esses sistemas possuem um importante papel na purificação de água, retenção da contaminação e filtragem. Já os *Wetlands* Construídos são reatores que replicam e buscam aperfeiçoar, com critérios de engenharia, os fenômenos que ocorrem nesses sistemas naturais. Dessa forma, é construído um reator controlado e aperfeiçoado para o gerenciamento da poluição (VYMAZAL, 2022).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi de avaliar a partida em um sistema de tratamento do tipo *Wetland* Construído de Fluxo Vertical em escala real para o tratamento de efluentes gerados em um *campus* universitário.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) – *Campus* Lajeado, no Rio Grande do Sul. O sistema foi projetado para atender uma vazão de aproximadamente 5m³ dia, gerado principalmente por águas cinzas e amarelas no bloco do TECNOVATES. Antes de ir para o *Wetland* Construído, o efluente passa por um tratamento primário que consiste em um reator compartimentado e aerado do tipo “Estação Compacta”. Após esse primeiro estágio de tratamento, o efluente é encaminhado, por gravidade, para o polimento através do sistema *Wetland* Construído desenvolvido no local.

2.2 LAYOUT E OPERAÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

O *Wetland* Construído consistiu em um tanque retangular de alvenaria, com médias de 3 x 8 m, e altura de 0,8 m. A entrada do efluente no tanque ocorria através de tubulação de PVC com diâmetro de 75 mm. Um sistema de distribuição do tipo “garfo” com a tubulação perfurada foi posicionado sobre o substrato, visando a distribuição do efluente

pela superfície do material filtrante. De forma semelhante, o sistema de drenagem também consistiu em tubulações de 75 mm perfuradas e posicionado na base (no fundo) do tanque, “enterrado” no material filtrante. O material de preenchimento consistiu em britas de diferentes granulometrias, conforme a Figura 1.

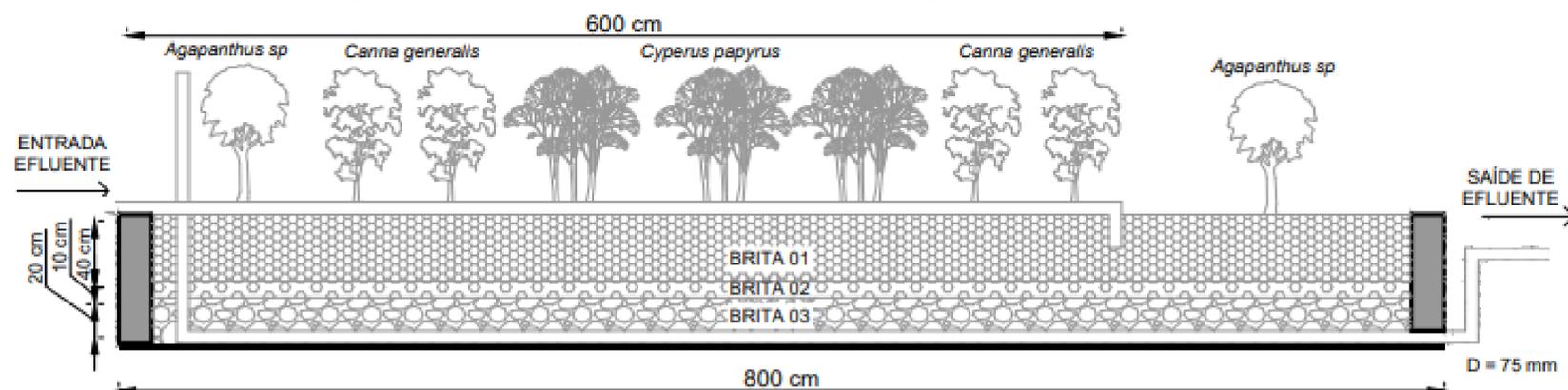


Figura 1. Corte lateral do *Wetland* Construído de Fluxo Vertical desenvolvido na UNIVATES/Lajeado.

A camada inferior do tanque foi preenchida com brita n. 3, para facilitar a drenagem do efluente para fora do tanque. Esta camada teve altura de aproximadamente 20 cm. A camada intermediária foi composta por brita n. 2 e possuiu cerca de 10 cm de altura. Já a camada superior e principal camada filtrante do sistema foi composta por brita n. 1, onde foram inseridas as plantas do sistema.

Em relação às plantas, o tanque foi vegetado com 3 espécies: *Cyperus papyrus* na região mais central; *Canna x generalis* na região mais intermediária e *Agapanthus sp.* nas bordas do sistema. As mudas foram plantadas em dezembro de 2022, junto com a realização da partida do sistema. Esse arranjo de espécies bem como a posição delas no tanque foi planejada visando combinar eficiência de tratamento com integração paisagística no local.

Já a alimentação do sistema ocorria em fluxo contínuo com vazão de aproximadamente 5 m³ de efluente por dia. A unidade era operada de forma saturada, com a altura da zona saturada do substrato de 60 cm, ou seja, cerca de 85% do material filtrante permanecia com os poros preenchidos com líquido.

As amostras foram coletadas antes e após o sistema de tratamento. Foram analisados os parâmetros conforme a legislação ambiental vigente (CONSEMA 355/2017), tais como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5), Fósforo Solúvel (P solúvel), Turbidez, Cor abs. (420 nm), pH, Condutividade Elétrica (Cond. Elétrica) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD). As amostras foram coletadas e preservadas conforme as recomendações presentes em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – APHA / AWWA (2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA

A partida do sistema ocorreu em dezembro de 2022 e a primeira coleta de amostras e batelada de análises foi conduzida em 20 de janeiro de 2023. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na primeira batelada durante as análises:

Tabela 1 . Análise preliminar do desempenho de tratamento do sistema desenvolvido

Parâmetro	Entrada do WCFV	Saída do WCFV	CONSEMA 355/2017*
DBO5 (mg L ⁻¹)	45,0	25,0	120,0
P solúvel (mg L ⁻¹)	9,36	3,86	4,00**
Turbidez (NTU)	8,45	0,06	-
Cor abs. (420 nm)	0,108	0,017	-
pH	7,65	7,45	6,0 a 9,0
Cond. Elétrica (μ S cm ⁻¹)	1016	667	-
STD (ppm)	508	334	34.3

* Considerando vazões inferiores a 200 m³ dia⁻¹. **Limite para P total.

Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, as eficiências de redução para os parâmetros DBO5, P solúvel e Turbidez foram de: 44,4%; 58,8% e 99,3%, respectivamente. O valor obtido de redução de DBO5 possivelmente está relacionado à concentração de entrada na unidade de tratamento, uma vez que a mesma já se encontra abaixo do limite estabelecido pela CONSEMA 355. Já a redução de P solúvel verificada deve ser associada ao substrato “novo” utilizado como material filtrante no sistema de tratamento, uma vez que a adsorção e a precipitação de P no substrato são os principais mecanismos de remoção de fósforo nesses sistemas (DELL’OSBEL *et al.*, 2020). Em adição, o sistema foi eficiente na redução do valor de turbidez, atingindo um valor que poderia indicar até mesmo a possibilidade de reuso local não potável. Estes valores estão de acordo com a literatura referente aos sistemas *Wetlands* Construídos (RODRIGUEZ-DOMINGUEZ *et al.*, 2020).

3.2 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NA UNIDADE DE TRATAMENTO

As plantas desempenham um papel fundamental para a eficiência dos sistemas *Wetlands* Construídos, através da liberação de oxigênio pelas raízes, superfície para

o crescimento microbiano assim como pela absorção e incorporação de nutrientes na biomassa (VYMAZAL, 2022). A Figura 2 apresenta um registro fotográfico do WCFV cerca de 3 meses após o início da operação da unidade de tratamento.



Figura 2. Desenvolvimento das plantas do sistema de tratamento após 3 meses de operação

A partir da Figura 2, é possível verificar que as mudas das espécies *Cyperus papyrus* apresentaram um rápido crescimento, assim como as mudas da espécie *Canna x generalis*, as quais inclusive já apresentavam flores de diferentes cores. As mudas de *Agapanthus sp.*, em contrapartida, não se adaptaram às condições impostas, possivelmente devido à saturação do substrato ou do choque de carga dos efluentes em tratamento. A médio e longo prazo, deverá ser feito o manejo das plantas para estimular o crescimento das mesmas, para a remoção de biomassa morta (ou em decomposição), bem como para que uma das espécies não domine o tanque de forma desordenada.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que a unidade de tratamento composta por um WCFV foi eficiente na redução dos parâmetros analisados, respeitando os padrões de emissão definidos pela CONSEMA 355/2017. Entretanto, é importante destacar que esta foi apenas uma análise preliminar do desempenho de tratamento através de uma batelada de amostras e que este monitoramento analítico deve ser conduzido em maior número e por períodos mais longos.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, ao CNPQ, ao SEBRAE (Programa Catalisa ICT) e ao Programa Mariana Labs (Fundação Renova) por todo o apoio e o suporte financeiro.

VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLAND FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER GENERATED IN AN UNIVERSITY CAMPUS: SYSTEM START

ABSTRACT: The objective of the present study was to evaluate the operation start of a Vertical Flow Constructed *Wetland* (CW) in full-scale for the treatment of secondary wastewater from a university campus. The treatment system was filled with gravel n.1, n.2 and n.3. The system feeding flow was continuous and it was operated under saturated conditions. The CW was vegetated with 3 plant species: *Cyperus papyrus*, *Canna x generalis* and *Agapanthus* sp. The efficiencies regarding BOD5, Soluble P and Turbidity were: 44,4%; 58,8% e 99,3%, respectively. Concerning plant development, it was observed a fast grow for the *Cyperus papyrus* e *Canna x generalis*. On the other hand, the *Agapanthus* sp. did not adapt as well to the conditions. Although the system efficiently reduced the analysed parameters, it is necessary to conduct a longer monitoring in order to better evaluate the treatment performance and the plant development.

Keywords: Nature Based Solution. Phytoremediation. Sanitation. Treatment *Wetlands*.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association.**, 2002.

BOANO, F. *et al.* A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. **Science of the total environment**, v. 711, p. 134731, 2020.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. Resolução CONSEMA 355. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul. 2017.

DELL’OSBEL, N. *et al.* Bibliometric analysis of phosphorous removal through constructed *wetlands*. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, p. 1-18, 2020.

GONZALEZ-FLO, E.; ROMERO, X.; GARCÍA, J. Nature based-solutions for water reuse: 20 years of performance evaluation of a full-scale constructed *wetland* system. **Ecological Engineering**, v. 188, p. 106876, 2023.

MADALENA, M. de A. **Infraestrutura verde e instrumentos de planejamento ambiental municipal**. 2022. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Vale do Rio dos Sinos, 2022.

RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, M. A. *et al.* Constructed *wetlands* in Latin America and the Caribbean: a review of experiences during the last decade. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1744, 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Painéis**: Esgotamento Sanitário. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-r/assuntos/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 24 abr. 2023.

VYMAZAL, J. The historical development of constructed *wetlands* for wastewater treatment. **Land**, v. 11, n. 2, p. 174, 2022.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

EMPREGO DE MICROALGAS PARA A REMOÇÃO DE RESÍDUOS DE ATRAZINA E CLOMAZONE EM ÁGUAS UTILIZANDO FOTOBIORREATOR DE COLUNA DE BOLHAS

Luana Bertolo Y Castro Bender^{1}, Tiele Medianeira Rizzetti¹, Rosana de Cássia de Souza Schneider¹*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2 293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

*E-mail: luanacastro@mx2.unisc.br

RESUMO

As microalgas têm sido aplicadas de forma promissora na remoção de agrotóxicos em águas e podem ser ainda mais exploradas para este fim. Desta forma, o principal objetivo dessa pesquisa foi avaliar a remoção dos agrotóxicos atrazina e clomazone, utilizando microalgas provenientes de ambientes comumente eutrofizados. Para tanto, foram realizados testes em sistemas de bancada de batelada, com águas coletadas na Lagoa Armênia (Taquari-RS), para o cultivo de microalgas com diferentes concentrações de nutrientes (NPK) em um reator de coluna de bolhas. Em todos os experimentos, utilizou-se 30% de inóculo e enriquecidos com agrotóxicos na concentração de $200 \mu\text{g L}^{-1}$. Os experimentos foram monitorados por 49 dias e os agrotóxicos determinados por cromatografia líquida com espectrometria de massas. A microalga predominante no inóculo produzido a partir de águas superficiais foi do gênero *Pseudochlorella* sp. Verificou-se que a concentração ideal de NPK como suplemento do meio para este estudo foi $0,5 \text{ g L}^{-1}$. Nos estudos de fitorremediação, o percentual de remoção de atrazina e clomazone foram 87,8 e 88,4%, respectivamente. Além disso, pode ser observada a influência da fotólise no sistema referente à degradação dos compostos, e também se identificou 2 metabólitos da atrazina no final do tratamento. Assim, o uso de microalgas se mostra promissor para tratamentos de água contendo contaminantes, tais como os agrotóxicos.

Palavras-chave: Fitorremediação. Microalgas. Fotobiorreatores. Atrazina. Clomazone.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos processos de cultivo de microalgas utilizando águas residuárias em biorreatores, apresentando uma estratégia potencialmente sustentável para a remoção de contaminantes em águas residuárias (LUO *et al.*, 2017). As microalgas são fontes de energia sustentáveis, devido à sua rápida taxa de crescimento, capacidade de fotossíntese e de ser cultivada em meios como esgoto, água do mar, água doce e outros (PETER *et al.*, 2022). Esses microrganismos são fotossintéticos e o crescimento está relacionado à presença de uma fonte de luz. No entanto, outros fatores devem ser considerados, como pH, CO_2 , disponibilidade nitrogênio, salinidade, temperatura, remoção de oxigênio e composição do meio. Todos estes parâmetros devem ser ajustados para cada caso, pois a taxa de crescimento e a concentração máxima de

biomassa de algas variam com as condições de cultivo e entre as espécies (CHANQUIA *et al.*, 2021).

Os equipamentos mais utilizados para a produção de microalgas são fotobiorreatores abertos ou fechados, os quais permitem diferentes modos metabólicos de produção (autotrófico, mixotrófico ou heterotrófico). A otimização de condições controladas nestes equipamentos implica em alta produtividade celular. Desta forma, tornou-se intenso o interesse dos pesquisadores em encontrar alternativas no desenvolvimento tecnológico dos fotobiorreatores (KIRNEV *et al.*, 2020). Além disso, os fotobiorreatores também estão sendo usados em bioprocessos para a obtenção de produtos químicos de alto valor agregado (CHANQUIA *et al.*, 2021), em estudos para a remoção de nutrientes (GAO *et al.*, 2019; MUSTAFA *et al.*, 2021) ou de moléculas específicas presentes nos meios (NIE *et al.*, 2020). Recentemente, foram realizados estudos em fotobiorreatores sobre a capacidade das microalgas *Monoraphidium sp.*, *Desmodesmus subspicatus* e *Nannochloris sp.* coletados em diferentes locais para remover contaminantes emergentes, por exemplo, simazina, atrazina, terbutilazina, adenosina e ibuprofeno, assim como a remoção dos nutrientes nitratos e fosfatos. Este estudo apresentou 100% de remoção de contaminantes e redução de 89,90% e 99,70% dos nitratos e fosfatos, respectivamente (GIL-IZQUIERDO *et al.*, 2021). Outra pesquisa avaliou a capacidade de um fotobiorreator para a remoção de 51 agrotóxicos do escoamento agrícola na área periurbana de Barcelona (Espanha), por microalgas com predominância de *Synechocystis sp.*, apresentando diferentes percentuais de remoção, dependendo do composto estudado (GARCÍA-GALÁN *et al.*, 2020).

Estas aplicações das microalgas têm um grande potencial para o uso na área de tratamento de águas provenientes da agricultura, indústria e de efluente sanitário, assim como de recuperação de águas superficiais contaminadas. Desta forma, inúmeros caminhos podem ser testados com microalgas em busca da capacidade de remoção de contaminantes orgânicos.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a remoção dos agrotóxicos, atrazina e clomazone, por microalgas provenientes de águas superficiais (Lagoa Armênia de Taquari, RS) em sistemas de fotobiorreatores de coluna de bolhas. Também, buscou-se avaliar a concentração de NPK ideal utilizada para a suplementação do meio.

2 METODOLOGIA

2.1 CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL

Para o preparo do inóculo, utilizou-se água de superfície coletada diretamente da Lagoa Armênia, de Taquari/RS. Para o cultivo das microalgas, utilizou-se um sistema fotobiorreator com coluna de bolhas de ar, contendo CO₂ atmosférico como fonte de carbono inorgânico. O cultivo foi realizado com o aporte de 1g L⁻¹ de fertilizante NPK (marca Yara, na proporção de 17% de nitrogênio, 11% de fósforo e 18% de potássio), sem fotoperíodo e com uma radiação luminosa de 26,58 μmol s⁻¹ m⁻². A água da Lagoa foi coletada 3 meses antes do início do tratamento e os repiques foram realizados a cada 21 dias. Neste período, foram identificadas as espécies de microalgas predominantes no inóculo.

Para os testes de remoção de agrotóxicos, foram realizados enriquecimentos do meio com os padrões analíticos de atrazina e/ou clomazone na concentração de 200 μg L⁻¹. Inicialmente, verificou-se a influência do NPK nas concentrações de 0, 0,25, 0,5 e 1 g L⁻¹ no tratamento com microalgas (30% de inóculo) enriquecidas com atrazina a 200 μg L⁻¹. Após a escolha da melhor condição, procedeu-se os experimentos enriquecidos com clomazone. Em todos os experimentos foi monitorado um reator sem adição de agrotóxicos (branco) e um sem adição de inóculo de microalgas para avaliar a realização de fotólise das moléculas de atrazina e clomazone (controle).

Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Nos fotobiorreatores de coluna de bolhas foram utilizados 30% de inóculo. Aos recipientes foi inserido um tubo de vidro para a formação da coluna de bolhas com ar atmosférico succionado por uma bomba de ar (marca Vigo Ar Plus 60). A fonte de carbono foi somente o CO₂ contido no ar.

Após a montagem do experimento, aguardou-se 1 h para ocorrer a completa homogeneização dos componentes desse sistema e, então, procedeu-se à primeira coleta de amostra. Após, foi realizada coleta a cada 7 dias, perfazendo um total de 49 dias. A determinação da concentração dos agrotóxicos em estudo foi realizada por LC-MS, do inglês *liquid chromatography-mass spectrometry*.

2.2 DETERMINAÇÃO DE ATRAZINA E CLOMAZONE EM ÁGUA POR LC-MS

As amostras foram coletadas em alíquotas de 1 mL do meio de cultivo a cada 7 dias. O preparo de amostra consistiu na transferência da alíquota (1 mL) para um tubo do tipo

eppendorf, em que se centrifugou a 13.500 rpm por 5 min, filtrou-se em filtro de seringa de *nylon* 0,22 μm e analisou-se o extrato por LC-MS. As amostras foram analisadas na mesma semana em que foram coletadas, sendo armazenadas sob refrigeração até a análise.

O sistema empregado foi o LC-MS (*Agilent Technologies*) equipado com detector *single* quadrupolo, bomba quaternária e forno para controle de temperatura da coluna. Para a separação cromatográfica, utilizou-se uma coluna analítica C18 (100 mm \times 4,6 mm d.i., 2,7 μm) (Raptor Restek). A fase móvel foi A) água e B) metanol, ambas com 0,1% (v/v) ácido fórmico e 5 mmol L⁻¹ de formiato de amônio. A eluição foi realizada no modo isocrático (A:B, 40:60, v/v) com uma vazão de 0,6 mL min⁻¹, totalizando uma corrida cromatográfica de 7 min. O espectrômetro de massas (MS, do inglês *mass spectrometry*) foi operado utilizando uma fonte de ionização por eletronebulização no modo positivo, com o monitoramento de íon selecionado. As condições da fonte de ionização e MS foram: voltagem do capilar 2,5 kV, temperatura da fonte 150 °C e temperatura do gás de dessolvatação 250 °C. Os íons monitorados e o tempo de retenção (tr) foram para a atrazina: 216 (tr: 3,5 min), atrazina desisopropil 2-OH: 156 (tr: 1,3 min), atrazina 2-OH: 198 (tr: 1,5 min), atrazina desisopropil: 174 (tr: 1,7 min), atrazina desetil: 188 (tr: 1,9 min) e clomazone: 240 (tr: 4,5 min).

Para a quantificação dos compostos foram utilizados padrões analíticos, com no mínimo 95% de pureza, adquiridos da Sigma-Aldrich. As soluções estoque (1000 mg L⁻¹) foram preparadas em metanol, exceto para a atrazina 2-OH em que o metanol foi acidificado com uma solução de HCl 1 mol L⁻¹ para completa solubilização dos padrões sólidos. Após, uma solução de mistura contendo todos os analitos na concentração de 10 mg L⁻¹ foi preparada em metanol. A curva analítica, em água ultrapura, na concentração de 0,5 a 200 $\mu\text{g L}^{-1}$ foi utilizada para a quantificação dos analitos. Os limites de detecção e quantificação do método foram 0,6 e 2 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para as análises estatísticas foi utilizado o teste de Tukey's com múltiplas comparações. Para a significância estatística foi considerado o valor de $p < 0,05$. Os testes foram realizados no *software* GraphPad Prism 8.4.3 (GraphPad Inc., CA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE ATRAZINA POR MICROALGAS

Na análise por microscopia óptica dos inóculos utilizados no experimento, foi encontrada a predominância da microalga *Pseudochlorella sp.* Observou-se esta predominância em função do número de repiques que foi realizado antes dos experimentos contendo agrotóxicos.

Na Figura 1, podem ser vistos os resultados de remoção de atrazina durante o tratamento de 49 dias com diferentes concentrações de NPK. A utilização de NPK aumentou o percentual de remoção de atrazina ao longo dos 49 dias de monitoramento, uma vez que o sistema biológico de remoção se dá com as microalgas vivas e para a manutenção por maior tempo, o aporte nutricional é relevante.

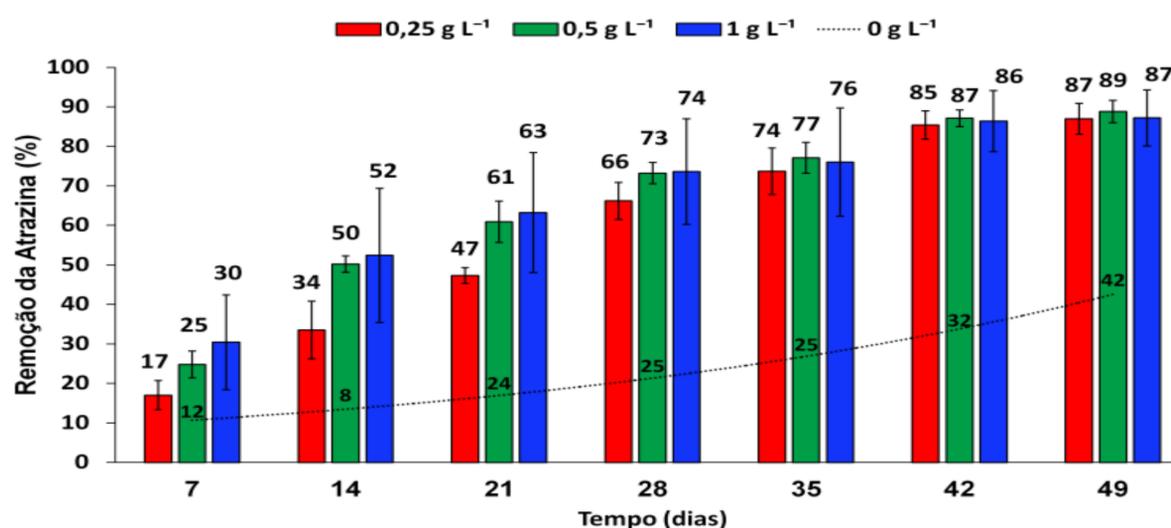


Figura 1. Percentual de remoção de atrazina por tratamento com microalgas utilizando diferentes concentrações de nutriente NPK (0, 0,25, 0,5, e 1 g L⁻¹).

Em 49 dias de tratamento, a média de remoção de atrazina do meio aquoso foi de 87,8% e que não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as diferentes concentrações de NPK utilizadas, exceto naquela em que não foi adicionado NPK. Isto demonstra que a suplementação de nutrientes é essencial no processo de fitorremediação. Assim, para a avaliação da biorremediação de contaminantes orgânicos é importante que as microalgas tenham condições nutricionais adequadas quanto à presença de P e N.

Com isso, em nosso estudo optamos pela suplementação do meio com 0,5 g L⁻¹ de solução de NPK, uma vez que essa quantidade de nutrientes demonstrou ser eficaz para o processo de fitorremediação e não apresentou diferença significativa com concentrações

maiores de nutrientes. Weis e colaboradores (2020) obtiveram bons resultados em meio suplementado com NPK para a remoção de bifentrina com microalgas que crescem a partir de um efluente urbano. Hu e colaboradores (2021) em 8 dias de exposição em um sistema fotobiorreator com *Chlorella* sp. obtiveram a remoção de 83,0% e 64,3% de atrazina nas concentrações iniciais de solução de 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ e 80 $\mu\text{g L}^{-1}$ de atrazina, respectivamente.

Campos e colaboradores (2013) avaliaram, para a *Microcystis novacekii*, a remoção de atrazina na concentração de 50 a 500 $\mu\text{g L}^{-1}$ e removeu em média 27,2% deste agrotóxico em 96 h após a exposição, empregando meio de cultura WC, o qual não é tão rico de N e P como o meio NPK utilizado neste trabalho.

Portanto, destaca-se que a presença de nutrientes para o crescimento das microalgas é importante para uma melhor eficiência de remoção do contaminante do meio. Ademais, os agrotóxicos, em especial atrazina e clomazone, têm sido relatados, mas ainda com pouca frequência, com potencial de serem removidos pelas microalgas ou macrófitas.

Além da atrazina e clomazone, quatro dos principais metabólitos da atrazina foram avaliados no início e fim dos tratamentos com microalgas. Destes, dois metabólitos foram encontrados. O desisopropil 2-OH foi detectado no início e final do tratamento nas concentrações de 7,68 e 17,71 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente. Já o metabólito atrazina 2-OH foi encontrado apenas no final do tratamento em uma concentração de 37,25 $\mu\text{g L}^{-1}$. O modo de ação e toxicidade dos metabólitos cloro-s-triazina no organismo humano são similares ao da atrazina, exceto a atrazina 2-OH que apresenta toxicidade para os rins (WHO, 2017). Além disso, vale ressaltar que a atrazina 2-hidróxi é o principal subproduto da degradação da atrazina por fotólise (BIANCHI; PIROLA *et al.*, 2006).

3.2 AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE CLOMAZONE POR MICROALGAS

Em continuidade aos estudos com agrotóxicos, optou-se por experimentos que apresentaram a melhor condição de 0,5 g L^{-1} NPK para o herbicida clomazone durante 49 dias. Como pode ser visto na Figura 2, o clomazone também foi removido por microalgas alcançando 88,4% em 49 dias. O mesmo comportamento observado para a atrazina foi observado para o clomazone em que, ao longo do tratamento, verificou-se uma maior remoção do contaminante do sistema.

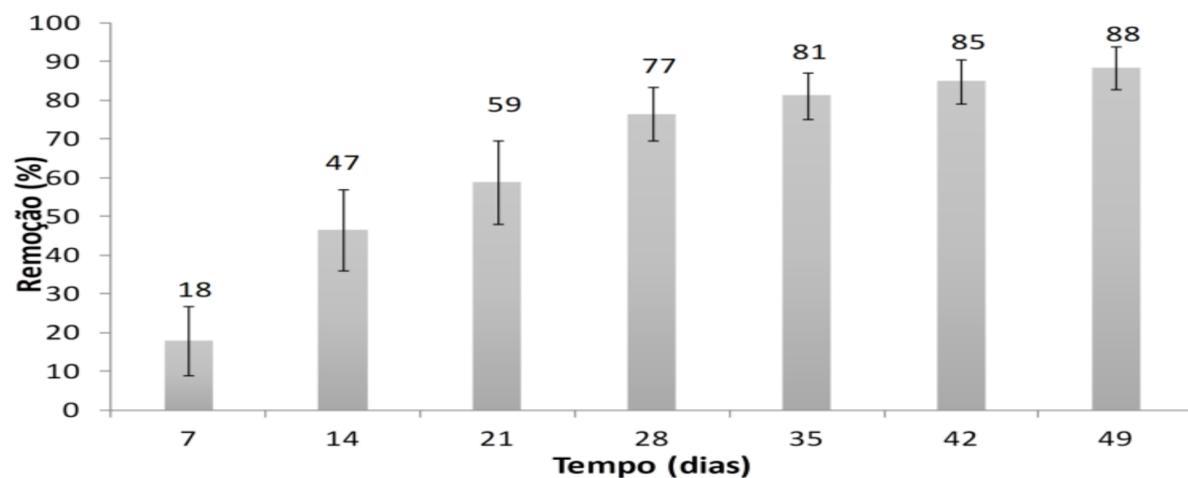


Figura 2. Percentual de remoção de clomazone em 49 dias de tratamento com microalgas e meio suplementado com $0,5 \text{ g L}^{-1}$ de NPK.

3.3 ENSAIOS DE FOTÓLISE DE CLOMAZONE E ATRAZINA

Os ensaios de fotólise foram realizados concomitantemente em cada experimento com os agrotóxicos (Figura 3), executado da mesma maneira, contudo sem o inóculo. No final dos 49 dias de tratamento, observou-se a remoção de 51,4% e 58,4% para clomazone e atrazina, respectivamente.

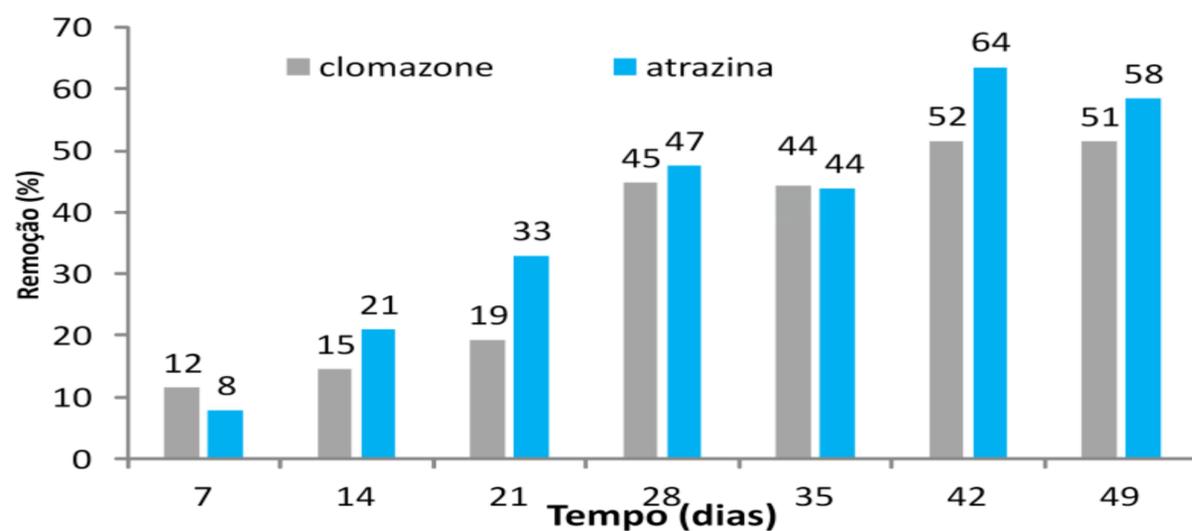


Figura 3. Percentual de remoção da atrazina e clomazone por fotólise em 49 dias de tratamento.

Considerando as médias de remoção de atrazina e clomazone suplementados com $0,5 \text{ g L}^{-1}$ (Figuras 1 e 2) e descontando a média de remoção por fotólise (Figura 3), para o mesmo tempo de tratamento, obtêm-se o valor de remoção somente pelas microalgas presentes no cultivo, sendo 37% e 30% para clomazone e atrazina, respectivamente. Com

isso, a remoção de clomazone e atrazina em água superficial utilizando fotobiorreatores de bolhas com predominância de *Pseudochlorella* sp. também envolveu a ação da radiação, provocando fotólise. Isto se deve ao fato de ser um sistema biológico e é conhecido que em tratamentos que empregam microalgas fotoautotróficas ou mixotróficas, as quais crescem na presença de uma fonte luminosa, haja a ação da fotólise dos agrotóxicos no meio (NIE *et al.*, 2020).

Alencar e colaboradores (2020) relataram alta remoção do herbicida clomazone utilizando macrófitas, uma vez que demonstraram a redução da concentração de clomazone na água, com valores de 90 e 99,9% para *E. crassipese* e *P. stratiotes*, respectivamente.

Desta forma, as microalgas podem remover os contaminantes emergentes em até 100% dependendo das condições do meio, da espécie da microalga e também das características físico-química dos contaminantes orgânicos (REMPEL *et al.*, 2021).

4 CONCLUSÕES

A eficiência de remoção dos agrotóxicos atrazina e clomazone em águas residuais utilizando microalgas em sistemas de fotobiorreatores demonstrou resultados promissores, tornando-se uma abordagem ambientalmente correta e sustentável. As perspectivas futuras para esta pesquisa oferecem uma metodologia para a remoção de agrotóxicos e um potencial de remoção de atrazina (87,8%) e clomazone (88,4%). Ambos sofreram fitorremediação pelas microalgas presentes no meio e a fotólise provocada pela irradiação necessária para promover o crescimento microalgal colabora para a degradação dos agrotóxicos avaliados.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, e aos projetos CNPq sob o número 439323/2018-5 e número 310228/2019-0.

EMPLOYMENT OF MICROALGAE FOR THE REMOVAL OF ATRAZIN AND CLOMAZONE RESIDUES IN WATER USING BUBBLE COLUMN PHOTOBIOREACTOR

ABSTRACT: Microalgae have been promisingly applied in removing pesticides in water and can be further exploited for this purpose. Thus, the main objective of this research was to evaluate the removal of atrazine and clomazone pesticides using microalgae from commonly eutrophic environments. For that, tests were carried out in batch bench systems, with water collected in Lagoa Armênia (Taquari-RS), to cultivate microalgae with different concentrations of nutrients (NPK) in a bubble column reactor. In all experiments, 30% inoculum was used and enriched with pesticides at $200 \mu\text{g L}^{-1}$. The experiments were monitored for 49 days, and the pesticides were determined by liquid chromatography with mass spectrometry. The predominant microalgae in the inoculum produced from surface waters were of the genus *Pseudochlorella* sp. The optimal concentration of NPK as a medium supplement for this study was found to be 0.5 g L^{-1} . In the phycoremediation studies, the percentage of removal of atrazine and clomazone was 87.8 and 88.4%, respectively. In addition, the influence of photolysis on the system regarding the degradation of the compounds can be observed, and two atrazine metabolites were also identified at the end of the treatment. Thus, using microalgae shows promise for treating water-containing contaminants, such as pesticides.

Keywords: phycoremediation, microalgae, photobioreactors, atrazine, clomazone.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, B. T. B.; RIBEIRO, V. H. V.; CABRAL, C. M.; dos SANTOS, N. M. C.; FERREIRA, E. A.; FRANCINO, D. M. T.; SANTOS, J. B. D.; SILVA, D. V.; SOUZA, M. D. F.. Use of macrophytes to reduce the contamination of water resources by pesticides. **Ecological Indicators**, v. 109, p. 105785, 2020.

BIANCHI, C. L.; PIROLA, C.; RAGAINI, V.; SELLI, E. Mechanism and efficiency of atrazine degradation under combined oxidation processes. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 64, n. 131, 2006.

CAMPOS, M. M. C.; FARIA, V. H. F.; TEODORO, T. S.; BARBOSA, F. A. R.; MAGALHÃES, S. M. S. Evaluation of the capacity of the cyanobacterium *Microcystis novacekii* to remove atrazine from a culture medium. **Journal of Environmental Science and Health – Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 48, n. 2, 101, 2013.

CHANQUIA, S. N.; VERNET, G.; KARA, S. Photobioreactors for cultivation and synthesis: Specifications, challenges, and perspectives. **Engineering in Life Sciences**, v. 22, 712, 2022.

GAO, F.; YANG, H.-L.; LI, C.; PENG, Y.-Y.; LU, M.-M.; JIN, W.-H.; BAO, J.-J.; GUO, Y.-M. Effect of organic carbon to nitrogen ratio in wastewater on growth, nutrient uptake and lipid accumulation of a mixotrophic microalgae *Chlorella* sp. **Bioresource Technology**, v. 282, 118, 2019.

GARCÍA-GALÁN, M. J.; MONLLOR-ALCARAZ, L. S.; POSTIGO, C.; UGGETTI, E.; LÓPEZ DE ALDA, M.; DÍEZ-MONTERO, R.; GARCÍA, J. Microalgae-based bioremediation of water contaminated by pesticides in peri-urban agricultural areas. **Environmental Pollution**, v. 265, 114579, 2020.

GIL-IZQUIERDO, A.; PEDREÑO, M. A.; MONTORO-GARCÍA, S.; TÁRRAGA-MARTÍNEZ, M.; IGLESIAS, P.; FERRERES, F.; BARCELÓ, D.; NÚÑEZ-DELICADO, E.; GABALDÓN, J. A. A sustainable approach by using microalgae to minimize the eutrophication process of Mar Menor lagoon. **Science of The Total Environment**, v. 758, 143613, 2021.

KIRNEV, P. C. S.; CARVALHO, J. C.; VANDENBERGHE, L. P. S.; KARP, S. G.; SOCCOL, C. R. Technological mapping and trends in photobioreactors for the production of microalgae. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 36, 42, 2020.

LUO, Y.; LE-CLECH, P.; HENDERSON, R. K. Simultaneous microalgae cultivation and wastewater treatment in submerged membrane photobioreactors: A review. **Algal Research**, v. 24, 425, 2017.

MUSTAFA, S.; BHATTI, H. N.; MAQBOOL, M.; IQBAL, M. Microalgae biosorption, bioaccumulation and biodegradation efficiency for the remediation of wastewater and carbon dioxide mitigation: Prospects, challenges and opportunities. **Journal of Water Process Engineering**, v. 41, 102009, 2021.

NIE, J.; SUN, Y.; ZHOU, Y. ;KUMAR, M.; USMAN, M.; LI, J.; SHAO, J.; WANG, L.; TSANG, D. C. W. Bioremediation of water containing pesticides by microalgae: Mechanisms, methods, and prospects for future research. **Science of the Total Environment**, v. 707, 136080, 2020.

PETER, A. P.; KOYANDE, A. K.; CHEW, K. W.; HO, S. H.; CHEN, W. H.; CHANG, J. S.; KRISHNAMOORTHY, R.; BANAT, F.; SHOW, P. L. Continuous cultivation of microalgae in photobioreactors as a source of renewable energy: Current status and future challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 154, 111852, 2022.

REMPEL, A.; NADAL BIOLCHI, G.; FAREZIN ANTUNES, A. C.; GUTKOSKI, J. P.; TREICHEL, H.; COLLA, L. M. Cultivation of Microalgae in Media Added of Emergent Pollutants and Effect on Growth, Chemical Composition, and Use of Biomass to Enzymatic Hydrolysis. **BioEnergy Research**, v. 14, 265, 2021.

WHO (World Health Organization). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: **World Health Organization**, 2017.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

REMANESCENTES FLORESTAIS URBANOS E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Marcos H. Schroeder^{1}, Patrik Gustavo Wiesel¹, Bruno Depra¹, Eduardo Alcayaga Lobo¹*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

*E-mail: schroedermarcoshenrique@gmail.com

RESUMO

Os remanescentes florestais urbanos são áreas verdes em meio às cidades que conservam fragmentos de florestas nativas deste ecossistema. Estas áreas desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade, uma vez que proporcionam habitat para inúmeras espécies de plantas e animais que não teriam condições adequadas de sobrevivência nos ambientes urbanos altamente modificados. A manutenção desses remanescentes é fundamental para a proteção da biodiversidade e para o fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais, como melhoria da qualidade do ar e da água, redução da poluição sonora e visual e o bem-estar humano. Devido à forte pressão antrópica, estas áreas enfrentam muitos desafios, como a fragmentação e degradação dos habitats naturais, a introdução de espécies exóticas invasoras, falta de planejamento urbano adequado, poluição ambiental, pressão imobiliária e falta de valorização. Desta forma, para entender o cenário de publicações relacionadas com os remanescentes florestais urbanos e a conservação da biodiversidade, foi realizado, no mês de abril de 2023, um estudo bibliométrico com as palavras-chave “*urban forest remnants*” e “*biodiversity conservation*” nas plataformas *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*. Foram encontrados 610 artigos relacionados e analisados. É possível destacar que, em virtude da sua importância, é necessário adotar políticas de gestão adequadas para estas áreas, incluindo a elaboração de planos de manejo, criação de corredores verdes para conectar os fragmentos florestais, proteção legal dessas áreas e a promoção de atividades de educação ambiental. A conscientização e o engajamento da população podem contribuir de forma significativa para a valorização dos remanescentes florestais urbanos, a preservação da biodiversidade e a promoção de práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Floresta urbana. Biodiversidade. Ambientes sustentáveis. Serviços ecossistêmicos.

1 INTRODUÇÃO

As cidades estão passando por uma nova era de coleta, processamento e utilização dos dados nunca experimentadas no planejamento e tomada de decisões neste ecossistema (NITOSLAWSKI *et al.*, 2019). No entanto, o acelerado crescimento urbano e a alta demanda de uso do solo para atender as necessidades humanas comprometem significativamente a qualidade ambiental (ROMERO-DUQUE *et al.*, 2020).

Um crescente volume de pesquisas, multidisciplinares, estão sendo desenvolvidas em todo o mundo destacando o papel central que as florestas urbanas trazem para a saúde humana, fornecimento de serviços ecossistêmicos e a economia (COHEN-SHACHAM *et al.*, 2016). As florestas oferecem vantagens valiosas em forma de serviços ecossistêmicos, tais como, a purificação do ar e da água, a proteção de nascentes, a contenção de águas da chuva, a redução das ilhas de calor e a provisão de habitats para espécies nativas que são geralmente subvalorizadas em ambientes urbanos (NIELSEN, 2014; ZEFFERMAN, 2018; PREGITZER, 2019).

As florestas urbanas são cruciais para preservar a biodiversidade em ambientes altamente urbanizados, nos quais a presença de habitats naturais é escassa. Essas florestas abrigam várias espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção que não seriam encontradas de outra forma (ALVEY, 2006; FORMAL-PIENIAK, 2018). São importantes para preservar a diversidade de vida diante do crescente processo de degradação do solo, redução de habitats naturais, interferência humana e desaparecimento de espécies nos ecossistemas naturais (JAMAN *et al.*, 2020).

Segundo Duinker *et al.* (2015), as cidades devem priorizar os esforços para se tornarem mais verdes, sendo vitais para a resiliência e habitabilidade urbana. Ainda segundo Nitoslawski *et al.* (2019), nesta era, cada vez mais tecnológica, o manejo florestal urbano deve se tornar mais inteligente e focado em conectar as pessoas à natureza e seus múltiplos benefícios, auxiliando desta forma os silvicultores urbanos, capacitando os tomadores de decisão, conscientizando todos os cidadãos e demonstrando que as florestas são essenciais para vida saudável e sustentável.

No entanto, os estudos nesta temática geralmente consideram as funções e os benefícios do ecossistema de forma abstrata, sem se conectar ou considerar totalmente as interações homem-ambiente que permeiam essa paisagem. Além disso, muitos desses estudos frequentemente se referem a serviços ecossistêmicos sem tentar quantificar os mesmos, ou qualificar os fatores que podem aumentar ou diminuir o nível de benefícios para a sociedade (PETALOUDI *et al.*, 2022).

Os benefícios de uma floresta urbana vibrante, diversa e saudável não podem ser subestimados. Vários estudos apontam o importante papel da diversidade nas populações de árvores, bem como o papel positivo que as florestas urbanas podem ter para a manutenção da biodiversidade da fauna, criando oportunidades para que as comunidades locais tenham uma maior conexão com a natureza. Há uma necessidade real de mais pesquisas sobre os benefícios para a saúde e o bem-estar da biodiversidade urbana e das próprias florestas urbanas. Essas florestas urbanas podem não fornecer

hábitats críticos para animais ameaçados ou em perigo, da mesma forma que reservas naturais mais remotas ou maiores podem (LIVESLEY *et al.*, 2016).

Contudo, as florestas urbanas podem desempenhar um papel crucial para a conservação de muitas espécies de flora e fauna, no entanto, é necessário o investimento na manutenção de hábitats naturais grandes e intactos. Vários estudos demonstraram que o tamanho dos espaços verdes em áreas urbanas é o principal fator explicativo da variação nos indicadores de biodiversidade, podendo afirmar que a manutenção da complexidade estrutural do povoamento florestal é um fator crítico para a conservação da biodiversidade (PADOA-SCHIPOA *et al.*, 2017).

Desta forma, o presente estudo buscou entender, através de uma revisão bibliográfica apoiada por uma análise bibliométrica, o que de mais relevante a comunidade científica tem pesquisado em relação às florestas urbanas remanescentes e à conservação da biodiversidade.

2 METODOLOGIA

2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para entender o cenário de publicações relacionadas com florestas urbanas e a conservação da biodiversidade, foi realizado, no mês de abril de 2023, um estudo bibliométrico com as palavras-chave “urban forest” e “biodiversity conservation” nas plataformas Scopus, Web of Science e Science Direct. Foram utilizados na totalidade os artigos encontrados nestes bancos de dados, identificando os principais termos utilizados na literatura. As publicações encontradas foram baixadas em RefMan (RIS) e adicionados ao EndNote *on-line*, assim, possibilitando a exclusão de artigos duplicados que poderiam ser encontrados em mais de uma plataforma. Os dados referentes às publicações foram analisados com o *software* VOSviewer, versão 1.6.12, seguindo as recomendações de De Souza *et al.* (2019) e Colares *et al.* (2020).

Com as informações dos bancos de dados encaminhadas para o aplicativo VOSviewer, o *software* gerou mapas de coocorrência com base em dados de texto, considerando palavras presentes nos campos de título e resumo. Através do uso deste *software*, os termos foram obtidos por meio do método de “contagem binária”, no qual é considerada apenas a presença ou ausência de um termo, sem a contagem do número de vezes que ele aparece em um documento. O *software* definiu um número mínimo de 10 ocorrências de um termo considerado padrão.

O *software* VOSviewer gerou mapas considerando o número de vezes em que o termo foi citado e as conexões existentes, gerando o agrupamento (*clusters*) de acordo com *links*. O método escolhido para normalizar os dados foi a “força de associação”, que é um método de medida de similaridade probabilística para normalizar dados de coocorrência. Este método é recomendado pelos criadores do *software* e leva em consideração a razão entre o número de coocorrências observadas entre dois objetos e o número esperado das mesmas, supondo que esses objetos são estatisticamente independentes, sendo esta a opção padrão do programa (ECK; WALTER, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados 610 artigos relacionados, sendo que os principais termos foram *biodiversity*, *ecosystem services*, *green infrastructure*, *biodiversity conservation* e *urban forestry*, o que indica uma forte relação das florestas urbanas com a manutenção da biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e a importância do reflorestamento em áreas urbanas, conforme demonstrado na Figura 1. Em fragmentos florestais na área urbana no nordeste da Etiópia, Melese *et al.* (2022) encontraram um total de 127 espécies de plantas lenhosas pertencentes a 58 famílias e 99 gêneros. Wavrek *et al.* (2023), em um fragmento florestal em Knoxville no Tennessee, encontraram 129 espécies nativas, e Wang *et al.* (2022), na área central de Pequim, identificaram 130 espécies, 47 famílias e 108 gêneros, o que demonstra a importância destas áreas para a preservação de espécies, como *hotspot* de biodiversidade.

As aves e os mamíferos utilizam essas áreas como abrigo, locais de alimentação, reprodução e corredores ecológicos, em um trabalho realizado por Kang *et al.* (2015), em remanescentes florestais urbanos, em Seul e cidades vizinhas na província de Gyeonggi, Coreia do Sul, onde foram identificadas 46 espécies de aves e 1.925 indivíduos. Os autores Sühs *et al.* (2009) verificaram a importância de alguns grupos de vespídeos e seu papel na dispersão e transporte de pólen da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha). Já Mohr *et al.* (2011) encontraram 12 espécies de morcegos e ressaltaram a importância do fragmento para a preservação da quiropterofauna do estado do Rio Grande do Sul. Morales e Köhler (2008), por sua vez, em estudo realizado com a comunidade de Syrphidae (Diptera), analisando a diversidade e preferências florais no Cinturão Verde, destacaram que a diversidade da comunidade é regulada por interações locais entre as espécies, principalmente entre as condições ambientais e disponibilidade de recursos alimentares.

Além das inúmeras vantagens para a fauna e para a manutenção da biodiversidade, essas áreas fornecem serviços ecossistêmicos à população. Em um trabalho realizado por Dickinson *et al.* (2022), foram feitas entrevistas com 29 profissionais de diferentes áreas, tendo sido questionados sobre a importância da floresta urbana.

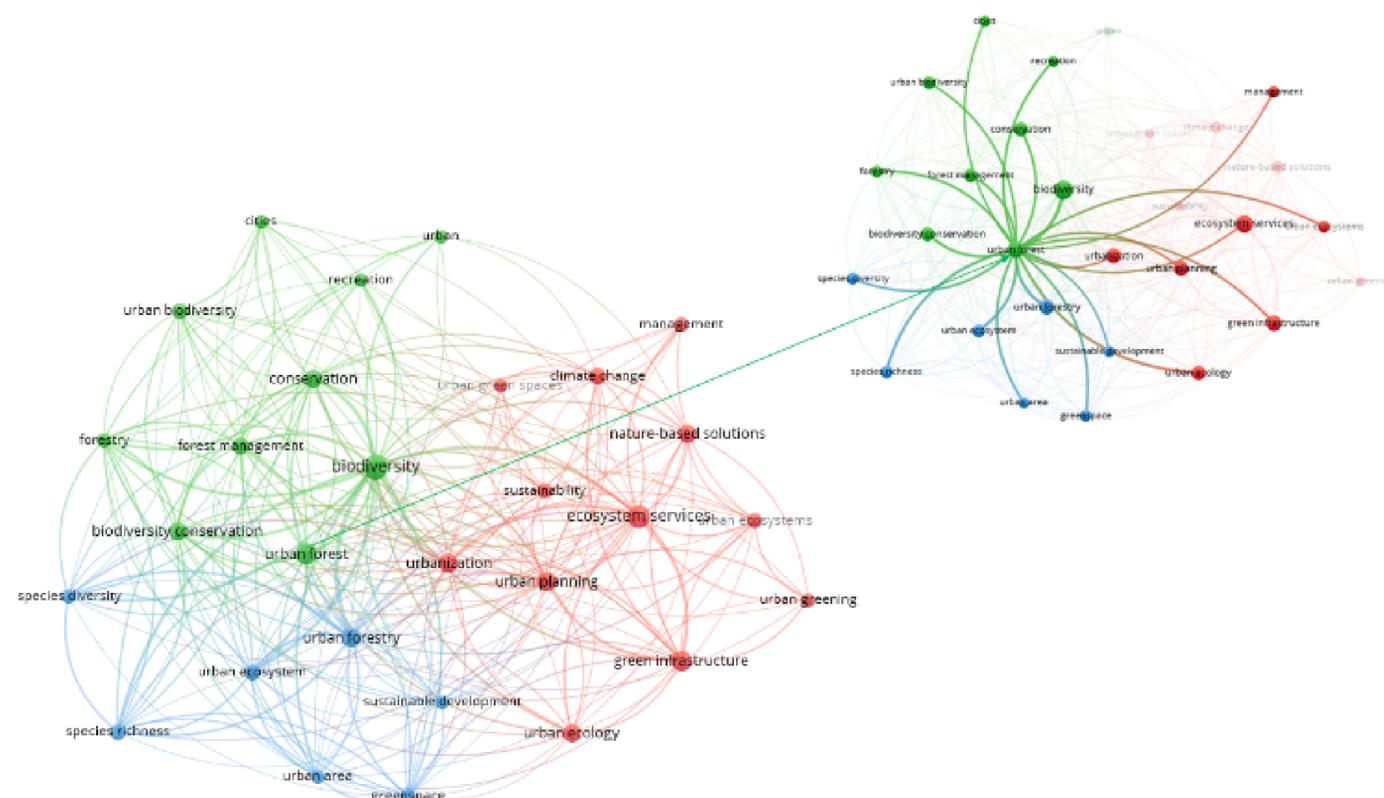


Figura 1. *Cluster* destacando a relação entre as florestas urbanas, biodiversidade, conservação da biodiversidade, reflorestamento urbano e serviços ecossistêmicos.

Os principais serviços descritos envolvem a conservação da biodiversidade, resfriamentos, sombra, benefícios econômicos, conexão social, sendo que os profissionais de saúde destacaram a saúde e o bem-estar, seguidos pelo senso de lugar e amenidade. Os principais pontos a serem levados em consideração no planejamento das áreas urbanas, segundo o estudo de Gavrilidis *et al.* (2019), são a conservação da biodiversidade, seguidos pela eficiência no combate às mudanças climáticas e a melhoria da qualidade do ar. Ainda, segundo os mesmos autores, os locais mais importantes nas áreas urbanizadas a serem priorizados são florestas urbanas, parques urbanos ou jardins públicos, florestas de bacias, hidrográficas e reservas naturais locais.

Além de importância de preservar estas áreas verdes, a gestão e o reflorestamento das áreas urbanas devem ser executados de forma organizada (WOLF-JACOBS *et al.*, 2023). É essencial que haja cooperação interdisciplinar durante o planejamento da expansão.

4 CONCLUSÕES

A expansão da floresta urbana é uma questão importante que requer uma abordagem interdisciplinar, envolvendo profissionais de saúde pública, especialistas em ciências ambientais, planejadores urbanos, engenheiros e membros da comunidade. Além disso, é fundamental que haja cooperação entre a comunidade local e as autoridades para proteger, compreender e manter as áreas verdes, a natureza e a biodiversidade, especialmente em regiões consideradas *hotspots* de biodiversidade, onde a preservação da fauna e flora nativas é ainda mais crítica. Pesquisas que considerem as necessidades de diferentes estilos de vida, idades e origens podem fornecer informações valiosas para aumentar a variedade no desenho e gerenciamento dos espaços verdes do bairro, dentro de uma estrutura básica de infraestrutura verde. Em última análise, essas medidas contribuirão para criar ambientes urbanos mais saudáveis, resilientes, sustentáveis e conservar a biodiversidade em um contexto de mudanças globais.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental (PPGTA/UNISC) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, Código 001.

URBAN FOREST REMNANTS AND BIODIVERSITY CONSERVATION: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Urban Forest remnants are green areas in the midst of cities that conserve fragments of forests native to this ecosystem. These areas play a crucial role in biodiversity conservation, as they provide habitat for countless species of plants and animals that would not have adequate conditions for survival in highly modified urban environments. Maintaining these forest remnants is essential to protecting biodiversity and providing essential ecosystem services, such as improving air and water quality, reducing noise and visual pollution, and human well-being. Due to strong human pressure, these areas face many challenges, such as fragmentation and degradation of natural habitats, the introduction of invasive exotic species, the lack of adequate urban planning, environment pollution, real estate pressure and the lack of appreciation. Thus, in order to

understand the scenario of publications related to urban forest remnants and biodiversity conservation, a bibliometric study was carried out in April 2023 with the keywords “urban forest remnants” and “biodiversity conservation” on the Scopus, Web of Science and ScienceDirect platforms. 610 related articles were found and analyzed. It is possible to point out that, due to its importance, it is necessary to adopt appropriate management policies for these areas, including the elaboration of management plans, the creation of green corridors to connect the forest fragments, the legal protection of these areas and the promotion of environmental education activities. The awareness and engagement of the population can contribute significantly to the appreciation of urban forest remnants, the preservation of biodiversity and the promotion of sustainable practices.

Keywords: Urban forest. Biodiversity. Ecology. Literature review.

REFERÊNCIAS

ALVEY, A. A. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban For. Urban Green*, v. 5, p. 195–201, 2006.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. Nature-based solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN (**International Union for Conservation of Nature**). 2016. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>.

COLARES, G. S.; DELL’OSBEL, N.; WIESEL, P. G.; OLIVEIRA, G. A.; LEMOS, P. H. Z.; DA SILVA, F. P.; MACHADO, Ê. L. Floating treatment *wetlands*: A review and bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*, v. 714, 136776, 2020.

DE SOUZA, M. P.; HOELTZ, M.; BENITEZ, L. B.; MACHADO, Ê. L.; SCHNEIDER, R. D. Microalgas e tecnologias limpas: uma revisão. *Limpo – Solo, Ar, Água*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201800380>.

DU, K.; YUANYUAN CHENG, X. Y. Environmental Regulation, Green Technology Innovation, and Industrial Structure Upgrading: The Road to the Green Transformation of Chinese Cities. *Energy Economics*, v. 98, 105247, 2021.

ECK, N. J. V.; WALTMAN, L. Como normalizar dados de coocorrência? Uma análise de algumas medidas de similaridade bem conhecidas. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 60, n. 8, p. 1635–1651, 2009.

- FORNAL-PIENIAK, B.; ŻARSKA, B.; ZARAŚ-JANUSZKIEWICZ, E. Natural evaluation of landscape in urban area comprising Bielański Forest nature reserve and surroundings, Warsaw, Poland. Directions for landscape protection and planning. **Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. - SGGW Land Reclam**, v. 50, p. 327-338, 2018.
- GAVRILIDIS, A. A.; NIŢĂ, M. R.; ONOSE, D. A.; BADIU, D. L.; NĂSTASE, I. I. Methodological framework for urban sprawl control through sustainable planning of urban green infrastructure. **Ecological indicators**, v. 96, p. 67-78, 2019.
- JAMAN, S.; ZHANG, X.; ISLAM, F. Carbon storage and tree diversity in the urban vegetation of Dhaka city, Bangladesh: a study based on intensive field investigation. **Arboricultural Journal**, v. 42, n. 2, p. 76-92, 2020.
- KHOSRAVANI, M. R.; TAMARA, R. On the Environmental Impacts of 3D Printing Technology. **Applied Materials Today**, v. 20, 100689, 2020.
- KANG, W.; MINOR, E. S.; PARK, C. R.; LEE, D. Effects of habitat structure, human disturbance, and habitat connectivity on urban forest bird communities. **Urban ecosystems**, v. 18, p. 857-870, 2015.
- LIVESLEY, S. J.; ESCOBEDO, F. J.; MORGENROTH, J. The biodiversity of urban and peri-urban forests and the diverse ecosystem services they provide as socio-ecological systems. **Forests**, v. 7, n. 12, p. 291, 2016.
- PETALOUDI, L. M.; GANATSAS, P.; TSAKALDIMI, M. Exploring Biodiversity and Disturbances in the of Peri-Urban Forests of Thessaloniki, Greece. **Sustainability**, v. 14, n. 14, p. 8497, 2022.
- PREGITZER, C. C.; CHARLOP-POWERS, S.; BIBBO, S.; FORGIONE, H. M.; GUNTHER, B.; HALLETT, A.; BRADFORD, M.A. A city-scale assessment reveals that native forest types and overstory species dominate New York City forests. **Ecol. Appl.**, v. 29, e01819, 2019.
- MORALES, M. N.; KÖHLER, A. Comunidade de Syrphidae (Diptera): diversidade e preferências florais no cinturão verde (Santa Cruz do Sul, RS, Brasil). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, p. 41-49, 2008.
- MOHR, H.; ABREU, E. F.; KUESTER, P. F.; KÖHLER, A. Levantamento de morcegos do município de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. **Chiroptera Neotropical**, v. 17, p. 122-125, 2011.

MULUNEH, M. G.; WORKU, B. B. Contributions of urban green spaces for climate change mitigation and biodiversity conservation in Dessie city, Northeastern Ethiopia. **Urban Climate**, v. 46, 101294, 2022.

NIELSEN, A. B.; BOSCH, M. V. D.; MARUTHAVEERAN, S.; BOSCH, C. K. V. D. Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. **Urban Ecosyst**, v. 17, p. 305–327, 2014.

NITOSLAWSKI, S. A.; GALLE, N. J.; VAN DEN BOSCH, C. K.; STEENBERG, J. W. Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry. **Sustainable Cities and Society**, v. 51, 101770, 2019.

PADOA-SCHIOPPA, E.; CANEDOLI, C. Urban forests and biodiversity. *In: Routledge Handbook of Urban Forestry*. Routledge, 2017. p. 123–135.

ROMERO-DUQUE, L. P.; TRILLERAS, J. M.; CASTELLARINI, F.; QUIJAS, S. Ecosystem services in urban ecological infrastructure of Latin America and the Caribbean: how do they contribute to urban planning? **Science of the Total Environment**, v. 728, 138780, 2020.

SÜHS, R. B.; SOMAVILLA, A.; KÖHLER, A.; PUTZKE, J. Pollen vector wasps (Hymenoptera, Vespidae) of *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 2, p. 138–143, 2009.

TILLIE, N.; VAN DER HEIJDEN, R. Advancing urban ecosystem governance in Rotterdam: From experimenting and evidence gathering to new ways for integrated planning. **Environmental science & policy**, v. 62, p. 139–144, 2016.

WANG, M.; LIU, C.; LI, X.; GAO, J.; LI, X.; DONG, L. Biodiversity characteristics in near-natural community parks: A case study in the central area of Beijing. **Acta Ecol. Sin**, v. 20, p. 1–11, 2022.

WAVREK, M. T.; JEAN-PHILIPPE, S.; MCKINNEY, M. L. Ecological and Soil Data Applied to Conservation **Management of an Urban Forest**. **Forests**, v. 14, n. 3, p. 487, 2023.

WOLF-JACOBS, A.; WILSON, J. P.; MARGULIES, E. Promoting self-determination, minimizing green gentrification, and maximizing community benefits in urban forestry expansion: A systematic review. **Urban Forestry & Urban Greening**, 127933, 2023.

ZEFFERMAN, E. P.; MCKINNEY, M. L.; CIANCIOLO, T.; FRITZ, B. I. Knoxville's urban wilderness: Moving toward sustainable multifunctional management. **Urban For. Urban Green**, v. 29, p. 357–366, 2018.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA APLICADA EM ESCALA REAL: DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Daniel Brinckmann Teixeira¹, Antônio Domingues Benetti², Adriane de Assis Lawisch Rodríguez³, Rosana de Souza de Cássia Schneider³, Marçal Pires⁴, Günther Gehlen⁵, Ênio Leandro Machado^{3}*

1 Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

2 Programa de Pós-Graduação em Saneamento e Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, RS, Brasil

3 Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul, 96815-900, RS, Brasil

4 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica, 90619-90, RS, Brasil

5 Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Federação dos Estabelecimentos de Ensino Superior em Novo Hamburgo, 93525-075, RS, Brasil

*enio@unisc.br

RESUMO

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) são instrumentos promissores na busca da consolidação da Agenda 2030 e, em especial, dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre eles, a universalização do saneamento básico. A utilização de *Wetlands* Construídos (WCs), promovendo o tratamento de esgoto doméstico de maneira descentralizada, tem papel de destaque dentre as SBN existentes na medida que essa tecnologia ambiental, quando aplicada em escala real, presta diversos serviços ambientais como: melhora da qualidade dos recursos hídricos, harmonia paisagística, permite a recuperação de nutrientes, etc. Nesse trabalho são elencados os detalhes da etapa de dimensionamento de um sistema híbrido (caixas de gordura/gradeamento + reator/filtro anaeróbio + *Wetlands* Construídos) para tratamento terciário de esgoto doméstico unifamiliar.

Palavras-chave: *Wetlands* Construídos. Soluções Baseadas na Natureza. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Saneamento básico. Tratamento esgoto.

1 INTRODUÇÃO

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN), em suas diferentes dimensões, são inspiradas e mantidas pela própria natureza, apresentando grande arcabouço de custo-efetividade por serem multifuncionais, oferecendo inúmeros serviços ecossistêmicos ao recuperarem ecossistemas degradados e regenerarem funções essenciais para a manutenção e resiliência do sistema urbano (COMISSÃO EUROPEIA, 2022). Alguns dos principais desafios do século XXI são a escassez de água, o esgotamento das águas subterrâneas, a poluição dos recursos hídricos, as mudanças climáticas e a gestão de águas residuais (ELZEIN, 2016). A falta de sistemas e instalações adequadas de tratamento de esgotos domésticos aumenta os impactos da escassez de água e, também, dos indicadores de qualidade (GHATANI; KHAWAS, 2020). Nesse sentido, os sistemas híbridos de tratamento descentralizados, que combinam sistemas anaeróbios somados aos *Wetlands* Construídos (WCs), surgem enquanto alternativa interessante do ponto de vista ambiental, social e econômico, podendo ser dimensionados para atender residências (uni ou multifamiliar), promovendo saneamento básico para condomínios, bairros e localidades rurais afastadas dos centros urbanos. A tecnologia de WCs pode ser utilizada para resolver problemas na gestão de águas residuais sendo chamada de tecnologia verde

devido ao uso de vegetação e de sua baixa demanda energética (PRICE, 1997). Os WCs criam um ambiente semelhante aos banhados naturais, promovendo a biodiversidade e sendo considerados ambientalmente sustentáveis. O principal objetivo da utilização de sistemas de WC é a melhoria da qualidade da água, seguido por objetivos secundários, tais como: produção fotossintética, produção de energia, educação ambiental, harmonia paisagística, aplicação de conceitos de ecodesign, etc. Historicamente, o ser humano vem utilizando WC no tratamento de águas residuárias (esgotos domésticos, águas de rio, efluente industrial, etc.) (KADLEC; KNIGHT, 1996).

2 METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido em uma residência unifamiliar localizada em área urbana do município de São Francisco de Paula, RS, Brasil. O fluxograma das etapas de tratamento encontra-se descrito na Figura 1. As etapas de pré-tratamento (NBR 8160/1999), tratamento primário (NBR 7229/1993), tratamento secundário e disposição final (NBR 13969/1997) seguem os volumes normatizados para uma residência com 6 pessoas e padrão de geração alto (160L.p.d e DBO=50g.p.d). Nesse projeto, a etapa de disposição final é precedida por tratamento terciário na forma de WC com a seguinte configuração e ordem: WC de Escoamento Vertical e Fluxo Subsuperficial (WCV), WC de Escoamento Horizontal e Fluxo Subsuperficial (WCH) e WC de Fluxo Superficial Livre Floating (WCF).

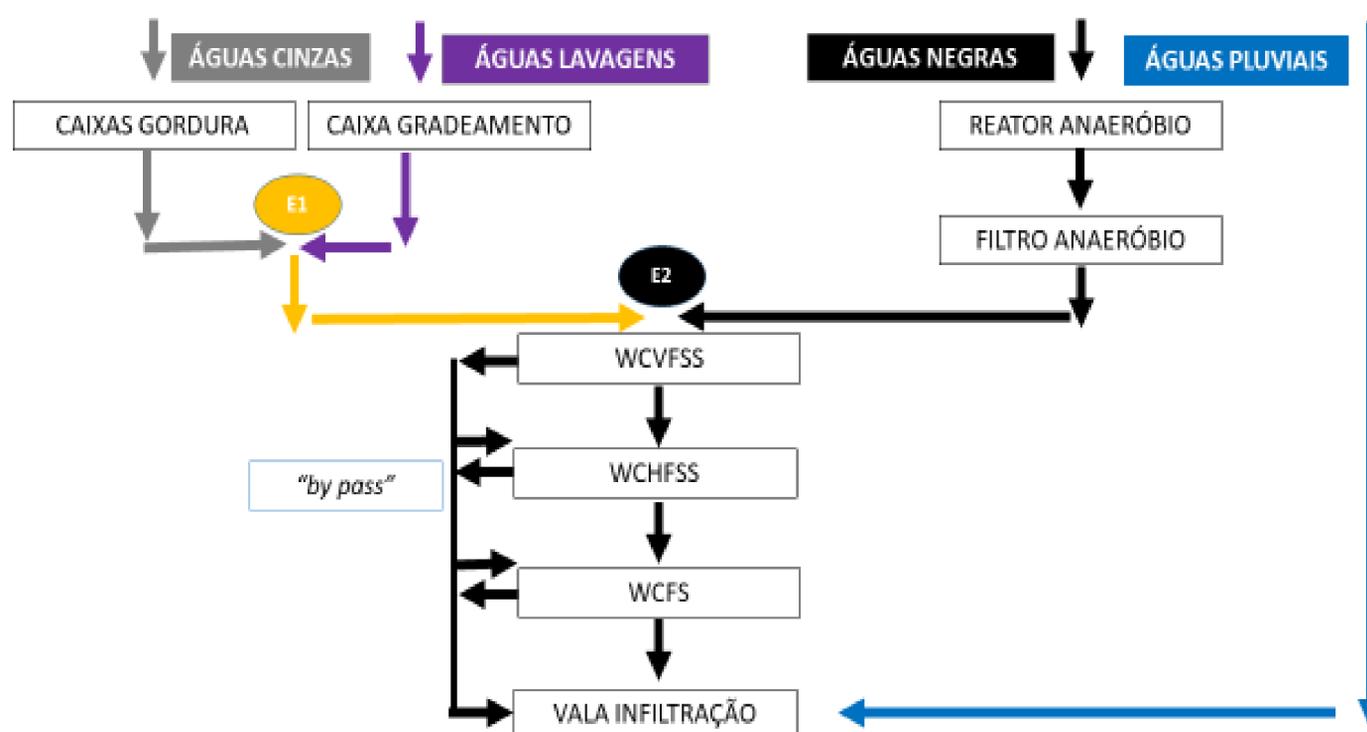


Figura 1. Fluxograma do sistema de tratamento.

O dimensionamento dos WCs seguiu as diretrizes constantes no boletim extraordinário publicado, no ano de 2018, pelo grupo *Wetlands* Brasil. Inicialmente, foi estimado o valor da carga de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto afluente ao sistema de tratamento. Esta carga é obtida por meio do produto da vazão média afluente pela concentração de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto, ou, preferencialmente, por meio do produto da população contribuinte pela carga *per capita* de DBO. Posteriormente, estipulou-se a eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ na etapa de tratamento que precede aos WCs (tanque séptico, reator anaeróbio compartimentado, reator UASB ou outro). Com base na carga de $DBO_{5,20}$ removida no tratamento prévio, calcula-se a carga de $DBO_{5,20}$ afluente à etapa de WCs:

- CARGA DE DBO AFLUENTE AO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ESGOTO BRUTO)

Preferencialmente:

Carga de DBO do esgoto bruto (g/d) = Carga per capita (g/hab.d) × População (hab)

Ou, alternativamente:

Carga de DBO do esgoto bruto (g/d) = Vazão média (m³/d) × Concentração (g/m³)

Portanto:

$C = \text{Carga per capita} \times \text{População}$

$C = 50\text{gDBO/m}^3 \times 6\text{p} (0,960\text{m}^3.\text{d})$

$C = 300\text{gDBO/d}$

É de 300g/d a carga total do afluente em estado bruto a ser recebido para tratamento terciário.

- CARGA DE DBO AFLUENTE À ETAPA DE WCs (APÓS PASSAR POR TRATAMENTO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO DE BAIXA EFICIÊNCIA)

Preferencialmente:

Carga DBO afluente aos WCs (g/d) = Carga de DBO do esgoto bruto (g/d) × [1- Eficiência de remoção do tratamento prévio (%) 100]

$Carga_{DBO\text{aflu}} = 300\text{g/d} \times [1-75\%]$ pois, conforme tabelado na NBR 13969, é esperado remoção mínima de 75% de DBO após etapa secundária de tratamento.

Portanto:

$Carga_{DBO\text{aflu}} = 300\text{g/d} \times 0,25\%$

$Carga_{DBO\text{aflu}} = 75\text{g/d}$

É de 75g/d a carga total do afluente à etapa de WC após tratamento primário e secundário de baixa eficiência.

- CÁLCULO DA ÁREA SUPERFICIAL REQUERIDA

A área superficial requerida é calculada utilizando-se um valor adotado para a taxa de aplicação orgânica superficial.

Preferencialmente:

Área superficial requerida (m²) = Carga de DBO afluyente aos wetlands (gDBO/d) / Taxa de aplicação orgânica superficial (gDBO/m².d).

Portanto:

$$A = 75\text{gDBO/d} / 10 \text{ gDBO/M}^2.\text{d}$$

$$A = 7,5\text{m}^2$$

Adotando esse critério, o WC (no modelo vertical, horizontal ou francês) terá as dimensões totais de área iguais ou superiores a 7,5m².

- VERIFICAÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO HIDRÁULICA SUPERFICIAL

Com base na área superficial calculada, verifica-se se o valor resultante para a taxa de aplicação hidráulica superficial encontra-se dentro da faixa usual.

Preferencialmente:

Taxa de aplicação hidráulica superficial resultante (m³m².d⁻¹) = Vazão média afluyente aos WCs (m³/d) / Área superficial requerida (m²).

Portanto:

$$T_{\text{resul}} = 0,960 \text{ m}^3/\text{d} / 7,5 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{resul}} = 0,12 \text{ m}^3\text{m}^2.\text{d}^{-1}$$

Recomenda-se: entre 0,05 a 0,12 m³m².d⁻¹, portanto, o valor de 0,12 está dentro do limite aceitável recomendado. Alternativamente, para o cálculo da área superficial requerida, pode-se considerar como igualmente importantes as taxas de aplicação orgânica e hidráulica. Esta abordagem utiliza as seguintes equações para a determinação da área requerida:

- CRITÉRIO DA TAXA DE APLICAÇÃO ORGÂNICA SUPERFICIAL:

Preferencialmente:

Área superficial requerida (m²) = Carga de DBO afluyente aos wetlands (gDBO/d) / Taxa de aplicação orgânica superficial (gDBO/M².d)

Portanto:

$$A_{\text{superficial requerida I}} = 75\text{gDBO/d} / 10\text{gDBO/m}^2.\text{d}$$

$$A_{\text{superficial requerida I}} = 7,5\text{m}^2$$

- CRITÉRIO DA TAXA DE APLICAÇÃO HIDRÁULICA SUPERFICIAL:

Preferencialmente:

$\text{Área superficial requerida (m}^2\text{)} = \text{Vazão média afluyente aos WCs (m}^3\text{.d)} / \text{Taxa de aplicação hidráulica superficial (m}^3\text{ m}^2\text{.d}^{-1}\text{)}$

Portanto:

$$A_{\text{superficial requerida II}} = 0,960\text{m}^3/\text{d} / 0,12 \text{ m}^3\text{m}^2\text{.d}^{-1}$$

$$A_{\text{superficial requerida II}} = 8\text{m}^2$$

Caso a taxa de aplicação hidráulica esteja dentro de valores aceitáveis, a área requerida poderá ser considerada como a área superficial adotada. Caso a taxa de aplicação hidráulica esteja acima de valores típicos da faixa usual, a área superficial poderá ser aumentada, de forma a que a taxa de aplicação hidráulica seja reduzida e se torne adequada, ou seja, dentro da faixa típica. Deve-se notar que a correspondência entre as taxas de aplicação orgânica e hidráulica ocorre apenas no caso de esgotos domésticos. Para outros tipos de efluentes, a taxa orgânica continua sendo mais importante e os valores da taxa hidráulica poderão ser distintos dos valores usuais. Alternativamente, para o cálculo da área superficial requerida, pode-se considerar como igualmente importantes as taxas de aplicação orgânica e hidráulica. De qualquer maneira, optou-se por seguir o cálculo indicando maior valor de, no mínimo, 8m² (indicado por A_{supII}) em área de WCs, promovendo o tratamento terciário do esgoto oriundo do sistema secundário da residência.

Tabela 1. Elementos constituintes do sistema com respectiva área/ volume

Descrição elemento constituinte do sistema	Dimensões (em metros)	Volume/ área	Total Volume/Área	Indicado em norma diretriz
Taxa de geração	Sendo n=6 e Tx= 160L p.d temos: 960L.d ou 0,960m ³ .d / taxa orgânica = 50gDBO.pessoa.dia (adotou-se: ≈30m ³ /mês; ou 1m ³ /dia; ou, ainda, 0,0416m ³ /h) para estimativas hidráulicas			
Caixa de gordura	0,4 x 0,4 com h=0,25	125L	Pré- tratamento 375L	64L
Caixa de gradeamento	0,9 de ø com h=0,6	250L		ñ recomenda
Equalizador	0,55 x 0,55 com h=0,55	170L	Auxiliar 340L	ñ recomenda
RAFA	0,68 de ø com h=1,5	300L	Primário- secundário 600L	Primário 2,5m ³
FAFA	0,68 de ø com h=1,5	300L		Secundário 1,5m ³

WCV	2 x 4 com h=1	8m ²		Boletim 8m ²
WCH	2 x 4 com h=1	8m ²	Terciário 24m ²	ñ recomenda
WCF	2 x 4 com h=1	8m ²		ñ recomenda
Vala de infiltração	2 x 6 com h=0,5	12m ²	Disposição 12m ²	20m ^m

3 RESULTADOS

De acordo com o que está instalado (24m² e WCs), o sistema supera o indicado pelos cálculos (8m²). Cabe salientar que essa decisão foi tomada em função de: a) ser um projeto aplicado em escala real sem margem para erros; b) existir a possibilidade de ampliar o volume de esgoto a ser direcionado para o sistema no futuro; c) tratar-se de campo para execução de pesquisas futuras (na graduação e pós-graduação), bem como, em atividades de ensino e cursos de extensão. Com a instalação de WCs após tratamento primário e secundário, estima-se atingir faixas de eficiência de remoção de DBO, DQO, SS da ordem de 80% e N e P na ordem de 40%. O monitoramento ambiental para avaliação da performance dos WCs instalados, desde 2022, demonstra resultados promissores no que diz respeito a: redução de turbidez ($in_{máx} = 500 \text{ UT}$; $out_{mín} = 5 \text{ UT}$); redução da condutividade elétrica ($in_{máx} = 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$; $out_{mín} = 200 \mu\text{S cm}^{-1}$); estabilização de pH ($in_{máx} = 4,5$; $out_{mín} = 8$); e elevação de OD ($in_{máx} = 0,2 \text{ mgL}^{-1}$; $out_{mín} = 0,8 \text{ mgL}^{-1}$). Pretende-se obter efluente tratado comparável à qualidade de águas Classe II (CONAMA n° 357/2005 e 430/2011), possibilitando seu reuso (CONSEMA n° 419/2020), além de atender a legislação estadual vigente (CONSEMA n° 334/2016 e n° 355/2017).

4 CONCLUSÕES

Conforme cálculos apresentados, fundamentados em exemplo de cálculo unificado constante no boletim extraordinário, as diretrizes indicam ser necessário, no mínimo, um WC (vertical, horizontal ou francês) de 8m². Isso indica a relação de 1,3m² de área para cada habitante. Por tratar-se de projeto piloto em escala real, adotou-se um sistema híbrido composto por caixas de gordura e gradeamento, RAFA/FAFA seguido de WCs (WCV, WCH e WCF) superando em área o indicado pelos cálculos de dimensionamento. Os WCs têm a capacidade de reduzir o potencial poluidor do esgoto doméstico após o tratamento primário/secundário. Além das características visuais, os WCs melhoram

as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do esgoto doméstico, contribuindo diretamente na manutenção dos indicadores de qualidade ambiental dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES código 001 pela bolsa de doutorado, a BakofTec® Engenharia e Wirkilich por disponibilizar tecnologia e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa e apoio financeiro.

SOLUTION BASED ON NATURE APPLIED ON A REAL SCALE: SIZING OF WETLANDS BUILT FOR TERTIARY TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE

ABSTRACT: Nature-Based Solutions (SBN) are promising instruments in the pursuit of consolidating the 2030 Agenda, especially the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), including the universalization of basic sanitation. The use of Constructed *Wetlands* (WCs), promoting the treatment of domestic sewage in a decentralized manner, plays a prominent role among the existing SBNs, as this environmental technology, when applied on a full scale, provides various environmental services such as: improving the quality of water resources, landscape harmony, allows the recovery of nutrients, etc. This work lists the details of the dimensioning stage of a hybrid system (grease traps/ screen + reactor/anaerobic filter + Constructed *Wetlands*) for the tertiary treatment of single-family domestic sewage.

Keywords: Constructed Wetlands, Nature-Based Solutions, Sustainable Development Goals, basic sanitation, sewage treatment.

REFERÊNCIAS

COMISSÃO EUROPEIA – Soluções Baseadas na Natureza e os Desafios da Água: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis. **Relatório Dialogues European Union – Brazil**. Manuscrito completo. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2022.

ELZEIN, Z.; ABDU, A.; ELGAWAD, I. A. Constructed *wetlands* as a sustainable wastewater treatment method in communities. **Procedia Environmental Sciences**, v. 34, p. 605–617, 2016.

GHATANI, S.; KHAWAS, V. **A study of Darjeeling town. Understanding Urbanisation in Northeast India. Issues and Challenges**, 194, 2020.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment Wetlands**. CRC Press, Boca Raton, Fl. 893pp. 1996.

PRICE, T.; PROBERT, D. Role of constructed *wetlands* in environmentally-sustainable development. **Appl. Energy**, v. 57, p. 2–3, 129, 1997.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA APLICADA A WETLANDS CONSTRUÍDOS

*Eduardo E. A. Sosa¹, Deison A. T. Fochi¹, Letícia Mesacasa^{*1}, Gustavo S. Colares¹, Fábio Oliveira¹, Daniel B. Teixeira¹, Maurício Kersting¹, Adriane L. Rodriguez¹, Carlos A. Lutterbeck¹, Ênio Leandro Machado¹*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

*E-mail: leticiamesacasa1993@gmail.com

RESUMO

Tecnologias de tratamento descentralizados das águas, tais como os *Wetlands* Construídos, têm recebido atenção na literatura científica nos últimos anos, contudo, a quantidade de trabalhos avaliando seu desempenho ambiental com ferramentas como a análise do ciclo de vida (ACV) é limitada e não se encontra ainda na literatura uma revisão bibliométrica tratando especificamente sobre esses temas. Dessa forma, a proposta deste artigo foi desenvolver uma revisão bibliométrica utilizando dados obtidos na base de dados *web of science*, juntamente com a construção de mapas Bibliométricos através do *software vosviewer*, a fim de identificar as principais características, conclusões e tendências das publicações acerca das aplicações da ACV em *wetlands* construídos. A partir dos resultados obtidos, encontrou-se 87 artigos originais publicados desde 1999, mencionando análise do ciclo de vida e *wetlands* construídos, com um aumento exponencial nos últimos anos. A China é o país com mais publicações e o autor X. Y. Zhao o mais prolixo. Da análise de coocorrência de termos, verificou-se que os termos “*cost*”, “*activated sludge*”, “*pollutant removal*” e “*biomass*” tiveram participação significativa, especialmente em publicações mais recentes. Os resultados mostram que ainda há um caminho longo a se percorrer, especialmente quanto ao desenvolvimento de sistemas com materiais construtivos que tenham impacto reduzido, além da aplicação de ferramentas de análise econômica e social com a avaliação do custo do ciclo de vida (ACCV) e a avaliação do ciclo de vida social (ACV-S).

Palavras-chave: Sustentabilidade. Soluções baseadas na natureza. Fitorremediação. ACV.

1 INTRODUÇÃO

Frequentemente, a utilização de água contaminada com substâncias eutrofizantes ou até tóxicas, além de agentes patogênicos microbiológicos, pode causar danos aos corpos hídricos se não for tratada antes da sua devolução à natureza. Dessa forma, é fundamental que essas águas residuárias passem por processos de tratamento para evitar causar danos ao meio ambiente e à saúde humana. Nesse sentido, são aplicadas técnicas de tratamento a esses efluentes recondicionando os parâmetros de qualidade da água visando a sua reutilização no seu processo de origem ou então a sua reintegração aos mananciais naturais (COLARES *et al.*, 2021a; METCALF; EDDY, 2015). Estima-se

que a população brasileira tenha passado a marca dos 213 milhões de habitantes no ano de 2021. Contudo, boa parte da população não conta ainda com acesso a um sistema de tratamento de esgotos. De acordo com dados publicados pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, em 2019, apenas 54,1% das residências brasileiras eram atendidas por redes de esgoto, sendo esse índice um pouco maior (61,4%) quando consideradas apenas as zonas urbanas. Em contrapartida, o índice de residências atendidas por rede de abastecimento de água era, em 2019, de 83,7% no total, sendo de 92,9% em zonas urbanas (BRASIL, 2020; IBGE, 2021).

A falta de acesso por parte da população a sistemas de tratamento centrais através de uma rede de coleta, aliada ao fato de que em muitos locais, tais como zonas rurais, esse tipo de tratamento não é adequado, fez que com que se desenvolvessem pesquisas sobre métodos de tratamento de esgotos descentralizados, com enfoque local, utilizando sistemas que fossem robustos e de operação simples, bem como eficazes no tratamento e de baixo custo econômico e ambiental tanto de instalação quanto de operação (MACHADO *et al.*, 2017). Uma alternativa para o tratamento descentralizado de efluentes são os chamados jardins filtrantes ou *wetlands* construídos (WCs). Particularmente, e em concordância com pesquisas em diversos países, no Brasil têm sido realizadas pesquisas nas quais o emprego de WCs tem se mostrado eficaz na remoção de contaminantes da água (COLARES *et al.*, 2021a; DA SILVA *et al.*, 2021; DELL'OSBEL *et al.*, 2020; SEZERINO *et al.*, 2015). Contudo, conforme apontado por Sezerino *et al.* (2015), apesar do crescimento na pesquisa e aplicação de WCs no tratamento de esgotos, ainda são escassos os trabalhos avaliando o desempenho desses sistemas, especialmente no longo prazo.

A aplicação de ferramentas de análise do desempenho ambiental, com destaque para a Análise de Ciclo de Vida (ACV), a sistemas de tratamento de efluentes é um tema que tem levantado interesse de pesquisadores nos últimos anos (PARRA-SALDIVAR; BILAL; IQBAL, 2020). A ACV tem potencial para fazer um diagnóstico do desempenho ambiental de um produto ou processo ao longo de toda sua operação, desde a obtenção dos recursos para sua existência até o descarte final de eventuais resíduos, o que permite obter informações importantes para auxiliar na tomada de decisão sobre o tipo de produto ou processo a ser utilizado, bem como identificar pontos de melhoria (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018).

Diante do exposto, este trabalho busca realizar uma revisão com levantamento bibliométrico da literatura científica publicada que relaciona a aplicação de *wetlands* construídos ao tratamento de efluentes juntamente com a aplicação da ferramenta ACV a esses sistemas, objetivando identificar o perfil dos autores e as publicações mais

relevantes, juntamente com identificação dos tópicos mais visados e possíveis lacunas e tendências para o futuro das pesquisas sobre esse tema.

2 METODOLOGIA

A análise bibliométrica foi desenvolvida considerando os principais resultados obtidos com a aplicação da ferramenta análise de ciclo de vida a sistemas de *wetlands* construídos. Identificando a evolução temporal desses trabalhos, os principais autores, as instituições e os países que estão se destacando de acordo com o número e a aceitação por pares de suas publicações. Para chegar a esses resultados, foram utilizados dados obtidos da base *web of science*, uma base de dados multidisciplinar que é considerada uma excelente opção para estudos de análise bibliométrica (LÓPEZ BELMONTE *et al.*, 2020).

A primeira etapa para a realização da análise bibliométrica consiste na definição dos termos relevantes para a pesquisa. No caso da presente pesquisa, no que se refere aos trabalhos que tratam de *wetlands* construídos, os termos “*constructed wetland**” e “*treatment wetland**” são os mais frequentemente utilizados na literatura para se referir a essa tecnologia. Cabe destacar que o uso do asterisco ao final do termo entre parênteses visa incluir na busca os plurais (“*constructed wetlands*” e “*constructed wetlands*”), uma vez que na busca por termo exato (entre aspas) é feita essa diferenciação. Já para a ferramenta Análise de Ciclo de Vida, os termos sinônimos mais utilizados são “*life cycle assessment*” e “*life cycle analysis*”. Dessa forma, os termos para a pesquisa, nos campos de título, resumo e palavras-chave, foram definidos com a seguinte sintaxe: termos utilizados: (“*life cycle analys**” OR “*life cycle assessment**”) AND (“*treatment wetland**” OR “*constructed wetland**”). Após a definição dos termos, foi aplicado um filtro a fim de remover os artigos de revisão, os quais foram analisados separadamente. Com as publicações restantes, foram elaborados gráficos apontando o número de publicações por ano, por autor e por país, diretamente nas ferramentas de análise no *site* da base *Web of Science*.

Em seguida, foi realizada a análise bibliométrica através do *software* VosViewer versão 1.6.18. Esse *software* é uma ferramenta que permite criar mapas bibliométricos que oferecem uma análise visual e mineração rápida dos dados dos artigos através do mapeamento e clusterização identificando a relevância e a relação entre autores, instituições, países e termos presentes no resumo e nas palavras-chave (COLARES *et al.*, 2020; VAN ECK; WALTMAN, 2010). A partir dos mapas gerados no *software* VosViewer,

foram analisadas características das publicações acerca dos temas *Wetlands* Construídos e Análise do Ciclo de Vida.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PUBLICAÇÕES AO LONGO DOS ANOS

Os dados aqui apresentados representam os resultados obtidos na base de dados *web of science* no início do mês de dezembro de 2021. Um total de 113 artigos, incluindo os termos relativos a *wetlands* construídos e análise de ciclo de vida, foram encontrados, sendo que 26 desses são revisões, restando 87 artigos originais. Os trabalhos sobre esse assunto começaram a aparecer na literatura no ano de 1999, com poucas publicações na década de 2000 e um aumento significativo a partir de 2011. 70% dos artigos foram publicados nos últimos 5 anos, o que demonstra o interesse recente da comunidade científica nesse tema.

3.2 PARTICIPAÇÃO POR AUTOR E PAÍSES

Dentre os 87 artigos originais encontrados, alguns autores se destacam pelo número de publicações nas quais contribuíram. Com destaque, está o autor X. Y. Zhao, com 5 publicações (BAI *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2017, 2019, 2020; ZHAO; BAI; ZHANG, 2019). Outros 5 autores participaram em 4 trabalhos, 8 autores em 3 trabalhos cada, outros 35 autores contribuíram em 2 trabalhos (listagem completa não exibida) e outros 221 autores contribuíram com 1 único artigo. No total de 87 artigos, participaram 340 autores diferentes.

Com relação aos países com maior participação em número de publicações, a República Popular da China é o país com maior número de publicações, respondendo por 26 artigos. Em seguida, estão a Espanha com 15 publicações, os Estados Unidos com 14, o Brasil com 9 e a Holanda com 7, sendo estes os 5 primeiros da lista que conta com o total de 31 países.

3.3 RELEVÂNCIA DE TERMOS E KEY-WORDS

A Figura 1 apresenta a análise dos termos mais frequentes nas publicações através do mapeamento e clusterização por número e relação de ocorrência. Observou-se a formação de 11 *clusters* diferentes, sendo os principais relacionados aos termos *wetlands*

construídos e Análise de Ciclo de Vida. Alguns termos de destaque são “tratamento de efluentes”, “lodo”, “lodo ativado” e “impacto ambiental”. Os termos relacionados a lodo e lodo ativado são típicos em publicações sobre *wetlands*, pois frequentemente aparecem em trabalhos como tratamento primário ou, também, na utilização do próprio *wetland* como tratamento para o lodo.

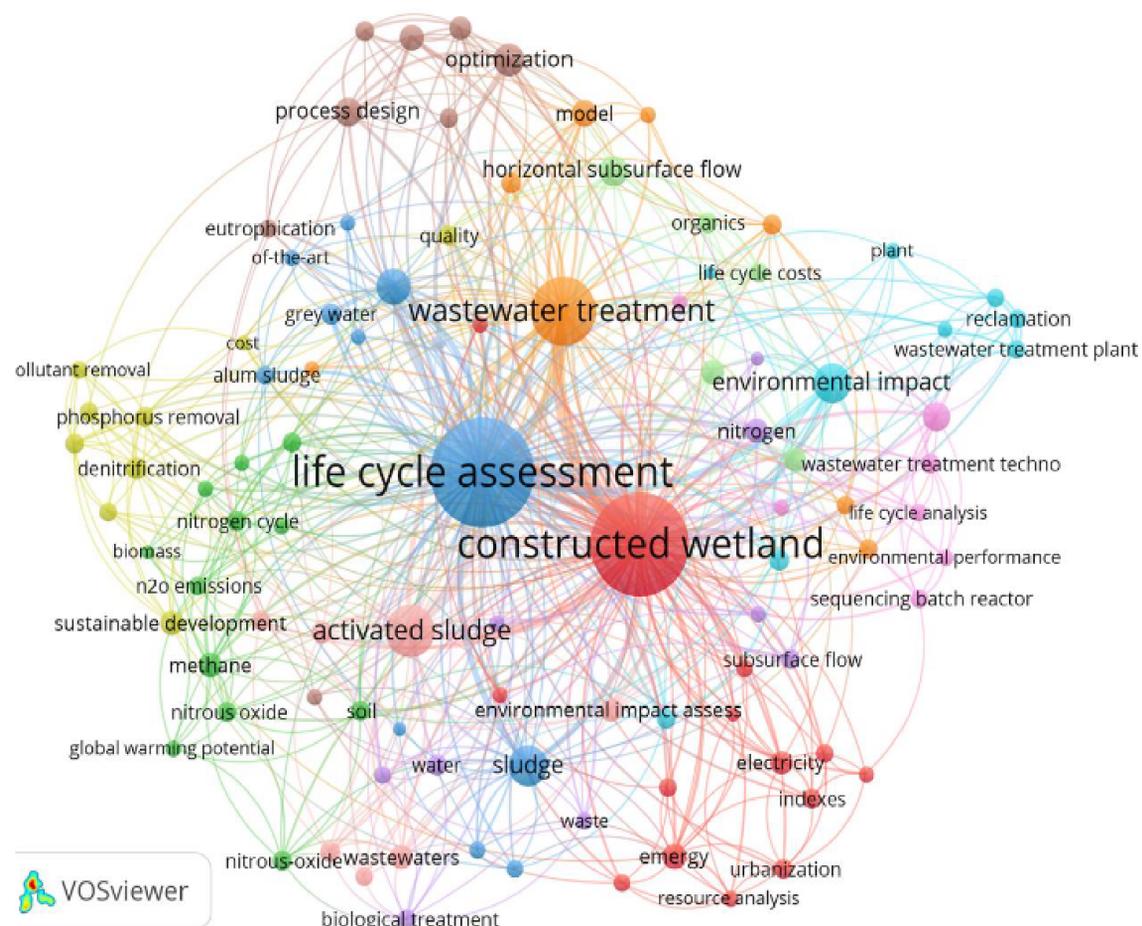


Figura 1. Mapa bibliométrico das palavras-chave mais frequentes.

Uma publicação recente e representativa dos termos “lodo ativado” e “impacto ambiental” é o trabalho publicado por Nguyen *et al.* (2021), no qual os autores realizaram a avaliação do impacto ambiental através da ACV de três sistemas dimensionados para tratar o mesmo volume de efluente, sendo comparados uma planta de lodo ativado, um sistema integrado de *wetlands* construídos e uma planta de tratamento com lagoas microalgais de alta taxa. Essa avaliação foi feita através do *software SimaPro 9.0* seguindo os métodos ReCiPe 2006 e Green House Gas Protocol. Através do *score* único, resultante da junção dos *scores* das áreas de impacto Saúde Humana, Ecossistemas e Recursos, os autores puderam verificar que o uso de concreto e aço durante a fase de construção foi um fator negativo importante no desempenho ambiental dos sistemas e que a proporção do impacto causado pela fase de construção, no caso dos *wetlands* e das lagoas de microalgas, chegava a ser igual ou até maior que o da etapa de operação do sistema de tratamento. Ainda assim, os métodos alternativos apresentaram desempenho ambiental superior ao da planta de lodo ativado, sendo que as lagoas de microalgas tiveram resultado melhor quando comparadas ao sistema integrado de *wetlands* construídos.

É possível identificar, a partir dos *clusters* visualizados na Figura 1, a formação de um *cluster* vermelho, no qual aparecem os termos referentes a “eletricidade”, “análise de recursos”, “índices” e “energia”. Particularmente, o termo “energia”, que segundo Coelho, Ortega e Comar (2003) diz respeito ao total de energia utilizado na produção ou execução de um produto ou serviço e que é medido em unidades de um tipo específico de energia, geralmente a solar, é uma forma de avaliar o uso de recursos econômicos e ambientais de um sistema. A análise de energia, mais completa que uma simples avaliação do consumo energético, pode servir como alternativa para auxiliar na tomada de decisão sobre a adequação de diferentes sistemas e tecnologias de tratamento de efluentes e por isso tem sido aplicada como ferramenta de avaliação desses sistemas (ZHOU *et al.*, 2009).

Diante disso, verifica-se, através da Figura 1, que a avaliação emergética vem sendo aplicada em conjunto com a ACV dando ênfase a aspectos como análise de recursos e fontes de energia. No trabalho de Grönlund (2019), compararam-se 5 diferentes métodos e indicadores utilizados para avaliar a sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes de todos os tipos, incluindo *wetlands* construídos. Após uma revisão de literatura, o autor definiu os métodos de ACV, Avaliação Energética (AEm), Avaliação de Exergia (AEx), Análise de Custo-Benefício (ACB) e Avaliação de Risco Ambiental (ARA) como os mais utilizados. O autor coloca que, dentre os métodos e indicadores analisados, nenhum deles cobre totalmente os aspectos referentes ao modelo de ecologia de sistemas. A AEm, a AEx e a ARA conseguiram abordar bem diversos pontos ecológicos, mas são limitadas na avaliação da sustentabilidade do uso de materiais, enquanto a ACV e ACB apresentam bons resultados na avaliação de impactos para a ACV e fluxos financeiros para ACB, mas seu alcance ecológico é limitado. O autor conclui que para uma compreensão mais completa quanto à sustentabilidade, é necessário o emprego combinado de diferentes métodos e indicadores.

Para melhor visualizar a importância dos termos, foi elaborada a Figura 2, na qual a escala de cores representa a média do ano de publicação dos artigos que compõem os nós do mapa bibliométrico. Nessa Figura 2, os círculos com tons mais azulados são os termos cujas publicações são mais antigas, enquanto aqueles com tom amarelo são de publicações mais recentes. Alguns termos recentes de destaque são relacionados à remoção de poluentes, custo, biorreatores de membrana, fármacos e biomassa. A partir do *cluster* visto na Figura 2, foram destacados alguns termos (detalhados na Figura 3). O primeiro deles, identificado pela letra A, diz respeito ao termo “remoção de poluentes” (*pollutant removal*). Esse termo relaciona-se fortemente com outros,

tais como “desenvolvimento sustentável”, “custo”, “análise econômica” e “remoção de fósforo”. Dentre os principais trabalhos recentes citando esse tópico encontra-se o artigo de Zhao, Bai e Zhang (2019) no qual uma melhoria no desempenho da remoção de poluentes foi estudada através de uma ACV em um sistema de *wetlands* construídos bioaumentado. Nesse trabalho, os autores citam a importância da realização de algum tipo de avaliação econômica como complemento à ACV para um estudo mais completo da sustentabilidade de *wetlands* construídos.

Outro trabalho relevante recente sobre remoção de poluentes é o de Peñacoba-Antona *et al.* (2021), no qual os autores empregaram um sistema *wetlands* modificado com tecnologia eletroquímica microbiana, ou seja, um leito composto de material condutor para formar um biofilme de bactérias eletrogênicas, com o qual os autores atingiram eficiências de remoção de mais de 90% para BOD₅, 40% para nitrogênio total e 30% para fósforo total, sendo esses resultados 9 a 30% superiores comparado a um *wetland* construído com material de leito convencional.

O item B da Figura 3 trata sobre o termo “fármacos” (*pharmaceuticals*), que está relacionado a termos como “degradação”, “desenvolvimento sustentável” e “lodo”. No trabalho de De Souza Celente *et al.* (2020) foram avaliadas a genotoxicidade e ecotoxicidade aguda de um efluente após o tratamento por um sistema integrado composto por reator anaeróbio, biofilme de microalgas, seguidos de *wetlands* construídos de fluxo vertical. Os resultados foram comparados com o tratamento convencional composto por um reator do tipo UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) seguido por um biorreator aeróbio. Os autores verificaram que, apesar de o efluente bruto ter apresentado resultados de toxicidade entre moderado a extremamente tóxicos, o processo de tratamento envolvendo *wetlands* foi capaz de eliminar completamente a toxicidade do efluente.

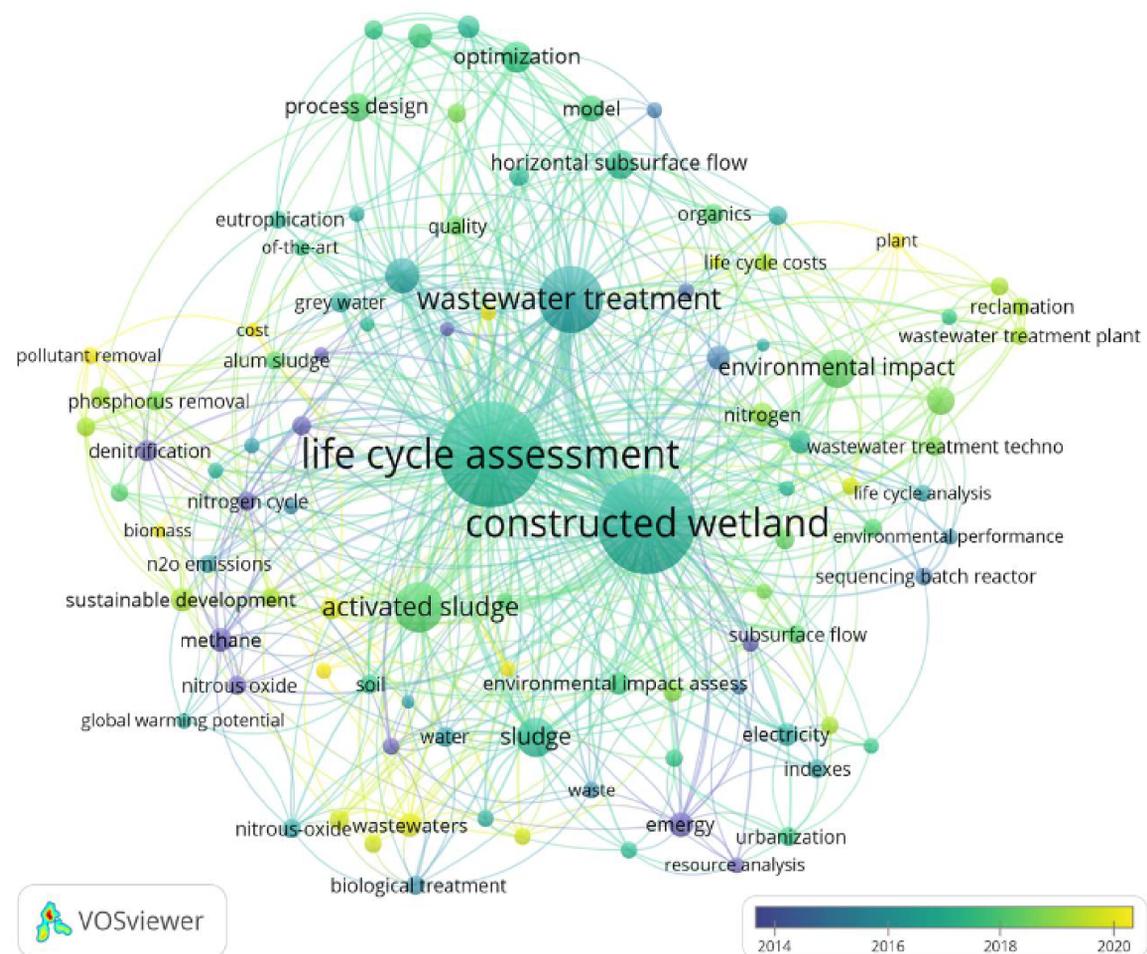


Figura 2. Mapa bibliométrico de palavras-chave com *overlay* da média do ano de publicação.

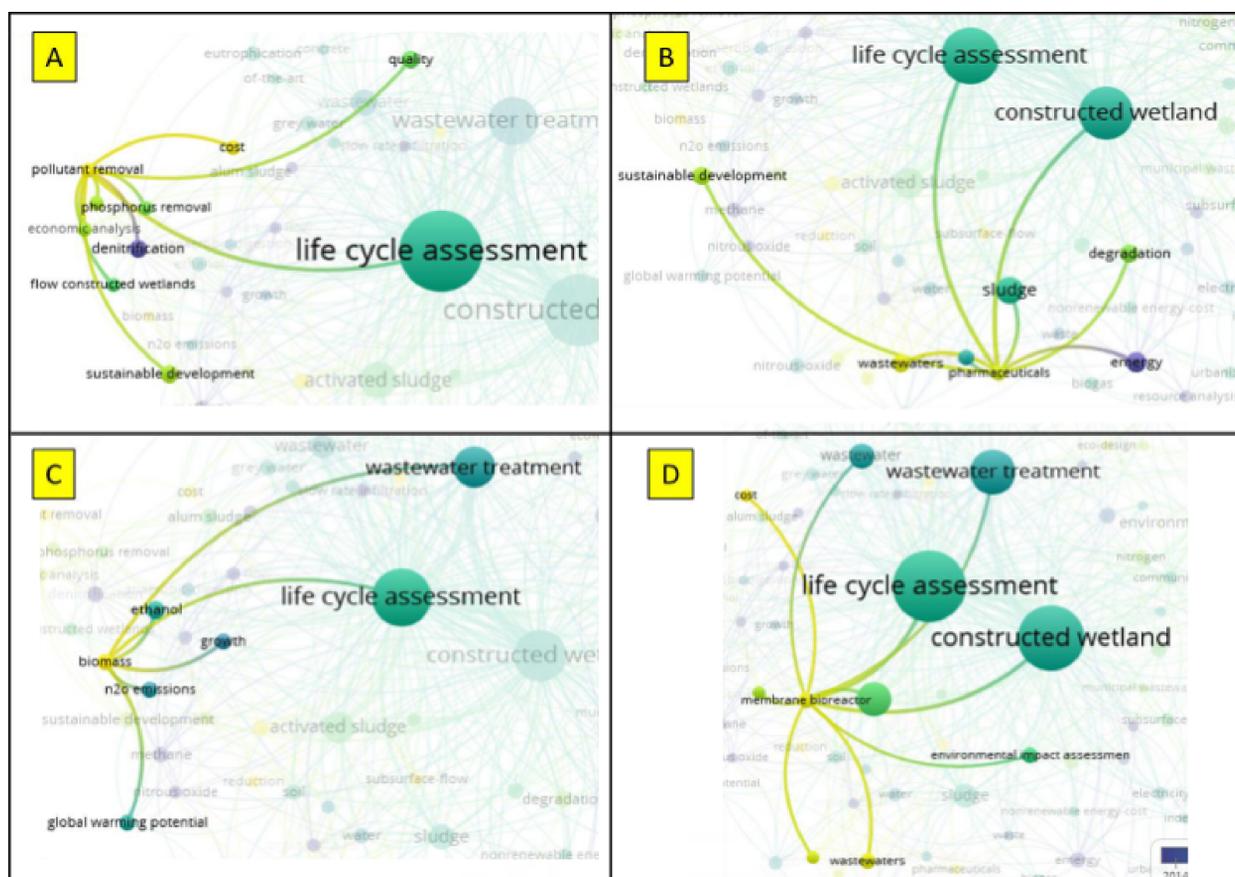


Figura 3. Termos destacados a partir do *cluster* de palavras-chave classificadas por ano.

Já no item C da Figura 3, é possível ver o termo “biomassa” relacionado a termos como “potencial de aquecimento global”, “crescimento”, “etanol” e “emissões de N2O”. Fan *et al.* (2021) estudaram o efeito da diversidade de plantas no volume de produção de biomassa em um sistema de *wetlands* construídos do tipo *floating* visando a produção

de biocombustíveis a partir da biomassa gerada pelos *wetlands*. Os autores apontam que o aumento da diversidade vegetal e a utilização da biomassa como matéria-prima para a produção de biocombustíveis como bioetanol ou biogás oferece oportunidade para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa sem prejudicar a capacidade do *wetland* em remover nitrogênio da água. Já no trabalho de Queiroz *et al.* (2020), foram estudados dois cenários de aplicação da biomassa produzida em um sistema de *wetlands* empregado no tratamento do efluente de uma indústria de laticínios. O primeiro cenário para a biomassa considerava a secagem e emprego dela como alimentação animal, enquanto o segundo cenário considerava a co-digestão com produção de biogás e biofertilizante, sendo que o primeiro cenário foi considerado mais favorável pela redução nos impactos referentes à geração de GEE e eutrofização quando comparado com o segundo cenário.

O item D da Figura 3 mostra o termo “biorreator de membrana” associado a termos como “custo”, “filtro” e “efluente vinícola”. No trabalho de Akhouni e Nazif (2020) foram avaliadas alternativas para o tratamento terciário em uma estação de tratamento de efluentes na cidade de Tehran, no Irã, com capacidade para tratamento de 450.000 m³ por dia. Dentre as alternativas consideradas estavam *wetlands* construídos seguidos de desinfecção por cloração e por ultravioleta, bem como biorreatores de membrana seguidos de desinfecção pelos mesmos métodos. No total, foram 20 combinações de tratamento avaliadas, sendo que as alternativas com biorreatores de membrana obtiveram desempenho superior às com *wetlands* nos resultados da ACV comparada. Arden *et al.* (2020) compararam o desempenho de diferentes tecnologias de tratamento de efluentes para reuso através de métricas de impacto em saúde pública, performance econômica e ambiental utilizando as metodologias de Análise Quantitativa de Risco Microbiano (*QMRA – Quantitative Microbian Risk Assessment*), Análise do Custo de Ciclo de Vida (*ACCV*) e ACV, respectivamente. As tecnologias avaliadas foram um biorreator de membrana aeróbio, um biorreator de membrana anaeróbio e um *wetlands* construído de fluxo vertical com recirculação. Os autores encontraram que, embora o sistema com *wetlands* requeira menos energia, ele causa um impacto ambiental maior ao se considerar a etapa de construção, além da necessidade de tratamentos adicionais devidos à eficiência menor quando comparado com os biorreatores de membrana.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou as informações obtidas através de uma revisão bibliométrica dos trabalhos publicados na base de dados *web of science* e que incluíam termos referentes a *wetlands* construídos e ACV. Apesar de tanto a temática dos WCs quanto da ACV já possuírem corpo de literatura significativo, verificou-se que a integração desses dois temas ainda é limitada. Foram encontrados 87 artigos diferentes e que apresentaram heterogeneidade considerável quanto ao perfil de abordagem e conclusões. De maneira geral, é consenso entre os autores que a etapa de construção é responsável por grande parte dos impactos ao longo do ciclo de vida dos WCs, o que indica a necessidade de se avaliarem alternativas construtivas para esses sistemas visando reduzir o impacto dessa etapa. A República Popular da China foi o país com o maior número de publicações relacionadas aos termos de busca. Observou-se também que a colaboração internacional entre os autores que realizam ACVS de WCs ainda é bastante limitada, aspecto que apresenta espaço para melhoria e que temas como avaliações econômicas como a análise de custo do ciclo de vida, bem como avaliações de impacto social como a ACVS precisam receber mais atenção por parte dos pesquisadores.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq - PQ - 2021-311531/2021-0, FAPERGS Pesquisador Gaúcho, 2022 e PPGTA UNISC.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS ON LIFE CYCLE ANALYSIS APPLIED TO CONSTRUCTED WETLANDS

ABSTRACT: Decentralized water treatment technologies, such as Constructed *Wetlands*, have received attention in the scientific literature in recent years, however the amount of work evaluating their environmental performance with tools such as life cycle analysis (LCA) is limited and not found yet in the literature a bibliometric review dealing specifically with these themes. Thus, the purpose of this article was to develop a bibliometric review using data obtained from the web of science database, together with the construction of bibliometric maps through the vosviewer software, in order to identify the main characteristics, conclusions and trends of publications about the LCA

applications in constructed *wetlands*. From the results obtained, it was found that there are 87 original articles published since 1999 mentioning life cycle analysis and constructed *wetlands*, with an exponential increase in recent years. China is the country with the most publications and author X. Y. Zhao is the most verbose. From the co-occurrence analysis of terms, it was verified that the terms “cost”, “activated sludge”, “pollutant removal” and “biomass” had a significant participation, especially in more recent publications. The results show that there is still a long way to go, especially regarding the development of systems with construction materials that have a reduced impact, in addition to the application of economic and social analysis tools with the assessment of the life cycle cost (ACCV) and the social life cycle assessment (LCA-S).

Keywords: Sustainability. Nature-based solutions. Phytoremediation. LCA.

REFERÊNCIAS

AKHOUNDI, A.; NAZIF, S. Life-cycle assessment of tertiary treatment technologies to treat secondary municipal wastewater for reuse in agricultural irrigation, artificial recharge of groundwater, and industrial usages. **Journal of Environmental Engineering**, v. 146, n. 6, p. 04020031, 2020.

ARDEN, S. *et al.* Human Health, Economic and Environmental Assessment of Onsite Non-Potable Water Reuse Systems for a Large. **Mixed-Use Urban Building Sustainability**, v. 12, n. 13, 2020.

BAI, S. *et al.* Engaging multiple weighting approaches and Conjoint Analysis to extend results acceptance of life cycle assessment in biological wastewater treatment technologies. **Bioresource Technology**, v. 265, p. 349–356, 2018.

BRASIL. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** – 2019. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

BRIX, H. How ‘Green’ Are Aquaculture, Constructed *Wetlands* and Conventional Wastewater Treatment Systems? **Water Science and Technology**, v. 40, n. 3, p. 45–50, 1 ago. 1999.

COLARES, G. S. *et al.* Floating treatment *wetlands*: A review and bibliometric analysis. **Science of The Total Environment**, v. 714, p. 136776, 20 abr. 2020.

COLARES, G. S. *et al.* Floating treatment *wetlands* integrated with microbial fuel cell for the treatment of urban wastewaters and bioenergy generation. **Science of The Total Environment**, v. 766, p. 142474, 2021.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

ANÁLISE MULTI TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES LANDSAT 5 E 8 PARA OS ANOS DE 1986 E 2023

*Bruno Deprá¹, Patrik Gustavo Wiesel¹, Marcos Henrique Schroeder¹,
Eduardo Alcayaga Lobo^{1*}*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil
*E-mail: brunodepra@unisc.br

RESUMO

O sensoriamento remoto por satélite é uma ferramenta importante para analisar o uso e a cobertura do solo, permitindo que sensores a bordo dos satélites capturem informações espectrais em diferentes comprimentos de onda. Esses dados são processados por algoritmos de processamento de imagem para gerar mapas temáticos, permitindo a classificação de terras em várias categorias, como florestas, pastagens, corpos d'água, áreas urbanas e terras agrícolas, fornecendo informações detalhadas sobre a vegetação, o relevo, a hidrologia e a urbanização de uma área específica. As análises de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas são importantes para entender as dinâmicas e os impactos das atividades humanas no ambiente. As mudanças na cobertura vegetal têm um impacto direto na disponibilidade de água, reduzindo a capacidade do solo de reter água, aumentando o risco de secas e outros eventos extremos. As atividades humanas contribuem para a impermeabilização do solo, o que resulta em escoamento superficial das águas, acúmulo de sedimentos e resíduos em fundos e vales, redução da recarga de aquíferos e assoreamento de rios e lagos. As bacias hidrográficas são estratégicas na preservação de recursos naturais, permitindo projetos de planejamento que minimizam os impactos humanos e estabelecem princípios para a gestão dos recursos. As mudanças causadas pelas atividades humanas afetam as bacias hidrográficas, incluindo a supressão de vegetação natural, obstrução dos leitos dos rios, poluição da água e mudanças climáticas. Por isso, é fundamental monitorar toda a região hidrográfica para planejar e gerenciar o meio ambiente, avaliar e gerenciar o uso da terra na bacia hidrográfica, protegendo os recursos naturais que a compõem. A análise de imagens de satélite pode identificar características físicas e químicas dos corpos d'água, como cor, transparência, temperatura e concentração de nutrientes, e essas informações podem ser utilizadas para classificar áreas de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Bacia-hidrográfica. Sensoriamento-remoto. Cobertura-vegetal. Áreas-urbanas. Silvicultura.

1 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto através de satélite tornou-se uma ferramenta importante para a análise do uso e cobertura do solo (LECHNER *et al.*, 2020). Sensores embarcados nos satélites podem fornecer visões sinópticas da superfície da Terra, capturando

informações espectrais nos comprimentos de onda visível, infravermelho próximo e infravermelho (GERHARDS *et al.*, 2019). Posteriormente estes dados são processados por algoritmos de processamento de imagem para gerar mapas temáticos. Ao analisar as assinaturas espectrais das características da superfície, é possível classificar a terra em várias categorias, como floresta, pastagem, corpos d'água, áreas urbanas e terras agrícolas. Podendo, ainda, fornecer informações detalhadas sobre a vegetação, o relevo, a hidrologia e a urbanização de uma área específica (ZHANG *et al.*, 2022).

As análises de uso e ocupação do solo no contexto das bacias hidrográficas são uma importante ferramenta para entender as dinâmicas e os impactos das atividades humanas no ambiente. As bacias hidrográficas são áreas geograficamente delimitadas por divisores de água, em que toda a água das chuvas e das nascentes é drenada para um rio principal, córrego, lago ou oceano. A qualidade e disponibilidade de água, bem como, o equilíbrio ecossistêmico da bacia hidrográfica estão diretamente relacionados com o uso e ocupação do solo (RAJIB *et al.*, 2020; TRABELSI *et al.*, 2019).

Segundo Porto (2018), as alterações na cobertura vegetal, sejam elas naturais ou provocadas pela ação humana, têm um impacto direto na disponibilidade de água. Isso ocorre porque essas mudanças reduzem a capacidade do solo de reter água, aumentando o risco de secas e outros eventos extremos. Ainda segundo Gamarra (2016), as atividades humanas contribuem tanto diretamente quanto indiretamente para a impermeabilização do solo, o que resulta em escoamento superficial das águas, acúmulo de sedimentos e resíduos em fundos e vales, redução da recarga de aquíferos e assoreamento de rios e lagos.

As bacias hidrográficas são estratégicas na preservação de recursos naturais, pois permitem desenvolver projetos de planejamento que minimizam os impactos humanos e estabelecem princípios para a gestão dos recursos. Isso é possível devido à delimitação territorial da bacia hidrográfica como campo de estudo e sua atuação sistêmica dos componentes naturais (LEITE, 2013).

Desta forma, torna-se fundamental monitorar toda a região hidrográfica para planejar e gerenciar de forma adequada o meio ambiente, por meio do monitoramento contínuo dos recursos naturais. A avaliação e a gestão do uso da terra na bacia hidrográfica são uma forma eficaz de proteger os recursos naturais que a compõem (VISESCU *et al.*, 2017).

Através da análise de imagens de satélite, é possível identificar características físicas e químicas dos corpos d'água, tais como cor, transparência, temperatura e concentração de nutrientes. Essas informações podem ser utilizadas para a classificação das áreas de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (BARBOA *et al.*, 2019).

2 PARTE EXPERIMENTAL OU METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP) (Figura 1) está localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul conhecido como Vale do Rio Pardo, apresentando uma área de 3.638 Km² formada por 13 municípios (SEMA, 2023). Os municípios que compõem este sistema são: Barros Cassal com 48% do seu território, Boqueirão do Leão com 44%, Candelária com 53%, Gramado Xavier com 100%, Herveiras com 100%, Lagoão com 47%, Passa Sete com 77%, Rio Pardo com 23%, Santa Cruz do Sul com 46%, Sinimbu com 96%, Vale do Sol com 100%, Venâncio Aires com apenas 2% e Vera Cruz com 100% (SEMA, 2020).

2.1 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para a realização da classificação do uso da terra, utilizou-se imagens do satélite Landsat 5 / Thematic Mapper (TM), bandas 4, 3 e 2, para os anos de 1986 seguindo a metodologia aplicada por Santos, Verçosa, Silva e Tavares (2023). Já para o ano de 2023 foi utilizado o satélite Landsat 8 / Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), bandas 5, 4 e 3 (CHAVES; PICOLI; SANCHES, 2020). Cabe destacar que o sensor OLI representa a continuidade do sensor TM presente no Landsat 5, as imagens obtidas de ambos os satélites foram processadas por meio do *software* livre Qgis 3.24.

De acordo com a Figura 2, na etapa inicial do processamento digital das imagens, foi realizada a correção geométrica das imagens Landsat TM e OLI. Para este procedimento, utilizou-se como referência o mosaico GeoCover Landsat, de 2000, fornecido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), tendo como pontos de referência as confluências da rede de drenagem e da rede viária. As imagens foram adquiridas por meio do catálogo disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e apresentaram uma cobertura praticamente livre de nuvens.

A classificação digital das cenas foi executada em um modo supervisionado, empregando parâmetros estatísticos de máxima verossimilhança na técnica de classificação “*pixel a pixel*”. As amostras foram segregadas em conjuntos de treinamento e teste. A avaliação dos resultados da classificação foi conduzida através da análise de uma matriz de confusão, juntamente com a avaliação visual dos resultados. As categorias de uso do solo foram definidas com o propósito de identificar as principais classes e a cobertura do solo para os anos de 1986 e 2023.

A classificação de recursos hídricos baseada em imagens de satélite é realizada através de um processo de interpretação visual, que é auxiliado por algoritmos computacionais de classificação automática. A interpretação visual envolve a análise da textura, forma e tamanho dos corpos d'água, bem como a sua localização geográfica e a relação com outros elementos do ambiente.

Os algoritmos de classificação automática utilizam técnicas de processamento digital de imagens para separar as áreas de recursos hídricos das demais áreas da bacia hidrográfica. A técnica mais utilizada é a classificação “*pixel a pixel*”, que separa os *pixels* das imagens em diferentes classes, com base em critérios estatísticos de similaridade.

A classificação de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica utilizando imagens de satélite permite a obtenção de informações precisas e atualizadas sobre as áreas de recursos hídricos, possibilitando uma melhor gestão e conservação desses recursos naturais. Além disso, a utilização de imagens de satélite permite a realização de análises de mudanças na cobertura vegetal, no uso do solo e na qualidade da água ao longo do tempo, o que pode auxiliar na identificação de problemas ambientais e na tomada de decisões para a sua solução.

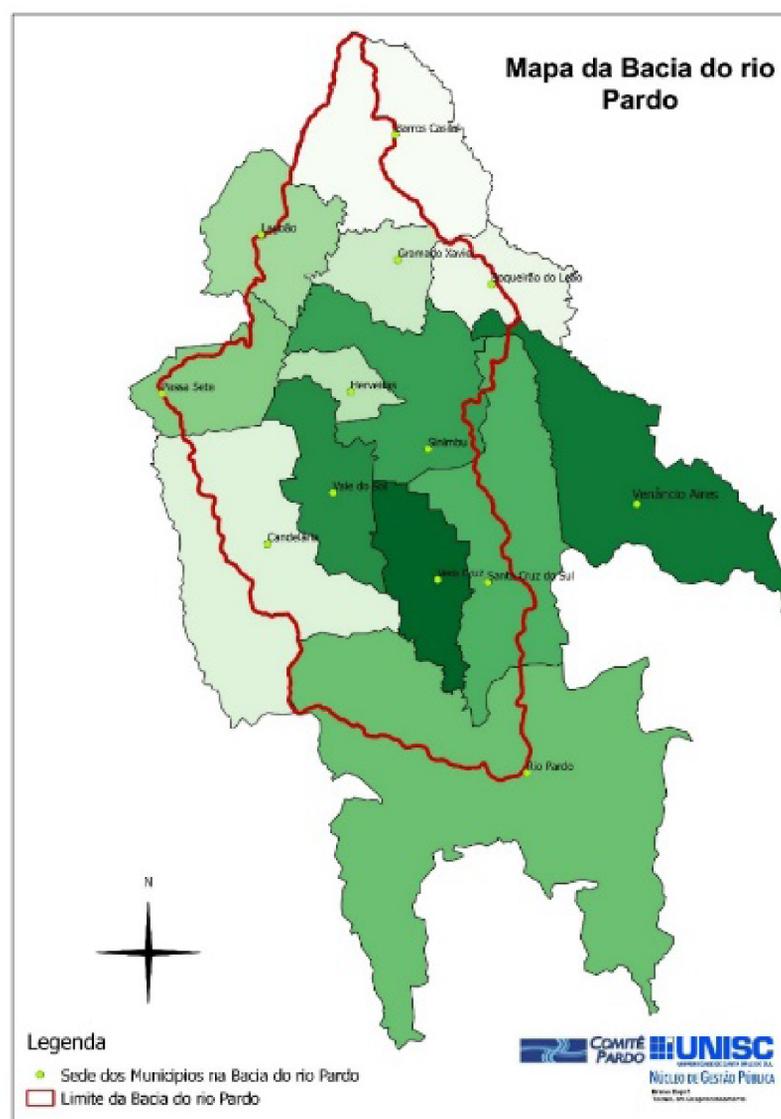


Figura 1. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

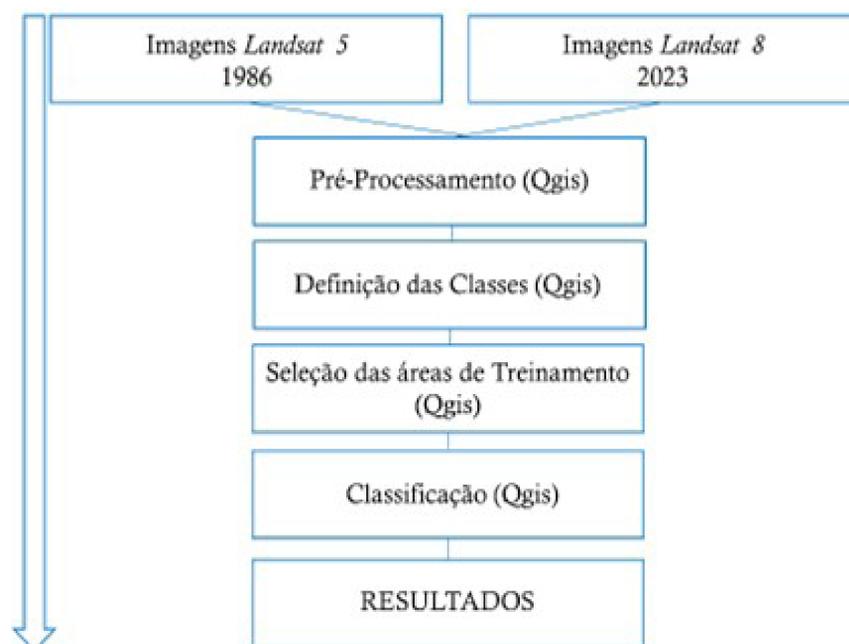


Figura 2. Fluxograma com as etapas desenvolvidas

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise das imagens revelou informações significativas sobre as mudanças na utilização da terra na região da BHIR nos últimos 37 anos. É evidente que houve mudanças substanciais na utilização da terra ao longo do tempo. A análise temporal mostrou uma perda de 17,035% na área de floresta nativa e um aumento de 22,268% na área de campo (Tabela 1).

Tabela 1. Área correspondente às Classes que tiveram maior destaque de uso e cobertura da terra na BHRP e suas correspondentes porcentagens para os anos de 1986 e 2023, bem como a porcentagem de mudança detectada para o período.

Uso e cobertura do solo		1986		2023		Mudanças
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	%
CLASSES	Água	680,580	0,186	537,300	0,147	↓21,053
	Floresta Nativa	148.270,320	40,571	123.012,450	33,659	↓17,035
	Agricultura/Solo Exposto	51.260,400	14,026	39.048,480	10,685	↓23,823
	Silvicultura	9,540	0,003	3.607,740	0,987	↑37.716,98

A classe que chamou a atenção foi a classe água, que representava 0,186% da área da bacia em 1986 (Figura 3), mas observou-se uma redução de 21,053% em 2023 (Figura 4). No entanto, a classe que mais se destacou foi a Silvicultura, que apresentou um aumento de 37.716,98% na área da BHRP.

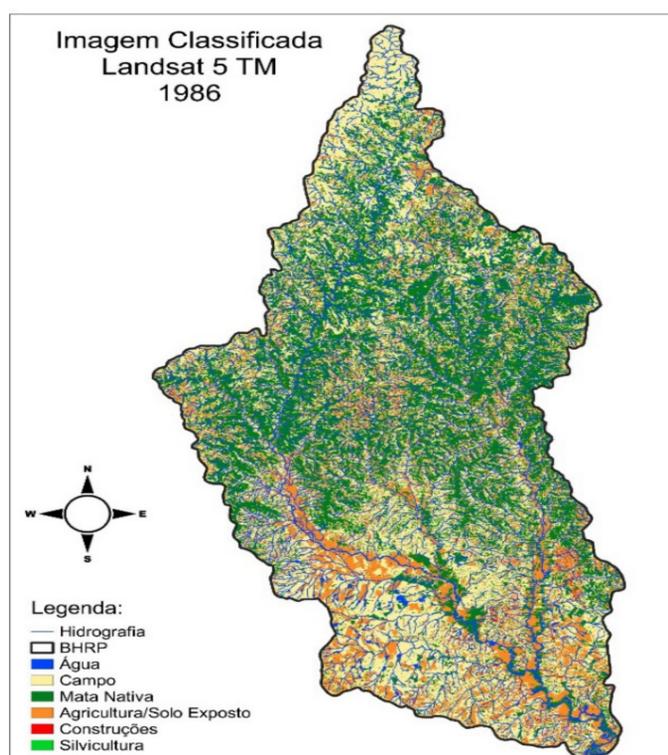


Figura 3. Uso e ocupação do solo para o ano de 1986

Apesar de ser visivelmente perceptível o aumento das áreas urbanas representadas pela classe “Construções” nos mapas temáticos, esses aumentos não foram detectados na análise devido à qualidade das imagens de 1986. Acredita-se que a classificação possa ter confundido áreas urbanas com solo exposto, aumentando a porcentagem dessa classe em 1986.

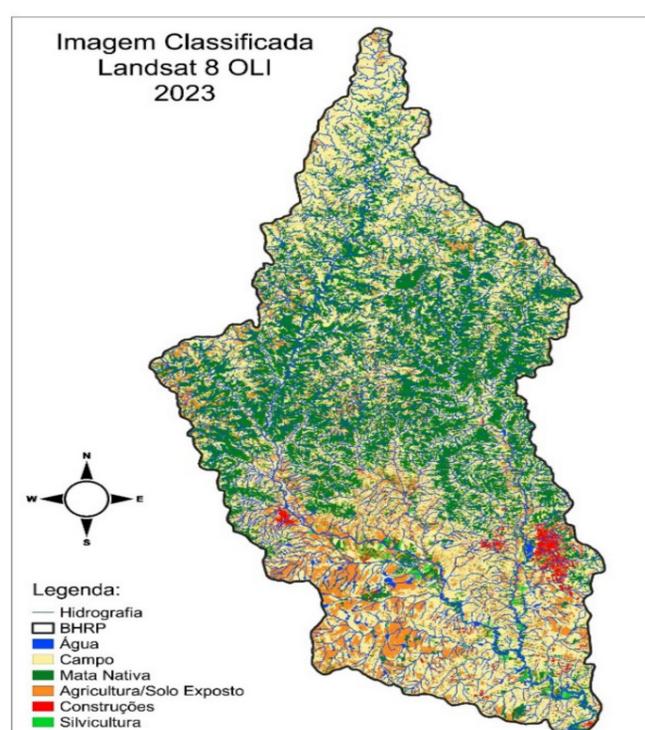


Figura 4. Uso e ocupação do solo para o ano de 2023

A mudança significativa na classe Água pode ser um indicador de desmatamento e ocupação desordenada da região. Isso ocorre porque a remoção da vegetação natural para a criação de áreas urbanas ou rurais pode resultar em uma redução da cobertura florestal, o que pode levar a uma diminuição da disponibilidade de água e aumentar o risco de erosão e degradação do solo.

Além disso, a redução da classe Água pode afetar a biodiversidade local. As áreas de água são habitats importantes para muitas espécies de fauna e flora e a redução dessas áreas pode levar à perda de espécies e diminuir a qualidade do ecossistema local. A mudança na classe Água também pode afetar o ciclo hidrológico da região, uma vez que a presença de água na superfície e no solo é importante para a regulação do fluxo de água na bacia hidrográfica.

Conseqüentemente, a qualidade da água da região pode ser afetada. A redução da classe Água pode aumentar a concentração de poluentes na água, reduzir o fluxo de água e tornar a água menos disponível para o uso humano e para o desenvolvimento econômico da região. Por isso, é importante que as autoridades responsáveis tomem medidas para preservar a classe Água e garantir a sustentabilidade da região.

4 CONCLUSÕES

O estudo destaca a importância do uso de dados de sensoriamento remoto para monitorar mudanças na paisagem, especialmente no que diz respeito à redução da disponibilidade hídrica. A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo foi escolhida como área de estudo devido à sua relevância econômica, com atividades como agricultura e urbanização.

Os resultados apontam para uma preocupante tendência de perda da vegetação natural e aumento das áreas urbanas e agrícolas, o que pode impactar negativamente a biodiversidade e a qualidade da água na bacia hidrográfica. A expansão urbana pode gerar problemas como poluição, enchentes e aumento de temperatura na região. É inegável que o uso de dados de sensoriamento remoto é fundamental para monitorar as mudanças na paisagem e contribuir para decisões informadas sobre a gestão do uso do solo.

Esses dados indicam a importância de as autoridades da região da BHRP tomarem medidas para equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, especialmente no que diz respeito à disponibilidade de água. Políticas que incentivem a preservação da Mata Nativa e a proteção da reserva de água devem ser implementadas,

além de promover a produção agrícola de forma sustentável. É fundamental lembrar que as transformações na utilização da terra têm impactos significativos na vida da população e no meio ambiente, e que é preciso equilibrar esses impactos para garantir um futuro sustentável para a região, especialmente em relação à disponibilidade hídrica.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental (PPGTA) – UNISC e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, código 001.

MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF WATER AVAILABILITY IN THE PARDO RIVER WATERSHED USING LANDSAT 5 AND 8 SATELLITE IMAGES FOR THE YEARS 1986 AND 2023

ABSTRACT: Satellite remote sensing is an important tool for analyzing land use and land cover, allowing sensors aboard satellites to capture spectral information at different wavelengths. These data are processed by image processing algorithms to generate thematic maps, allowing for the classification of lands into various categories such as forests, grasslands, water bodies, urban areas, and agricultural lands, providing detailed information about the vegetation, terrain, hydrology, and urbanization of a specific area. Land use and land cover analyses in watersheds are important for understanding the dynamics and impacts of human activities on the environment. Changes in vegetation cover have a direct impact on water availability, reducing the soil's capacity to retain water, increasing the risk of droughts and other extreme events. Human activities contribute to soil sealing, resulting in surface runoff of water, sediment and waste accumulation in bottoms and valleys, reduction in aquifer recharge and siltation of rivers and lakes. Watersheds are strategic in preserving natural resources, allowing for planning projects that minimize human impacts and establish principles for resource management. Changes caused by human activities affect watersheds, including the suppression of natural vegetation, obstruction of riverbeds, water pollution, and climate change. Therefore, it is essential to monitor the entire watershed to plan and manage the environment, assess, and manage land use in the watershed, and protect the natural resources that make it

up. Satellite image analysis can identify physical and chemical characteristics of water bodies such as color, transparency, temperature, and nutrient concentration, and this information can be used to classify areas of water resources in a watershed.

Keywords: Hydrographic-basin. Remote-sensing. Vegetal-cover. Urban-areas. Forestry.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. C. F.; DE MORAES NOVO, E. M. L.; MARTINS, V. S. (ed.). Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações (Vol. 1). **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 2019.

CHANG, D.; LI, S.; LAI, Z.; FU, F.; QI, X. Integrated effects of co-evolutions among climate, land use and vegetation growing dynamics to changes of runoff quantity and quality. **Journal of Environmental Management**, v. 331, 117195, 2023.

GERHARDS, M.; SCHLERF, M.; MALLICK, K.; UDELHOVEN, T. Challenges and future perspectives of multi-/Hyperspectral thermal infrared remote sensing for crop water-stress detection: A review. **Remote Sensing**, v. 11, n. 10, 1240, 2019.

LECHNER, A. M.; FOODY, G. M.; BOYD, D. S. Applications in remote sensing to forest ecology and management. **One Earth**, v. 2, n. 5, p. 405–412, 2020.

LEITE, M. E.; FERREIRA, M. F. F. Análise espaço-temporal do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Tabuás, norte de Minas Gerais, com aplicação das Geotecnologias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 184–194, 2013.

PLATA-ROCHA, W.; MONJARDIN-ARMENTA, S. A.; PACHECO-ANGULO, C. E.; RANGEL-PERAZA, J. G.; FRANCO-OCHOA, C.; MORA-FELIX, Z. D. Proximate and underlying deforestation causes in a tropical basin through specialized consultation and spatial logistic regression modeling. **Land**, v. 10, n. 2, 186, 2021.

POPA, M. C.; DIACONU, D. C. Effects of Deforestation on Flooding in the Moldova River Basin. In Air and Water Components of the Environment Conference: **Casa Cartii de Stiinta**. 2019.

SARTORI, E. M.; DALFIOR, B. M.; PROVETE, C. S.; CORDEIRO, S. G.; DIAS CARNEIRO, M. T. W.; LELIS, M. D. F. F.; BRANDÃO, G. P. Hg Pollution Indices along the Reis Magos River Basin–Brazil: A Precursory Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, 12626, 2022.

TRABELSI, F.; LEE, S.; KHLIFI, S.; ARFAOUI, A. Frequency ratio model for mapping groundwater potential zones using GIS and remote sensing; Medjerda Watershed Tunisia. *In: Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018 (pp. 341–345).* **Springer International Publishing**. 2019.

VISESCU, M.; BEILICCI, E.; BEILICCI, R. Integrated hydrographical basin management. study case–Crasna River Basin. *In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 245, N. 3, p. 032038).* **IOP Publishing**. October 2017.

ZHANG, X.; ZHOU, Y. N.; LUO, J. Deep learning for processing and analysis of remote sensing big data: A technical review. **Big Earth Data**, v. 6, n. 4, p. 527–560, 2022.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

NANOPARTÍCULAS DERIVADAS DE RESÍDUOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES: REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

*Esteban Danilo Pacheco Calderón¹, Maurício Sandim¹, Carolina Vieira
Barbosa², Adriane Lawisch Rodriguez¹, Enio Leandro Machado¹*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPG3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

*calderon1@mx2.unisc.br

RESUMO

Nos últimos anos, o campo da ciência e engenharia está cada vez mais interessado na produção sustentável, o que motiva a utilização de insumos alternativos, como o uso de resíduos industriais como matérias-primas e a implementação de técnicas mais amigáveis ao meio ambiente. Neste contexto, também a produção de nanopartículas está sendo realizada a partir dos princípios da síntese verde. As nanopartículas têm muitas aplicações no meio ambiente e são utilizadas no tratamento de efluentes. O objetivo principal deste estudo foi analisar, por meio de uma análise bibliométrica, síntese de nanopartículas a partir de rotas mais amigáveis ao meio ambiente e suas potenciais aplicações no setor de tratamento de efluentes. Os resultados mostraram que as publicações sobre sínteses de nanopartículas com aplicação foco na ambiental cresceram nos últimos anos a partir do ano 2015 até hoje, entretanto, ainda são poucos os estudos que apresentam rotas alternativas para a produção destes materiais. Destaque para a utilização de resíduos como plásticos, orgânicos e industriais apontam oportunidades que possam promover a sustentabilidade e economia circular.

Palavras-chave: Resíduo. Nanopartículas. Tratamento de efluente. Economia circular. Síntese verde.

1 INTRODUÇÃO

A segurança hídrica do planeta é um dos problemas ambientais mais relevantes, trazendo diversos prejuízos à humanidade e ao ecossistema na atualidade. Em muitos países em desenvolvimento, os efluentes são lançados sem tratamento adequado em corpos hídricos, apresentando potenciais ameaças na qualidade da água (BLOEM *et al.*, 2017). Entre as questões mais preocupantes estão a toxicidade aguda, a carcinogenicidade e a mutagenicidade resultantes da persistência de poluentes orgânicos e inorgânicos em sistemas hídricos (SINGH *et al.*, 2020).

Por apresentarem características importantes para serem utilizadas na degradação de poluentes, as nanopartículas têm despertado o interesse em auxiliar alguns processos de tratamento de efluentes.

A nanotecnologia é uma disciplina recente que lida com uma inovação que é implementada em nanoescala e tem amplas aplicações (BHUSHAN, 2016), referindo-

se a nanomateriais que têm pelo menos uma dimensão que varia de 1 a 100 nm (KHAN *et al.*, 2019). A nanotecnologia vem crescendo em todo o mundo (BAJPAI, 2019) e vem se tornando mais popular na ciência e na engenharia devido aos seus benefícios na aceleração do desempenho de materiais e tecnologias (MOBASSER; FIROOZI, 2016).

Nesse âmbito para o tratamento de efluentes, diferentes formas de nanopartículas são usadas com base no tipo de contaminante e eficiência de tratamento desejada.

A maioria da produção de nanopartículas provém de numerosos recursos químicos. No entanto, diante do crescente interesse no desenvolvimento da química verde e sustentável e na economia circular, as pesquisas e inovações em nanotecnologia levaram à descoberta de fontes alternativas de nanopartículas, por exemplo, materiais residuais e a “síntese verde” a partir de extrato de plantas (ABDELBASIR *et al.*, 2020), a fim de solucionar questões relacionadas aos altos custos e riscos potenciais de poluição.

A síntese de nanomateriais é um método inovador na área de tratamento de resíduos e reciclagem. Assim, o desenvolvimento sustentável de nanomateriais derivados de resíduos tem sido uma área de pesquisa emergente nos anos atuais. Essa crescente demanda de reciclagem de resíduos é impulsionada ainda mais pelas novas e mais rigorosas regulamentações ambientais (PERCIVAL *et al.*, 2021).

A excessiva geração de resíduos nas últimas décadas vem trazendo significativos prejuízos ao ecossistema e à saúde humana. Assim, surge a necessidade de se adequar aos preceitos da economia circular, com o aproveitamento de resíduos como matéria-prima com valor agregado para contribuir com a sustentabilidade do sistema. Assim, começou-se a investigar a possibilidade de utilização de resíduos industriais, plásticos e biológicos para que estes sejam utilizados na produção de nanopartículas de metal, óxido de metal, carbono e grafeno (ABDELBASIR *et al.*, 2020).

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA E CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

A pesquisa eletrônica foi realizada inicialmente nas bases de dados ScienceDirect, Scopus e Web of Science com as seguintes palavras-chave: derivados de resíduos, nanopartículas e tratamento de efluentes. Para refinar ainda mais a pesquisa, os seguintes critérios de inclusão foram adotados: síntese verde e economia circular. Além das bases de dados mencionadas, o motor de busca geral como Google Scholar foi usado. Foram

utilizados apenas relatórios e artigos publicados em inglês, sendo a pesquisa eletrônica realizada em julho de 2022.

2.2 EXTRAÇÃO DE DADOS/INFORMAÇÕES PARA BIBLIOMETRIA

A extração de dados e informações dependia do tipo de resíduo. Os seguintes itens foram coletados para nanopartículas em aplicações ambientais: resíduos industriais, resíduos eletroeletrônicos e resíduos plásticos. As aplicações ambientais foram agrupadas conforme a síntese de materiais recicláveis: Nanopartículas de metal e óxido de metal, Nanopartículas de carbono e Grafeno. Dados e informações semelhantes foram reunidos para nanopartículas de metal e óxido de metal com os itens adicionais do tipo de nanopartículas bimetálicas e síntese verde. Além disso, foram verificadas as aplicações ambientais de nanopartículas derivadas de resíduos para tratamento de água poluída e remediação de água.

2.3 COLETA, GERENCIAMENTO E ANÁLISE DE DADOS – VOSVIEWER

A descrição das evidências foi apresentada separadamente em formato de tabelas para aplicações ambientais de nanopartículas derivadas de resíduos, tipo de resíduo e métodos de sínteses. Ademais, o tratamento dos dados foi executado usando o *software* VOSViewer para realizar o mapeamento bibliométrico. Todas as análises de citações e exportação de dados foram realizadas no mesmo dia para evitar interpretações errôneas.

Nesta pesquisa, o VOSViewer sintetizou os dados para visualizar e analisar redes representando as ocorrências e força entre diferentes palavras-chave e autores contribuintes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente trabalho foram separadas três categorias de resíduos para possível geração de nanopartículas: resíduos industriais, resíduos plásticos e resíduos orgânicos.

A seleção destes resíduos é um fator que depende do uso das nanopartículas, assim a utilização do resíduo introduz o conceito de economia circular, permitindo o reaproveitamento de materiais residuais e reciclagem para o tratamento de efluentes.

3.1 RESÍDUOS RECICLÁVEIS COMO FONTES DE NANOPARTÍCULAS

Em relação aos resíduos plásticos, estes podem ser reciclados e reutilizados como material de embalagem ou usados como matéria-prima para outras aplicações, incluindo a produção de materiais, papel, compostos de fibra, novos polímeros e recentemente para geração de nanopartículas de carbono, a depender do tipo de polímero e do grau de pureza.

Os subprodutos dos resíduos orgânicos, como sementes, casca, polpa, folhas, cascas e espigas são normalmente descartados na lixeira sem nenhum tratamento. O *upcycling* deste tipo de bioresíduo é possível neste caso, com a transformação de materiais a nanoescala (OMRAN, 2020). Assim, a valorização destes resíduos pode gerar bionanocatalisadores, bionanosorbentes e bionanodesinfetantes que podem ser usados para tratamento de efluentes.

A síntese de nanopartículas a partir dos resíduos orgânicos (síntese verde) pode usar sais de metais precursores, como AgNO₃, HAuCl₄, etc., o que pode ajudar a reduzir o custo e os requisitos de energia comparado com a síntese física e metodologias químicas (OMRAN *et al.*, 2021a). O uso e a liberação de substâncias tóxicas químicas e subprodutos são consideravelmente reduzidos porque as biomoléculas presentes nos extratos de resíduos biológicos atuam como redutores, estabilizadores e agentes de cobertura (OMRAN *et al.*, 2021b). Além disso, a síntese verde é fácil e relativamente reprodutível, permitindo a produção de nanoestruturas estáveis (LIU *et al.*, 2019).

Para entender o fluxo destes resíduos para gerar nanopartículas, encontrou-se as pesquisas científicas da Tabela 1 em relação à recuperação de materiais dos diferentes fluxos de resíduos para geração de nanopartículas.

Tabela 1. Revisões sistemáticas de geração de nanopartículas derivadas de resíduos sólidos.

Título do documento	Autor(es)	Revista	Base de dados	DOI	Ano de publicação
A bibliometric approach for analyzing the potential role of waste-derived nanoparticles in the upstream oil and gas industry	Panes, P., Macariola, M. A., Niervo, C., Maghanoy, A. G., Garcia, K. P., & Ignacio, J. J.	Cleaner Engineering and Technology (B2)	Science Direct	https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100468	2022
Waste-Derived Nanoparticles: Synthesis Approaches, Environmental Applications, and Sustainability Considerations	Abdelbasir, S. M., McCourt, K. M., Lee, C. M., & Vanegas, D. C.	Frontiers in Chemistry (A2)	Scopus	https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00782	2020
Synthesis of nanomaterials from various wastes and their new age applications	Samaddar, P., Ok, Y. S., Kim, K. H., Kwon, E. E., & Tsang, D. C.	Journal of Cleaner Production (A1)	Science Direct	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.262	2018

Fonte: Elaboração própria

Os principais resultados das três revisões sistemáticas encontradas nas bases de dados Science Direct e Scopus (Tabela 1) demonstram que as pesquisas baseadas no conceito de transformar os resíduos – principalmente industriais, plásticos e orgânicos – em tecnologias avançadas (nanopartículas ou nanomateriais para aplicações ambientais) é uma atrativa forma de promover economia circular e produção sustentável.

Porém, existe informação e conhecimento sobre nanomateriais de engenharia que devem ser abordadas antes de fazer a transição dessas investigações de escala de laboratório para aplicação em escala industrial; principalmente no que diz respeito ao uso de energia, destino e comportamento de transporte, vias de exposição em diferentes ambientes e níveis de toxicidade em diversos organismos (TSCHICHE *et al.*, 2022).

Muitos especialistas destacam a importância de realizar avaliações de ciclo de vida e análise de risco desde o início e durante o desenvolvimento de novas tecnologias e processos para possibilitar transformações de potencial liberação de nanomateriais e subprodutos no meio ambiente (GRILLO *et al.*, 2015).

3.2 NANOPARTÍCULAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os nanomateriais têm sido explorados nos últimos anos para tratamento de água e águas residuais e são tipicamente definidos como materiais entre 1nm – 100 nm. Nessa escala, os materiais geralmente possuem novas características físicas, químicas e biológicas diferentes do tamanho de suas contrapartes maiores. Algumas dessas aplicações utilizam as propriedades sensivelmente escalonáveis e dependentes do tamanho dos nanomateriais, como dissolução rápida, alta reatividade e forte sorção. Outros são aproveitados pelas suas propriedades descontínuas, como supermagnetismo, superfície localizada e efeito quântico de confinamento.

3.2.1 NANOPARTÍCULAS DE METAL E SEUS ÓXIDOS

Foi observado que as nanopartículas magnéticas de tamanho nanoadsorventes também estão em uso para fins de tratamento. Numerosos estudos sugeriram uma sorção favorável de metal nanométrico e óxido metálico para contaminantes metálicos como cádmio, arsênico, cromo, urânio, fosfatos e orgânicos, apresentando alta eficiência. Assim, verificou-se que as nanopartículas de ferro são eficazes como redutor e catalisador para uma variedade de contaminantes ambientais compreendendo compostos orgânicos clorados e íons metálicos.

3.2.2 NANOPARTÍCULAS DE CARBONO

Os nanomateriais de carbono possuem tamanho da ordem de bilionésimo de metro, devido à sua área de superfície relativamente maior, apresentam alta química reatividade e oferecem propriedades elétricas, mecânicas, térmicas incomuns (SIMMONS *et al.*, 2009). Com isso, as nanopartículas são usadas como uma ferramenta eficiente para o tratamento de águas residuais. Eles são classificados como naturais, artificiais e incidentais. As nanopartículas de carbono projetado são fabricadas e produzidas intencionalmente de acordo com as aplicações: grafeno, óxido de grafeno (GOs), fulerenos, nanocompósitos, nanotubos de carbono (CNTs), nanofibras de carbono, sendo usados em várias aplicações, incluindo a remoção de poluentes. Vários estudos testemunharam que os nanomateriais de carbono têm alta capacidade de adsorção para metais (KOSA *et al.*, 2012), produtos farmacêuticos, corantes, fenóis e produtos químicos orgânicos.

3.2.3 NANOPARTÍCULAS À BASE DE GRAFENO

O grafeno pode ser usado como absorvente em várias formas modificadas, como seu óxido e óxido reduzido. Este pode ser modificado por vários grupos funcionais como carbonila, hidroxila, grupos epóxi e carbonila. Os óxidos são monocamadas com vários grupos funcionais de oxigênio, oferecendo compostos em grande área de superfície. O grafeno possui ligações que exibem condutividade elétrica e térmica. Geralmente, a absorção no grafeno e sua versão modificada são devido ao efeito hidrofóbico e interações eletrostáticas. Grafeno e suas modificados formas são usadas como adsorventes para a remoção de poluentes e sua aplicação tem estimulado o interesse pela remediação ambiental.

3.3 BIBLIOMETRIA DO USO DE NANOPARTÍCULAS DERIVADAS DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os dados bibliométricos foram analisados no *software* VOSviewer para mapeamento bibliométrico. Do total de 2.805 palavras-chave indexadas pelos autores de 808 documentos, 45 atenderam ao limite com um mínimo de cinco ocorrências. O VOSviewer foi usado para extrair a pesquisa chave como mostrado.

Na Figura 2, é possível observar que as principais áreas relacionadas com nanopartículas de resíduos no tratamento de efluentes são: o grafeno, o carbono e as nanopartículas de metal nos *clusters* azul, vermelho e amarelo respectivamente. O *cluster* verde está mais envolvido na sustentabilidade ambiental, águas residuais e emergindo nos últimos anos com as áreas de bioadsorção e recuperação.

Com o resultado dessa análise bibliométrica, verificou-se os principais grupos de nanopartículas envolvidas no tratamento de efluentes, sendo as nanopartículas de metal as mais conectadas com esses assuntos. Uma das razões pode ser porque os nanoadsorventes à base de metal são nanopartículas de baixo custo com altas propriedades adsorptivas (exemplo: óxidos férricos, óxido de titânio e óxido de alumínio), devido a sua alta superfície-volume, os óxidos metálicos nanométricos são considerados mais eficientes que os adsorventes convencionais.

Além disso, constatou-se que uma área promissora é a combinação de nanopartículas com química verde e tecnologias sustentáveis, por exemplo: sínteses verdes, recuperação de matérias, degradação fotocatalítica (Fig. 3).

A base de dados criada registrou um total de 3.520 autores para as palavras-chave “*waste*” – “*wastewater treatment*” – “*nanoparticle*”. Desta base, o *software* analisou a interação de 58 autores com ao menos 3 documentos relacionados ao tema de pesquisa.

Na Figura 4.a, o *cluster* vermelho representa documentos referentes a nanopartículas de ferro com valença zero; o *cluster* amarelo analisa os documentos de produção de nanopartículas através de biomassa, o *cluster* verde informa sobre nanopartículas de metal para eliminar corantes através de fotodegradação. Por último, o *cluster* azul contempla a área de síntese verde ou biossíntese para produção de nanopartículas de zinco ou ferro ou seus óxidos para tratar efluentes com diferentes poluentes.

Os documentos mais atuais (Ver Fig. 4.b) envolvem a produção de nanopartículas a partir de biomassa para remediar águas contaminadas. A biomassa é situada como um precursor verde, sustentável e amplamente disponível, sendo cada vez mais usada para sintetizar nanomateriais com menor carga ambiental e custos, além de maior biocompatibilidade e qualidade. O progresso recente dos estudos tem demonstrado uma série de nanomateriais de dimensão zero (pontos quânticos), unidimensionais (nanotubos), bidimensionais (nanofibras) e tridimensionais (nanocristais) produzidos a partir de várias biomassas e bio-matérias-primas (WONG *et al.*, 2022).

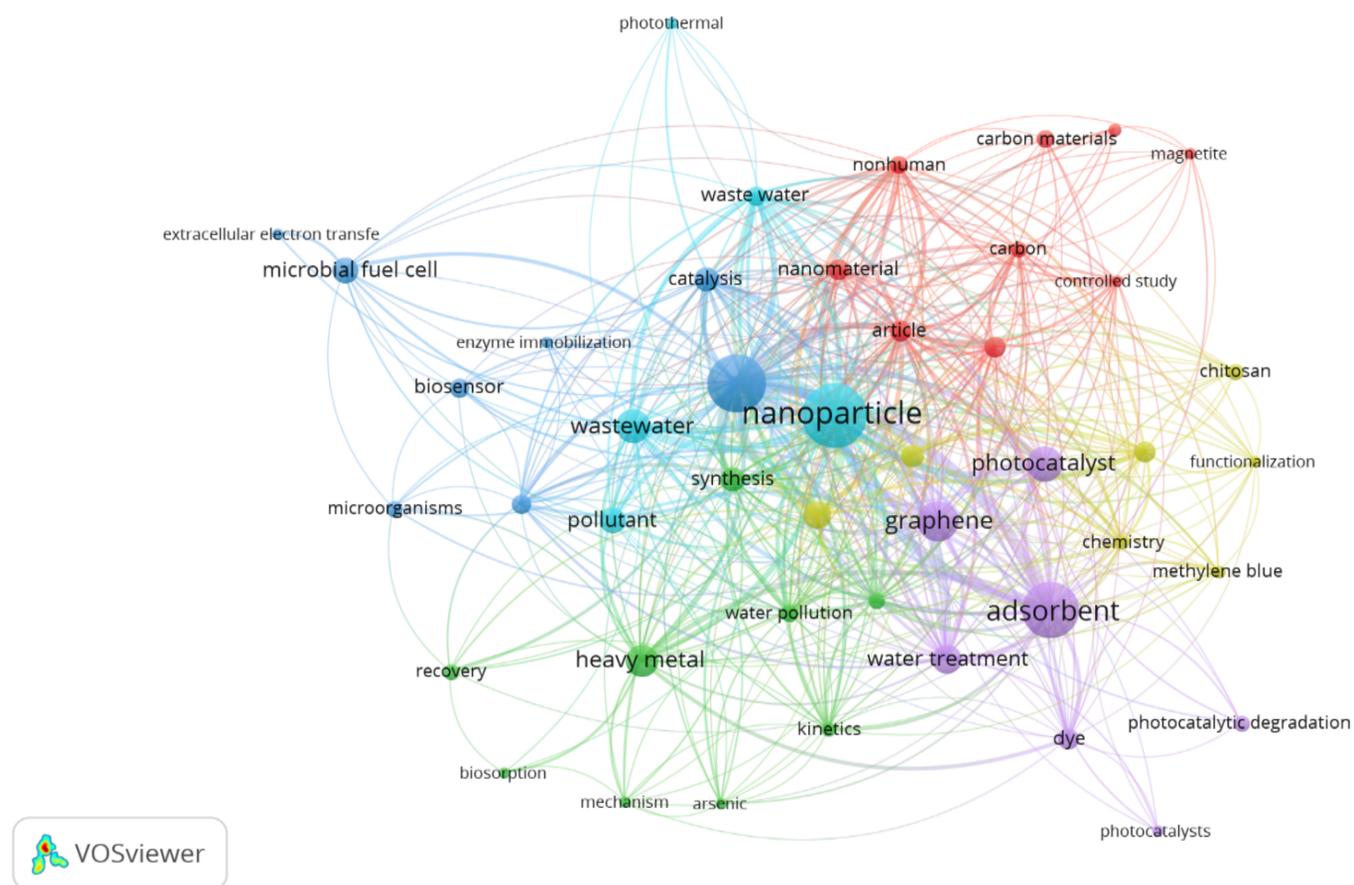


Figura 2. Áreas-chave das nanopartículas derivadas de resíduos no tratamento de efluentes. Fonte: *software VOSviewer*

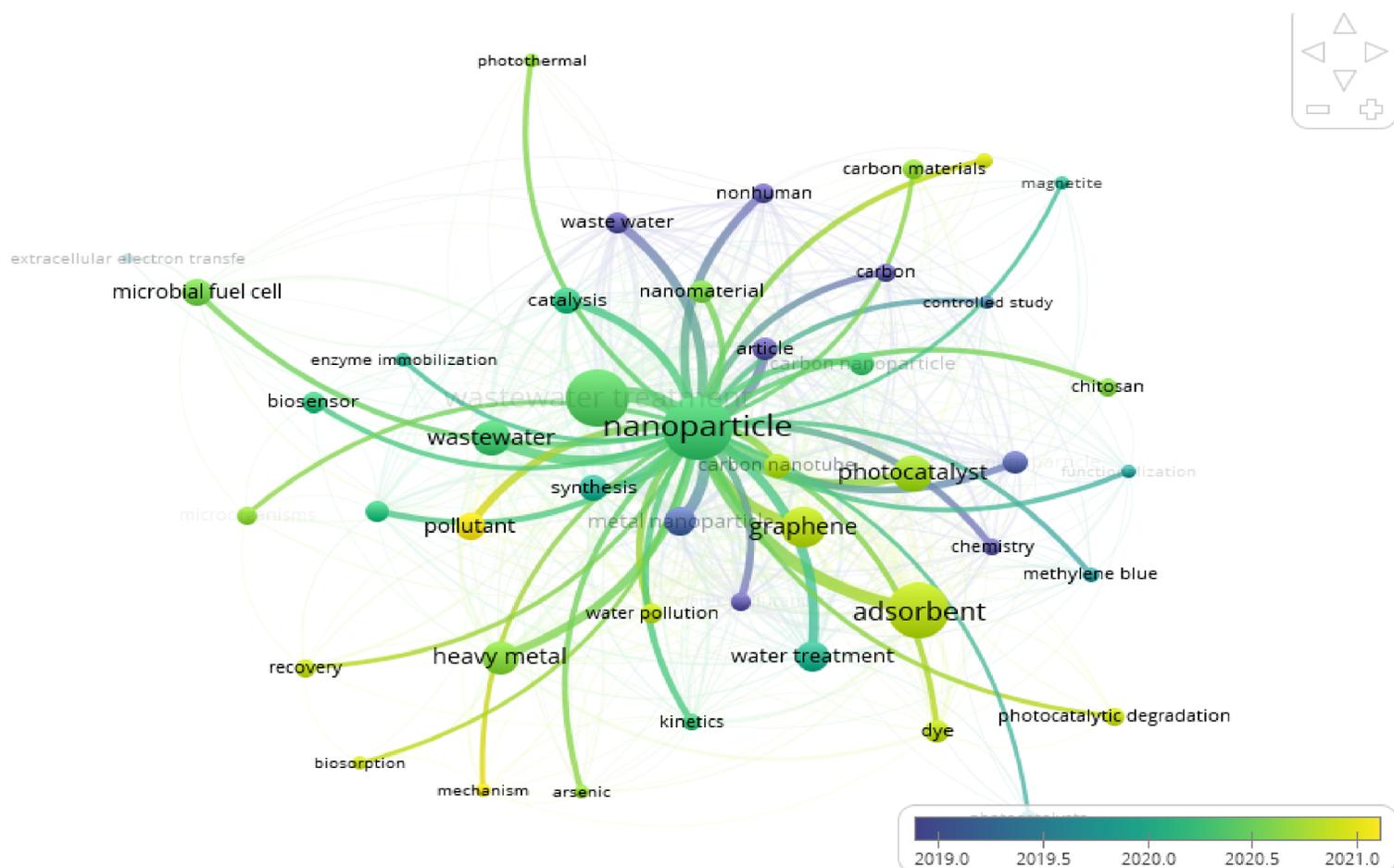


Figura 3. Áreas-chave das nanopartículas derivadas de resíduos no tratamento de efluentes organizadas cronologicamente. Fonte: *software VOSviewer*

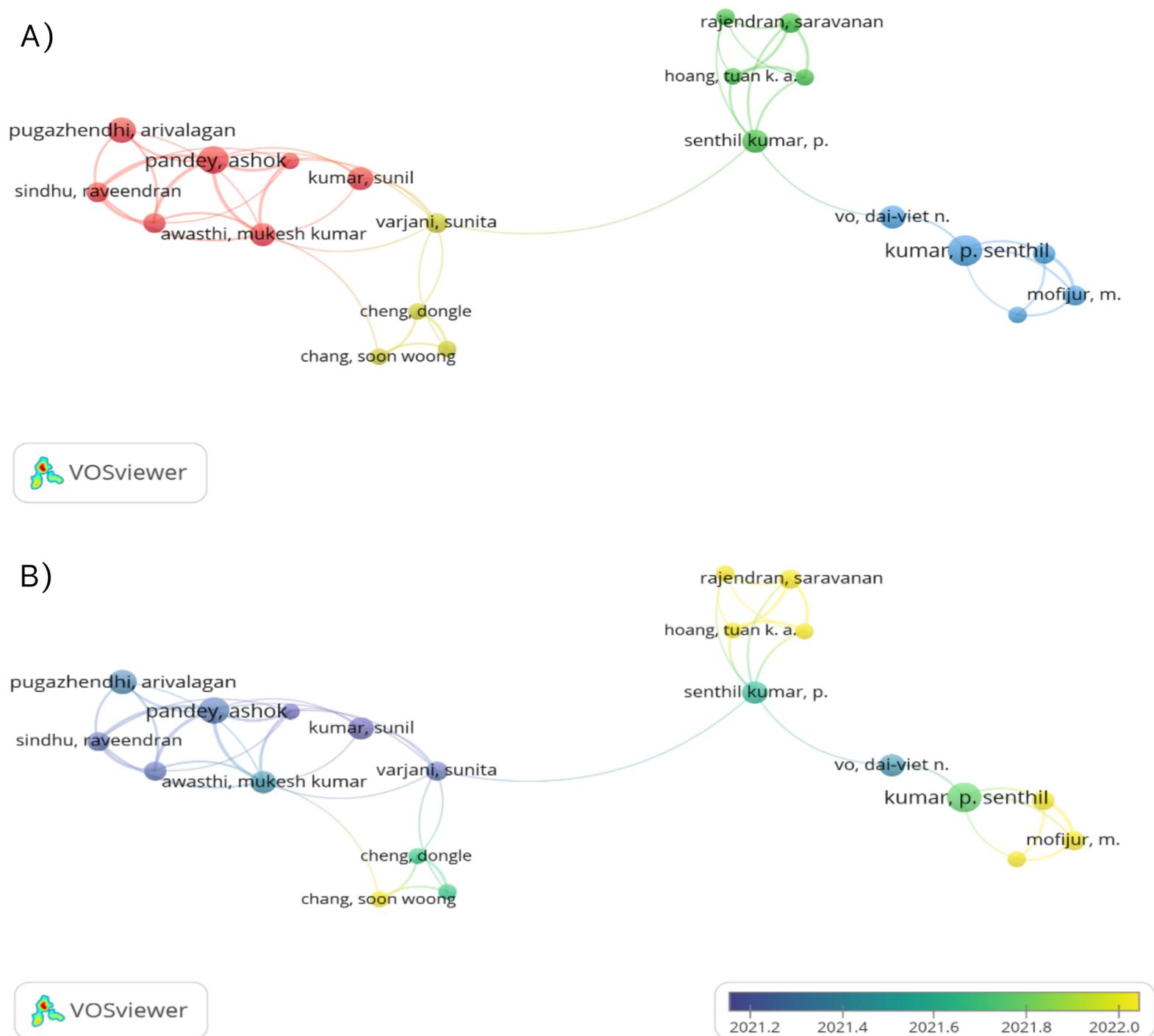


Figura 4. A) Classificação de autores mais relevantes para as palavras-chaves selecionadas B) Classificação cronológica de autores mais relevantes. Fonte: *software*: VOSviewer.

4 CONCLUSÕES

Em conclusão, para que seja possível perceber os benefícios potenciais da implementação de nanopartículas derivadas de resíduos, uma complexa lista de fatores de influência deve ser analisada e as decisões devem velar do lado da precaução da saúde das pessoas, do meio ambiente e da ética.

As nanopartículas combinadas com a química verde e sustentável (economia circular) devem seguir sendo estudadas para fornecer soluções eficientes e viáveis na área de tratamento de efluentes. Porém, deve existir um controle em todo o ciclo de vida através da correta e adequada gestão ambiental baseada nas políticas de saúde e de meio ambiente.

WASTE-DERIVED NANOPARTICLES FOR WASTEWATER TREATMENT: BIBLIOMETRIC REVIEW

ABSTRACT: In recent years, the field of science and engineering is increasingly interested in sustainable production, which motivates the use of alternative inputs, such as the use of industrial waste as raw materials and the implementation of more environmentally friendly techniques. In this context, the production of nanoparticles is also being carried out based on the principles of green synthesis. Nanoparticles have many applications in the environment and are used in the treatment of effluents. The main objective of this study was to analyze, through a bibliometric analysis, the synthesis of nanoparticles from more environmentally friendly routes and their potential applications in the effluent treatment sector. The results pleased that publications on nanoparticle syntheses with a focus on environmental application have grown in recent years from 2015 to date, however, there are still few studies that present alternatives for the production of these materials. Emphasis on the use of waste such as plastic, organic and industrial points to opportunities that can promote sustainability and circular economy.

Keywords: Waste. Nanoparticles. Effluent treatment. Circular economy. Green synthesis.

REFERÊNCIAS

ABDELBASIR, S. M.; MCCOURT, K. M.; LEE, C. M.; VANEGAS, D. C. Waste-Derived Nanoparticles: Synthesis Approaches, Environmental Applications, and Sustainability Considerations. **Frontiers in Chemistry**, 8, 2020. Review.

BAJPAI, P. Chapter 11 – Emerging technology–nanotechnology. *In*: BAJPAI, P. (ed.). **Biobased Polymers**: Elsevier, 2019. p. 203–211.

BHAT, S. A. *et al.* Sustainable nanotechnology based wastewater treatment strategies: achievements, challenges and future perspectives. **Chemosphere**, v. 288, p. 132606, 2022.

BHUSHAN, B. **Biomimetics**: bioinspired hierarchical-structured surfaces for green science and technology. Springer, 2016.

BLOEM, E.; ALBIHN, A.; ELVING, J.; HERMANN, L. *et al.* Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. **Science of The Total Environment**, v. 607-608, p. 225-242, 2017.

GRILLO, R.; ROSA, A. H.; FRACETO, L. F. Engineered nanoparticles and organic matter: a review of the state-of-the-art. **Chemosphere**, v. 119, p. 608-619, 2015.

KHAN, I.; SAEED, K.; KHAN, I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 7, p. 908-931, 2019.

KOSA, S. A.; AL-ZHRANI, G.; SALAM, M. A. Removal of heavy metals from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes modified with 8-hydroxyquinoline. **Chemical Engineering Journal**, v. 181, p. 159-168, 2012.

LIU, M. *et al.* Photoresponsive nanostructure assisted green synthesis of organics and polymers. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 249, p. 172-210, 2019.

OMRAN, B. A. Biosynthesized nanomaterials via processing of different plant parts (phytonanotechnology) and biovalorization of agro-industrial wastes to nano-sized valuable products. *In*: **Nanobiotechnology: A Multidisciplinary Field of Science**. Springer, Cham, 2020. p. 145-184.

OMRAN, B. A. *et al.* Biovalorization of mandarin waste peels into silver nanoparticles and activated carbon. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 18, n. 5, p. 1119-1134, 2021a.

OMRAN, B. A.; WHITEHEAD, K. A.; BAEK, K.-H. One-pot bioinspired synthesis of fluorescent metal chalcogenide and carbon quantum dots: Applications and potential biotoxicity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 200, p. 111578, 2021b.

MOBASSER, S.; FIROOZI, A. Review of Nanotechnology Applications in Science and Engineering. **Journal of Civil Engineering and Urbanism**, v. 6, p. 84-93, 25 ago. 2016.

PERCIVAL, R. V. *et al.* Environmental Regulation: Law, Science, and Policy [Connected EBook with Study Center]. **Wolters Kluwer Law & Business**, 2021.

ROBINSON, B. H. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. **Science of the total environment**, v. 408, n. 2, p. 183–191, 2009.

SAMADDAR, P. *et al.* Synthesis of nanomaterials from various wastes and their new age applications. **Journal of cleaner production**, v. 197, p. 1190–1209, 2018.

SHELDON, R. A. Green chemistry, catalysis and valorization of waste biomass. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 422, p. 3–12, 10 jan. 2016.

SIMMONS, T. J.; BULT, J.; HASHIM, D. P.; LINHARDT, R. J. *et al.* Noncovalent Functionalization as an Alternative to Oxidative Acid Treatment of Single Wall Carbon Nanotubes With Applications for Polymer Composites. **ACS NANO**, v. 3, n. 4, p. 865–870, abr. 2009.

SINGH, S.; WASEWAR, K. L.; KANSAL, S. K. Chapter 10 – Low-cost adsorbents for removal of inorganic impurities from wastewater. *In*: DEVI, P.; SINGH, P. *et al.* (ed.). **Inorganic Pollutants in Water**: Elsevier, 2020. p. 173–203.

TSCHICHE, H. R.; BIERKANDT, F. S.; CREUTZENBERG, O.; FESSARD, V. *et al.* Environmental considerations and current status of grouping and regulation of engineered nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 18, p. 100707, 12 jan. 2022.

WONG, C. D. S.; YEOH, J. X.; WU, T.; MANICKAM, S. *et al.* Biomass to nanoparticles: Recent advances in the process and processing towards sustainability. **Chemical Engineering and Processing – Process Intensification**, v. 175, p. 108908, 5 jan. 2022.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

INDÚSTRIA DA MODA E O EXCESSO DE RESÍDUOS TÊXTEIS: DA PRODUÇÃO DE MICROPLÁSTICOS A POSSÍVEIS CAMINHOS SUSTENTÁVEIS

Alessandra de Quadros^{1}, Liege Martini², Sandra Elisia Lemões Iepsen², Liane Mahlmann Kipper², Jorge André R. Moraes², Ana Julia Dal Forno³, Rosiane Serrano⁴*

¹ Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional – PPGDR, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

³ Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, 89036-002, Blumenau, SC, Brasil

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 99713-028, Erechim, RS, Brasil

*E-mail: alessandra.biologa@yahoo.com.br

RESUMO

O setor têxtil é um dos mais antigos do Brasil e do mundo, além de ser um dos que mais gera empregos. O continente asiático concentra 70% da produção têxtil, porém o Brasil ocupa a quarta posição mundial. No entanto, reconhecido o seu impacto social, um desafio constante para a sustentabilidade é a redução dos resíduos sólidos têxteis em toda a cadeia produtiva. Esse artigo tem o objetivo inicial de mapear na literatura o impacto que os microplásticos estão provocando no meio ambiente e qual o planejamento do ecossistema têxtil para reduzir esses impactos. Nos resultados dos mais de 300 artigos existentes, desde 2019 até a presente data (2023), percebeu-se que, embora a inovação evolua quanto aos têxteis inteligentes tais como os *wearables*, de outro lado, o modelo tradicional predomina, priorizando-se a estratégia de baixo custo e não a sustentabilidade. Há oportunidades para o desenvolvimento de inovações tecnológicas de equipamentos visando a detecção de microplásticos. Hoje, não há uma legislação específica para tratar esse assunto e o consumidor não tem consciência que a ingestão de microplásticos, presentes em alguns alimentos, não prejudica somente os animais marinhos, mas também o ser humano. Nesse sentido, os trabalhos futuros irão diagnosticar os tipos de resíduos gerados e ações alinhadas à resolução de problemas da sociedade de forma ética e responsável.

Palavras-chave: Resíduo sólido. Indústria têxtil. Microplásticos. Ecossistema.

1 INTRODUÇÃO

Do *glamour* do mundo da moda às pilhas de lixo, assim é o destino dos resíduos têxteis oriundos da indústria das passarelas e dos holofotes, do consumo insustentável e exagerado e dos tecidos, que estão cada vez mais sintéticos e duráveis, conseqüentemente menos biodegradáveis. O que outrora traz um sentido de subsistência e sucesso em si transforma-se em restos da humanidade (ANGELIN; DE CARVALHO; DARCANCHY, 2018). A indústria da moda movimentava milhões de dólares anualmente e emprega inúmeras pessoas, desde a produção do tecido, confecção, acabamento, venda, *marketing*, pós-venda, reuso, entre outros processos envolvidos neste movimento co-criativo (MUNINGER; MAHR; HAMMEDI, 2022). Porém, não existem estratégias de gestão ambiental desta tipologia de resíduos que ofereçam uma destinação ambientalmente correta para estes materiais.

Os resíduos têxteis sintéticos, durante sua decomposição, quebram-se em partículas menores formando microplásticos, ou seja, pequenas partículas plásticas que se tornam poluentes quando inseridas no ecossistema (DE OLIVEIRA; DA SILVA JÚNIOR; MULINARI; IMMICH, 2021). É possível encontrar os microplásticos nos mais diversos ambientes, sendo que o destino final será nos oceanos, podendo causar desequilíbrio ambiental de grandes magnitudes a longo prazo, porém a maioria desses impactos ainda são desconhecidos pela ciência (GALVÃO *et al.*, 2022). Na contemporaneidade, os diversos tipos de microplásticos já se encontram presentes na atmosfera, no solo, na água, nas plantas, nos animais e conseqüentemente em nosso organismo. Segundo Sun, Peng, Zhu, Fu *et al.* (2022), as partículas de microplástico presentes na atmosfera reagem quimicamente com outras moléculas tornando-se altamente nocivas ao equilíbrio ecossistêmico.

Desde os primórdios da humanidade, a produção têxtil manifesta-se das mais variadas maneiras, como uma necessidade básica de cobrir o corpo humano contra as intempéries do tempo até o consumo exacerbado na tentativa imatura e irrestrita de alcançar uma moda instantânea à mercê da indústria têxtil e do *marketing* de alto valor agregado, o chamado *marketing fashion*. Esta indústria gera empregos e mobiliza a economia no mercado, viabilizando a circularidade desse ramo, contudo como resultado da má gestão dos materiais empregados na produção e no pós-consumo das roupas, inúmeros resíduos têxteis são dispostos em locais inapropriados (MARCONSIN; DOS SANTOS ROSA, 2013).

Sendo assim, o objetivo deste artigo foi realizar uma revisão de literatura a fim de identificar o avanço nos estudos relacionados aos resíduos oriundos da indústria têxtil, abordando formas de melhorias para mudar esta realidade. Além disso, os autores buscaram responder às seguintes perguntas de pesquisa, “Q1. Qual é o avanço das pesquisas em microplásticos nos ecossistemas?”, “Q2. Que ações ocorrem para mitigar os impactos da indústria têxtil nos ecossistemas?”. A pesquisa foi realizada nas bases de dados Google Acadêmico e Science Direct entre os anos de 2019 e 2023.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A indústria da moda continua crescendo vertiginosamente, impulsionada por um apelo midiático que motiva o consumismo, afirmando o sentimento de autoestima, bem-estar e sucesso que fica subentendido no aspecto do modismo momentâneo. O Brasil é o 5º maior produtor do mundo representando 2,4% na produção de têxteis e, contando

com investimentos expressivos neste setor, é o 2º maior empregador da indústria da transformação (SIQUEIRA *et al.*, 2022). Economicamente, os têxteis são produtos com ampla expressividade no mercado brasileiro, porém são necessárias várias estratégias de gestão a fim de minimizar quantidades de resíduos que os tecidos são capazes de gerar. O resultado do mau gerenciamento da gestão pública e privada é o acúmulo de resíduos têxteis que irão parar, na maioria das vezes, em locais impróprios, poluindo o meio ambiente e trazendo diversos malefícios à saúde da população, à fauna e à flora (MARCONSIN; DOS SANTOS ROSA, 2013). Quando descartados de forma correta, os resíduos são destinados, em sua maioria, para aterros sanitários, o que não significa que este aspecto ambiental não cause impactos de grande magnitude.

O ramo têxtil da indústria é um dos que mais polui atualmente, pois a fibra sintética é produzida a partir da síntese do petróleo e durante sua decomposição libera microplástico e outros compostos utilizados na sua produção, como corantes, que se encontram em sua maioria nos oceanos, rios, solos, ar atmosférico, em alguns organismos vivos, modificando o curso natural da vida em todos estes ecossistemas. Os resíduos têxteis vão sofrendo várias quebras ao longo do processo de degradação e se transformando em microplásticos, partículas de tamanho diminuto de cinco nanômetros ou menores, sendo elas imperceptíveis a olho nu (TAQUARY, 2020).

Além disto, a indústria têxtil apresenta inúmeras formas de poluição, dentre elas: perdas de material durante a confecção das peças; gasto exacerbado de energia; alto consumo de água durante todas as etapas e OS processos de produção; mão de obra infantil e explorada. Destacam-se ainda inúmeros processos químicos altamente poluentes, tanto nos tecidos orgânicos quanto nos tecidos sintéticos, uma vez que cada tipologia e especificidades apresenta suas demandas produtivas (BERLIM, 2020; FLETCHER; GROSE, 2019).

Conforme Wojnowska-Baryla, Bernat e Zaborowska (2022), muitos dos resíduos da moda acabam se acumulando em locais impróprios e, mesmo quando descartados de forma adequada, em aterros sanitários, tornam-se um problema ambiental de grande magnitude. Estes resíduos compõem-se de restos de roupas e utensílios de origem biológica ou sintética de uso pessoal, doméstico, profissional, agrícola, que foram utilizados e ora descartados depois de seu uso.

Os resíduos oriundos das indústrias têxteis ainda não contam com uma legislação específica para sua triagem e destinação por ser uma tipologia de difícil reciclagem devido a inúmeras especificidades de compósitos usados em sua produção (KAMBLE; BEHERA, 2021). Segundo Xu, Chan, Stanton, Johnson *et al.* (2021), os microplásticos provenientes

da indústria têxtil encontram-se presentes no ecossistema, sendo transportados por rios até ambientes urbanos, uma vez que estes já foram encontrados em água doce, esgotos domésticos e estações de tratamento de águas residuárias. Desta forma, torna-se extremamente importante encontrar formas de monitoramento e tratamento para reduzir esta realidade. Schwabl, Köppel, Königshofer e Bucsecs *et al.* (2019), em estudo recente, identificaram microplásticos em fezes humanas. Acredita-se que os mesmos foram ingeridos através do consumo de alimentos contaminados, tais como peixes.

A indústria têxtil está relacionada a diversos impactos ambientais antes, durante e após o beneficiamento do produto. Como o alto consumo de energia, uso de agrotóxico em grandes áreas de plantio de algodão, devastação de áreas e desmatamento para o plantio e produção agrícola, excesso de águas residuárias e de resíduos sólidos perigosos e tóxicos, corantes que contaminam água e o solo, por exemplo, resultando em uma imagem poluidora e agressora ao meio ambiente, caso os cuidados e a gestão destes contaminantes não forem adequadamente suportados pelas organizações (DE OLIVEIRA; DA SILVA JÚNIOR; MULINARI; IMMICH, 2021).

Todo tecido libera fibras durante a lavagem, principalmente na máquina de lavar devido ao atrito das estruturas internas da máquina. Conforme o tecido que está sendo lavado, o número de fibras liberadas pode ser maior ou menor. Ademais, as indústrias têxteis perdem oportunidade no sentido de selecionar fornecedores que atuem com matérias-primas que tenham o objetivo de ampliar sua participação na cadeia reversa destes bens. Observa-se, então, que as roupas, após o final do seu ciclo de vida tradicional, não possibilitam serem recicladas ou reutilizadas como *second hand* e acabam gerando montanhas de resíduos contaminados (lixo) que não atendem às exigências mínimas para serem incorporadas na nova cadeia produtiva (ZELLER; TOWA; DEGREGZ; ACHTEN, 2019).

A composição de muitos tecidos é puramente mesclada por materiais plásticos como poliéster, acrílico, polietileno, poliamidas, poliuretanos, porém estes nomes aparecem nas etiquetas disfarçados com outras nomenclaturas e a presença do plástico fica subtendida ou invisível (SCHMIEDGRUBER; HUFENUS; MITRANO, 2019). Contudo, os têxteis durante a decomposição e a quebra destes compósitos formam partículas cada vez menores; os microplásticos, presentes em todos os ecossistemas, sendo que os ecossistemas marítimos são os que mais sofrem as consequências, uma vez que os restos dos produtos oriundos destes materiais acabam chegando nos mares e oceanos (GALVÃO *et al.*, 2022). No longo prazo, os micros e nano plásticos estarão presentes em todos os ambientes e em todos os seres vivos, pois farão parte da alimentação direta

e indiretamente através das teias alimentares, além do ar atmosférico. A inalação de microfibras e microplásticos propicia doenças pulmonares e estresse oxidativo, muitas vezes processos inflamatórios que podem levar à morte (ZHOU; ZHOU; MA, 2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A natureza da pesquisa é aplicada, sendo voltada para a geração e construção do conhecimento por meio de uma pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica inicia-se por meio de uma revisão da literatura de obras já existentes, com intuito de selecionar, classificar e solucionar o problema da pesquisa ou testar as hipóteses (DE SOUSA; DE OLIVEIRA, 2021). Este estudo também é exploratório e descritivo, propiciando maior aproximação com o tema-problema, construindo ideias e hipóteses. A pesquisa descritiva busca descrever as características de determinado grupo ou fenômeno (RAUPP; BEUREN, 2006).

A pesquisa foi realizada em 20 de março de 2022 utilizando-se as bases de dados Google Acadêmico e Science Direct. A escolha se deu por estas serem bases ricas em publicações na área de estudo, além de possuírem um número expressivo de documentos com acesso aberto. A Science Direct por exemplo, conta com 1,4 milhões de artigos abertos (SCIENCEDIRECT, 2023). A busca foi realizada a partir de “*review articles*” em todos os idiomas. As palavras-chave utilizadas na coleta de dados foram “*solid wastes*”, “*textile industry*”, “*microplastics*” e “*ecosystem*” no período de 2019 a 2023.

Para orientar a revisão de literatura, as questões de pesquisa foram:

Q1. Qual é o avanço dos microplásticos nos ecossistemas?

Q2. Quais ações ocorrem para mitigar os impactos advindos da indústria têxtil nos ecossistemas?

Como resultado do filtro de pesquisa realizado nas bases de dados, foram encontrados 33 documentos na Science Direct e 356 documentos no Google Acadêmico. A Figura 1 evidencia a evolução das pesquisas sobre o tema abordado nos últimos cinco anos, sendo que o ano de 2022 foi o período que mais teve documentos publicados nas bases estudadas. O baixo número de publicações em 2023 é devido à pesquisa ter sido realizada em março deste ano.

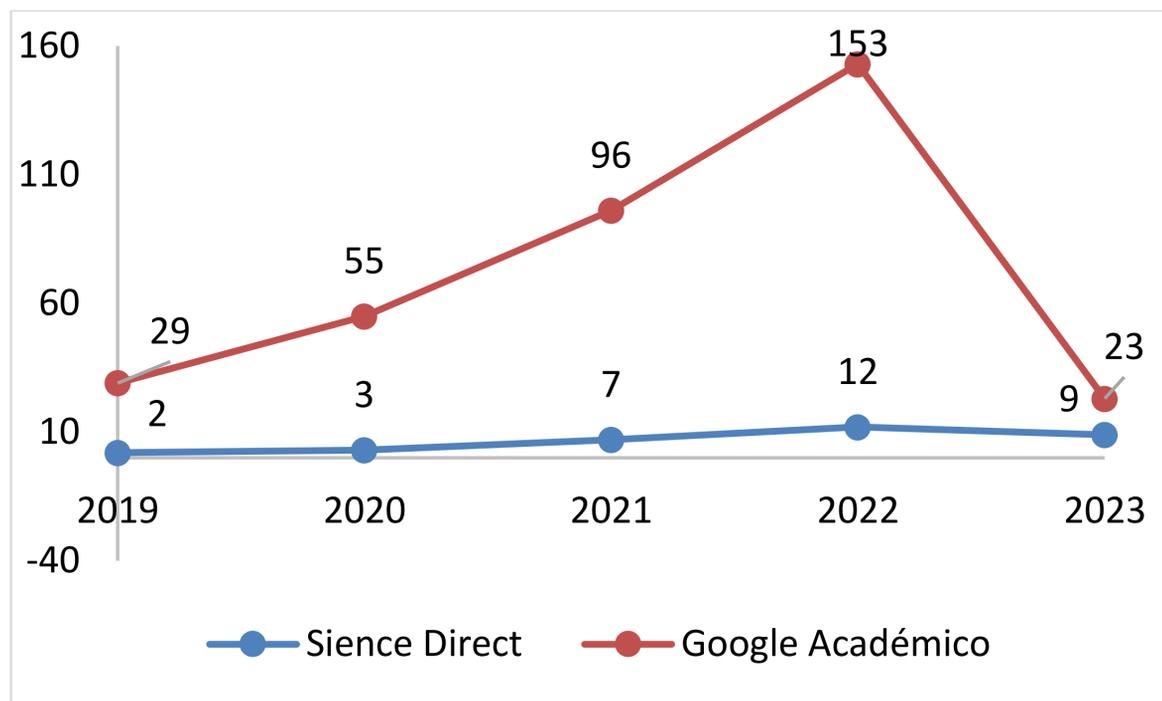


Figura 1. Evolução das publicações sobre o tema nos últimos cinco anos

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os microplásticos estão presentes em todos os ambientes e já são uma realidade presente e não uma utopia como acreditava-se. Estes microplásticos têm diversas origens, basta analisarmos a quantidade de plásticos que utilizamos no dia a dia. Uma destas origens está relacionada diretamente à indústria têxtil e à necessidade humana com a vestimenta em diversas áreas.

A abordagem fundamental de pesquisa foi a formação de microplásticos a partir de têxteis sintéticos e outros compósitos não biodegradáveis. Percebe-se que a indústria têxtil é uma área que está em expansão e que os tecidos são responsáveis por uma porção significativa da formação de microplástico na biosfera. A transição para produção de têxteis biodegradáveis, a conscientização ambiental, o consumo sustentável, novas tecnologias na indústria têxtil, inovações em todas as escalas do processo, implantação da avaliação do ciclo de vida, uso da produção mais limpa e o envolvimento de todos os atores nos *multistakeholders* são fundamentais para uma nova lógica no processo produtivo, no qual os cuidados com a área ambiental, social e de governança passam a ser uma agenda a ser administrada por todos.

5 CONCLUSÕES

A indústria têxtil caracteriza-se como sendo uma das atividades produtivas de grande potencial poluente, ocorrendo desde a extração da matéria-prima, produção, até o descarte do produto no final da vida útil. Neste contexto, identifica-se a necessidade de mais pesquisas sobre o tema, especialmente no que se refere à questão dos microplásticos. Constatou-se também que, apesar de todas as inovações tecnológicas, houve poucos avanços direcionados à melhoria de processos nas indústrias têxteis, fundamentalmente em países em desenvolvimento como o Brasil.

Em relação à pergunta de pesquisa Q1, os pesquisadores identificaram contaminação por microplásticos em diversas áreas do ecossistema (rios, esgotos, estações de tratamento), o que sugere um avanço rápido deste poluente em direção aos centros urbanos. Assim, reforça-se a necessidade de aprofundamento em pesquisas práticas que busquem ferramentas e soluções para minimizar os impactos causados.

Já para a pergunta Q2, concluímos que novas tecnologias e processos inovadores precisam ser desenvolvidos, para que este setor que emprega e gera riqueza ao país não seja conceituado como poluidor, mas sim, agregador de emprego e renda e atento às questões ambientais, sociais e de governança. Neste contexto, a transição para produções biodegradáveis, a conscientização ambiental, consumo sustentável, e a implementação de ferramentas como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Produção Mais Limpa (P+L), juntamente com o envolvimento de todos os atores (*multistakeholders*), é fundamental. Por fim, os cuidados com a área ambiental, social e de governança passam a ser uma agenda a ser administrada por todos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq), Brasil (números 303934/2019-0; 310204/2022-4), e a FAPERGS, pelo apoio financeiro, à UNISC e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental.

FASHION INDUSTRY AND EXCESS OF TEXTILE WASTE: FROM THE PRODUCTION OF MICROPLASTICS TO POSSIBLE SUSTAINABLE PATHS

ABSTRACT: The textile sector is one of the oldest in the country and in the world it is also one that generates the most jobs. The Asian continent concentrates 70% of textile production, but Brazil ranks fourth in the world. However, recognizing its social impact, a constant challenge for sustainability is the reduction of textile waste throughout the production chain. This article has the initial objective of mapping in the literature the impact that microplastics are generating on the environment and what is the planning of the plant ecosystem to reduce these effects. In the results of the more than 300 articles existing since 2019, it can be seen that although innovation evolves in terms of smart textiles such as wearables, on the other hand, the traditional model predominates, prioritizing the low-cost strategy and not sustainability. There are opportunities for the development of technological innovations in equipment for detecting microplastics. Still, there is no specific legislation to deal with this matter and the consumer is still not aware that the ingestion of already identified microplastics does not only harm marine animals, but also human beings. In this sense, future works will demonstrate the types of waste generated and actions achieved for industry 4.0 that aim to solve society's problems in an ethical way.

Keywords: Solid waste. Textile industry. Microplastics. Ecosystem.

REFERÊNCIAS

ANGELIN, R.; DE CARVALHO, D.; DARCANCHY, M. Catadores de trabalho, de direitos e de dignidade: da inclusão social aos direitos humanos. **Percurso**, v. 3, n. 26, p. 148-174, 2018.

BERLIM, L. **Moda e sustentabilidade:** uma reflexão necessária. Barueri: Estação das Letras e Cores Editora, 2020.

DE OLIVEIRA, C. R. S.; DA SILVA JÚNIOR, A. H.; MULINARI, J.; IMMICH, A. P. S. Textile Re-Engineering: Eco-responsible solutions for a more sustainable industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1232-1248, 2021.

FLETCHER, K.; GROSE, L. **Moda & Sustentabilidade: design para mudança**. São Paulo: Editora Senac, 2019.

GALVÃO, L. D. S.; FERNANDES, E. M. S.; FERREIRA, R. R.; ROSA, D. D. S. *et al.* Critical steps for microplastics characterization from the atmosphere. **Journal of Hazardous Materials**, v. 424, p. 13, 2022.

HARNNECKER, F.; DOS SANTOS ROSA, D.; LENZ, D. M. Biodegradable polyester-based blend reinforced with curauá fiber: thermal, mechanical and biodegradation behaviour. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 20, n. 1, p. 237-244, 2012.

KAMBLE, Z.; BEHERA, B. K. Upcycling textile wastes: challenges and innovations. **Textile Progress**, v. 53, n. 2, p. 65-122, 2021.

MARCONSIN, A. F.; DOS SANTOS ROSA, D. A comparison of two models for dealing with urban solid waste: management by contract and management by public-private partnership. **Resources, Conservation and recycling**, v. 74, p. 115-123, 2013.

MUNINGER, M.-I.; MAHR, D.; HAMMEDI, W. Social media use: A review of innovation management practices. **Journal of Business Research**, v. 143, p. 140-156, 2022.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências**. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2006. p. 76-97.

SCHMIEDGRUBER, M.; HUFENUS, R.; MITRANO, D. M. Mechanistic understanding of microplastic fiber fate and sampling strategies: Synthesis and utility of metal doped polyester fibers. **Water research**, v. 155, p. 423-430, 2019.

SIENCEDIRECT. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 21 mar. 2023.

SCHWABL, P.; KÖPPEL, S.; KÖNIGSHOFER, P.; BUCSICS, T. *et al.* Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. **Annals of internal medicine**, v. 171, n. 7, p. 453-457, 2019.

SIQUEIRA, M. U. *et al.* Brazilian agro-industrial wastes as potential textile and other raw materials: a sustainable approach. **Materials Circular Economy**, v. 4, n. 1, p. 9, 2022.

SUN, J.; PENG, Z.; ZHU, Z.-R.; FU, W. *et al.* The atmospheric microplastics deposition contributes to microplastic pollution in urban waters. **Water Research**, p. 119116, 2022.

TAQUARY, R. X. **A decisão de compra da linha sustentável de uma marca de vestuário feminino no Rio de Janeiro**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

WOJNOWSKA-BARYŁA, I.; BERNAT, K.; ZABOROWSKA, M. Strategies of Recovery and Organic Recycling Used in Textile Waste Management. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 10, p. 58–59, 2022.

XU, Y.; CHAN, F. K. S.; STANTON, T.; JOHNSON, M. F. *et al.* Synthesis of dominant plastic microfibre prevalence and pollution control feasibility in Chinese freshwater environments. **Science of The Total Environment**, v. 783, p. 146863, 2021.

ZELLER, V.; TOWA, E.; DEGREGZ, M.; ACHTEN, W. M. J. Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city–region level. **Waste management**, v. 83, p. 83–94, 2019.

ZHOU, H.; ZHOU, L.; MA, K. Microfiber from textile dyeing and printing wastewater of a typical industrial park in China: Occurrence, removal and release. **Science of the Total Environment**, v. 739, p. 140329, 2020.



III SEMINÁRIO SUL
DE INOVAÇÕES
EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

CONDIÇÕES DE TRABALHO E SAÚDE DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS, DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19 NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ-PR

Victoria Maria Scremin Corrêa Lima Ferreira¹, Maiza Karine Barcia²,
Tatiane Bonametti Veiga³,*

¹Bacharel em Engenharia Ambiental, Unicentro, 84505-677, Irati, PR, Brasil

²Acadêmica de Engenharia Ambiental, Unicentro, 84505-677, Irati, PR, Brasil

³Docente do Departamento de Engenharia Ambiental, Unicentro, 84505-677, Irati, PR, Brasil

*E-mail: scremin113@gmail.com

RESUMO

A profissão de catadores é extremamente vulnerável e exposta a muitos riscos em seu cotidiano, sendo essa situação agravada durante o período de pandemia de covid-19. Nesse contexto, o presente estudo visa elaborar um diagnóstico quanto às condições de trabalho e saúde dos catadores de materiais recicláveis no decorrer da pandemia, no município de Paranaguá, Paraná. Para tanto, realizou-se entrevista com 25 catadores vinculados a associações do município. Os dados foram obtidos por meio da aplicação de um questionário para avaliar as condições de trabalho e saúde desses trabalhadores. Com os resultados obtidos, foi possível elaborar um perfil dos catadores associados que atuaram no município em período pandêmico, observando as características dos profissionais e os riscos ocupacionais envolvidos. A predominância do sexo feminino trabalhando nas associações foi encontrada no estudo, assim como a discrepância dos rendimentos entre as associações, que foi intensificado após a pandemia. Sobre os acidentes de trabalho, 48% dos participantes relataram que haviam sofrido algum tipo de acidente, sendo a utilização incorreta dos equipamentos de proteção individual um fator relevante nesse resultado. Os procedimentos de segurança adotados durante a pandemia foram: higienização frequente das mãos com água e sabão, uso de máscara e uso de álcool 70%. Nesse cenário, 12% dos associados afirmaram que contraíram covid-19, ficando afastados do trabalho, em média, por 15 dias. No que se refere à saúde mental, 28% relataram que, durante o período da pandemia, era frequente a ocorrência de sentimentos que afetavam sua saúde emocional. Com a realização da pesquisa, pôde-se constatar a falta de agilidade do poder público na proposição de medidas que minimizassem o contágio dos catadores de materiais recicláveis durante a pandemia de covid-19. Também foi possível observar a necessidade de promover encontros entre os catadores para minimizar os riscos ocupacionais, bem como ampliar a divulgação da importância do trabalho desses profissionais, a fim de incentivar a sua valorização frente à sociedade. Devido à situação pandêmica ser uma realidade jamais vivenciada por essa geração, o estudo trouxe informações que podem ser utilizadas como subsídio para que os gestores municipais desenvolvam ações de melhoria das condições de trabalho e saúde dos catadores de materiais recicláveis.

Palavras-chave: Catadores de materiais recicláveis. Resíduos sólidos urbanos. Covid-19.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o consumismo são alguns dos fatores que intensificam o aumento desenfreado na produção de resíduos. Em 2022, foi estimado que a população brasileira gerou aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), dos quais 39% foram destinados inadequadamente (ABRELPE, 2022), fato responsável por diversos impactos ambientais e de saúde pública.

Para minimizar os impactos causados pelo gerenciamento inadequado dos RSU, destaca-se a Lei Federal nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada pelo decreto nº 10.936 (BRASIL, 2010, 2022). A PNRS apresenta princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos para a gestão integrada e gerenciamento dos resíduos sólidos. Esta legislação incentiva o descarte correto dos rejeitos em aterros sanitários, a reciclagem dos materiais, o manejo adequado dos resíduos, assim como a logística reversa a partir da responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010).

A PNRS estabelece a inclusão social e emancipação econômica de catadores de materiais recicláveis; a integração desses trabalhadores nas ações de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida produtivo e o incentivo para criação de cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis ou reutilizáveis (BRASIL, 2010).

Antes da regulamentação da PNRS, o município de Paranaguá-PR já instituía como obrigatória a separação, triagem e destinação final dos resíduos domiciliares, com todo resíduo proveniente da coleta seletiva, sendo destinado às associações de catadores de material reciclável, segundo a Lei Orgânica nº 3.021 (PARANAGUÁ, 2009).

Os catadores de materiais recicláveis fazem parte do grupo populacional de baixo poder socioeconômico, que reside em áreas vulneráveis e que, muitas vezes, exercem um trabalho em condições insalubres (ZOLNIKOV *et al.*, 2019). Ao passo que é um trabalho desgastante fisicamente, por exigir muito do corpo, surge a necessidade de prover sustento a sua família mesmo que estejam física e emocionalmente esgotados. Essa vulnerabilidade também é potencializada devido às condições de trabalho e saúde desses profissionais.

O material contaminado, o convívio com insetos e animais peçonhentos, as dores no corpo e a possibilidade de estar manipulando materiais cortantes ou contaminados são fatores que contribuem para essa atividade profissional ser arriscada e insalubre, demonstrando a necessidade de utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs) (BASSO; SILVA, 2020).

Outro fator importante a ser destacado consiste na destinação inadequada de resíduos que está atrelada a doenças infecciosas, seja por contato direto ou indireto com os resíduos (SIQUEIRA; MORAES, 2009). Em circunstâncias habituais, os catadores já enfrentavam problemas referentes a condições de trabalho e saúde, fato evidenciado durante o período de pandemia de covid-19. Nesse cenário, os resíduos gerados em residências com pacientes infectados com covid-19 são considerados resíduos de serviço de saúde (RSS), classificados como perigosos segundo a PNRS (BRASIL, 2010).

Segundo a Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA nº 04, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), os RSS provenientes de pacientes com covid-19 são enquadrados como de Risco 3, que inclui agentes biológicos com alto risco individual e moderado risco para a comunidade (BRASIL, 2020).

Essa nova realidade influenciou diretamente as condições de saúde dos catadores, os quais estavam expostos a materiais com potencial de transmissão do vírus, muitas vezes descartados inadequadamente junto dos recicláveis.

Nesse cenário, o presente estudo buscou relacionar as condições de saúde e trabalho dos catadores de materiais recicláveis, a fim de identificar como esses trabalhadores foram afetados durante a pandemia de covid-19 no município de Paranaguá-PR.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada com os catadores de materiais recicláveis que atuaram na triagem de resíduos durante o período de pandemia, no município de Paranaguá, estado do Paraná. O município conta com duas associações de catadores, sendo a Associação de Catadores de Material Reciclável da Vila Santa Maria (ASSEPAR) e a Associação de Coletores e Recicladores da Ilha dos Valadares (Nova Esperança).

A coleta de dados foi realizada no decorrer do ano de 2021 e contou com a participação de 25 catadores associados. Para tanto, foi utilizado um questionário sociodemográfico que abordava dados pessoais, perfil do profissional, saúde ocupacional e riscos ocupacionais, com foco no período pandêmico. O questionário foi adaptado de pesquisas realizadas por Machado (2016) e Silva (2017).

Os dados foram organizados, tabulados e analisados a partir da estatística descritiva. Dessa forma, foi possível avaliar o perfil desses trabalhadores, suas condições de trabalho e saúde.

Destaca-se que a pesquisa foi realizada após submissão e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UNICENTRO (COMEP), tendo como número do parecer: 4.464.822 e obedecendo às diretrizes éticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados, pode-se constatar que 76% dos participantes eram do sexo feminino, com média de idade de aproximadamente 37 anos e desvio padrão de aproximadamente 14 anos. Além disso, 44% relataram possuir ensino fundamental incompleto. Nas associações, a renda média era R\$880,00, com um desvio padrão de R\$330,40, sendo essa renda obtida a partir da distribuição de lucros pela venda dos materiais.

A predominância de mulheres atuando em associações e grau de escolaridade encontrado na pesquisa também é observada nos estudos de Moura *et al.* (2020) e Mandelli (2017). No presente estudo, a média de idade encontrou-se próximo da média nacional (IPEA, 2013). Além disso, os resultados demonstraram que os catadores associados possuíam renda média mensal acima do rendimento médio dos catadores no Brasil (IPEA, 2013).

Entre os participantes, o tempo médio que atuavam como catador de material reciclável era de 8,83 anos e o tempo médio vinculado às associações era de 5,29 anos. Quando questionados sobre o principal motivo para trabalhar com recicláveis, 36% relataram ser por necessidade, 36% como sendo a única oportunidade, 12% por ser uma profissão familiar e 8% para complementação da renda. O retorno financeiro vindo do trabalho com o reciclável foi avaliado como “bom” por 40% dos participantes, e considerado como uma “atividade vantajosa” por 52%. Em contrapartida, 44% dos participantes declararam como “ruim” o tratamento que recebem da sociedade. Segundo Oliveira (2011), por trabalhar com resíduo, essa classe é marginalizada e excluída da sociedade, sofrendo inúmeros preconceitos.

No que se refere à saúde ocupacional, 92% dos participantes relataram trabalhar em pé a maior parte do tempo. Ressalta-se que a utilização de EPIs é de grande importância para a prevenção de acidentes de trabalho, sendo que 84% sempre usam EPIs para realizar suas atividades e apenas 4% não utilizam, pois não veem necessidade ao trabalhar somente com as pesagens na balança e a parte administrativa. Os EPIs mais citados foram luvas (84%) e botinas (88%). Segundo 64% dos participantes, o fornecimento desses equipamentos era obtido, principalmente, a partir de doação de empresas parceiras da

região. Entre os participantes, 88% relataram que foram treinados ao serem admitidos nas associações e 68% disseram que este treinamento foi realizado pelos associados mais experientes.

Castilhos Junior *et al.* (2013) ressaltam que a não utilização ou a utilização incorreta dos EPIs pelos catadores pode resultar em acidentes de trabalho, na sua maioria, sendo cortes e arranhões devido ao descarte inadequado de materiais perfurocortantes com os resíduos recicláveis. Assim, pode-se afirmar que as respostas encontradas condizem com o exposto pelos autores, uma vez que 48% dos participantes relataram ter sofrido algum tipo de acidente de trabalho, sendo que cortes foi o maior percentual, com 41,6%. Nesse cenário, 84% informaram que a associação possui procedimento para atendimento em casos de acidentes.

Com relação à importância do uso dos EPIs, 52% relataram serem extremamente informados e 48% informados. Entretanto, mesmo afirmando saber, insistem em utilizar somente os que relacionam como mais importantes. Além disso, 60% disseram estar informados sobre os riscos de doenças e as medidas de segurança que devem ser adotadas no ambiente de trabalho.

No período de pandemia de covid-19, os trabalhos nas associações não foram suspensos no município de Paranaguá. Os participantes, em sua totalidade, observaram a diferença na quantidade de resíduos recebidos. Na associação Nova Esperança, todos os catadores notaram o aumento da quantidade de resíduos recebidos e a melhora na qualidade da segregação dos resíduos. Por sua vez, na ASSEPAR os associados responderam que a quantidade de resíduos recebidos diminuiu e a segregação permaneceu da mesma forma que era antes da pandemia. A alteração na quantidade de resíduos recebidos influenciou diretamente no rendimento dos associados, uma vez que a ASSEPAR relatou diminuição na renda e a associação Nova Esperança observou aumento de, aproximadamente, R\$750,00 na renda média dos catadores. Essa discrepância pode estar relacionada com o projeto “Ecotroca” realizado pela associação Nova Esperança, que contribuiu para o aumento na quantidade e qualidade dos resíduos recebidos, sendo este o único diferencial entre as duas associações.

Em cenário pandêmico, a utilização dos EPIs é indispensável. Assim, 92% afirmaram usar máscaras para a prevenção de contaminação por covid-19, sendo que 76% relataram ter adquirido por meio de doações. A maior parte dos participantes (68%) afirmou não ter recebido treinamento específico para realizar suas atividades durante esse período. Além disso, 68% afirmam ter tido contato com algum material potencialmente infectante.

Com relação à adoção de procedimentos diferenciados de segurança ocupacional, 96% dos participantes informaram que, durante a pandemia, a associação passou a realizar higienização frequente das mãos com água e sabão, uso de máscara e uso de álcool 70%. Outro ponto relevante na pesquisa refere-se aos casos confirmados de covid-19, em que 12% dos participantes afirmaram ter contraído covid-19, permanecendo afastados do trabalho, em média, por 15 dias. Azevedo *et al.* (2022) também observaram, em seu estudo, a ocorrência de casos de infecção por covid-19 nas organizações.

A importância da “quarentena” do material é demonstrada nos estudos de Doremalen *et al.* (2020) e Kampf *et al.* (2020). Nesse cenário, 52% dos participantes informaram que foi realizada a “quarentena” dos materiais. Contudo, destacaram que o aumento na quantidade de resíduos recebidos na associação foi o principal motivo para a execução desta prática.

A saúde mental durante o período da pandemia foi uma questão preocupante, uma vez que 28% relataram que era frequente a ocorrência de sentimentos que afetavam sua saúde emocional. Com relação à importância da continuidade de seu trabalho nesse período, 92% dos catadores informaram estar extremamente conscientes. Por fim, foi questionado sobre o reconhecimento da sociedade acerca da importância do trabalho dos catadores de materiais recicláveis após o período de pandemia, em que 48% concordaram que haverá maior reconhecimento.

Nesse cenário, é necessário ampliar a divulgação de informações referentes às atividades dos catadores, ressaltando a importância do apoio a esses profissionais, visto que suas atividades são fundamentais para a minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública. Também é primordial que se realize a qualificação dos catadores, a fim de assegurar sua proteção durante as atividades laborais e garantir condições dignas de trabalho, sobretudo em períodos de crises sanitárias, como o enfrentado durante a pandemia de covid-19.

4 CONCLUSÃO

Este estudo permitiu realizar o levantamento referente às condições de trabalho e saúde dos catadores de materiais recicláveis do município de Paranaguá-PR.

A predominância de mulheres nessa classe, que antes era vista como trabalho masculino, foi um dos fatores de destaque corroborando estudos recentes na área. Outro fator verificado na pesquisa foi em relação à incidência de acidentes de trabalho, podendo ser observada a insistência de não utilizar os EPIs recomendados.

Foi constatada também a falta de encontros promovidos para se discutir a saúde ocupacional dos participantes. Nesse sentido, devem ser realizados treinamentos periódicos para capacitação com todos associados, a fim de fomentar a segurança no ambiente de trabalho e a prevenção de doenças relacionadas às suas atividades laborais.

Já em relação ao período pandêmico, as condições de trabalho durante a covid-19 não mudaram a rotina dos catadores. Somente os protocolos de segurança foram alterados, sendo esses essenciais para reduzir a disseminação da covid-19 nas associações.

Nesse âmbito, constatou-se também a necessidade de promoção de políticas de educação ambiental na busca pela minimização dos riscos oriundos da segregação inadequada dos resíduos e para a promoção da importância do trabalho dos catadores de materiais recicláveis. Além disso, é fundamental que haja a elaboração de novas políticas públicas de incentivo, formalização e valorização destes profissionais que realizam serviços essenciais para a sociedade.

Diante dos resultados encontrados na pesquisa, pode-se concluir que a falta de agilidade do poder público ao propor medidas que minimizassem o contágio dos trabalhadores envolvidos na gestão de resíduos contribuiu para exposição desses profissionais aos riscos oriundos da covid-19. Assim, espera-se que estudos dessa natureza possam trazer subsídios para auxiliar na implantação de melhorias nas condições de trabalho e saúde dos catadores de materiais recicláveis.

AGRADECIMENTOS

Aos catadores da Associação de Catadores de Material Reciclável da Vila Santa Maria e da Associação de Coletores e Recicladores da Ilha dos Valadares por colaborarem com a realização da pesquisa.

WORKING AND HEALTH CONDITIONS OF RECYCLABLE MATERIAL COLLECTORS DURING THE COVID-19 PANDEMIC IN PARANAGUÁ-PARANÁ

ABSTRACT: The profession of waste pickers is extremely vulnerable and exposed to many risks in their daily lives, and this situation was aggravated during the period of the covid-19 pandemic. In this context, the present study aims to develop a diagnosis

regarding the working and health conditions of recyclable material collectors during the pandemic, in the municipality of Paranaguá, Paraná. For that, an interview was carried out with 25 collectors linked to associations in the municipality. Data were obtained through the application of a questionnaire to assess the working and health conditions of these workers. With the results obtained, it was possible to elaborate a profile of the associated collectors who worked in the municipality during the pandemic period, observing the characteristics of the professionals and the occupational risks involved. The predominance of females working in associations were found in the study, as well as the discrepancy in income between associations, which was intensified after the pandemic. Regarding accidents at work, 48% of the participants reported that they had suffered some type of accident, with the incorrect use of personal protective equipment being a relevant factor in this result. The safety procedures adopted during the pandemic were: frequent hand hygiene with soap and water, the use of a mask, and the use of 70% alcohol. In this scenario, 12% of associates stated that they contracted covid-19, being away from work, on average, for 15 days. Regarding mental health, 28% reported that, during the pandemic period, feelings that affected their emotional health were frequent. With the completion of the research, it was possible to verify the lack of agility of the public power in proposing measures that would minimize the contagion of recyclable material collectors during the covid-19 pandemic, it was also possible to observe the need to promote meetings between collectors to minimize occupational risks, as well as to expand the dissemination of the importance of the work of these professionals to encourage their appreciation in society. Due to the pandemic situation being a reality never experienced by this generation, the study brought information that can be used as a subsidy for municipal managers to develop actions to improve the working conditions and health of recyclable material collectors.

Keywords: Recyclable material collectors. Urban solid waste. Covid-19.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022.
- AZEVEDO, A. M. M. *et al.* Impactos da covid-19 sobre catadores de materiais recicláveis organizados no estado de São Paulo. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022.

BASSO, C.; SILVA, I. M. M. “Já me acostumei“: interfaces entre trabalho, corpo e saúde de catadores de materiais recicláveis. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 18, n. 3, 2020.

BRASIL. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA nº 04, de 27 de outubro de 2020. **Orientações para serviços de saúde:** medidas de prevenção e controle que devem ser adotadas durante a assistência aos casos suspeitos ou confirmados de infecção pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2). Disponível em: https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/wpcontent/uploads/2021/03/NOTA-TECNICA-GVIMS_GGTES_ANVISA-04_2020-25.02-para-o-site-1.pdf. Acesso em: 22 jul. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 12 jan. 2022.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. *et al.* Catadores de materiais recicláveis: análise das condições de trabalho e infraestrutura operacional no Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3115-3124, 2013.

DOREMALEN, N. *et al.* Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **N. Engl. J. Med.**, letters 17 jan. 2020.

IPEA – Instituto de Pesquisa Aplicada. **Situação social das catadoras e dos catadores de material reciclável e reutilizável:** Brasil. Brasília: Ipea, 2013.

KAMPF, G. *et al.* Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. **The Journal of Hospital Infection**, v. 104, n. 3, 2020.

MACHADO, D. M. R. **A importância dos equipamentos de proteção individual para catadores de materiais recicláveis em uma associação de catadores no estado do Paraná.** 2016. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MANDELLI, M. C. C. **Condições de trabalho e morbidade referida para distúrbios osteomusculares em catadores de materiais recicláveis.** 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MOURA, R. R. *et al.* O catador de materiais recicláveis no município de Ponta Grossa, Paraná: perspectivas e necessidade de intervenção numa sociedade desigual. **Revista Desenvolvimento Social**, v. 26, n. 2, 2020.

OLIVEIRA, D. A. M. **Percepção de riscos ocupacionais em catadores de materiais recicláveis**: estudo em uma cooperativa em Salvador- Bahia. 2011. 175 f. Dissertação (Mestrado em Saúde, Ambiente e Trabalho) – Faculdade de Medicina da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

PARANAGUÁ. Lei nº 3021, de 07 de dezembro de 2009. Institui a obrigatoriedade da separação e destinação final dos resíduos sólidos domiciliares no município de Paranaguá e dá outras providências. Paranaguá, **Câmara Municipal**, 2009.

SILVA, T. M. **Desafios e oportunidades dos catadores de materiais recicláveis na Amazônia**: um olhar com base na ferramenta UCINET em Guajará-Mirim/Rondônia. 2017. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Guajará-Mirim, 2017.

SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. Urban solid residues, garbage collectors and public health. **Ciência & saúde coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2115–2122, 2009.

ZOLNIKOV, T. R. *et al.* Ineffective waste site closures in Brazil: A systematic review on continuing health conditions and occupational hazards of waste collectors. **Waste Management**, v. 80, p. 26–39, 2018.

Publique com a gente e
compartilhe o conhecimento



www.letraria.net

