

CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE

**REMOÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SISTEMAS
AQUÁTICOS UTILIZANDO NANOBIOHCAR PRODUZIDO A PARTIR DE
BIOMASSA**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Química, Araraquara.

Supervisor: Prof. Dr. André Henrique
Rosa

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES
Programa Capes-PrInt - Nº do Processo 88887.310463/2018-00
mobilidade nº 88887.892017/2023-00

Araraquara
2025

RELATÓRIO CIENTÍFICO REFERENTE À BOLSA DE PÓS-DOCTORADO CAPES-PRINT-UNESP

Remoção de metais potencialmente tóxicos em sistemas aquáticos utilizando nanobiochar produzido a partir de biomassa

BENEFICIÁRIA

Dra. Cláudia Hitomi Watanabe Rezende – Engenharia Ambiental e Doutora em Ciências Ambientais/Unesp-Sorocaba em co-tutela com o *Institut de Physique du Globe de Paris* (IPGP), Paris, França

SUPERVISOR

Prof. Dr. André Henrique Rosa – Pesquisador IB do CNPq e Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental, Unesp, Sorocaba-SP

Sub-área como parecerista: 1.06.04.07-3 Análise de Traços e Química Ambiental

EXECUÇÃO

Local: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, ICT-Unesp, Sorocaba-SP

Período: 01/11/2023 – 31/10/2024

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS (2023 - 2024)

1. Produção acadêmica – Anexo 1

Artigos publicados, submetidos e em preparação:

SALAS, A.P.S.; **WATANABE, CH.**; RANGEL, E.C.; ANTUNES, MLP.; ROSA, AH. Plasma-engineered sugarcane bagasse: A novel strategy for efficient 1 mercury removal from aqueous solutions. Environ Sci Pollut Res 31, 65606–65626. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35585-9>

KAMIMURA, C.O.; MANCINI, S.D.; GIANELLI, B.F.; de SOUZA, R.G.; MEDEIROS, G.A.; **WATANABE, C.H.** Comparação ambiental de duas embalagens usando ACV: estudo de caso. DELOS, Curitiba, v.17, n.62, p. 01-27, 2024 <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n62-011>

WATANABE, CH.; DOMINGOS, RIF., BENEDETTI, MF.; ROSA, AH. (*Submetido*). Ecotoxicity of silver nanoparticles in the presence of natural organic matter: exposure waterborne and dietborne simple food chain algae-microcrustacean. Aquatic Toxicology. 31 out. 2024.

SHIRINKAR, M; **WATANABE, CH.**; ROSA, AH. (*Submetido*). Application of environmental modeling to assess the potential risk of toxic metals on exposure to human health and present in sediment samples. Manuscript ID: 51d1b4a1-e4b9-44ee-be4e-9a043baa33e1 v1.0

MACEDO, JCA.; **WATANABE, CH.**; LANDERS, R.; ROSA, AH. (*Submetido*). Converting biomass waste: a novel biochar catalyst for enhanced levulinic acid conversion using formic acid as a hydrogen source. Manuscript Number: SUSCP-D-24-01873.

WATANABE, CH.; SHIRINKAR, M; BUENO, C.C.; ROSA, AH. (*Em preparação*). Biochar as alternative to reuse of waste and management of lands contaminated by metals and emerging compounds: An overview

2. Participação em Eventos Científicos – Anexo 2

IX Workshop Integração de Saberes Ambientais: Cidades Inteligentes e Sustentáveis, realizado no período de 02/10/2024 a 04/10/2024, no Parque Tecnológico de Sorocaba, Sorocaba (*Participação e Avaliação*)

IX Workshop Integração de Saberes Ambientais: Cidades Inteligentes e Sustentáveis, realizado no período de 02/10/2024 a 04/10/2024, no Parque Tecnológico de Sorocaba. Palestrante do evento ministrando a Mesa-redonda intitulada Debate - Mulheres na Ciência (Palestrante)

XXXVI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, realizado no dia 15 de outubro de 2024 (*Avaliador*).

2nd Brazilian Symposium on Nanotechnology Engineering (II Siben), held from September 30 to October 4, 2024, with a total workload of 50 hours (*Participação*).

3. Trabalhos apresentados em eventos – Anexo 3

BERSI, J.A. **WATANABE, CH.**, ROSA, AH.; ANTUNES, MLP. Uso de biocarvão produzido a partir de casca de eucalipto para crescimento de plantas. XXXVII Congresso de Iniciação Científica da UNESP, realizado no dia 15 de outubro de 2024.

VERONEZ, R.C.; LOBAS, PAB.; **WATANABE, CH.**; ROSA, AH. Reaproveitamento de resíduos para produção de nano fertilizantes para liberação lenta de macronutrientes para plantas. XXXVI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, realizado no dia 15 de outubro de 2024.

BERSI, J.A. **WATANABE, CH.**, ROSA, AH.; ANTUNES, MLP. Uso de biocarvão produzido a partir de casca de eucalipto para crescimento de plantas. 21º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, realizado entre os dias 22 a 25 de outubro de 2024

4. Atividades acadêmicas – Anexo 4

Disciplina Tópicos Especiais em Toxicologia Ambiental - (4 créditos) Programa de Pós-Graduação em Química (SPG-IQ-Unesp Araraquara). Responsáveis: Prof. Dr. André Henrique Rosa e Profa. Dra. Cláudia Hitomi Watanabe Rezende. Período: 12/08 a 23/08/2024.

Co-orientação Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – ICT Sorocaba (2023 – atual)

Título da Tese: *Removing heavy metals by (nano) biochar in water systems*

Doutorando: Maryam Shirinkar

Orientador: Prof. Dr. André Henrique Rosa

Co-orientador: Dra. Cláudia Hitomi Watanabe Rezende

Orientação de TCC – Juliane Araújo Bersi

Juliane Araújo Bersi. Defesa: 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Título: Aplicabilidade de biochar no âmbito da engenharia ambiental. (Orientador).

Orientação de TCC - Miguel Caetano Vargem

Miguel Caetano Vargem. Defesa: 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Título: Identificação de áreas susceptíveis a inundações no município de Sorocaba utilizando GIS e análise multicritério. (Orientador).

Orientação de TCC – João Portas Carbonari

João Portas Carbonari. Defesa: 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Título: Estudo de emissões geradas pelo deslocamento de profissionais autônomos através de dados estatísticos. (Orientador).

Minicurso intitulado: Curso de Educadores Ambientais. 2024. (Palestrante) realizado pela Rede de Educação Ambiental da UNESP Sorocaba de 02 a 05 de setembro de 2024 no Instituto de Ciência e Tecnologia – Campus de Sorocaba. Carga horária: 10 horas.

Palestra *Pint of Science* Brasil intitulada “Do lixo ao luxo: material natural residual é matéria-prima usada na recuperação/ remediação do meio ambiente”, ocorrida em Sorocaba no dia 15 de maio de 2024. Carga horária: 4 horas (*Palestrante*)

Banca de TCC - Miguel Caetano Vargem

Miguel Caetano Vargem. Defesa: 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Título: Identificação de áreas susceptíveis a inundações no município de Sorocaba utilizando GIS e análise multicritério. (Presidente da Banca).

Banca de Mestrado – Henzo Henrique Simionatto

Henzo Henrique Simionatto. Defesa: 2023. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curso de Mestrado Acadêmico. UNESP Ilha Solteira. Título: Diagnóstico da qualidade da água da microbacia hidrográfica do Córrego do Galante no oeste paulista (Participação em Banca).

Atividades desenvolvidas conforme cronograma de execução proposto no projeto

Atividade	Bimestre					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Revisão bibliográfica	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coleta e preparo dos substratos	✓	✓				
Preparação das amostras de nanobiochar	✓	✓				
Caracterização do biochar e nanobiochar		✓	✓	✓		
Otimização e preparo das esferas poliméricas (Alginato-nanobiochar-nutrientes)		✓	✓	✓		
Caracterização das microesferas poliméricas			✓	✓		
Ensaio de Sorção - microesferas			✓	✓	✗	
Produção e ensaios de sorção - nanocompósitos					✓	✓
Análises dos resultados		✓	✓	✓	✓	✓
Docência na Pós-graduação			✗	✗	✓	
Orientação/ co-orientação					✓	✓
Redação/ submissão de artigos, Eventos			✓	✓	✓	✓
Relatório Final					✓	✓

Status da atividade:

✓ – Programada e desenvolvida.

✓ - Não programada, porém desenvolvida.

✗ – Não desenvolvida.

Justificativas das atividades diferentes do cronograma inicial

✓* Docência na Pós-graduação: disciplina ministrada no bimestre subsequente ao programado.

Atividade: **Produção e ensaios de sorção – nanocompósitos**: devido à baixa eficiência na remoção de metais com esferas de alginato, foram produzidos outros materiais a base de biochar (nanocompósitos).

✗ - Ensaio de Sorção – microesferas: redução dos experimentos de adsorção com microesferas para testes de adsorção com nanocompósitos a base de biochar.

Comentários do supervisor

No período a Dra. Cláudia Hitomi Watanabe apresentou um excelente desempenho durante seu estágio de PD. No período teve dois artigos publicados. Além disso, submeteu um terceiro artigo e está na fase final de redação de um quarto artigo a ser submetido até o começo do ano de 2025. Participou de eventos científicos com apresentação de trabalhos. Atuou na Co-orientação de uma Tese de doutorado (em andamento) com qualificação ocorrida em 10/12/2024 e 3 Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) do curso de graduação de Engenharia Ambiental da UNESP Sorocaba. Desta forma, diante de seu comprometimento e contribuição às atividades do grupo de pesquisa, aprovo o relatório apresentado pela Dra. Cláudia Watanabe.

RESUMO

Na presente pesquisa, focamos em desenvolvimentos relacionados à remoção de metais pesados e outros contaminantes da água utilizando (nano)biochar. Neste contexto, o presente projeto propôs a preparação, caracterização e avaliação do desempenho de microesferas poliméricas de alginato contendo nanobiochar e produção de nanocompósitos a base de biochar para remover metais potencialmente tóxicos em águas residuais. Assim, utilizando-se como fonte de biomassa, o bagaço de cana-de-açúcar foi termicamente modificado em várias temperaturas (400 - 700°C) para produzir nano biochar. As microesferas foram preparadas variando-se a temperatura de biomassa/biochar (100, 400, 550, 700), com a finalidade de favorecer a remoção dos metais potencialmente tóxicos. Os nanocompósitos de biochar foram obtidos a partir de TiO_2 , $\text{Co}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$, MOF-MIL(Fe). O nano biochar, as microesferas e nanocompósitos foram caracterizados usando as técnicas de ponto de carga zero (ZPC), e microscopia eletrônica de varredura (SEM). Para avaliação da remoção dos materiais obtidos à base de biochar utilizou-se a técnica de Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Os dados experimentais mostram que o composto de nano bagaço de cana-de-açúcar sintético pode remover quantitativamente os íons metálicos da água sendo os nanocompósitos uma alternativa melhor, frente aos resultados de remoção com microesferas produzidas. Pode-se concluir que o adsorvente sintetizado pode ser usado para remoção de metais pesados de água e/ou águas residuais como uma das etapas de tratamento em estações de tratamento. Os resultados das análises de caracterização e experimento de adsorção mostraram que os nanocompósitos de biochar pode ser usado como um adsorvente promissor.

1. Introdução e Justificativa

As diferentes atividades econômicas e o crescimento populacional têm levado a um aumento exponencial dos resíduos gerados nas últimas décadas, em decorrência das atividades da agricultura, urbana e industrial. Por esse motivo, cresce o interesse e a necessidade de se buscar alternativas para a reutilização ou transformação desses resíduos em produtos de maior valor agregado, o que necessita de pesquisas com uma abordagem multidisciplinar.

A biomassa representa uma fonte renovável de energia e é definida como sendo a matéria orgânica derivada de plantas, animais e subprodutos gerados no processamento ou no descarte de materiais. Esta definição está especialmente relacionada a resíduos advindos de atividades agrícolas, pecuária e floresta, além de subprodutos das indústrias de processamento de alimentos e madeira (Adrados *et al.*, 2013; He *et al.* 2022). Comumente, os resíduos derivados da biomassa não são utilizados de maneira adequada ou mesmo descartados indevidamente, sendo importante e recomendável que se utilize tais resíduos de forma mais eficiente de modo que possam ser inseridos no ciclo dos sistemas de produção agrícola, tornando-as sustentáveis e eficientes.

Uma possibilidade de transformação desses resíduos em produtos com valores agregados e destinados a serviços ambientais, é a conversão termoquímica. A conversão termoquímica, também conhecida como pirólise, é uma ferramenta para a transformação de resíduos orgânicos e está sendo consolidada globalmente como uma tecnologia economicamente viável para reaproveitamento total de resíduos agrícolas, visto que são produzidos três principais produtos de interesse comercial:

carvão sólido, bio óleo e gás de síntese (*syngas*) (Sekar et al. 2021). O produto sólido gerado dentro do processo de pirólise é um resíduo carbonáceo e incombusto denominado de char. Logo, o biochar é um material sólido rico em carbono produzido pela decomposição térmica da matéria orgânica/biomassa, sendo também uma forma estável de carbono de resíduos orgânicos (Zhao et al. 2022).

Nos últimos anos, os biochars têm despertado muita atenção em aplicações ambientais e agrícolas como materiais ecológicos eficientes e versáteis (ABIVEN et al., 2014; Lehmann et al., 2011; Zhao et al. 2022). O biochar é um material multifuncional que pode ser empregado, principalmente, como um condicionante de solo para imobilizar metais, aumentar a resistência pedológica à seca, para fertilizar e recuperar solos, sobretudo por intermédio do aumento do pH do solo, principalmente devido à sua elevada capacidade de retenção de água (Schmidt, 2012; Chang et al. 2021). Dependendo da biomassa de origem o biochar pode ser fonte de nutrientes, como fósforo, cálcio e manganês, sendo que em alguns casos diminui a mineralização de nitrogênio no solo. Sabe-se também que uma vez aplicado ao solo, o biochar é capaz de aumentar o rendimento das culturas (Zhara et al. 2022), bem como capaz de desdobrar plenamente a sua função como reserva de nutrientes e estabilizadores húmus, por intermédio da criação de complexos char-argila-húmus (Schmidt, 2012).

Recentemente, pesquisas têm demonstrado que biochar em escala nanométrica, denominados de nanobiochar, possuem propriedades ainda mais interessantes com vistas a aplicações na agricultura, como condicionante de solo, melhoramento, proteção e aumento do rendimento da colheita, tolerância ao estresse e até mesmo utilização na remediação de áreas contaminadas (Ramanayaka et al.; Lian et al., 2020; Zahra et al., 2022). No entanto, são poucos os estudos disponíveis

na literatura sobre esse assunto, especialmente no Brasil, e muitas pesquisas necessitam de desenvolvimento.

Além do reaproveitamento de resíduos, outro aspecto importante no contexto dessa proposta refere-se ao constante desafio da remediação de áreas contaminadas, seja na água, solo, ar e suas interfaces. Neste contexto, a tecnologia de sistemas com o uso de microesferas poliméricas tem sido investigada ao longo dos anos, tais como: sistemas de esferas e filmes poliméricos (Wu, 2012; Zhao et al. 2010; Fontana et al., 2010), lipossomas (Kono et al., 2002), microesferas formadas por materiais orgânicos biodegradáveis (Soppimath et al., 2001), hidrogéis (Pourjavadi et al., 2012), e ciclodextrinas (Ciobanu et al., 2013).

Assim, levando em consideração os aspectos mencionados, o nanobiochar aparece como uma possibilidade viável e acessível para a melhoria da qualidade de águas residuárias de forma sustentável, já que este apresenta a possibilidade de reaproveitamento de resíduos da produção agrícola, aliado ao potencial de remoção de contaminantes.

2. Objetivos

O objetivo deste projeto é utilizar resíduos provenientes da agricultura para gerar sistema de biocarvão, capaz de reduzir a poluição dos sistemas aquáticos com foco na remoção de metais potencialmente tóxicos.

Objetivos específicos

- Produzir biochar à partir de resíduos vegetais de cana-de-açúcar (BSC);

- Produzir e caracterizar microesferas poliméricas (Alginato-nanobiochar);
- Preparar compósitos de biochar/nanopartículas à base de cana-de-açúcar (BC/TiO₂, BC/CoFe₂O₄, BC/TiO₂-CoFe₂O₄, BC/MOF (FeCl₃) e BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄);
- Caracterizar biochars, microesferas e compósitos de biochar/nanopartículas à base de cana-de-açúcar usando FTIR, SEM e EDX;
- Testar a eficiência da adsorção de microesferas e compósitos de biochar/nanopartículas à base de cana-de-açúcar para metais potencialmente tóxicos.

3. Material e métodos

Para alcançar os objetivos propostos, foram necessárias etapas resumidamente descritas nas subseções eu seguem.

3.1 Preparação do nanobiochar

A produção do biochar (Figura 1), foi realizada pelo processo de pirólise de cerca de 400,0 g de resíduos do processamento de cana-de-açúcar (bagaço) obtidos de uma usina de beneficiamento de cana-de-açúcar, em um forno mufla sob diferentes temperaturas de 400, 550 e 700°C por 2 horas em um ambiente de nitrogênio (vazão de 1,0 m³/hora). Após o resfriamento do forno, o biochar foi retirado do reator e pesado para estimativa do rendimento da produção. A obtenção do nanobiochar foi feita com base nas metodologias recomendadas por Li *et al.* (2017) e Liu *et al.* (2018) que consistem na moagem do biochar obtido por pirólise utilizando-se moedor de facas (Cadence). Os coloides de biocarvão resultantes foram suspensos em água e por metanol por um período de 24 horas, para sedimentação das partículas maiores, e a suspensão restante contendo o nanobiochar centrifugada e separada. Devido a

necessidade de muitas etapas para processo de obtenção do nanobiochar, e a pequena fração observada ao longo do processo de obtenção do mesmo (cerca de < 1%), aos experimentos foram utilizados apenas biochar moído (contendo nanobiochar).

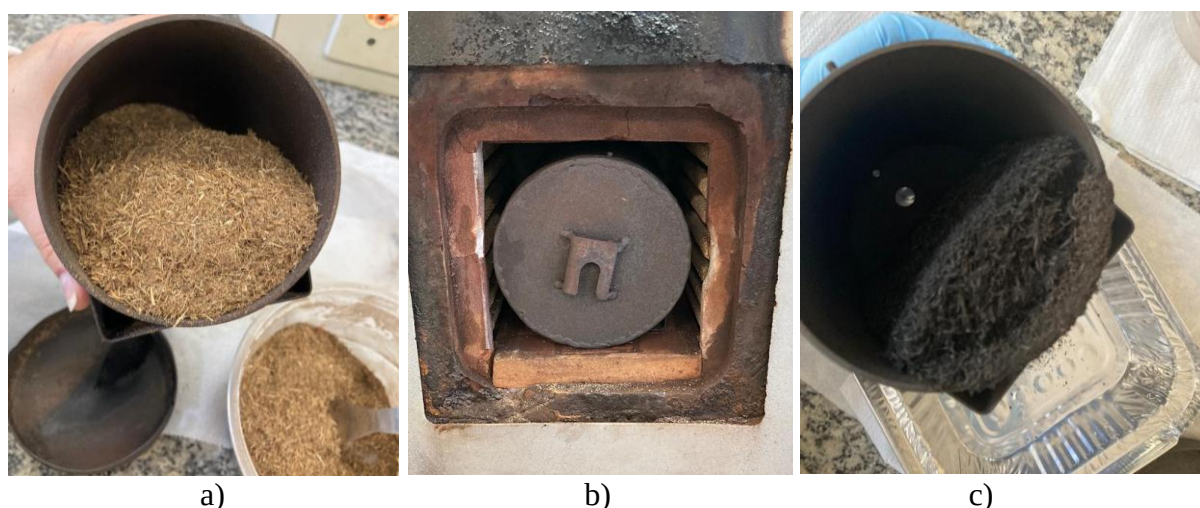


Figura 1 – Preparação de biochar de bagaço de cana-de-açúcar (BM) com as etapas de a) inserção de BM no reator; b) reator contendo amostra dentro do forno mufla e c) biochar produzido.

3.2 Preparação das esferas poliméricas (Alginato-biochar)

Microesferas poliméricas foram preparadas na presença e ausência de biochar obtido para avaliar a eficiência de remoção de compostos inorgânicos em sistemas aquosos, utilizando metodologias adaptadas/otimizadas de Bashan *et al.* (2002) e Chen *et al.* (2012), conforme a Figura 2. Para isto, alginato de sódio (na proporção 1 % m/m) foi dissolvido água ultrapura e mantido a temperatura ambiente, sob agitação por uma hora. Em seguida, foi adicionado biochar moído (na proporção 0,5 % m/m) mantendo-se a mistura sob agitação magnética por mais uma hora. Quando a microesfera obtida não continha biochar/ biomassa, a solução era submetida sob agitação por cerca de 2 horas.

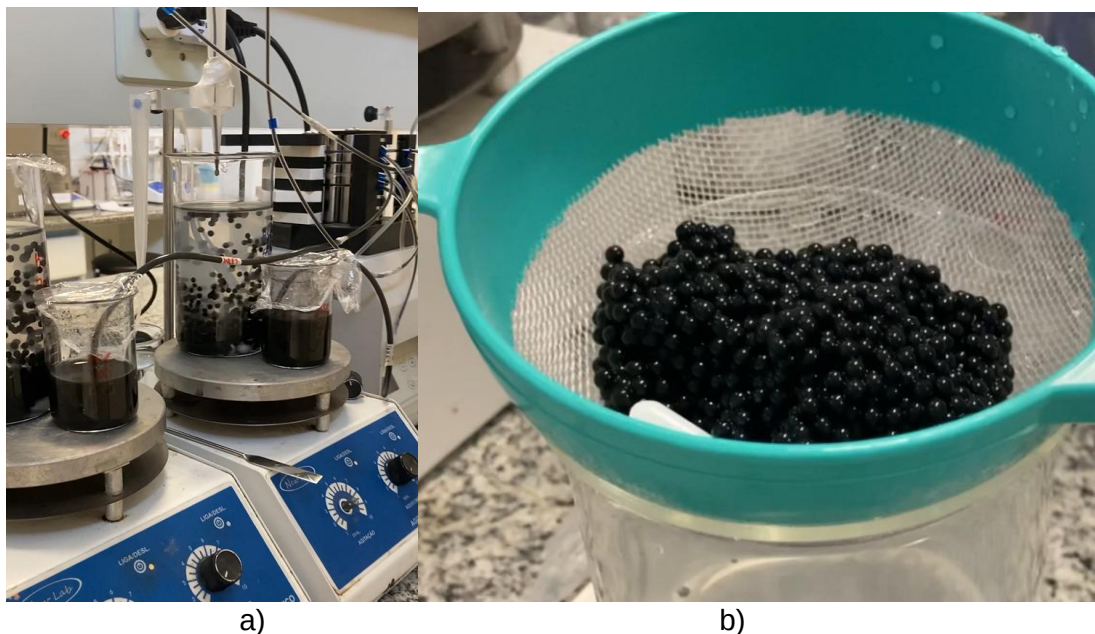


Figura 2 – Preparação de esferas de alginato contendo biochar. a) sistema de produção de esferas. b) microesferas de biochar após lavagem.

Após decorrido o tempo, a suspensão obtida foi adicionada gota a gota na vazão de 5 mL min^{-1} utilizando-se bomba peristáltica, em solução de CaCl_2 (2%, m/m) para obtenção das esferas poliméricas contendo biochar e os nutrientes. As esferas foram lavadas com água ultrapura, filtradas em peneiras de 0,25 mm, pesadas para a obtenção de rendimento e armazenadas a 4°C (refrigeradas por até 2 meses) para posterior caracterização e ensaios de liberação. Os reagentes e materiais utilizados na preparação das microesferas foram previamente lavados com água deionizada.

3.3. Preparação de nanocompósitos a base de biochar

Tetra isopropóxido de titânio (TTIP), etanol, ácido cítrico, nitrato de cobalto (II) hexa-hidratado, hidrato de ferro (III) nona-hidratado, ácido clorídrico (HCl) e N,N-dimetilformamida (DMF), cloreto de ferro (III) hexa-hidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Sigma

Aldrich), TiO_2 industrializado e ácido 1,4-benzenodicarboxílico (H_2BDC) foram trazidos da Sigma-Aldrich Chemicals com pureza $\geq 99\%$. Solução padrão multielementar contendo Cd, Pb e As a 1000 ppm foi adquirida da Quimlab no Brasil.

3.3.1 Biochar-Dióxido de titânio (BC/ TiO_2)

O procedimento para a preparação do compósito BC/ TiO_2 foi uma versão modificada de Alomairy et al. (2023). 0,1 g de BC e 0,5 M de HCl foram misturados em um béquer de 100 mL sob agitação magnética constante por cerca de 1 hora. Depois disso, em outro béquer de 100 mL, 0,9 g de TiO_2 (forma industrializada) foi cuidadosamente difundido em 50 mL de água ultrapura e colocado sob agitação magnética contínua por 30 minutos. As misturas dos dois béqueres foram combinadas em outro béquer de 100 mL e ultrassônicas a uma frequência de 40 kHz a uma temperatura de 40°C por 1 hora. A mistura foi centrifugada a 3500 rpm por 20 minutos para separar o conteúdo líquido do material sólido. Após a decantação, o resíduo foi lavado com água ultrapura e o processo de centrifugação foi repetido. O processo de limpeza foi repetido duas vezes antes da desidratação do material a 65°C por 24 h. O BC/ TiO_2 obtido foi imediatamente colocado em um dessecador e deixado durante a noite para evitar a absorção de umidade durante o processo de resfriamento.

3.3.2 Biochar / Ferro cobalto (BC/ CoFe_2O_4)

O processo usado para a preparação de BC/ CoFe_2O_4 envolveu a síntese inicial de CoFe_2O_4 pelo método sol-gel (Alomairy et al., 2023). Neste procedimento, 0,873 g de hexahidrato de nitrato de cobalto (II), 2,42 g de nonahidrato de nitrato férrico e 1,73 g de ácido cítrico foram dissolvidos separadamente em 30 mL de água

não ultrapura para formar 0,1 M de hexahidrato de nitrato de cobalto (II), 0,2 M de nonahidrato de nitrato férrico e 0,3 M de ácido cítrico, respectivamente. As três soluções foram cuidadosamente misturadas em um béquer de 100 mL e agitadas continuamente em uma placa quente ajustada a 80°C até que o gel fosse observado. O produto de gel resultante foi seco em estufa a 120°C e então calcinado a 600°C para obter CoFe₂O₄.

O composto BC/CoFe₂O₄ foi preparado usando um método semelhante ao BC/TiO₂ na seção 3.3.1. com a substituição do TiO₂ pelo CoFe₂O₄ sintetizado.

3.3.3. Biochar/Óxido de titânio-Ferita de cobre (BC/TiO₂-CoFe₂O₄)

O núcleo-casca de TiO₂/CoFe₂O₄ foi inicialmente sintetizado seguindo o procedimento de gel de citrato, conforme documentado por Alomairy et al. (2023) em uma versão modificada. TiO₂ e CoFe₂O₄ (1:1 p/p) foram dissolvidos em etanol de alta qualidade. Isso foi seguido por centrifugação a 3500 rpm por 20 minutos e subsequentemente secagem a 65°C por 24 horas e antes da calcinação final a 600°C por 2 horas. O núcleo-casca de TiO₂-CoFe₂O₄ resultante foi armazenado em um dessecador contendo hidróxido de cálcio por 24 horas.

O BC/TiO₂-CoFe₂O₄ foi preparado a partir do seguinte procedimento. Primeiro, 0,1 g de BC foi adicionado ao 0,5 M de HCl em um béquer de 100 mL. A mistura foi colocada sob agitação magnética contínua a 600 rpm por 1 hora. Em outro béquer de 100 mL, uma solução de TiO₂/CoFe₂O₄ foi feita dissolvendo 0,9 g de TiO₂/CoFe₂O₄ em 50 mL de água ultrapura com agitação consistente continuamente por 30 minutos. As duas soluções foram cuidadosamente misturadas em outro béquer de 100 mL, antes da sonicação (frequência = 40 kHz; temperatura = 40°C) por 2 horas. A solução

resultante foi centrifugada a 3500 rpm por 20 minutos. Isso foi seguido por lavagem em água ultrapura e centrifugação subsequente em dois círculos. O produto obtido foi decantado e o resíduo foi seco em estufa a 65°C.

3.3.4 Biochar/estrutura metal-orgânica -Fe (BC/MOF-MIL (Fe))

BC/MOF (FeCl₃) foi preparado seguindo o relatório da versão modificada de Mazarji et al. (2022). 0,05 g de BC foi misturado com 30 mL de N, N-dimetilformamida (DMF) por 24 horas. Depois disso, 1,3 g de cloreto de ferro (III) hexa-hidratado (FeCl₃.6H₂O) foi adicionado à mistura seguido pela adição de 0,41 g de ácido 1,4-benzenodicarboxílico. Esta mistura foi ultrassônica e posteriormente autoclavada a 100°C por 2 horas. Após resfriar por cerca de 30 minutos, a solução foi centrifugada (a 3500 rpm) e posteriormente lavada com água ultrapura (×2) e etanol (×2). Após repetir os processos de centrifugação-lavagem duas vezes, o material resultante foi decantado, e o resíduo foi seco em estufa por 24 horas.

3.3.5 Biochar/estrutura metal-orgânica-Óxido de titânio-Ferro cobalto (BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄))

BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄) foi preparado usando o procedimento na seção 3.3.4, mas com a substituição de FeCl₃ por nanocompósito TiO₂-CoFe₂O₄.

3.4 Caracterização do nanobiochar e esferas poliméricas

3.4.1 Determinação granulométrica de biomassa e biochar

O processo de obtenção das frações de biochar foi realizado conforme Norma Técnica da EMBRAPA – Métodos de determinação gravimétrica do solo, adaptado para biochar. Neste processo a biomassa, biochar e biochar moído foram submetidos a agitação utilizando agitador (marca Solab), por um período de 5 minutos e mesa específica para a determinação granulométrica. Desta maneira, cada biomassa, casca de eucalipto e bagaço de cana foram secas em estufa a 100 °C por um período de 24 horas e submetidas ao processo de peneiramento utilizando-se um conjunto de 7 bandejas além de tampa e fundo adequados para o procedimento. Sendo assim os materiais foram fracionados em peneiras com os tamanhos: 4,75 mm, 2 mm, 1,18 mm, 0,425 mm, 0,180 mm, 0,150 mm, 0,075 mm. A Figura 3 apresenta imagens dos materiais fracionados durante o processo de determinação granulométrica.

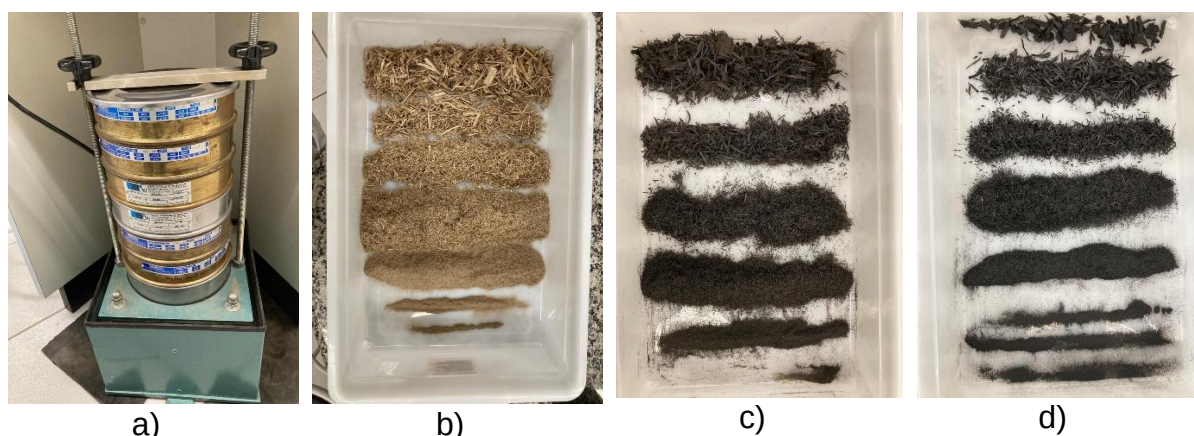


Figura 3 – Etapas para a determinação granulométrica de biomassa (BM) e biochar (BC). a) sistema de peneiras e frações de b) BM c) BC400 e d) BC700 após processo de peneiramento.

3.4.2 Ponto de carga zero (ZPC)

O Ponto de carga zero (do inglês *Zero Point Charge*, ZPC) Figura 4, representa valores de pH nos quais um ou mais dos componentes de superfície zeram. O ponto de carga zero de um material varia de acordo com a formação de complexos com cátions na superfície aumentando o PCZ, enquanto a formação de complexos com

ânions decresce o PCZ. Dessa forma, a partir do PCZ é possível definir a predominância da carga superficial do adsorvente. Deste modo, será utilizada metodologia proposta por Silva *et al.* (2011) para determinação da carga superficial dos materiais produzidos onde adiciona-se 0,5 g de material à 50 mL de solução de NaCl 0,01M em diferentes pHs (2, 4, 6, 8, 10 e 12), solução este ajustada com o auxílio de soluções de NaOH (0,1M) e HCl (0,1M). Do mesmo modo que para o nanobiochar, para caracterização das microesferas, serão realizados procedimentos de obtenção do ZPC das microesferas produzidas para identificação de carga superficial do material, em comparação ao sistema nanobiochar e nanobiochar e nutrientes incorporados (Silva *et al.*, 2011).



Figura 4 – Amostras de BM e BM encapsuladas distribuídas em erlenmeyers para determinação de potencial de carga zero.

3.4.3 Tamanho das esferas produzidas

Para determinação do tamanho das esferas utilizou-se o paquímetro. Foram medidos os diâmetros de um conjunto de 10 unidades de microesferas produzidas, para cada tratamento: ALG, BSC400, BSC550, BSC700.

3.5 Ensaios de adsorção com microesferas

Para os experimentos de adsorção 2,0 g de microesferas em diferentes tratamentos previamente preparadas foram adicionadas a solução multielementar de metais (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni e Zn) com concentração inicial de 2,0 mg/L. A solução multielementar contendo os materiais obtidos foram submetidas a agitação (175 rpm) em incubadora shaker mantidas a temperatura ambiente. Após o período de 24 horas, alíquotas de 2,0 mL foram retiradas para quantificação dos metais e obtenção da taxa de remoção dos materiais. A quantificação dos metais presentes na solução multielementar foi realizada por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma de Argônio Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Adicionalmente o Carbono orgânico liberado também foi mensurado utilizando-se o equipamento Totalizador de Carbono Orgânico (TOC) (Analytic Jena, N/C). Para tanto, retirou-se alíquotas de 10 mL de amostras produzidas.

3.5 Ensaios de adsorção com nanocompósitos de biochar

Para os ensaios de adsorção, 2 mg/L de solução padrão compreendendo As, Pb e Cd foram preparadas em frascos padrão de 100 mL a partir de solução estoque de 1000 mg/L. Três réplicas desta solução foram preparadas, e o pH de cada padrão foi ajustado para pH 5, pH 7 e pH 8,5. 100 mL da primeira solução padrão (pH 5) foram distribuídos em 5 tubos contendo 20 mL cada. Em seguida, 0,1 g do composto foi adicionado a cada uma das soluções, formando 5 lotes. Os 5 tubos Falcon e seus conteúdos foram agitados em mesa agitadora a 200 rpm e 25°C. Os compostos foram removidos da solução em diferentes tempos de reação considerados como tempo = 0,5, 1, 4, 8 e 24 horas, seguidos por filtração por meio de uma membrana de 0,45 µm

(PES, Syringe Filters, Alemanha). A solução resultante foi acidificada e analisada por espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). O procedimento foi repetido para BC, bem como para todos os compósitos preparados - BC/TiO₂, BC/CoFe₂O₄, BC/TiO₂-CoFe₂O₄, BC/MOF-MIL (Fe) e BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄). O processo também foi repetido em pH 7 e pH 8,5 para BC e todos os compósitos.

Eficiência de remoção e capacidade de adsorção do processo de adsorção

A eficiência de remoção dos compósitos e suas capacidades de adsorção de Cd, As e Pb na solução padrão foram avaliadas por meio da Equação (1) e Equações (2a -2b), respectivamente.

$$\text{Eficiência da remoção (\%)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Capacidade de adsorção } (q_t) = \frac{(C_o - C_t) \times V}{W} \quad (2a)$$

$$\text{Capacidade de adsorção no equilíbrio } (q_e) = \frac{(C_o - C_e) \times V}{W} \quad (2b)$$

Onde, C_o e C_t são a concentração inicial e final do metal (mg/L), respectivamente; C_e é a concentração do metal no equilíbrio (mg/L); V é o volume da solução (0,02 L); W é o peso correspondente do compósito.

4. Resultados e discussões

4.1 Caracterização do nanobiochar e esferas poliméricas (Alginato-nanobiochar-nutrientes)

Determinação granulométrica de biomassa e biochar

Os resultados da determinação granulométrica estão dispostos na Figura 5.

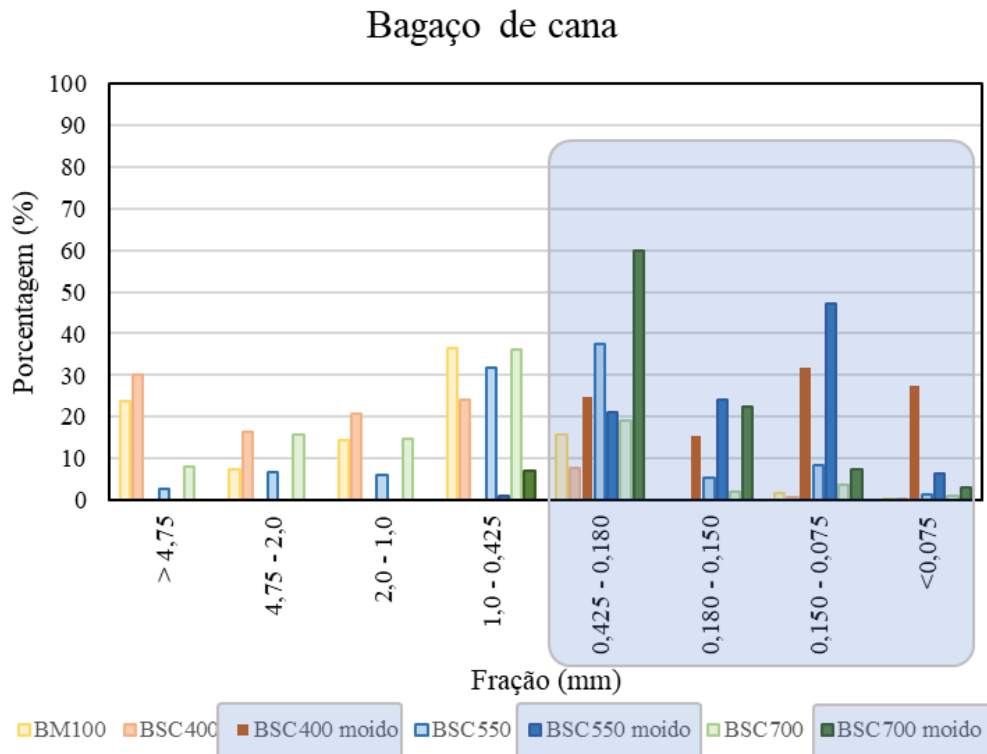


Figura 5 – Determinação granulométrica da biomassa, biochar e biochar moído nas temperaturas de 400, 550, 700°C. A área em destaque (azul) evidencia a concentração das frações menores (< 0,425 mm) do biochar moído.

Conforme destacado nos resultados, é possível observar que o tempo de pirólise para obtenção de biochar influencia na distribuição de tamanhos entre os biochars analisados independente do processo de moagem subsequente a produção de biochar, sendo que a biomassa seca (BM100) e o Biochar de 400 graus (BSC400) apresentaram maiores porcentagem em tamanhos maiores. A literatura confirma os resultados devido a alteração e transformação das características dos materiais por

meio da decomposição da matéria orgânica acelerado pelo processo térmico (Liu et al. 2018; Figueró et al. 2021; He et al. 2022).

Tamanho das esferas produzidas

Os resultados da determinação do tamanho das esferas produzidas estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas das esferas poliméricas produzidas.

Amostra	Descrição	Replicata (cm)										Média (cm)	SD (cm)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	ALG	3.14	3.14	3.14	3.52	3.14	3.10	3.02	3.12	3.06	2.86	3.1	0.1
2	BSC400	2.98	3.06	2.98	3.00	3.10	2.82	2.98	3.00	3.08	2.88	3.0	0.1
3	BSC550	3.40	3.44	3.36	3.52	3.02	3.18	3.26	3.42	3.14	3.36	3.3	0.1
4	BSC700	3.36	3.32	3.44	3.40	3.20	3.50	3.54	3.38	3.40	3.36	3.4	0.1

Aos resultados de médias e desvios para cada conjunto de amostras de esferas poliméricas é possível observar que o sistema de produção das microesferas produz esferas homogêneas independente do material incorporado demonstrando uma padronização de sua produção.

4.2 Ensaios de adsorção com biochar encapsulado

Os resultados dos ensaios de adsorção com biochars produzidos em diferentes temperaturas de produção do biochar e em diferentes proporções, podem ser resumidamente observados na Figura 6. É possível observar uma pequena diferença no que diz respeito a variação nas proporções de alginato, biochar com relação a taxa de remoção dos metais. De uma maneira geral, para os tratamentos obtidos na produção das microesferas houve baixa eficiência na remoção de todos os metais presentes na solução multielementar, abaixo de 30%, sendo o Arsênio e Cobre os metais que obtiveram menores e maiores eficiência, respectivamente.

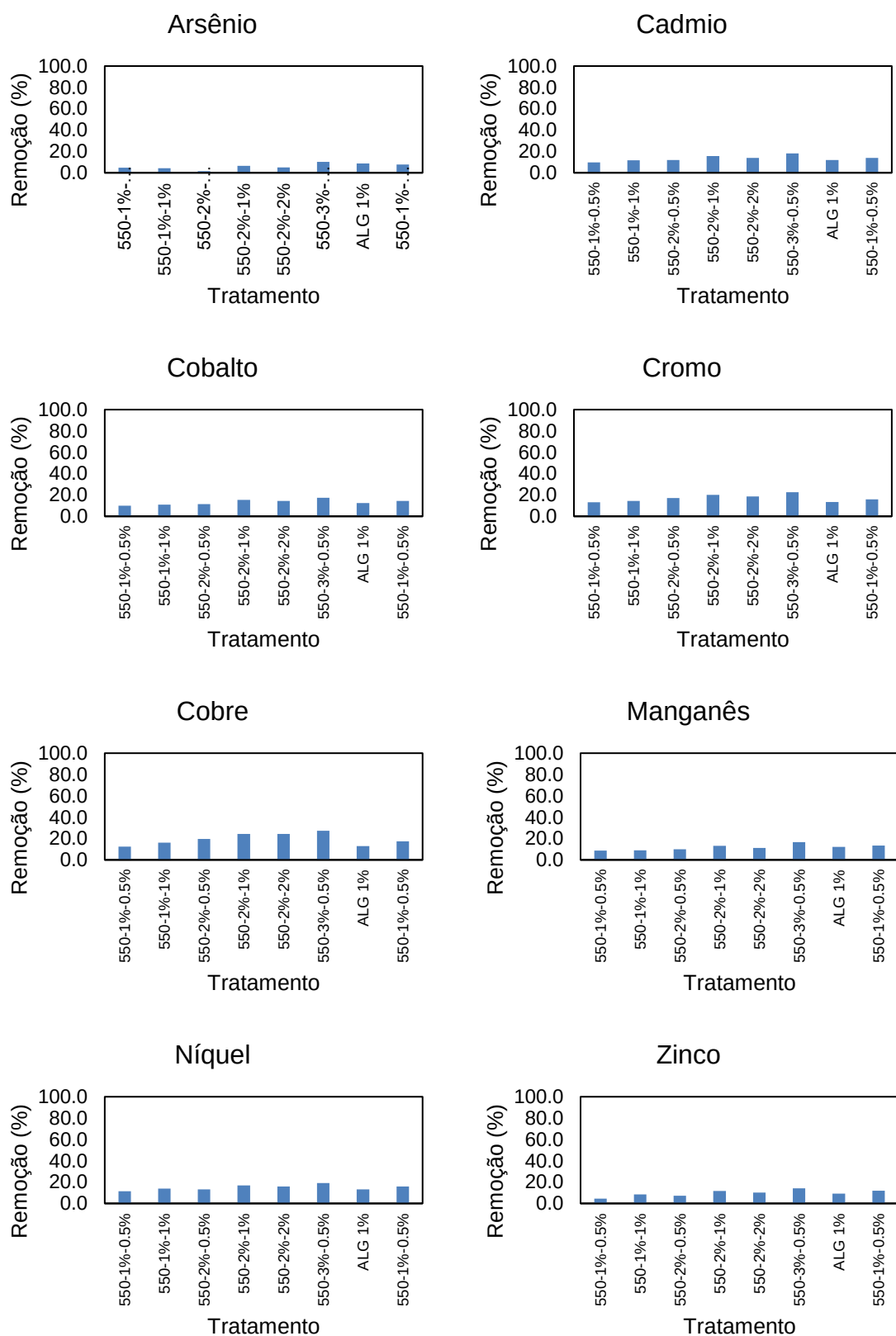


Figura 6 - Resultados dos ensaios de adsorção para microesferas de alginato produzidas com Biochar 550°C em diferentes porcentagens.

4.3 Ensaios de adsorção com nanocompósitos de biochar

Os dados obtidos para a eficiência de remoção, bem como a capacidade de adsorção para cada um dos compósitos e em diferentes pHs são apresentados na Figura 7 e 8, respectivamente.

De forma geral, BC/CoFe₂O₄ em pH 5 (83,3%) e BC/TiO₂-CoFe₂O₄ em pH 7 (80,9%) e em pH 8,5 (87,3%) indicaram a melhor eficiência de remoção para As neste estudo. BC/MOF (FeCl₃) igualmente mostrou uma boa eficiência para As em todos os pHs (>70%). BC/TiO₂ mostrou alta eficiência de adsorção em pH alto (pH 7 = 87% e pH 8,5 = 91%) para Cd. Da mesma forma, BC/CoFe₂O₄ e BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄) também indicaram algumas adsorções para Cd em pH alto, mas menos de 60% e 40%, respectivamente. Nenhuma adsorção significativa pôde ser observada para BC/MOF(FeCl₃) em Cd. A menor adsorção foi encontrada para BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄) <40%) para todos os metais alvo (As, Cd e Pb).

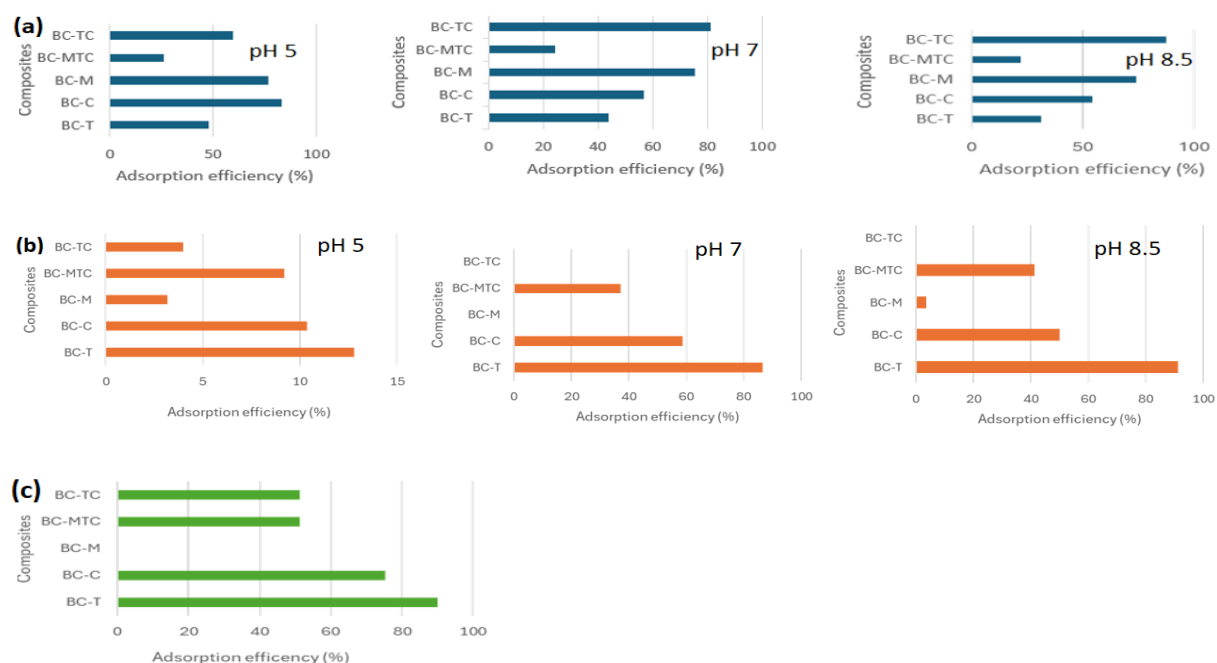


Figura 7: Eficiência de adsorção dos compósitos em (a) As (b) Cd (c) Pb em pH 5, pH 7 e pH 8,5. BC-T: BC/TiO₂ BC-C: BC/CoFe₂O₄ BC-TC: BC/TiO₂-CoFe₂O₄ BC-MTC: BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄); BC-M: BC/MOF(FeCl₃)

Cinética do processo de adsorção

As condições em que os compósitos que indicaram alta eficiência para adsorção de metais, para pelo menos $\geq 70\%$, foram selecionados para estudo cinético. Suas eficiências de remoção, bem como capacidades de adsorção no equilíbrio (q_e) são apresentadas na Tabela 2, enquanto as capacidades de adsorção obtidas para cada tempo de reação, ou seja, $t = 0,5, 1, 4, 8, 24$ horas, são mostradas como gráficos na Figura 9.

Tabela 2: Compósitos com seus respectivos pH, alta eficiência de adsorção (%) e q_e em 24 horas

Compósito	Metal	pH	Efficiency (%) at 24 hrs	q_e (mg/g)
BC/TiO ₂	Cd	7	87	0.44
		8.5	91	0.42
		5	90	0.33
BC/CoFe ₂ O ₄	As	5	83	0.4
		5	75	0.26
BC/TiO ₂ -CoFe ₂ O ₄	As	7	81	0.37
		8.5	87	0.39
		5	77	0.38
BC/MOF (FeCl ₃)	As	7	75.4	0.34
		8.5	74	0.34

O processo de adsorção para todos os compósitos e seus respectivos metais foi observado atingindo o pico entre 2,5 e 3,5 horas antes de declinar (Figuras 9 a-j). Similarmente, para todos os compósitos, o tempo de equilíbrio também foi observado dentro de 16 a 23 horas, sugerindo que todos os processos de adsorção terminaram antes de 24 horas.

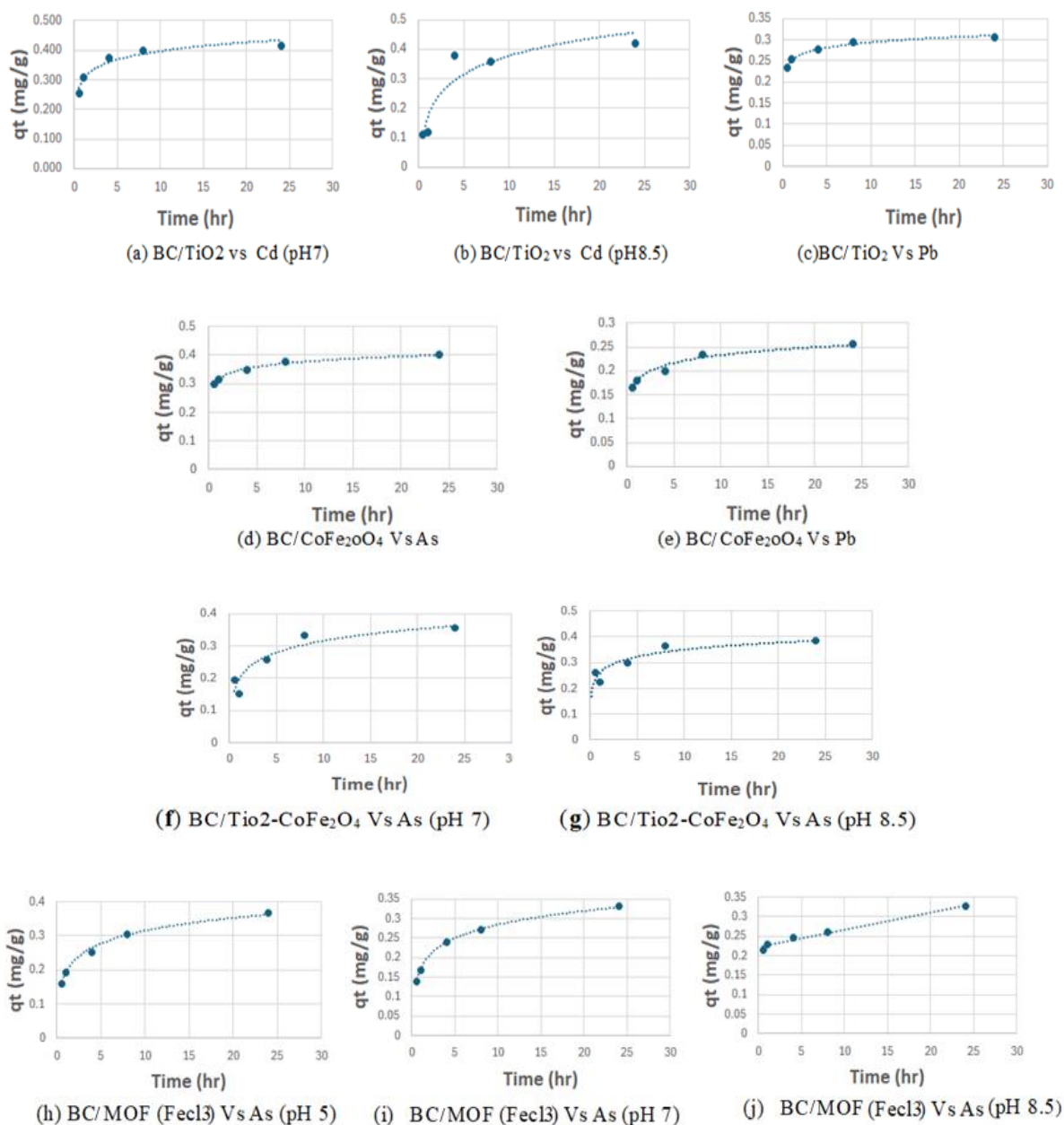


Figura 8 - Estudo cinético dos compósitos em metais pesados em seus respectivos pH

5. Conclusões

Portanto, os resultados obtidos no trabalho proposto revelam que o encapsulamento do biochar produzido resultou em uma baixa eficiência na remoção

de metais potencialmente tóxicos. Por outro lado, os compósitos à base de biochar, BC/TiO₂, BC/CoFe₂O₄, BC/TiO₂-CoFe₂O₄, BC/MOF-MIL(Fe) e BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄) foram sintetizados com sucesso a partir do BSC. Todos os produtos sintetizados alvo foram substancialmente confirmados por FTIR, EDX e SEM. Altas eficiências de adsorção ($\geq 70\%$) foram encontradas em (i) BC/TiO₂ para Cd (pH 7 e 8,5) e Pb (pH 5); (ii) BC/CoFe₂O₄ em As e Pb (pH 5); (iii) BC/TiO₂-CoFe₂O₄ em As (pH 7 e 8,5); e (iv) BC/MOF-MIL(Fe) em As (pH 5, 7 e 8,5). A eficiência de adsorção de BC/MOF(TiO₂-CoFe₂O₄) foi geralmente abaixo de $<51\%$ para todos os metais e em todos os pHs investigados (ou seja, pH 5, 7 e 8,5). O presente estudo mostrou que os compósitos BC/TiO₂, BC/CoFe₂O₄, BC/TiO₂-CoFe₂O₄ e BC/MOF-MIL(Fe) podem ser utilizados como materiais de remediação eficazes para os metais pesados selecionados em águas contaminadas. Assim o presente trabalho pôde contribuir com novas elucidações para o aproveitamento/ tratamento das águas residuárias a fim de retornar ao seu curso natural. Com a utilização de nanocompósitos a base de biochar espera-se permitir que novos processos industriais/comerciais e processos de tratamento/reuso de água obtenham alta eficiência.

6. Referências

ABIVEN, S.; SCHMIDT, M. W. I.; LEHMANN, J. Biochar by design. *Nature Geoscience*, v. 7, pp. 326-327, 2014.

ALOMAIRY, S., GNANASEKARAN, L., RAJENDRAN, S., ALSANIE, W.F., 2023. Biochar supported nano core-shell (TiO₂/CoFe₂O₄) for wastewater treatment. *Environmental Research* 238, 117169, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117169>.

ADRADOS, A. ; Lopez-Uriónabarrenechea, A.; Solar, J.; Requies, J.; Marco, I.; Cambra, J.; Upgrading of pyrolysis vapours from biomass carbonization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 103, pp. 293-299, 2013.

CHANG, Y.; ROSSI, L. ZOTARELLI, L.; SHAHID, M.A.; SARKHOSH, A. Biochar improves soil physical characteristics and strengthens root architecture in Muscadine grape (*Vitis rotundifolia* L.) Chemical and Biological Technologies in Agriculture, v. 8, 2021.

CHEN, Y.; Yang, H.; Wang, X.; Zhang, S.; Chen, H.; Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pyrolysis: Influence of temperature. Bioresource Technology, v. 107, pp. 411-418, 2012.

CIOBANU, A.; MALLARD, I.; LANDY, D.; BRABIE, G.; NISTOR, D.; FOURMENTIN, S.; Retention of aroma compounds from *Mentha piperita* essential oil by cyclodextrins and crosslinked cyclodextrin polymers, Food Chemistry, v. 138, pp. 291-297, 2013.

DOMINGUES, M. T.; BUENO, C. C.; WATANABE, C. H.; FRACETO, L. F.; LOYOLA-LICEA, J. C.; CROWLEY, D.; ROSA, A. H. Polymeric Alginate Microspheres Containing Biochar to Immobilize Phosphate Ions. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, v. 37, p. 109-114, 2014. [Link DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1437019>]

FOLEY, J. A. ; Can we feed the world & sustain the planet?, Scientific American, v. 305, pp. 42-48, 2011.

FONTANA, M. C.; CORADINI, K.; POHLMANN, A. R.; GUTERRES, S. S.; BECK, R. C.R.; Nanocapsules Prepared from Amorphous Polyesters: Effect on the Physicochemical Characteristics, Drug Release, and Photostability, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, v. 10, pp. 3091-3099, 2010.

GHESTI, G.F.; SILVEIRA, E.A.; GUIMARÃES, M.G.; EVARISTO, R.B.W.; COSTA, M. Towards a sustainable waste-to-energy pathway to pequi biomass residues: Biochar, syngas, and biodiesel analysis. Waste Management. v. 143, pp. 144-156, 2022.

HE, Z.; UCHIMIYA, S.M.; GUO, M. Production and Characterization of Biochar from Agricultural By-Products: Overview and Use of Cotton Biomass Residues. In: Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers, Volume 63. Disponível em: <<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaspecpub63.2014.0037.5>>. Acesso em: 19 de Ago. 2022.

KO, D.C.K.; PORTER, J.F.; MCKAY, G.; Film-pore diffusion model for the fixed-bed sorption of copper and cadmium ions onto bone char," *Water Research*, vol. 35, pp. 3876-3886, 2001.

KONO, K.; YOSHINO, K.; TAKAGISHI, T.; Effect of poly(ethylene glycol) grafts on temperature-sensitivity of thermosensitive polymer-modified liposomes, *Journal of Controlled Release*, v. 80, pp. 321-332, 2002.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; NETO, J. B. F. *Vigor de Sementes: Conceitos e Testes*. Londrina, PR: ABRATES - Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1999. 218.

LEE, M.; LIN, Y.; CHIUEH, P.; DEN, W.; Environmental and energy assessment of biomass residues to biochar as fuel: A brief review with recommendations for future bioenergy systems. *Journal of Cleaner Production*. v. 251, 2020.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D.; Biochar effects on soil biota - A review, *Soil Biology & Biochemistry*, v. 43, pp. 1812-1836, 2011.

LI, L.; ZHANG, K.; CHEN, L.; HUANG, Z.; LIU, G.; LIA, M.; WEN, Y.; Mass preparation of micro/nano-powders of biochar with water-dispersibility and their potential application, *New J. Chem.*, 2017, 41, 9649–9657.

LIU, G.; ZHENG, H.; JIANG, Z.; ZHAO, J.; Formation and physicochemical characteristics of nano biochar: insight into chemical and colloidal stability, *Environ. Sci. Technol.*, 2018, 52, 10369–10379.

LIAN, F.; YU, Q.; ZHOU, Q.; GU, S.; WANG, Z.; XING, B. Size Matters: Nano-Biochar Triggers Decomposition and Transformation Inhibition of Antibiotic Resistance Genes in Aqueous Environments. *Environ. Sci. Technol.*, v. 54, pp. 8821–8829, 2020.

MAZARJI, M., MINKINA, T., SUSHKOVA, S., MANDZHIEVA, S., BAYERO, M.T., FEDORENKO, A., MAHMOODI, N. M., SILLANPÄÄ, S., BAUER, T., SOLDATOV, A., 2022. Metal-organic frameworks (MIL-101) decorated biochar as a highly efficient bio-based composite for immobilization of polycyclic aromatic hydrocarbons and copper in real contaminated soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10 (6), 108821. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108821>.

POURJAVADI, A.; DOULABI, M.; SOLEYMAN, R.; SHARIF, S.; EGHTESADI, S. A.; Synthesis and characterization of a novel (salep phosphate)-based hydrogel as a

carrier matrix for fertilizer release, *Reactive & Functional Polymers*, vol. 72, pp. 667-672, 2012.

RAMANAYAKA, S.; VITHANAGE, M.; ALESSI, D.S.; LIU, W.; JAYASUNDERA, A.C.A.; OK, Y.S.; Nanobiochar: production, properties, and multifunctional applications. *Environ. Sci.: Nano*, v. 7, pp. 3279-3302, 2020.

SCHMIDT, H.P.; Uses of Biochar. *Ithaca Journal*, n. Viticulture Ecology Climate-Farming, p. 286-289, 2012.

SEKAR, M.; MATHIMANI, T.; ALAGUMALAI, A.; CHI, N.T.L. ; DUC, P.A. ; BHATIA, S.K.; BRINDHADEVI, K. ; PUGAZHENDHI, A.; A review on the pyrolysis of algal biomass for biochar and bio-oil – Bottlenecks and scope. *Fuel*, v. 283, pp. 119190, 2021.

SOPPIMATH, K. S.; AMINABHAVI, T. M.; KULKARNI, A. R.; RUDZINSKI, W. E.; Biodegradable polymeric nanoparticles as drug delivery devices, *Journal of Controlled Release*, v. 70, pp. 1-20, 2001.

XU, Y.H.; NAKAJIMA, T.; OHKI, A.; Adsorption and removal of arsenic(V) from drinking water by aluminum-loaded Shirasu-zeolite, *Journal of Hazardous Materials*, v. 92, pp. 275-287, 2002.

ZAHRA, Z.; HABIB, Z.; HYUN, H., SHAHZAD, H.M.A. Overview on Recent Developments in the Design, Application, and Impacts of Nanofertilizers in Agriculture. *Sustainability*, v. 14, pp. 9397, 2022.

ZHAO, Y.; LI Y.; YANG, F. A state-of-the-art review on modeling the biochar effect: Guidelines for beginners. *Science of The Total Environment*. v. 802, pp. 1-15, 2022.

ANEXO 1 – Artigos publicados, submetidos e em preparação



Plasma-engineered sugarcane bagasse: a novel strategy for efficient mercury removal from aqueous solutions

Angle Paola Santacruz-Salas¹ · Maria Lúcia Pereira Antunes¹ · Elidiane Cipriano Rangel¹ · Cláudia Hitomi Watanabe¹ · André Henrique Rosa¹

Received: 26 March 2024 / Accepted: 14 November 2024 / Published online: 26 November 2024
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024

Abstract

Metal ion adsorption using agro-industrial residues has shown promising results in remediating contaminated waters. However, adsorbent effectiveness relies on their properties, often necessitating processing for modification. Considering this, plasma treatment is effective in modifying material surfaces physically and chemically. This study investigated the modification of sugarcane bagasse (SB) using plasma treatment and evaluated its efficacy as a novel adsorbent for mercury removal from aqueous solutions. SB underwent low-temperature plasma treatment with sulfur hexafluoride (SF₆) as the working gas, varying treatment times (2, 30, and 60 min), and fixed powers (80, 190, and 300 W) at 16 Pa pressure. Characterization via SEM/EDS, FTIR, XPS, and pH_{pzc} revealed significant structural changes like increased in porosity and alteration in proportion atomic. Additionally, the successful incorporation of fluorine was confirmed in all treatment conditions, while sulfur was detected in only some samples. Amongst the tested conditions, the SB treated with 300 W for 60 min demonstrated the highest mercury removal efficiency, achieving an impressive 83.67% removal rate compared to untreated SB, which yielded only 57.95%. The adsorption mechanism exhibited both physical and chemical behavior, with chemisorption being the dominant process. The Freundlich model provided the best fit to the experimental data, with an R^2 value of 0.97. In conclusion, plasma treatment can be a promising alternative for improving the physical and chemical characteristics of SB adsorbents, thereby improving their efficiency in removing mercury from aqueous solutions.

Keywords Sugarcane bagasse · Adsorption · Plasma treatment · Mercury · Water treatment

Introduction

Mercury (Hg) is a potentially harmful metal and one of the main chemical elements of concern to the World Health Organization (WHO). This persistent contaminant has the ability to bioaccumulate and biomagnify along the food chain. In addition, it has a high potential for neurotoxicity and teratogenicity, which may cause serious risks to human health and aquatic biota (Gyamfi et al. 2021; da Silva Montes et al. 2022; Marrugo-Madrid et al. 2022).

Several physical, chemical, and biological methods have been used for the removal of Hg ions from aqueous solutions, such as the membrane separation, reverse osmosis, chemical precipitation, electrochemical oxidation, ion exchange, and adsorption, among others (Singh et al. 2021). However, many of these treatments require elevated investments and operational costs, as well as, most often present low efficiency to comply with international regulations (Licona-Aguilar et al. 2022).

Responsible Editor: Angeles Blanco

✉ André Henrique Rosa
andre.rosa@unesp.br
Angle Paola Santacruz-Salas
paola.santacruz@unesp.br
Maria Lúcia Pereira Antunes
pereira.antunes@unesp.br
Elidiane Cipriano Rangel
elidiane.rangel@unesp.br
Cláudia Hitomi Watanabe
claudia.watanabe@unesp.br

¹ Institute of Science and Technology, São Paulo State University (Unesp), Sorocaba, SP, Brazil

Comparação ambiental de duas embalagens usando ACV: estudo de caso

Environmental comparison of two packages using LCA: case study

Comparación ambiental de dos embalajes utilizando ACV: estudio de caso

Camila Oliveira Kamimura

Graduada em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Endereço: Sorocaba - São Paulo, Brasil

E-mail: camila.o.kamimura@gmail.com

Sandro Donnini Mancini

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade Federal de São Carlos

Endereço: São Carlos - São Paulo, Brasil

E-mail: sandro.d.mancini@unesp.br

Bruno Fernando Gianelli

Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Endereço: Sorocaba - São Paulo, Brasil

E-mail: prof.gianelli@ifsp.edu.br

Ricardo Gabbay de Souza

Doutor em Engenharia de Produção

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: ricardo.souza@unesp.br

Gerson Araujo de Medeiros

Doutor em Engenharia de Água e Solos

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Endereço: Campinas - São Paulo, Brasil

E-mail: gerson.medeiros@unesp.br

Cláudia Hitomi Watanabe

Doutora em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Endereço: Sorocaba - São Paulo, Brasil

E-mail: claudiahwatanabe@gmail.com

Environmental Monitoring and Assessment - Receipt of Manuscript 'Application of environmental...'

1 mensagem

Environmental Monitoring and Assessment <Rheycel.Monsanto@springernature.com>

5 de novembro de 2024 às 09:58

Para: claudia.watanabe@unesp.br

Ref: Submission ID 51d1b4a1-e4b9-44ee-be4e-9a043baa33e1

Dear Dr Watanabe,

Please note that you are listed as a co-author on the manuscript "Application of environmental modeling to assess the potential risk of toxic metals on exposure to human health and present in sediment samples", which was submitted to Environmental Monitoring and Assessment on 05 November 2024 UTC.

If you have any queries related to this manuscript please contact the corresponding author, who is solely responsible for communicating with the journal.

Kind regards,

Editorial Assistant
Environmental Monitoring and Assessment

Cláudia Hitomi Watanabe <claudiahwatanabe@gmail.com>

AQTOX-D-24-01231 - Confirming your submission to Aquatic Toxicology - [EMID:b66ad794c9be48fd]

1 message

Aquatic Toxicology <em@editorialmanager.com>

31 octobre 2024 à 11:28

Répondre à : Aquatic Toxicology <support@elsevier.com>

À : Cláudia Hitomi Watanabe <claudiahwatanabe@gmail.com>

This is an automated message.

Ecotoxicity of silver nanoparticles in the presence of natural organic matter: exposure waterborne and dietborne simple food chain algae-microcrustacean

Dear PhD Watanabe,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Aquatic Toxicology. It has been assigned the following manuscript number: AQTOX-D-24-01231.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/aqtox/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Aquatic Toxicology

Confirm co-authorship of submission to Sustainable Chemistry and Pharmacy

1 mensagem

Sustainable Chemistry and Pharmacy <em@editorialmanager.com>

6 de setembro de 2024 às 04:27

Responder a: Sustainable Chemistry and Pharmacy <support@elsevier.com>

Para: Cláudia Hitomi Watanabe <claudia.watanabe@unesp.br>

This is an automated message.

Journal: Sustainable Chemistry and Pharmacy

Title: Converting biomass waste: a novel biochar catalyst for enhanced levulinic acid conversion using formic acid as a hydrogen source

Corresponding Author: Dr Joao C. A. Macedo

Co-Authors: Cláudia Hitomi Watanabe; Richard Landers; André Henrique Rosa

Manuscript Number: **SUSCP-D-24-01873**

Dear Cláudia Hitomi Watanabe,

The corresponding author Dr Joao C. A. Macedo has listed you as a contributing author of the following submission via Elsevier's online submission system for Sustainable Chemistry and Pharmacy.

Submission Title: Converting biomass waste: a novel biochar catalyst for enhanced levulinic acid conversion using formic acid as a hydrogen source

Elsevier asks all authors to verify their co-authorship by confirming agreement to publish this article if it is accepted for publication.

Please read the following statement and confirm your agreement by clicking on this link: [Yes, I am affiliated](#).

I irrevocably authorize and grant my full consent to the corresponding author of the manuscript to: (1) enter into an exclusive publishing agreement with Elsevier on my behalf (or, if the article is to be published under a CC BY license, a non-exclusive publishing agreement), in the relevant form set out at www.elsevier.com/copyright; and (2) unless I am a US government employee, to transfer my copyright or grant an exclusive license of rights (or for CC BY articles a non-exclusive license of rights) to Elsevier as part of that publishing agreement, effective on acceptance of the article for publication. If the article is a work made for hire, I am authorized to confirm this on behalf of my employer. I agree that the copyright status selected by the corresponding author for the article if it is accepted for publication shall apply and that this agreement is subject to the governing law of the country in which the journal owner is located.

If you did not co-author this submission, please contact the corresponding author directly at j.macedo@unesp.br.

Thank you,
Sustainable Chemistry and Pharmacy

1 Biochar as alternative to reuse of waste and management of lands 2 contaminated by metals and emerging compounds: An overview

3 Claudia Hitomi Watanabe Rezende, Maryam Shirinkar, Carolina de Castro Bueno, André
4 Henrique Rosa*

5

6 São Paulo State University, Institute of Science and Technology,

7 Av. 3 de Março 511, 18087-180, Sorocaba-SP, Brazil

8 andre.rosa@unesp.br

9

10 Abstract

11 Biochar is a solid waste rich in carbon produced by the thermic decomposition of organic
12 matter/biomass, as well as a stable form of carbon from organic waste. In recent years,
13 biochars have been aroused much attention due their environmental and agricultural
14 applications as efficient and versatile ecological materials. Biochar is able to increase the
15 yield of crops and are environmentally beneficial by recycling of organic materials waste.
16 Regarding the remediation of contaminated soil, it is known that biochar works as an
17 effective adsorbent for removal of metals contaminant and can be used for degradation of
18 emerging contaminants in the environment. This review discusses about of the potentialities
19 and advantages of the processing/reuse of wastes to produce biochar as alternative for
20 management and remediation of lands contaminated by metals and emerging compounds.

21

22 1. Biochar: General Definition

23 Biochar is a solid waste rich in carbon produced by the thermic decomposition of
24 organic matter/biomass (Brownsort *et al.*, 2011), as well as a stable form of carbon from
25 organic waste (Schmidt, 2012). The biochar is also known as carbon pyrogen (Preston e
26 Schmidt, 2006). The addition of prefix bio to the term emphasizes the biological origin of the
27 material, distinguishing it, thus, from charred materials polymer source or other non-organic
28 materials (Lehmann e Joseph, 2010). The range of carbons pyrogens structures is often
29 described as a continuum of partially carbonized plant material, that still maintain their
30 physical structure, for coal, soot and, finally, graphite. The biochar is usually composed of

ANEXO 2 – Participação em Eventos





XXXVI CIC

"Ciência em tempos de crise climática e social"

CERTIFICADO

1ª FASE

Certificamos que **Cláudia Hitomi Watanabe Rezende**, participou como AVALIADOR(a) na 1ª Fase do XXXVI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, realizado em 15/10/2024 no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, contabilizando carga horária total de 2 horas.

Sorocaba, 15/10/2024

Edson Cocchieri Botelho
Pró-Reitor de Pesquisa
Presidente do CIC



Reginaldo Barboza da Silva
Coordenador de Iniciação Científica
Vice-Presidente do CIC



II BRAZILIAN SYMPOSIUM ON NANOTECHNOLOGY ENGINEERING

PARTICIPATION CERTIFICATE

We certify that CLAUDIA HITOMI WATANABE REZENDE successfully participated in the 2nd Brazilian Symposium on Nanotechnology Engineering, held from September 30 to October 4, 2024, with a total workload of 50 hours.

Prof. Dr. Fernando Gomes de Souza Jr.

Msc. Vinícius Gomes Morgan

Documento assinado digitalmente
DELEAN MEDEIROS RIBEIRO
Data: 18/10/2024 00:01:23-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Delean Medeiros



Realização
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



Realização
COPPE
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



Realização
PENT
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



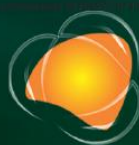
Apoio
Lefas
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



Apoio
Trivos
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

ANEXO 3 – Trabalhos apresentados em eventos





21º Congresso Nacional de
MEIO AMBIENTE
de Poços de Caldas
22 a 25 DE OUTUBRO | 2024

Temática 2024

EXTREMOS CLIMÁTICOS
IMPACTOS ATUAIS
E RISCOS FUTUROS

CERTIFICADO

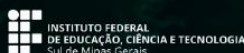
Certificamos que o trabalho intitulado **USO DE BIOCARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DE CASCA DE EUCALIPTO PARA CRESCIMENTO DE PLANTAS** de autoria de Juliane Araujo Bersi, Cláudia Hitomi Watanabe Rezende, Maria Lucia Pereira Antunes Silva e André Henrique Rosa, foi submetido e aceito para apresentação no 21º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, realizado no período de 22 a 25 de outubro de 2024, e será publicado nos anais no site <https://meioambientepocos.com.br/>, sob registro do ISSN nº 2317-9686

Poços de Caldas, 22 de outubro de 2024

Prof. Dr. Claudimir Silva Santos
Presidente da Comissão
Técnica Científica

Gisele Correa Ferreira
Diretora da GSC
Eventos Especiais

Realização



ANEXO 4 – Atividades acadêmicas



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araraquara



ATESTADO

ATESTAMOS que a Profa. Dra. Cláudia Hitomi Watanabe Rezende, RG 46.451.636-5 - SSP, ministrou/ministra aulas aos discentes do Programa de Pós-graduação desta Unidade Universitária, conforme abaixo descrito:

Programa: Química

Disciplina	Ano	Dt.Início	Dt.Término	Curso	Discentes	Hr/Aula
Tópicos especiais em Toxicologia Ambiental	2024	12/08/2024	23/08/2024	MD	3	60

Araraquara, 16 de setembro de 2024

SEÇÃO TÉCNICA DE PÓS-GRADUAÇÃO IQ/Ar

Documento assinado digitalmente
gov.br WENNIA LIMONTI DE SOUZA DOS SANTOS
Data: 18/09/2024 18:16:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Wennia Limonti de Souza dos Santos
Supervisor Técnico de Seção

ATESTADO

Atestamos que a Profa. Dra. CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE, RG nº 46.451.636-5, expedido pela SSP/SP, coorienta o discente abaixo relacionado, em Programa stricto sensu desta Unidade Universitária:

Programa: Ciências Ambientais

DISCENTE	CURSO	INÍCIO	SITUAÇÃO
MARYAM SHIRINKAR	DOUTORADO	05/09/23	EM ANDAMENTO

Sorocaba, 27 de novembro de 2023.

Rogério Moreno

Rosa:08251308836

Assinado de forma digital por
Rogério Moreno
Rosa:08251308836
Dados: 2023.11.27 15:15:12 -03'00'

Supervisor Técnico de Seção/Seção de Graduação e Pós-Graduação

DECLARAÇÃO

DECLARO, para os devidos fins, que o(a) Dr.(ª) CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE atuou como ORIENTADOR(A) do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) Juliane Araujo Bersi, intitulado "Aplicabilidade de Biochar no âmbito da Engenharia Ambiental", aprovado por meio de parecer homologado no Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental em reunião de 04/12/2024, no Instituto de Ciência e Tecnologia, Unesp - Câmpus de Sorocaba.

Sorocaba, 04/12/2024.

Aline Maria Candida dos Santos:36874376802
Assinado de forma digital por Aline Maria Candida dos Santos:36874376802
Dados: 2024.12.10 10:01:31 -03'00'
Aline Maria Cândida dos Santos
Assistente Técnico Administrativo

Rogério Moreno Rosa:08251308836
Assinado de forma digital por Rogério Moreno Rosa:08251308836
Dados: 2024.12.10 11:04:39 -03'00'
Rogério Moreno Rosa
Supervisor Técnico de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

Assinaturas digitais verificáveis em:
<https://pessoal.icpedu.mp.br/publico/verificar-assinatura>

DECLARAÇÃO

DECLARO, para os devidos fins, que o(a) Dr.^(a) CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE atuou como ORIENTADOR(A) do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) João Portas Carbonari, intitulado "Estudo de emissões geradas pelo deslocamento de profissionais autônomos através de dados estatísticos", aprovado por meio de parecer homologado no Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental em reunião de 07/08/2024, no Instituto de Ciência e Tecnologia, Unesp - Câmpus de Sorocaba.

Sorocaba, 07/08/2024.

Aline Maria Candida
dos
Santos:36874376802

Assinado de forma digital
por Aline Maria Candida
dos Santos:36874376802
Dados: 2024.08.08 11:49:04
-03'00'

Aline Maria Cândida dos Santos
Assistente Técnico Administrativo

Rogério Moreno
Rosa:08251308836

Assinado de forma digital por
Rogério Moreno
Rosa:08251308836
Dados: 2024.08.08 13:24:08 -03'00'

Rogério Moreno Rosa
Supervisor Técnico de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

Assinaturas digitais verificáveis em:
<https://pessoal.icpedu.mp.br/public/verificar-assinatura>

DECLARAÇÃO

DECLARO, para os devidos fins, que o(a) Dr.(ª) CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE atuou como ORIENTADOR(A) do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) Miguel Caetano Vargem, intitulado "Identificação de áreas suscetíveis a inundações em Sorocaba usando GIS e análise multicritério", submetido à sessão pública de defesa em 30/07/2024, às 09:00, na sala (realizada por videoconferência), no Instituto de Ciência e Tecnologia, Unesp - Câmpus de Sorocaba.

A Banca Examinadora foi composta pelos seguintes membros:

Dr.(ª) Cláudia Hitomi Watanabe Rezende (Presidente)
Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

Dr.(ª) Rita de Cássia Ferreira da Silva
Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

Dr.(ª) Tércio Rocha Lopes
UEM - Universidade Estadual de Maringá

Sorocaba, 30/07/2024.

Aline Maria Candida dos Santos:36874376802
2
Assinado de forma digital por Aline Maria Candida dos Santos:36874376802
Dados: 2024.08.01 10:20:44 -03'00'
Aline Maria Cândida dos Santos
Assistente Técnico Administrativo

Rogério Moreno Rosa:08251308836
Assinado de forma digital por Rogério Moreno Rosa:08251308836
Dados: 2024.08.01 10:42:14 -03'00'
Rogério Moreno Rosa
Supervisor Técnico de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

Assinaturas digitais verificáveis em:
<https://pessoal.icpedu.mp.br/public/verificar-assinatura>

DECLARAÇÃO

DECLARO, para os devidos fins, que o(a) Dr.^a CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE atuou como ORIENTADOR(A) do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) João Portas Carbonari, intitulado "Estudo de emissões geradas pelo deslocamento de profissionais autônomos através de dados estatísticos", aprovado por meio de parecer homologado no Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental em reunião de 07/08/2024, no Instituto de Ciência e Tecnologia, Unesp - Câmpus de Sorocaba.

Sorocaba, 07/08/2024.

Aline Maria Candida
dos
Santos:36874376802

Assinado de forma digital
por Aline Maria Candida
dos Santos:36874376802
Dados: 2024.08.08 11:49:04
-03'00'

Aline Maria Cândida dos Santos
Assistente Técnico Administrativo

Rogério Moreno
Rosa:08251308836

Assinado de forma digital por
Rogério Moreno
Rosa:08251308836
Dados: 2024.08.08 13:24:08 -03'00'

Rogério Moreno Rosa
Supervisor Técnico de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

Assinaturas digitais verificáveis em:

<https://pessoal.icpedu.mp.br/public/verificar-assinatura>

DECLARAÇÃO

DECLARO, para os devidos fins, que o(a) Dr.(ª) CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE atuou como PRESIDENTE da Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) Miguel Caetano Vargem, intitulado "Identificação de áreas suscetíveis a inundações em Sorocaba usando GIS e análise multicritério", submetido à sessão pública de defesa em 30/07/2024, às 09:00, na sala (realizada por videoconferência), no Instituto de Ciência e Tecnologia, Unesp - Câmpus de Sorocaba.

A Banca Examinadora foi composta pelos seguintes membros:

Dr.(ª) Cláudia Hitomi Watanabe Rezende (Presidente)
Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

Dr.(ª) Rita de Cássia Ferreira da Silva
Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

Dr.(ª) Tarcio Rocha Lopes
UEM - Universidade Estadual de Maringá

Sorocaba, 30/07/2024.

Aline Maria Candida
dos
Santos:36874376802

Assinado de forma digital por
Aline Maria Candida
dos Santos:36874376802
Dados: 2024.08.01 10:15:47
-03'00'

Aline Maria Cândida dos Santos
Assistente Técnico Administrativo

Rogério Moreno
Rosa:08251308836

Assinado de forma digital por
Rogério Moreno Rosa:08251308836
Dados: 2024.08.01 10:41:25 -03'00'

Rogério Moreno Rosa
Supervisor Técnico de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

Assinaturas digitais verificáveis em:

<https://pessoal.icpedu.mp.br/public/verificar-assinatura>

Av. Três de Março, 511 – Alto da Boa Vista – Sorocaba, SP – CEP 18087-180
Tel 15 3238-3472 sg.icts@unesp.br
www.sorocaba.unesp.br

A T E S T A D O

Atestamos que a Dra. **CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE**, do(a) Departamento de Química Ambiental / Instituto de Química - UNESP, participou em 15 de dezembro de 2023, como MEMBRO TITULAR da Comissão Examinadora da DEFESA DE DISSERTAÇÃO de HENZO HENRIQUE SIMIONATTO, discente regular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curso de Mestrado Acadêmico, cujo trabalho se intitula **DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO Córrego do Galante no Oeste Paulista**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros:

1. Prof. Dr. SERGIO LUIS DE CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP
2. Prof. Dr. CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP
3. Dra. CLÁUDIA HITOMI WATANABE REZENDE (Participação Virtual)
Departamento de Química Ambiental / Instituto de Química - UNESP

Ilha Solteira, 15 de dezembro de 2023.

MARCIA REGINA
NAGAMACHI
CHAVES:14202568826

Assinado de forma digital por
MARCIA REGINA NAGAMACHI
CHAVES:14202568826
Dados: 2023.12.15 16:29:45
-03'00'



Certificado de Participação

Concedemos este certificado a

Cláudia Hitome Watanabe

por ministrar o Minicurso Educador Ambiental, organizado pela Rede de Educação Ambiental da Unesp Sorocaba (REAUSo) no período de 02/09/2024 a 05/09/2024, com duração total de 10 horas.

Larissa Aparecida Rodolfo Durães
Coordenadora Geral

Larissa Nachbar
Coordenadora Geral



Certificamos que **Cláudia Hitomi Watanabe Rezende** participou como **Palestrante** do Pint of Science Brasil, realizado em **Sorocaba**, no dia **15\05\2024**, com carga horária de **4 horas**.

Título da apresentação

Do lixo ao luxo. Material natural residual é matéria prima usada na recuperação/ remediação do meio ambiente.



LUIZ GUSTAVO DE ALMEIDA
Diretor Nacional