



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM
EM CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE



Rosemeire Silva de Paiva Santos

Estudo da viabilidade da casca de manga (*Mangifera indica*) *in natura* como bioadsorvente em adsorção de metais potencialmente tóxicos em meio aquoso

Feira de Santana- Ba
2023

Rosemeire Silva de Paiva Santos

Estudo da viabilidade da casca de manga (*Mangifera indica*) *in natura* como bioadsorvente em adsorção de metais potencialmente tóxicos em meio aquoso

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof^a Dra. Taise Bomfim de Jesus

Co-orientador: Prof Dr. Marcos de Oliveira Melo

Feira de Santana- Ba
2023

S238e

Santos, Rosemeire Silva de Paiva

Estudo da viabilidade da casca de manga (*Mangifera indica*) in natura como bioadsorvente em adsorção de metais potencialmente tóxicos em meio aquoso / Rosemeire Silva de Paiva Santos. – 2023.

63 f.: il.

Orientadora: Taise Bomfim de Jesus

Coorientador: Marcos de Oliveira Melo

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana, 2023.

1.Desenvolvimento sustentável. 2.Resíduos sólidos. 2.Biomassa - Manga. 3.Metals - Remoção. 4.Bioadsorvente. I. Jesus, Taise Bomfim de, orient. II. Melo, Marcos de Oliveira, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU 504.03(814.22)

Rosemeire Silva de Paiva Santos

**"ESTUDO DA VIABILIDADE DA CASCA DE MANGA
(*MANGIFERA INDICA*) IN NATURA COMO BIOADSORVENTE
EM ADSORÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM
MEIO AQUOSO"**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da
Terra e do Ambiente da Universidade Estadual
de Feira de Santana.

Orientadora: Profª Drª Taise Bomfim de Jesus.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e
Geotecnologias.

Data de aprovação: 21 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **TAISE BOMFIM DE JESUS**
Data: 21/12/2023 11:13:27-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª Drª Taise Bomfim de Jesus - Orientadora
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS DE OLIVEIRA MELO**
Data: 07/02/2024 11:32:39-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Marcos de Oliveira Melo - Coorientador
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS

Documento assinado digitalmente
 **KLEBSON SOUZA SANTOS**
Data: 05/02/2024 17:47:28-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Klebson Souza Santos
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)

Documento assinado digitalmente
 **LEILA MARIA MENDES SANTOS**
Data: 21/12/2023 11:22:49-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª Drª Leila Maria Mendes Santos
Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

Dedico este trabalho científico às pessoas mais importantes da minha vida:

Aos meus pais, José Modesto e Raimunda Paiva, pelo apoio diário, orações e o tanto se dedicaram para que este momento, se tornasse possível.

À minha irmã, Jaqueline Paiva, e Davi meu sobrinho e afilhado que sempre mesmo longe geograficamente estiveram ao meu lado, alegrando-me e incentivando-me nos momentos mais difíceis.

Ao meu esposo por acreditar mais em mim do que eu mesma, me incentivando e me ajudando em tudo que ele podia, e ao meu pacotinho no forno Théo nosso filho que me dava forças para não desistir da caminhada. Gratidão!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pela dádiva da vida, por me iluminar e sustentar durante essa jornada. Gratidão meu pai misericordioso.

Agradeço aos meus pais José e Raimunda por todo o incentivo, pela dedicação, amor incondicional e por serem meu porto seguro.

A minha irmã Jaqueline por ser amiga, pelo incentivo constante, meu orgulho! Ao meu príncipe dindo Davi, um dos presentes mais lindos que ganhamos.

Agradeço ao meu esposo, por dedicação e zelo, por confiar em mim. Ser meu amigo e porto seguro.

Aos meus familiares por serem solícitos e por suas orações.

Agradeço a minha orientadora Dr^a Taise Bomfim, pela paciência, pelos ensinamentos, por chamar atenção, por ser humana amiga e ser luz em meio a tanta escuridão. Enfim, por ser você.

Ao meu coorientador Dr. Marcos Melo pela paciência ensinamentos e por não soltar a nossa mão, pela caminhada desde a graduação. , Gratidão!

Ao PPGM na pessoa do prof Wilian Moura , e também aos meus amigos Pedro Silvestre, Danusa Purificação, Luana Araujo e Quissíla Gois por todo carinho e amizade.

Ao LGCA, por me proporcionar vivenciar mais a universidade e trabalhar com o que gosto e me sinto feliz. Agradeço em especial as alunos e colegas que fazem parte desse laboratório.

Aos colegas da minha turma XV do mestrado em especial a Maselia, por ser amiga e parceira. Aos professores queridos e especiais. Gratidão pelos conhecimentos e amizades

“A todos aqueles que passaram na minha caminhada, pois não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós” (Antoine de Saint-Exupéry).

RESUMO

A geração de resíduos sólidos e o seu descarte inadequado traz várias consequências para o meio aquático, entre elas, a contaminação com metais potencialmente tóxicos. O tratamento dos efluentes necessita de meios alternativos com custos menores. Em função dessa necessidade, o uso de biomassas para produção de bioadsorventes se apresenta como uma alternativa viável. Dessa forma, este trabalho avaliou a eficiência da biomassa da casca da manga (*Mangifera Indica*) *in natura* como bioadsorvente para remoção de metais potencialmente tóxicos em meio aquoso. Os materiais com potenciais bioadsorvente (cascas de manga) utilizadas foram obtidas na feira livre do bairro Cidade Nova, localizado na cidade de Feira de Santana, Bahia. O material *in natura* foi lavado para remoção de sujeira e de açúcar, seco, e então caracterizado por DRX, FTIR, MEV e TG. Foram feitos ensaios para avaliar as melhores condições de adsorção de íons metálicos de Fe^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} em solução aquosa mista de 1 mg L^{-1} , utilizando planejamento experimental fatorial completo 2^3 com quadruplicata do ponto central. Na linha A8 deste planejamento indica um maior número de metais que apresentaram dados significativos avaliando a condição ótima de adsorção. O Pb foi o que apresentou o menor percentual de remoção máxima (49,04%) e o Cu apresentou o maior percentual (89,95%). A análise do ciclo de vida retrata a quantidade de carbono equivalente referente ao processo de beneficiamento de biomassa realizado nesse estudo foi de $1,83 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$, comparando com o valor anteriormente apresentado no trabalho de Hjaila, 2013, de $11,1 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$, evidenciando a importância da busca por materiais sustentáveis.

Palavras-Chave: Casca de Manga; Metais; Biomassa; Bioadsorvente.

ABSTRACT

The generation of solid waste and its improper disposal has several consequences for the aquatic environment, including contamination with potentially toxic metals. The treatment of effluents requires alternative means with lower costs. Due to this need, the use of biomass to produce biosorbents is a viable alternative. Thus, this work evaluated the efficiency of mango peel biomass (*Mangifera Indica*) in natura as a bioadsorbent for removing potentially toxic metals in an aqueous medium. The mango peels used for the production of the bioadsorbent in this work were transferred to the street market in the Cidade Nova neighborhood, located in the city of Feira de Santana, Bahia. The raw material was washed to remove dirt and sugar, dried, and then characterized by XRD, FTIR, MEV and TG. Tests were carried out to evaluate the best conditions for the adsorption of metallic ions of Fe, Pb, Mn, Zn, Cd, Ni, Cr, Cu in a mixed aqueous solution of 1 mg L⁻¹, using a complete factorial design 2³ with quadruplicate of the central point. Line A8 of this planning indicates a greater number of metals that presented significant data evaluating the optimal adsorption condition. Pb presented the lowest percentage of maximum removal (49.04%) and Cu presented the highest percentage (89.95%).

Keywords: Mango Peel; Metals; Biomass; Biosorbent.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de alguns metais suspeitos de serem cancerígenos em seres humanos e animais pela USEPA, IARC E ACGIR/OSHA

Tabela 2: Limites máximos permitidos de alguns metais em água doce, segundo o CONAMA

Tabela 3: Diferença entre adsorção física e adsorção química

Tabela 4: Trabalhos com bioadsorventes e seus respectivos poluentes e resultados

Tabela 5: Níveis e códigos das variáveis para otimização da remoção de metais potencialmente tóxicos.

Tabela 5-1: Planejamento Fatorial 2^3 .

Tabela 6: Dados dos insumos para beneficiamento de 1 kg de biomassa

Tabela 7: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Fe pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-1: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Pb pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-2: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Pb pelo bioadsorvente proposto em solução monoelementar.

Tabela 7-3: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Mn pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-4: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Zn pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-5: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Cd pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-6: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Ni pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-7: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Cr pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-8: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Cu pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 7-9: Resultados experimentais para adsorção dos metais em estudo pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Tabela 8: Demanda de Energia acumulada no processo de beneficiamento de 1 kg de biomassa

Tabela 9: Demanda de Energia Acumulada por contribuição de processos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS)

Figura 2: O fruto da mangueira (*Mangífera indica*)

Figura 3: Produção de Manga em Toneladas 2020

Figura 4: Manga: (a) Fruto inteiro e recorte (b) Componentes do fruto

Figura 5: *Mangifera indica*, estrutura interna e externa

Figura 6: Fases de uma análise de ciclos de vida.

Figura 7: Casca da Manga seca a 110° C

Figura 7: Casca seca pós lavagem (a) / Material pronto (b)

Figura 8: Moinho Analítico

Figura 9: Peneiras

Figura 10: Casca seca pós lavagem (a) / Material pronto (b)

Figura 11: Procedimento para otimização das condições experimentais dos ensaios de adsorção

Figura 12: Fronteiras do Sistema de Beneficiamento de 1 kg de Biomassa

Figura 13: Espectro de Infravermelho do bioadsorvente da casca de manga.

Figura 13.1: Espectro de DRX da casca de manga.

Figura 13.2: Gráfico referente ao PCZ do bioadsorvente da casca de manga

Figura 13.3: Imagens da MEV do adsorvente oriundo da casca de manga, em magnitudes de (a) x250 (b) x500

Figura 14: Curvas termogravimétricas (TG) e (DrTG) em atmosfera inerte da Amostra (C1). Razão de aquecimento 10°C min⁻¹, vazão 100 mL min⁻¹

Figura 15: Demanda de Energia Acumulada das etapas do processo de beneficiamento aplicado e suas contribuições percentual. (a) Quantidade de energia utilizada de fontes renováveis e não renováveis; (b) Distribuição percentual; (c) Contribuição de fontes renováveis; (d) Contribuições de fontes não

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FTIR - Espectrometria de infravermelho com transformadas de Fourier (do inglês Fourier-transform Infrared spectroscopy).

DRX - Difractometria de Raio-X

PCZ - Potencial de Carga Zero

MEV - Microscopia Eletrônica de

Varredura TG- Termogravimetria

LAMUME - Laboratório Multiusuário de Microscopia

LAPRON - Laboratório de produtos naturais

LABEXA - Laboratório de Exatas

UEFS - Universidade Estadual de Feira de Santana

UFBA - Universidade Federal da Bahia

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency

IARC - Internacional Agency for Research on Cancer

ACGIR/OSHA - American Conference of Governmental Industrial Hygienists

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	5
2.OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivo geral.....	8
2.2. Objetivos Específicos.....	8
2.3 Justificativa.....	8
3.BASE CONCEITUAL.....	9
3.1. Manga (Mangifera Indica.....	9
3.2. Água.....	11
3.3. Metais Potencialmente Tóxicos.....	12
3.4. Adsorção.....	14
3.4.1. Bioadsorventes.....	15
4.METODOLOGIA.....	20
4.1. Preparo/Pré-tratamento do adsorvente.....	17
4.2. Planejamento Fatorial.....	18
4.3. Isotermas de Adsorção.....	19
4.4. Estudos Cinéticos.....	19
4.5. Tratamento de dados.....	19
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
6.CONCLUSÕES.....	27
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1.INTRODUÇÃO

A contaminação ambiental por metais potencialmente tóxicos em especial aos ambientes aquáticos é um problema de grande porte, seja em nível regional a mundial. Nas últimas décadas, o desenvolvimento de atividades indústrias, além dos resíduos de efluentes domésticos sem tratamento adequado, escoamento superficial não urbano e poluição agrícola não pontual (lixiviação de fertilizantes e pesticidas) (ANALUDDIN *et al.* 2017). Levou a um número crescente de descargas de metais potencialmente tóxicos, representando um risco significativo para os ecossistemas hídricos, bem como para a saúde do ser humano (JIASHENG *et al.* 2023). Logo, o acúmulo de metais potencialmente tóxicos, em escala ambiental e na cadeia alimentar gera diversos fatores negativos devido as características biodegradáveis, bioacumulativas e persistência ambiental, tornando uma ameaça para a saúde humana e aos organismos aquáticos presentes. (YANYANG *et al.* 2023).

Os metais são poluentes citotóxicos (que tem efeito tóxico sobre determinadas células) que persistem e causam danos permanentes ao ecossistema e ao ser humano (MEN *et al.* 2018). Metais como Fe, Mn, Zn, Cr, são elementos essenciais que constituem enzimas-chave e participam de reações importantes. Contudo, a quantidade excessiva desses elementos gera danos em diversos sistemas (CARVALHO NETA *et al.* 2019).

O Brasil encontra-se na lista dos maiores produtores de alimentos do mundo, isso em virtude à sua atividade agroindustrial desenvolvida, em seu processamento, são geradas grandes quantidades de resíduos diversos, sejam nas áreas industriais, agrícolas, e, ou, urbanas. (SILVA *et al.* 2018).

Na indústria de processamento de frutos ocorre a geração de resíduos, como cascas e sementes, os quais são considerados inadequados para o consumo da alimentação humana, mesmo muitos apresentando propriedades relevantes à nutrição (ALMEIDA, 2020). Observa-se que uma pequena porção dos resíduos é reaproveitada em rações para animais e a maior parte é descartada no ambiente, atuando como fonte de contaminação a diversos meios aquáticos e terrestres (NASCIMENTO FILHO FRANCO, 2015).

Utilizar materiais de fácil acesso e baixo custo impacta na redução dos custos para o procedimento da adsorção, o que torna uma vantagem para essa técnica. (KYZAS, 2013). A adsorção é bastante empregada para remoção de diversos poluentes, devido ao seu baixo custo e a variedade de aplicações, logo é considerado como adsorvente de baixo

custo todo material que seja abundante na natureza ou derivado de um resíduo industrial ou agrícola (BAILEY, 1999; SON *et al.* 2018; MENGCHAO *et al.* 2023).

A manga (*Mangifera indica*) é uma das frutas de maior comercialização no mundo, ela pertence à família *Anacardiaceae* (EMBRAPA, 2005). Possui destaque para cultivo nas regiões tropicais e subtropicais (ASIF *et al.* 2016; VASCONCELOS *et al.* 2019). Destaque para o ano de 2019 onde a produção mundial chegou a 55,8 milhões de toneladas. (SHAHBANDEH, 2021). O Brasil é o sétimo produtor mundial de manga e dentre as cultivadas de importância comercial a ‘Tommy Atkins’ é a mais plantada e exportada pelo país (MARQUES, 2010). De acordo com o censo agropecuário de 2017, do IBGE, o estado da Bahia é o maior produtor de manga do país, com cerca de 281 mil toneladas por ano. (IBGE, 2017). O processo industrial dessa matéria-prima, resulta em uma alta geração de resíduos incluindo cascas e caroços correspondendo a 35-60% em massa da manga. (LARRAURI *et al.* 1996). A proporção das cascas em relação ao fruto varia de 20 a 30% (CUNHA *et al.* 2002). Em decorrência do processamento da manga, a casca é o maior subproduto desse fruto, não sendo utilizada comercialmente, logo ela é descartada como resíduo tornando-se uma fonte de poluição. (AJILA *et al.* 2007)

Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), no Brasil ocorre o desperdício de 26 milhões de toneladas de alimentos por ano, volume suficiente para alimentar bem 35 milhões de pessoas. De 100 caixas de produtos alimentares colhidas no campo, 39 não chegam à mesa do consumidor. Das 43,8 milhões de toneladas de lixo geradas anualmente no Brasil, 60% é composto por restos de alimentos (HECK, 2008). Este cenário se torna mais evidente quando se trata de cadeias produtivas, em que, os produtos são altamente perecíveis, como é o caso das frutas e hortaliças (CASTRO *et al.* 2008).

Importantes impactos econômicos podem ser obtidos com o desenvolvimento de tecnologias que permitam aproveitamento e agregação de valor aos resíduos sólidos. (ANDRADE, 2018). Assim sendo, se faz necessário o desenvolvimento de produtos com baixo custo o qual pode ser aplicado em processos de adsorção para remover poluentes em meio aquoso, o qual compete com o carvão ativado, que é bastante utilizado, porém com custos onerosos. (LIMA *et al.* 2023).

Nesse contexto o estudo proposto para uma aplicação ambiental é a remoção de metais potencialmente tóxicos por meio de adsorção, através do uso da casca da manga como adsorvente de baixo custo, destarte ao analisar a crescente industrialização de

processamento dos alimentos e sua importância socioambiental dos ecossistemas estabelecidos nessas áreas, como também a degradação ambiental atrelada a todo esse processo. Espera-se com esse estudo contribuir para a viabilidade e aumento da aplicabilidade do uso de adsorventes com custo mais baixos, como proposta apresentar uma forma alternativa de prevenção mais acessível economicamente .

Enquadramento nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Dentro da perspectiva de desenvolvimento sustentável, temos os ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), que foi lançada pela ONU em 2015 e representam um plano de ação global, ou seja, uma agenda mundial adotada durante a cúpula das nações unidas, sendo compostas por 17 objetivos e 169 metas para inclusão até 2030. (ONU,2015). Esses ODS são fundamentais para impulsionar o desenvolvimento sustentável global. Logo, para fins deste trabalho, considerar-se-á três ODS (6,7 e 14), que se encaixam na temática ora apresentada. (Figura 1)

Figura 1- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS)



Fonte: Adaptado de PNUD 2015

Relacionando a temática com esses objetivos, é perceptível o direcionamento de esforços para o enfrentamento de problemas urgentes e a construir um futuro sustentável para todos. O progresso em relação a esses objetivos é extremamente importante para garantir um mundo mais equitativo, resiliente e próspero para as gerações presentes e

futuras. O quadro ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) abaixo demonstra os objetivos alinhados a essa temática discorrendo sobre cada um.

ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável)
● ODS 6 – Água potável e saneamento
Possibilidades de ação que podem contribuir para a preservação e disponibilidade deste recurso natural essencial a todos.
● ODS 7 – Energia limpa e acessível
Uso consciente de energia, apoio a projetos de pesquisa sobre energia limpa, participação em projetos de implementação de tecnologias básicas em comunidades
● ODS 14 – Vida na água
Conservação e uso sustentável dos oceanos dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: (ONU, 2015)

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Estudar a eficiência da biomassa da casca da manga (*Mangifera indica*) *in natura* como bioadsorvente para remoção de metais potencialmente tóxicos em meio aquoso.

2.2 Objetivos específicos:

- Estabelecer as condições ótimas de adsorção de metais em meio aquoso dos materiais bioadsorventes utilizando planejamento fatorial;
- Caracterizar através das técnicas, DRX, FTIR, MEV e TG o bioadsorvente proveniente da biomassa da casca de manga;
- Avaliar o material proveniente da biomassa da casca de manga na adsorção de metais potencialmente tóxicos (Fe^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+}) através da técnica de absorção atômica.
- Avaliar se o método de beneficiamento utilizado através da análise do ciclo de vida, é energeticamente eficiente e ecologicamente sustentável.

3.BASE CONCEITUAL

3.1 Manga (*Mangifera indica*)

A manga (*Mangifera indica*) é uma fruta nativa do sul da Ásia, especificadamente da Índia e do arquipélago Malaio de onde se espalhou para outras partes do mundo inclusive as Américas. (EMBRAPA, 2005). É umas das principais fontes de vitamina C e provitamina A entre as frutas. (SILVA *et al.* 2018). É um fruto com característica climatérica, podendo amadurecer fora da planta mãe dentro de um intervalo de três a oito dias o que provoca perdas com a pós colheita (SILVA e CALISTO, 2013), conforme a figura 2.

Figura 2- O fruto da mangueira (*Mangifera indica*)



Fonte: Sebrae (2020)

No Brasil, a produção de manga foi introduzida por volta de 1700. Foi amplamente disseminada, pois esta é favorecida pelo clima tropical brasileiro (ALMEIDA, 2020). O Brasil é um dos dez maiores produtores de manga do mundo, a região responsável por grande parte dessa produção no Brasil é o Nordeste do país, devido às características de clima e irrigação e sua localização, que favorece o transporte de frutos para a América do Norte e Europa, deixando os custos de exportação menores (EMBRAPA, 2020).

Segundo Freitas, 2022 a manga é uma fruta cultivada em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo uma importante fonte de nutrientes. O Vale do São Francisco, onde estão localizados os municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, é um dos principais polos produtores de manga do Brasil, sendo responsável por 70% da produção nacional, com um total de 1.095.098 toneladas produzidas e 245.304 toneladas exportadas anualmente (ANUARIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUIT, 2022)

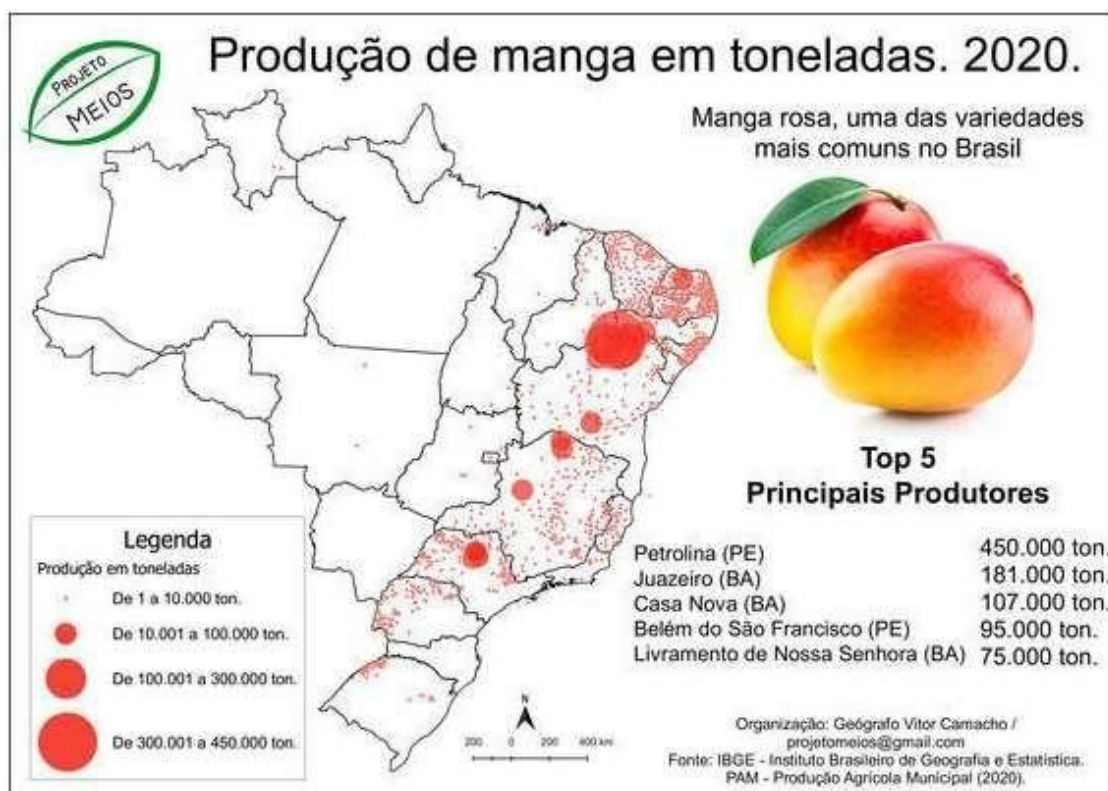
A manga é uma fruta muito consumida no Brasil e a forma mais comum de consumo é in natura (ALMEIDA, 2020).

Vale ressaltar que o objeto de estudo (a manga) tem forte influência e cultivo na região do Nordeste, sendo o 2º maior produtor o estado da Bahia. Para a EMBRAPA, a mangueira vegeta tanto em solos arenosos quanto nos argilosos. (EMBRAPA, 2018)

A mangueira se adapta bem em áreas onde as estações seca e chuvosa se apresentem bem definidas. O período seco deve ocorrer bem antes do florescimento, de modo a permitir à planta um período de repouso vegetativo, e prolongar-se até a frutificação para evitar os danos causados pela antracnose e o oídio. Após a frutificação, é benéfica a ocorrência de chuva, pois estimula o desenvolvimento dos frutos e impede sua queda. Quando se pode contar com um sistema de irrigação (regiões semi-áridas) o plantio da mangueira pode ser feito em qualquer época do ano. Quando não se dispõe dele, realiza-se o plantio no período das águas. (EMBRAPA, 2018).

Os números demonstrados pelas pesquisas da Produção Agrícola Municipal (PAM), do IBGE, denotam o crescimento no estado baiano, apesar dos problemas pontuais o Agro da Bahia tem apresentado números muito satisfatórios. É o que acontece, por exemplo, com a cultura da manga, que, segundo a pesquisa do IBGE, teve resultados positivos na Bahia, entre 2019-2020, tanto na quantidade produzida quanto no valor gerado. A pesquisa traz que a Bahia tem três municípios entre as cinco cidades com maior produção de manga no país, pela ordem Juazeiro (2º), Casa Nova (3º) e Livramento de Nossa Senhora (5º), como consta na figura 3.

Figura 3- Produção de Manga em Toneladas 2020

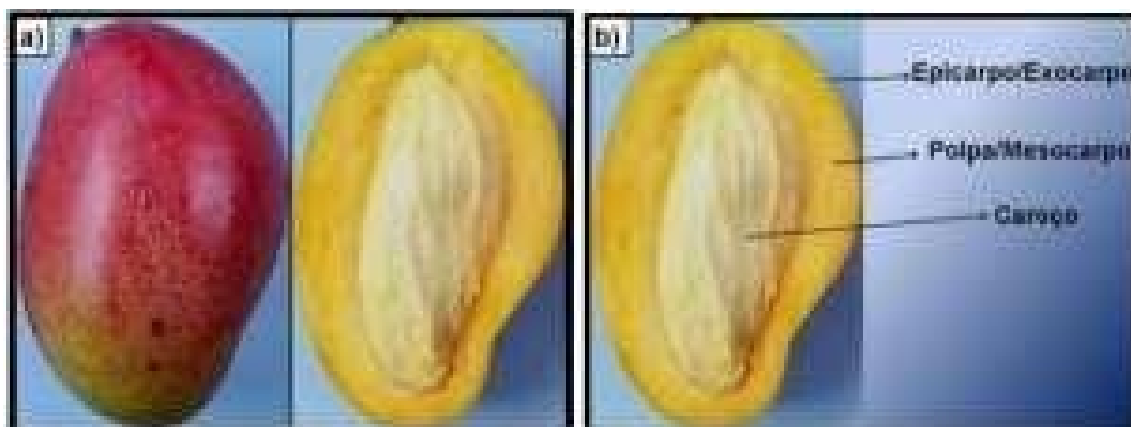


Fonte: IBGE/ PAM

A manga é uma fruta que possui colorações distintas variando desde o amarelo, laranja e vermelha, sendo mais roseada no lado que sofre insolação direta e amarelada ou esverdeada no lado que recebe insolação indireta. Normalmente, quando a fruta ainda não está madura, sua cor é verde, mais isso depende do cultivo. A polpa é suculenta e muito saborosa, em alguns casos, fibrosa, doce, contendo uma única semente grande no centro (SOUZA *et al.* 2003).

Segundo Florêncio et al. (2012) O fruto da manga é constituído de exocarpo (casca), mesocarpo (polpa comestível) e endocarpo (caroço), conforme figura 4, sendo importante destacar que as três partes são aproveitadas, mas é dada maior ênfase para a polpa comestível cuja utilização é bastante difundida. Há grande importância tanto econômica quanto nutricional, nesses componentes apresentando também propriedades medicinais como laxativa diurética e revigorante na substituição de polpa por cascas.

Figura 4- Manga: (a) Fruto inteiro e recorte (b) Componentes do fruto



Fonte: Andrade (2018)

Como destaque para a composição da casca da manga podem ser obtidos biopolímeros como hemicelulose (8,1%), celulose (9,19%), lignina (4,25%) e pectina (10-21,2%) (RIBEIRO, 2022). Nota-se que esses subprodutos, são ricos em compostos bioativos, os quais têm sido estudados como uma alternativa natural mais segura em relação aos bioativos sintéticos (DORTA *et al.* 2014). (Figura 5)

Figura 5 – *Mangifera indica*, estrutura interna e externa



Fonte: SEBRAE (2020)

3.2 Água: Recurso Hídrico

A contaminação da água a partir de uma ampla gama de poluentes orgânicos e inorgânicos, como metais potencialmente tóxicos, desencadeou a necessidade de novas tecnologias para remoção desses (NASCIMENTO, *et al.* 2014). A adsorção tornou-se uma das técnicas mais promissoras na remoção de poluentes aquáticos, sendo que o uso de resíduos sólidos ganha cada vez mais importância, como forma de propor adsorventes de baixo custo e fácil recuperação. (MOREIRA, 2008).

A carência de água tornou-se um problema que ganhou atenção da população, devido a seu caráter global e imediato. (NASCIMENTO, *et al.* 2014). Da água presente no planeta Terra, cerca de 97% é água salgada. (ONU, 2021). Considerando a água doce disponível para consumo humano, temos 79% em calotas polares, 20% nos lençóis subterrâneos, e apenas 1% se apresenta como água superficial de fácil acesso. Sendo, o total de água utilizável pela população do planeta, em média de 0,3% da hidrosfera (RESENDE, 2002; BRITO, 2010; ONU (2023)).

Em função do crescimento da população e dos diversos setores agrícolas e industriais, a demanda de água de boa qualidade está se tornando um recurso escasso, pois aumentou a demanda, ou seja, o uso dessa substância é mais do que essencial para os seres vivos e meio ambiente, sendo a sua conservação fundamental, logo se faz necessária a discussão acerca de modos de economia, tratamento e reutilização da água (WANG *et al.* 2021).

Nas últimas décadas, os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo alterações significativas, no relatório da ONU (2021), aponta que o consumo global de água doce é crescente em aproximadamente 1% nos últimos anos, gerando assim um estresse hídrico, pois a procura é maior que a oferta, deixando cerca de 1,6 bilhão de pessoas em insuficiência de água.

A água é um recurso em crise. Segundo dados da FAO, 300 milhões de pessoas vivem atualmente em países que sofrem de escassez de água, e mais de 733 milhões de pessoas – aproximadamente 10% da população mundial – vivem em países afetados por alto e grave estresse hídrico.

Além disso, a agricultura depende dos recursos hídricos e é responsável por 72% das captações globais de água doce, juntamente com outros setores econômicos, tornando-a um elemento essencial da Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de

2030. Embora a consciência da importância da água para a agricultura e para o desenvolvimento sustentável tenha aumentado, a FAO defende que uma ação mais eficaz, integrada e coordenada, aliada a uma forte vontade política de reconhecer, valorizar e administrar os recursos hídricos de forma holística e integrada, ainda é necessária para alcançar todos os ODS. (ONU, 2023)

Segundo a Declaração de visão conferência da água da ONU 2023, a reunião dos diálogos regionais da água ocorrido na América Latina e no Caribe, ocorreu entre os dias 1 e 3 de fevereiro de 2023 em Santiago, no Chile, houve um acordo para a implementação de uma agenda regional de Ação pela Água. O objetivo da resolução é avançar no cumprimento do ODS 6, o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável que busca garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todo o mundo. (FAO, 2023 - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação).

3.3 Metais Potencialmente Tóxicos

Segundo Nascimento et. al. (2015): “Os metais potencialmente tóxicos são contaminantes químicos não biodegradáveis e tendem a se acumular nos organismos vivos, provocando distúrbios e doenças variadas, e têm sido sistematicamente lançados no ambiente, afetando a qualidade de solos e águas”. Os elementos que são considerados metais apresentam brilho, alta condutividade elétrica, maleabilidade e que perdem elétrons para a formação de cátions. Segundo Jaishankar et., 2014, os metais potencialmente tóxicos são elementos que estão distribuídos e encontram-se naturalmente na crosta terrestre variando a sua composição a depender da localidade substâncias encontradas em pequenas quantidades no ambiente refere-se ao termo “metais traço” (ETUK *et al.* 2020)

Os metais potencialmente tóxicos possuem a tendência de serem encontrados naturalmente no ambiente, isso ocorre em função do intemperismo das rochas (lixiviação e transporte do material desagregado resultante das vias fluviais e eólicas, pelo transporte tanto da gravidade, como pela chuva), ou na intervenção humana em função do desenvolvimento de suas atividades (industriais, urbanas, domésticas.) (LOUREIRO *et al.* 2012). Esses elementos possuem variações na toxicidade, de não críticos, os quais são essenciais a vida, a um alto teor prejudicial ao ser humano e ao ecossistema. (GUEDES, 2011).

A concentração de metais nos ambientes aquáticos pode ser intensificada por conta de ações antrópicas, principalmente através da indústria química, mineração, uso de pesticidas, fertilizantes, lançamentos de efluentes industriais, urbanos, têxteis, agroindustriais, entre outros, que vão direto para o ecossistema sem tratamento adequado, além da incineração de lixo, queima de combustíveis, fabricação de baterias, fazendo com que esses se tornem uma das mais graves formas de poluição ambiental (ZHANG *et al.* 2020). Em contato com a biota, os metais potencialmente tóxicos causam diversos problemas para a biodiversidade, principalmente quando esses metais estão em contato com organismos vivos, destaque para os metais potencialmente tóxicos que são despejados com frequência na natureza: cromo (Cr), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e zinco (Zn) (ALI *et al.* 2019).

Esses metais considerados tóxicos apresentam grande risco ambiental, pois alguns possuem a capacidade de bioacumular-se, de modo que sua concentração aumenta ao longo da cadeia alimentar, sendo suas origens muitas vezes provenientes de despejos industriais sem tratamento, resíduos de produção civil, acumulação de lixo em ruas, indústria de mineração, galvanoplastia e indústria do petróleo que oferecem riscos de contaminação de solos, sedimentos e fauna aquática devido a bioconcentração (CAVALCANTI, 2009).

Quando as concentrações desses metais são acima dos níveis determinados pelos órgãos competentes, os danos podem ser irreversíveis, causando risco de contaminação ao meio ambiente e consequentemente influencia a qualidade de vida da população. (CAVALCANTI, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2015;).

Os metais estão presentes na cadeia alimentar e algumas espécies metálicas são essenciais para a vida quando em pequenas quantidades. (BATVARI *et al.* 2013). Entretanto, a quantidade excessiva desses, gera danos à saúde dos seres humanos e diversos sistemas hídricos (BARROS *et al.* 2009, CAVALCANTE, 2019). O acúmulo de metais em espécies marinhas podem ser biomagnificados na cadeia alimentar acometendo os seres humanos. (BATVARI *et al.* 2013, SILVA 2023) A toxicidade desses metais traço pode provocar doenças em órgãos vitais como fígado, pulmões, doenças renais, anemia, além de patologias provenientes da exposição a longo prazo, como disfunções reprodutivas, perturbações neurológicas (como atraso mental ou alterações do comportamento) e desenvolvimento de doenças fatais como o câncer, isso mesmo que em doses relativamente baixas (JAISHANKAR *et al.* 2014). (Tabela 1)

Tabela 1. Classificação de alguns metais (potencialmente) suspeitos de serem cancerígenos em seres humanos e animais pela USEPA, IARC E ACGIR/OSHA.

METAL	USEPA	IARC	ACGIR/OSHA
Pb	Provável carcinógeno em	Possível carcinógeno em	Carcinógeno em animais
Ni	Carcinógeno em humanos	Carcinógeno em humanos	Carcinógeno em humanos
Cd	Provável carcinógeno em	Provável carcinógeno em	Suspeito carcinógeno em
Zn	Não Classificado	Não Classificado	Não Classificado
Cu	Não Classificado	Não Classificado	Não Classificado

Fonte: Nascimento (2014)

A legislação brasileira por meio da Resolução do CONAMA 357, estipula limites para o descarte de águas contendo diferentes metais como: antimônio, arsênio, bário, berílio, cádmio, chumbo, cobalto, cromo, ferro, lítio, manganês, mercúrio, níquel, prata, selênio, urânio, vanádio, zinco e cobre.

No seu artigo 1º a resolução CONAMA nº 430/2011, dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores (BRASIL, 2011). No Art. 3º enfoque - “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostas nesta resolução e em outras normas aplicáveis” (BRASIL, 2011, p.1). Sendo uma delas a relação aos valores máximos admissíveis para algumas substâncias, como cádmio, chumbo, níquel, cobre e zinco por exemplo. Onde o valor máximo admissível para o cádmio, é de 0,2 mg/L, chumbo, 0,5 mg/L, níquel, 2,0mg/L, cobre, 1,0 mg/L e zinco, 5,0 mg/L (BRASIL, 2011). Logo, é interesse a busca por métodos alternativos eficientes para remoção desses contaminantes do meio ambiente, de modo não ofensivo e com menor custo (CASTRO *et al.* 2020).

A tabela 2 apresenta os limites máximos aceitáveis de metais potencialmente tóxicos em águas doce de classe I, II e III, sendo a classe I águas de qualidade, com pouca ou nenhuma contaminação, a classe II águas de qualidade intermediária, que podem ser usadas para abastecimento público após tratamento, para irrigação e para recreação e classe III águas com qualidade comprometida, onde o uso para abastecimento público só é viável após tratamento avançado. Embora com restrições para atividades de contato direto, segundo o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução 357/2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011).

Tabela 2. Limites máximos permitidos de alguns metais em água doce, segundo o CONAMA

METAL	LIMITE CONAMA		
	Classe I (mg/ L)	Classe II (mg/ L)	Classe III (mg/ L)
Pb	0,01	0,01	0,033
Ni	0,025	0,025	0,025
Cd	0,001	0,001	0,01
Zn	0,18	0,18	5,0
Cu	0,009	0,009	0,013

Fonte: Nascimento (2014)

Na literatura vários trabalhos já relatam a dinâmica de elementos químicos em ambientes aquáticos, que são afetados pela ação antrópica (BADRI, ASTON, 1983; NIENCHESKI *et al*, 1994 ; MIRLEAN *et al*. 2003; DIEZ *et al*. 2017;).

Segundo Santos e Jesus (2014), o município de Santo Amaro foi contaminado por escórias de chumbo provenientes de uma fábrica da região a qual foi instalada a cerca de 300 metros do leito do rio Subáe. Segundo a pesquisa, foi realizada caracterização dos metais potencialmente tóxicos nas águas da bacia do Rio Subáe. Dos pontos analisados, a pesquisa aponta a quantificação de metais presentes no rio e confirma que a qualidade da água se encontra comprometida com a existência de metais como, cádmio , chumbo cobre, manganês, chumbo e zinco acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

3.4 Adsorção

A adsorção é um dos processos mais eficientes de tratamentos de água e efluentes, sendo empregadas nas indústrias com o intuito da redução dos níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente (MOREIRA, 2008).

Diversos processos para remoção de metais em meio aquoso são conhecidos e, dentre eles, a adsorção tem sido muito estudada em trabalhos científicos devido a sua versatilidade e na busca de alternativas ao principal adsorvente conhecido – o carvão ativado – que ainda possui custo elevado, podendo tornar o processo de adsorção dispendioso (MIMURA *et al*. 2010; CAVALCANTE 2019). Segundo IUPAC (1997), a adsorção é: Um aumento na concentração de uma substância dissolvida na interface entre uma fase condensada e uma fase líquida devido à operação de forças superficiais. A adsorção também pode ocorrer na interface de uma fase condensada e uma fase gasosa.

O processo de adsorção consiste no acúmulo de adsorvato na interface do adsorvente, que constitui um processo de separação dos componentes presentes no sistema. Este processo pode ser classificado em adsorção física ou adsorção química. Quando a adsorção ocorre por meio de forças intermoleculares mais fracas (Forças de Van der Waals) envolvendo forças de atração e repulsão entre as moléculas, o fenômeno é caracterizado como adsorção física. (NASCIMENTO, 2014). A adsorção química ocorre através de ligações químicas entre o composto adsorvido e o adsorvente (MELO, 2017). (Tabela 3)

Tabela 3 – Diferença entre adsorção física e adsorção química

ADSORÇÃO FÍSICA	ADSORÇÃO QUÍMICA
Causada por forças de van der Waals.	Causada por forças eletrostáticas e ligações
Não há transferência de elétrons.	Há transferência de elétrons.
Calor de adsorção = 2 – 6Kcal/mol.	Calor de adsorção = 10 – 200Kcal/mol.
Fenômeno geral para qualquer espécie.	Fenômeno específico e seletivo.
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção.	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento à temperatura acima da de adsorção.
Formação de multicamada abaixo da temperatura crítica.	Somente há formação de monocamadas.
Acontece somente abaixo da temperatura crítica.	Acontece também a altas temperaturas.
Lenta ou rápida.	Instantânea
Adsorvente quase não é afetado.	Adsorvente altamente modificado na superfície.

Fonte: Moreira (2008)

3.4.1 Bioadsorventes

A adsorção tem apresentado bons resultados na remoção de metais potencialmente tóxicos, entretanto este processo é considerado caro. Uma alternativa de baratear esta técnica é utilizando os resíduos da produção agrícola que não são utilizados para o consumo humano, como as cascas e as sementes de frutos que, na maioria das vezes, não são aproveitados. Assim, deixa-se de produzir mais resíduos e passa-se a agregar valor ao material, uma vez que é utilizado para a descontaminação do meio ambiente. (LERMEN *et al.* 2021

A biomassa é todo material oriundo de recursos renováveis como plantas, madeira, resíduos agrícolas, entre outros.(CAVALCANTE, 2019). Os bioadsorventes,

por sua vez, são aqueles adsorventes extraídos de biomassa que possua capacidade de retenção de íons ou moléculas quando em soluções aquosas (OLIVEIRA & SILVA, 2011; VILAR, 2006 apud RAMOS *et al.* 2016).

O processo de bioadsorção é um tipo de adsorção que consiste em uma remoção passiva utilizando um adsorvente de origem biológica, ou seja, uma biomassa, que é chamado de bioadsorvente (MELO, 2017). A bioadsorção é um processo alternativo, com baixo custo, e melhor eficiência, muitas vezes, comparado à adsorção convencional. O processo consiste na remoção de diversos contaminantes, inclusive metais. (MELO, 2017).

A Literatura aborda diversos autores que utilizaram bioadsorventes com menores custos, a tabela 4 demonstra esses estudos.

Tabela 4- Trabalhos com bioadsorventes e seus respectivos poluentes e resultados

MATERIAIS	POLUENTES	SÍNTESES DOS RESULTDOS	REFERÊNCIAS
Endocarpo de <i>Spondias purpurea</i> L	Cromo Hexavalente	Adsorção de 96,8% de Cr^{6+} em pH 1,0 tratado com H_2SO_4	BARBOS A, S. R. A.,2017
Lodo de Esgoto	Tartrazina	Capacidades máx. de 0,48 mg g^{-1} para ADS E 1,62 mg g^{-1} para ADS-	COSTA NETO, D.S.,
Casca de Lentilha de adsorção de 107, 31 mg g^{-1}	Cd^{2+} g^{-1} em pH 5	Capacidade	BASU <i>et al.</i> 2017
Casca de Maracuj	Azul de metileno	48h de contato para remoção de 49 mg	PAVAN <i>et al.</i> 2008
Casca de Maracujá		Adsorção de Pb^{2+} em pH 9,0. Trata do com NaOH	SILVA <i>et al.</i> 2016
Casca de Maracujá amarelo	Cd^{2+} e Pb^{2+}	8,49 mg g^{-1} para Cd^{2+} e 3,45 mg g^{-1} para	CAVALC ANTE,
Casca de siri Ni^{2+}	Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+}	Capacidade máx. de adsorção 31,44 mg g^{-1} , 29,23 mg g^{-1} e 29,15 mg g^{-1} para Pb^{2+} , Cd^{2+} e Ni^{2+} , respectivamente.	FOROUTAN, 2019.
Casca de maracujá amarelo	Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+}	Porcentagem de remoção metálica: 93,92% para Cu^{2+} ; 98,86% para Pb^{2+} ; 80, 91% para Zn^{2+} , 72,42% para Ni^{3+} níquel e 58,65% para Cr^{3+}	50% para a casca de abacaxi.
Cascas de tangerina, de amendoim e de abacaxi. Bagaço de cana de açúcar.	Pb^{2+}	Remoção do Pb^{2+} acima de 90% para casca de tangerina e casca de amendoim, cerca de 60% para bagaço de cana de açúcar e aproximadamente	

Folhas de comigo	Cu ²⁺	Removeu 93% de Cu ²⁺	SOUZA <i>et al.</i> 2021
------------------	------------------	---------------------------------	--------------------------

Hidrogel poroso de rede dupla porosa derivado de cascas de amendoim	Cu^{2+} , Pb^{2+}	Capacidades máximas de adsorção foram de 250,42 e 109,89 mg/g para Pb^{2+} (pH 5) e Cu^{2+} (pH 6), respectivamente.	YANG <i>et al.</i> 2021
Biossorventes vivos e mortos de <i>Sphingomonas</i>	Cd^{2+}	Capacidades máx. de biosorção das biomassas vivas e mortas de 78,35% e 90,99% e 28,33 mg/g e 26,60 mg/g	XINGJIE Li <i>et al.</i> 2023

Fonte: Autora 2023

3.5 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Em um movimento cada vez maior de evitar danos ao meio ambiente, nas últimas décadas foram desenvolvidas algumas ferramentas e metodologias ambientais, afim de avaliar o impacto de novas tecnologias, incluindo as que visam tratar ambientes contaminados (Choudhary, 2023). Uma delas é a Análise de Ciclo de Vida, mais conhecida por sua abreviatura ACV (ou LCA, do inglês *Life Cycle Assessment*), que se destaca por levar em consideração todos os encargos envolvidos no processo (Choudhary, 2023; Rosenbaum, 2017).

Desde 1993 a *International Organization for Standardization* (ISO), trabalha no processo de padronização da ACV, culminando nas normas ISO 14040 que trata da estrutura e dos princípios, e na ISO 14044 que fala dos requisitos e diretrizes que devem constar em um estudo de Análise de Ciclo de Vida (Bjørn *et al.*, 2018).

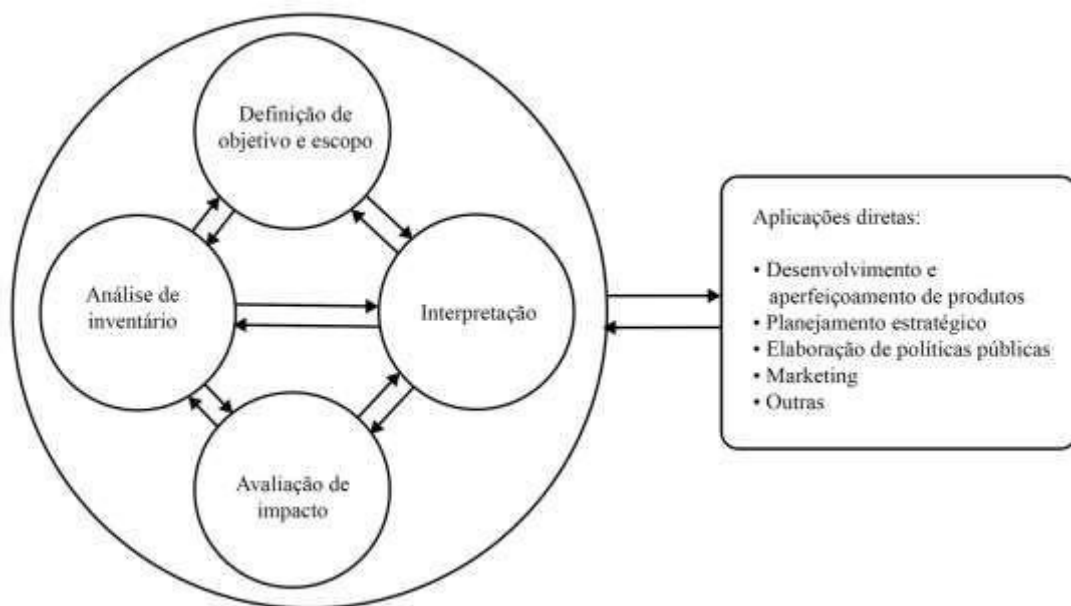
No Brasil, a ABNT elaborou as NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, idênticas em conteúdo técnico, estrutura e redação, às normas ISO 14040 e ISO 14044, respectivamente (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Segundo a NBR ISO 14040, a ACV pode, entre outras coisas, subsidiar a identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida, além do nível de informação dos tomadores de decisão (indústria e organizações governamentais).

Ainda segundo a NBR ISO 14040, um estudo de ACV é composto pelas seguintes fases: 1- definição de objetivo e escopo, 2- análise do inventário, 3- avaliação de impactos e 4- interpretação. Estas fases não são estanques e permitem retroalimentação a medida que a análise avança, e consequentemente o nível de profundidade também pode variar a

depende do alcance que se deseja (Europeia, 2014). A flexibilidade de todo o processo de análise pode ser ilustrada na figura 6.

Figura 6- Fases de uma análise de ciclos de vida.



Fonte: adaptado de ABNT NBR ISO 14040, 2009

4.METODOLOGIA

4.1 Preparo do adsorvente

As mangas foram adquiridas na feira livre da Cidade Nova, um bairro localizado em Feira de Santana-Ba. A partir da separação da polpa de 20 mangas, as cascas foram lavadas para remoção de sujeira e excesso de açúcar da própria fruta, e então postas para primeira secagem à temperatura ambiente. Seguindo o procedimento proposto por Cavalcante (2019), as cascas foram postas sobre uma lâmina de papel alumínio dentro de uma estufa modelo 400 (Nova Ética, SP, Brasil) com temperatura controlada de até 110°C por aproximadamente 24 horas até total desidratação. Feito isso, as cascas secas (conforme figura 7) foram trituradas em um moinho analítico básico A11 marca IKA, ilustrado na figura 8 para garantir sua subdivisão em fragmentos bem pequenos, e passadas em peneiras com diferentes granulometrias conforme figura 9. Na figura 10 é possível verificar a casca seca pós lavagem e o material pronto, para realizar os testes de adsorção dos metais potencialmente tóxicos.

Figura 7 - Casca da Manga seca a 110° C



Fonte: Autora (2023)

Figura 8 - Moinho Analítico



Figura 9 - Peneiras



Fonte: Autora (2023)

Figura 10- Casca de manga seca pós lavagem (a) / Material pronto (b)

(a)



(b)



Fonte: Autora (2023)

Como a casca apresentava aspecto viscoso, possivelmente por excesso de sacarose residual, passou por novo processo de lavagem com água ultrapura à 80°C sob agitação por 30 min. Este procedimento foi repetido até que a água de lavagem não apresentasse mais viscosidade proveniente da sacarose, o que dificulta no processo de adsorção por não ser tão aderente na superfície da solução aquosa. O material foi então filtrado e levado à estufa novamente por 24 horas a 110°C. Depois de seco o material compactado foi novamente fragmentado em almofariz e logo após procedeu-se a seleção granulométrica de 250 a 125 mm (60-115mesh), foram peneiradas com peneiras em aço inox em

sequências de malhas da Bertel (BERTEL, São Paulo, SP, Brasil). Foi então escolhida a fração granulométrica 115 mesh que apresentou maior quantidade para realização dos ensaios. Esse material foi armazenado em um recipiente (plástico com tampa) e identificado como amostra C1.

4.2 Caracterização do bioadsorvente

4.2.1. Espectrometria de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi realizado utilizando um espectrômetro IRTRACER-100 da Shimadzu (Quioto, Japão) entre 4000 e 400 cm^{-1} com resolução de 2 cm^{-1} e 20 varreduras, utilizando pastilhas e KBr

4.2.2 Difração de Raios-X

Os padrões de difração de raios-X das amostras foram realizados usando um difratômetro de Raio-X, Shimadzu XRD-6000 (Quioto, Japão), por meio de uma fonte de radiação de CuK α a uma voltagem de 40 kV, corrente de 30 mA, monocromador de grafite e na região de 5-80° 2 θ em varredura taxa de 2 ° min^{-1} .

4.2.3 Determinação do Potencial de carga zero (PCZ)

Para a determinação do pHPCZ, foi montando um sistema com 11 erlenmeyers contendo 40 mg da amostra do adsorvente CM-(Casca de manga), 25 mL da solução de nitrato de potássio (KNO_3) a 0,1 mol.L⁻¹ com valores de pH variando de 2 a 12, respectivamente (MELO, 2017). Os valores de pH das soluções em cada erlenmeyer foram ajustados com o auxílio de um pHmetro de bancada, da marca AKSO modelo: simpla pH 140. Foram então colocados sob agitação em Incubadora(Shaker) com agitação orbital modelo MA 410 CFT, marca Marconi a 150rpm, durante 24 h à temperatura ambiente. Após procedimento, realizou-se filtração por gravidade e o pH final foi medido novamente. Com os valores de pH inicial e final gerou-se um gráfico para identificação do ponto de equilíbrio, onde existe uma constância no pH. (MELO, 2017; CAVALCANTE 2019)

4.2.4. Microscopia eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi feita usando um microscópio JEOL T330 da Toronto Surplus® (Toronto, Canadá) com faixa de voltagem de 15 a 30 kV. Com isso, foram obtidas imagens microscópicas de alta resolução da superfície do bioadsorvente (MELO, 2017; CAVALCANTE 2019)

4.2.5. Termogravimetria (TG)

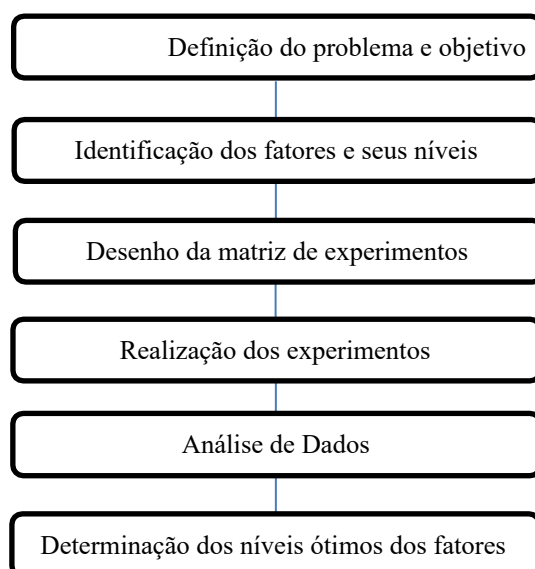
As análises de termogravimetria (TG) em uma termobalança modelo DTG -60H (TG/DTA) da Shimadzu (Quioto, Japão) com precisão de medição de temperatura, ± 2 °C; sensibilidade da microbalança, 0,001mg. em condições dinâmicas e isoterma, na faixa de 10-1000 °C. Os experimentos foram realizados sob uma atmosfera de Ar sintético, com um fluxo de 100 mL min⁻¹, e uma razão de aquecimento $\beta = 10^{\circ}\text{C min}^{-1}$. (MELO, 2017)

4.3 Ensaios de adsorção

4.3.1. Planejamento Fatorial

Realizou-se um planejamento fatorial (2^3) com quadruplicada do ponto central para escolha das melhores condições de adsorção em solução aquosa, variando a massa do bioadsorvente o pH da solução e o tempo de contato. Sendo posteriormente determinadas por (Flame Atomic Absorption Spectrometry): (Espectroscopia de absorção atômica com chama). O fluxograma a seguir mostra como o método para otimização foi elaborado (MELO,2017; CAVALCANTE, 2019).

Figura 11: Procedimento para otimização das condições experimentais dos ensaios de adsorção



Fonte: Autora 2023

No estudo realizou-se um conjunto de 12 experimentos para a otimização da adsorção simultânea de íons de Fe^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} com dois níveis e três variáveis com quadruplicata do ponto central, conforme demonstrado na tabela 5, onde as variáveis independentes elegidas para investigação foram pH do meio aquoso, tempo de agitação e massa de adsorvente, tabela 5-1 com o objetivo de eleger as melhores condições de adsorção dos íons metálicos Fe^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} em meio aquoso, utilizando como bioadsorvente resíduos de biomassa da casca de manga (MELO, 2017)

		-1	0	+1
pH	X1	3	5	7
Massa (mg)	X2	30	45	50
Tempo (min)	X3	30	45	60

Fonte: Adaptado de Melo (2017)

Tabela 5: Níveis e códigos das variáveis para otimização da remoção de metais potencialmente tóxicos.

Variável	Símbolo	Níveis
----------	---------	--------

Tabela 5-1: Planejamento Fatorial 2^3 .

Amostra (C1)	Massa (mg)	Tempo (min)	pH
A1	30	30	3
A2	50	30	3
A3	30	60	3
A4	50	60	3
A5	30	30	7
A6	50	30	7
A7	30	60	7
A8	50	60	7
A9	40	45	5
A10	40	45	5
A11	40	45	5
A12	40	45	5

Fonte : Autora

Legenda: Onde massa 30mg, pH 3 e tempo 30min indicam o menor nível. Os valores de massa 50mg, pH7 e tempo de 60min indicam o maior nível. O ponto central é indicado pela massa de 40mg, pH 5 e tempo de 45min

Uma solução mista de 1 mg/L de Fe^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} a partir de padrões de 1000 mg L⁻¹ destes íons metálicos foi preparada. Os ajustes de pH foram realizados com soluções de HCl 1 mol L⁻¹ e NaOH 1 mol.L⁻¹, (ambos Synth, Diadema, SP, Brasil) medindo-se com pHmetro portátil. Alíquotas de 25 mL da solução no pH adequado foram transferidas para erlenmeyers de 125mL contendo as massas do bioadsorvente preparado, colocando-as em agitação em um shaker a uma velocidade de 200 rotações por minutos (rpm), retirando-as após o tempo de contato determinado e filtradas por um sistema de filtração à vácuo com filtro de acetado (CAVALCANTE, 2019). Recolheram-se os filtrados, que foram identificados e armazenados em temperatura de 20°C em tubos falcon para posterior análise por espectrometria de absorção atômica em chama no laboratório geoquímica e catálise ambiental do PPGM da Universidade Estadual de Feira de Santana. O material que ficou retido no filtro de acetato ficou retido para possível reaproveitamento do bioadsorvente e dos íons metálicos após tratamento futuro, oferecendo-lhes proveito novamente.

4.3.4 Tratamento de dados

Os primeiros dados foram tratados no Excel organizados em planilhas eletrônicas.

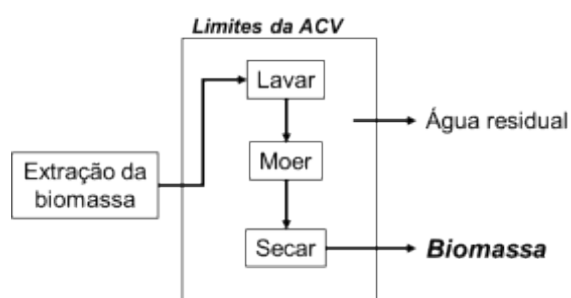
4.4 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Os dados relativos ao processo de beneficiamento da biomassa de manga, previamente mencionados, foram empregados na aplicação de uma metodologia de análise do ciclo de vida (ACV) conforme estabelecida pela norma ISO 14040 (2006). O objetivo primordial dessa abordagem é avaliar se o método de beneficiamento utilizado é energeticamente eficiente e ecologicamente sustentável, considerando as quantidades de carbono equivalente (ROSENBAUM, 2017). Além disso, a análise busca discutir a viabilidade desta etapa do processo e oferecer insights para embasar decisões estratégicas.

Os métodos adotados para a avaliação do inventário do ciclo de vida foram o Cumulative Demand Energy v1.01 (Demanda de Energia Acumulada) e o Global Warming (Aquecimento Global), utilizando a metodologia ReCiPe 2016 v1.03 midpoint (H). Os dados foram modelados a partir do banco de dados do EcoInvent v3.6 (SCLCI, 2019), com o suporte do software OpenLCA v1.11. A unidade funcional definida para este estudo foi o processo de beneficiamento de 1 kg de biomassa. O propósito dessa escolha é possibilitar uma análise mais detalhada e comparativa, permitindo avaliar de forma precisa o impacto ambiental e a eficiência energética associados a essa unidade de medida específica.

A fronteira do sistema estabelece os critérios que delimitam quais processos unitários são considerados no âmbito do sistema do produto (ISO 14040, 2006). A Figura 12 ilustra a fronteira do sistema de beneficiamento, que abrange três etapas e está restrita à análise do essencial para a execução do processo até a obtenção da biomassa pronta para uso.

Figura 12: Fronteiras do Sistema de Beneficiamento de 1 kg de Biomassa



A pesquisa fundamenta-se em uma escala experimental de laboratório, sendo assim, os dados de entrada e saída coletados para cada fase do produto foram ajustados em conformidade com a unidade funcional estabelecida (1 kg de biomassa beneficiada). Os dados do inventário do ciclo de vida estão detalhados na Tabela 6.

Tabela 6: Dados dos insumos para beneficiamento de 1 kg de biomassa

Insumo/Processo	Quant.	Quant. adaptada (1 kg)	Und.	Inventário
Ecoinvent				
Biomassa	1,500	3,000	kg	
Água de torneira	5,000	10,000	L	<i>market for tap water – BR</i>
Água ultrapura	5,000	10,000	L	<i>water production, ultrapure – RoW</i>
Secagem 1	2,588	2,588	kwh	<i>market for electricity, low voltage, BR-Northern grid</i>
En tra- da Moagem 2	0,750	1,500	kwh	<i>market for electricity, low voltage, BR-Northern grid</i>
Secagem 2	2,588	2,588	kwh	<i>market for electricity, low voltage, BR-Northern grid</i>
Moagem 2	1,000	2,000	kwh	<i>market for electricity, low voltage, BR-Northern grid</i>
Biomassa	0,500	1,000	kg	
Sa- íd Resíduo	1,000	2,000	kg	
Águas residuais	10,000	20,000	L	

Os dados de energia do fluxo de entrada correspondem a energia necessária para moer e secar o material.

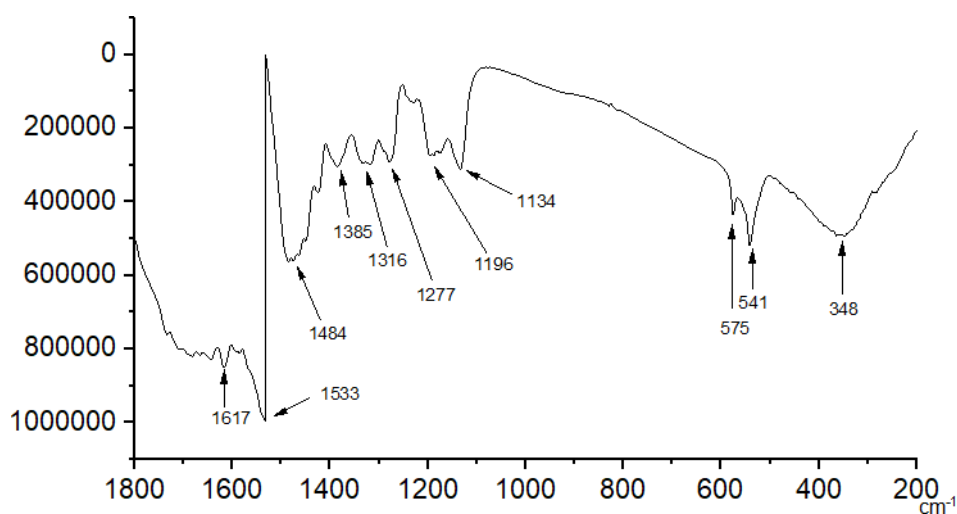
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização

5.1.1. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Foi usado neste trabalho o emprego da técnica Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier, no intuito de identificar os grupos funcionais do adsorvente a fim de melhor compreender como se processa os fenômenos de adsorção do material proposto. Sendo essa técnica utilizada na identificação dos grupos orgânicos presentes na superfície do bioadsorvente, os quais podem atuar como sítios ativos na interação da biomassa com os cátions metálicos. Foram analisadas na literatura pesquisas baseadas em espectros de trabalhos anteriores, os quais referem-se à composição dos resíduos da casca de manga, como o trabalho de Barros *et al* (2018); Andrade (2018); Ribeiro (2022). (Figura 13)

Figura 13 – Espectro de Infravermelho do bioadsorvente da casca de manga.



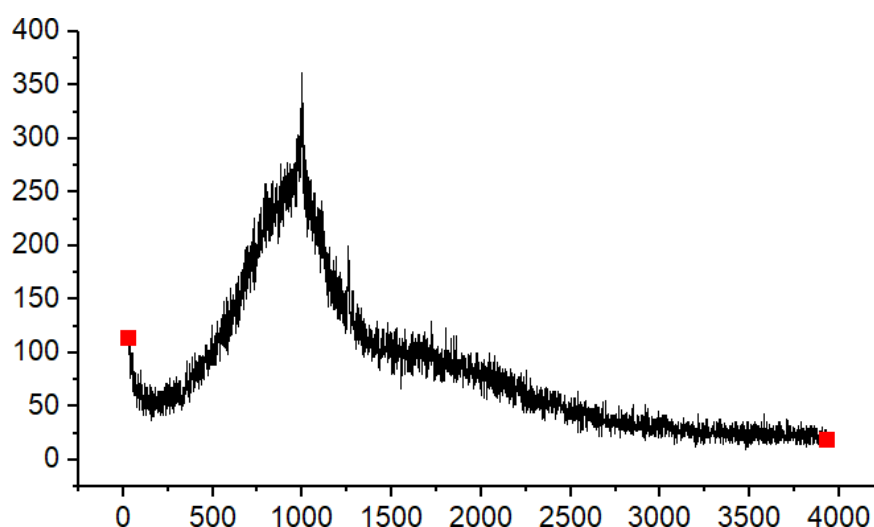
Fonte: Autora (2023)

As análises das bandas foram feitas tomando como base o guia de interpretação de espectros de IV da Sociedade Brasileira de Química. Podemos sugerir a presença de grupos, carbonila (C=O), como aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, relacionadas a lignina, hemicelulose, celulose pectina, e alcaloides (BARROS, *et al.* 2018., ANDRADE 2018., RIBEIRO 2022) devido à presença de estiramentos médio-forte em 1617 cm^{-1} . A banda na região de 1533 cm^{-1} refere-se ao grupo C=C, característicos dos alkenos. Na região correspondente a banda 1484 cm^{-1} refere-se aos grupos CH_2 e CH_3 atribuídos a um polissacarídeo, da parece celular da celulose e hemicelulose (ANDRADE., 2018) e ainda de acordo com Lima *et al.* A. (2012) As bandas na região $1200\text{ a }1000\text{ cm}^{-1}$ são consideradas bandas características do amido e são atribuídas a vibrações de deformação axial de C-O em álcoois e a vibrações de deformação axial do sistema O-C-O. Podem ser características de vibração de flexão C-H e ao alongamento C-O-C.

5.1.2 Difração de Raios-X (DRX)

A difração de raios X para caracterização de materiais é a técnica mais adequada, pois determina as fases cristalinas, ou seja, os quais denotam uma estrutura organizada, ou podem ser materiais com baixo nível de organização os conhecidos como amorfos (NASCIMENTO *et al.* 2014). O difratograma de raios-X para a casca de manga está representado na Figura 13.1 a seguir.

Figura 13.1 – Espectro de DRX da casca de manga.



Fonte: Autora (2023)

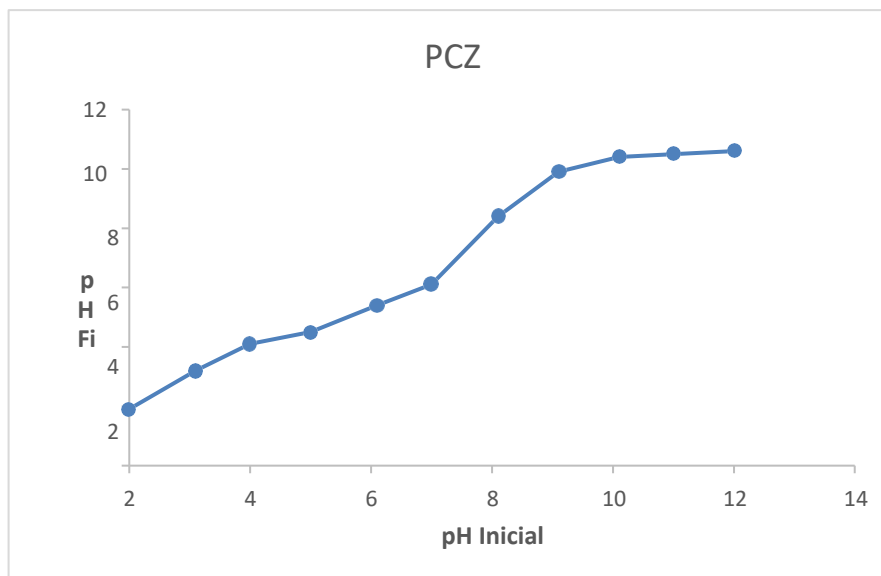
O espectro de DRX da casca de manga conforme figura 13.1 contribui para melhorar o entendimento sobre a estrutura da biomassa, onde é possível confirmar pelos picos largos entre 500 e 1500 com calda até 2500 sendo característico de material amorfo. No difratograma e em outros estudos publicados que trazem espectros de DRX da casca de manga e de materiais lignocelulósicos como o de Lima *et al.* (2012) onde apresenta características amorfas para o estudo do amido em farinhas comerciais comestíveis é uma biomassa com estrutura amorfa, o que é torna uma vantajosa para um bioadsorvente.(MELO, 2017), corroborando com o que é visto na literatura e os resultados encontrados no FTIR demonstram que o resíduo da casca de manga há características de materiais lignocelulósicos, já que os grupos funcionais identificados são típicos de biomassas lignocelulósicas e como já foi visto anteriormente, essas estruturas não contam com uma organização espacial, o que também é confirmado no DRX.

5.1.3 Determinação do Potencial de carga zero (PCZ)

Para compreensão do estudo do potencial de carga zero é fundamental entender como se comportam as cargas da superfície do biomaterial, atuando diretamente na eficiência da adsorção pelo material adsorvente (MIMURA *et al.* 2010; CAVALCANTE, 2019). Como resultado, obtive duas faixas identificadas no potencial de carga zero, foram distinguidas no gráfico, sendo o primeiro de 4,5 e o segundo em 10,5, apresentado na

figura 13.2 Foram realizados os testes do potencial de carga zero em duplicata e tivemos os mesmos resultados para ambos, apresentando dois pontos.

Figura 13.2: Gráfico referente ao PCZ do biadsorvente da casca de manga



Fonte: Autora

5.1.4 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV)

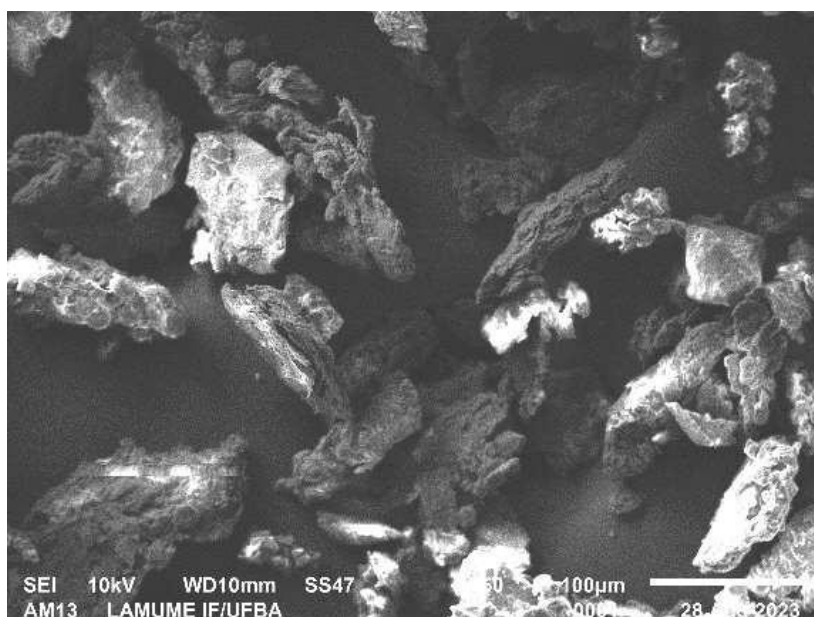
As imagens de microscopia eletrônica de varredura da amostra do bioadsorvente da casca de manga fornecem uma visão detalhada da sua estrutura e propriedades superficiais, permitindo avaliar sua eficácia no processo de adsorção de poluentes. Elas demonstram que o material apresenta uma estrutura superficial com poros e irregularidades, não uniforme, textura granular e densa promovendo uma adsorção não uniforme na superfície do material.

CAVALCANTE (2019), estudou a casca de maracujá-amarelo in natura e reportou que o material apresenta uma forma superficial bastante irregular, não uniforme, rugosa e densa (não porosa) o qual promovendo uma adsorção não uniforme na superfície do material, comparáveis aos encontrados neste estudo conforme apresentado na figura 13.3 (a) e (b).

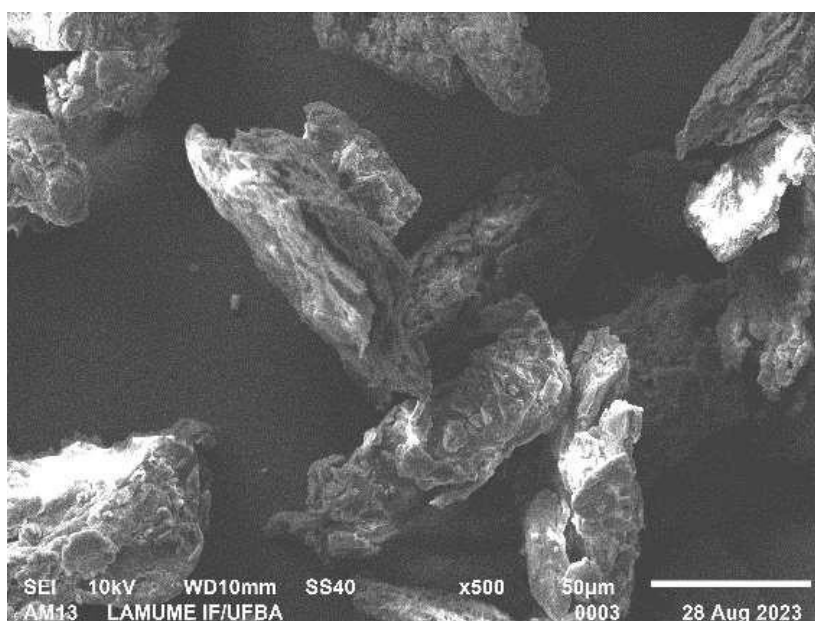
MELO (2017), obteve resultados significativos ao apresentado no estudo em questão, foram estudados quatro materiais sendo dois de sementes de goiaba pirolisadas a 500 °C e 600 °C (G500 e G600) e dois de sementes de mangaba pirolisadas nas mesmas temperaturas (M500 e M600). O material G600 foi o que obteve melhor resultado para a adsorção, com uma estrutura em cavernas, aparentemente com formação de galerias no interior do grão, que sugere que o material apresenta grande área superficial, que é uma característica importante para fins de adsorção.

Figura 13.3: Imagens de MEV do adsorvente oriundo da casca de manga, em magnitudes de (a) x250 e (b) x500

(a)



(b)



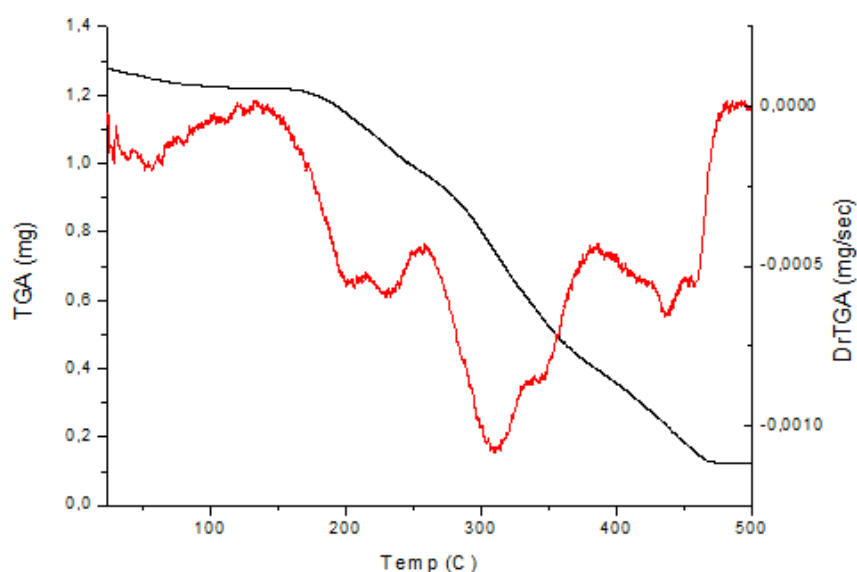
Fonte: A Autora (2023)

5.1.5 Termogravimetria (TG)

Com o intuito de avaliar a decomposição térmica do bioadsorvente oriundo da casca de manga, bem como suas características de combustão, foram utilizadas análises

termogravimétricas (TG), em condições dinâmicas e isotérmicas, na faixa de 10-1000 °C. O experimento foi realizado sob uma atmosfera de ar sintético (combustão), com um fluxo de 100 mL min⁻¹, e uma razão de aquecimento $\beta = 10^{\circ}\text{C min}^{-1}$. As curvas termogravimétricas em ambiente inerte são apresentadas na Figura 14, bem como a deconvolução da curva derivada da TG com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,995.

Figura: 14 Curvas termogravimétricas (TG) e (DrTG) em atmosfera inerte da Amostra (C1). Razão de aquecimento 10°C min⁻¹, vazão 100 mL min⁻¹



O material apresenta perda de massa entre 180 a 460 °C, com eventos térmicos em 200 °C, 300 °C e 440 °C, m indícios da presença de hemicelulose, celulose e lignina que podem estar relacionados com o aparecimento de picos menores além do evento principal de queima que acontece entre 250 e 380 °C, característico de biomassa in natura (SEYE, 2000).

6.1. Ensaios de adsorção

6.1.1 Planejamento Fatorial

No intuito de otimizar a adsorção simultânea dos íons metálicos em estudo (Fe, Pb, Mn, Zn, Cd, Ni, Cr e Cu) pelo bioadsorvente escolhido, utilizou-se o planejamento fatorial 2³. Sendo importante salientar que é uma solução mista com todos os metais e

não uma análise individual. Esses dados são resultados preliminares que ainda serão submetidos a tratamento estatístico para avaliar as melhores condições de adsorção, em termos de resposta múltipla. A influência dos fatores individuais dos experimentos e seu desempenho nas melhores condições utilizando diagrama de Pareto e superfície de resposta será analisada usando o software Statística® versão 6.0 da (StatSoft®, Tusla, EUA).

Os resultados alcançados para o planejamento experimental e suas variáveis, após submissão das amostras no espectro de absorção atômica por chama, estão descritos nas tabelas abaixo e a partir delas pode-se observar na Tabela 7.

Tabela 7: Matriz de planejamento fatorial 2³ e os resultados experimentais para adsorção de íons de Fe pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Fe				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	51,54
A2	50	30	3	80,52
A3	30	60	3	44,22
A4	50	60	3	71,61
A5	30	30	7	65,30
A6	50	30	7	76,70
A7	30	60	7	56,06
A8	50	60	7	70,03
A9	40	45	5	70,27
A10	40	45	5	71,19
A11	40	45	5	66,42
A12	40	45	5	65,78

Para adsorção de íons de Fe na amostra A2 os maiores valores percentuais de adsorção, foram 80,52% e na amostra A4 71,61%, ambas com massa 50mg e pH 3 no tempo de 30 e 60 minutos, respectivamente. Denota que está entre os valores da melhor condição das amostras em estudos. Também pode-se observar que para adsorção dos íons de Pb apresentadas na tabela 7-1

Tabela 7-1: Matriz de planejamento fatorial 2³ e os resultados experimentais para adsorção de íons de Pb pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Pb				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	34,15
A2	50	30	3	35,00

A3	30	60	3	36,77
A4	50	60	3	37,28
A5	30	30	7	35,41
A6	50	30	7	41,36
A7	30	60	7	41,53
A8	50	60	7	42,01
A9	40	45	5	49,04
A10	40	45	5	43,39
A11	40	45	5	31,82
A12	40	45	5	31,10

A amostra que teve melhor adsorção foi a A9 com 49,04%, sendo uma das quatro amostras do ponto central, (o ponto central é indicado pela massa de 40 mg, pH 5 e tempo de 45min) isso denota que tanto a massa de 30 mg quanto a de 50 mg e a massa de 40 mg referente as amostras do ponto central possuem uma percentagem razoável de adsorção, sendo importante inferir que é uma solução mista e em função disso os sítios ativos dos outros metais pode estar interferindo.

Em estudos anteriores, realizados pela autora da dissertação para adsorção de íons de Pb foi realizado o mesmo planejamento experimental, porém a solução era monoelementar, ou seja, contendo somente um único elemento, no caso o Pb. Observa-se que a adsorção foi bem maior por não haver competição com outros metais pelos sítios ativos do adsorvente. Na tabela 7-2

Tabela 7-2: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Pb pelo bioadsorvente proposto em solução monoelementar.

Pb				
Amostra (C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	88,77
A2	50	30	3	92,20
A3	30	60	3	94,14
A4	50	60	3	93,47
A5	30	30	7	87,79
A6	50	30	7	93,38
A7	30	60	7	88,28
A8	50	60	7	93,91
A9	40	45	5	93,58
A10	40	45	5	93,37
A11	40	45	5	94,12
A12	40	45	5	92,83

A amostra A3 apresentou 94,14% de adsorção com 30mg, pH 3 e tempo de 60min, é possível ainda dizer que ambas as massas de 30 e 50 mg, pH de 3 e 7 e tempo de 60 e 30 min apresentaram valores acima de 80%. Isso corrobora para as amostras do ponto central que tiveram porcentagens excelentes acima de 90% de adsorção, que é um ponto positivo já que até mesmo com massa de 30mg é possível a remoção de uma porcentagem bem significativa de íons de chumbo, logo não há muita diferença na porcentagem de adsorção entre as demais amostras.

Observam-se na tabela 7-3 os resultados referentes ao íon Mn.

Tabela 7-3: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Mn pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Mn				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	33,65
A2	50	30	3	60,88
A3	30	60	3	14,94
A4	50	60	3	69,37
A5	30	30	7	42,63
A6	50	30	7	53,21
A7	30	60	7	30,77
A8	50	60	7	71,60
A9	40	45	5	63,26
A10	40	45	5	63,51
A11	40	45	5	59,82
A12	40	45	5	58,29

Para adsorção de íons de Mn na amostra A8 os maiores valores percentuais de adsorção, foram 71,60% e na amostra A4 69,37%, ambas com massa 50g e tempo de 60 minutos, com pH 7 e 3 respectivamente na tabela 7-4, encontram-se os resultados do íon Zn.

Tabela 7-4: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Zn pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Zn				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	7,97
A2	50	30	3	55,16
A3	30	60	3	17,52
A4	50	60	3	74,78
A5	30	30	7	15,78
A6	50	30	7	41,89

A7	30	60	7	40,91
A8	50	60	7	82,14
A9	40	45	5	74,42
A10	40	45	5	79,37
A11	40	45	5	75,41
A12	40	45	5	78,38

Para adsorção de íons de Zn na amostra A8 os maiores valores percentuais de adsorção, foram 82,14% e na amostra A4 74,78%, ambas com massa 50mg e tempo de 60 minutos, com pH 7 e 3 respectivamente. na tabela 7-5, estão encontrados os resultados para adsorção de íon Cd.

Tabela 7-5: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Cd pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Cd				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	32,72
A2	50	30	3	79,40
A3	30	60	3	18,75
A4	50	60	3	84,96
A5	30	30	7	45,56
A6	50	30	7	72,40
A7	30	60	7	40,84
A8	50	60	7	87,47
A9	40	45	5	89,09
A10	40	45	5	89,80
A11	40	45	5	87,17
A12	40	45	5	86,81

Para adsorção de íons de Cd na amostra A10 os valores percentuais de adsorção, foram 89,80% e na amostra A8 87,47%, e A4 84,96% nesta amostra o percentual de maior valor encontra-se no ponto central, o que não diferente tanto para a amostra A8 e A4 que ambas tiveram porcentagem significativas em relação as demais tabelas analisadas. Observando assim uma constância em relação a massa. Na tabela 7-6, encontram-se os resultados alcançados para a adsorção do íon Ni.

Tabela 7-6: Matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados experimentais para adsorção de íons de Ni pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Ni				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	31,14

A2	50	30	3	48,76
A3	30	60	3	14,59
A4	50	60	3	64,13
A5	30	30	7	34,34
A6	50	30	7	45,67
A7	30	60	7	31,66
A8	50	60	7	66,70
A9	40	45	5	53,69
A10	40	45	5	57,61
A11	40	45	5	58,56
A12	40	45	5	53,82

Para adsorção de íons de Ni na amostra A8 os valores percentuais de adsorção foram 66,70% e na amostra A4 64,13% ambas com massa 50mg e tempo de 60 minutos, com pH 7 e 3 respectivamente. Para a adsorção de íons de Cr, são observados os resultados na tabela 7-7 a seguir.

Tabela 7-7: Matriz de planejamento fatorial 2³ e os resultados experimentais para adsorção de íons de Cr pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Cr				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	78,78
A2	50	30	3	69,79
A3	30	60	3	75,54
A4	50	60	3	81,12
A5	30	30	7	84,00
A6	50	30	7	74,12
A7	30	60	7	69,84
A8	50	60	7	87,68
A9	40	45	5	81,19
A10	40	45	5	83,90
A11	40	45	5	83,67
A12	40	45	5	78,69

A amostra A8 apresentou o maior valor percentual de adsorção 87,68%, apresentando ainda assim constância na massa de 50mg e tempo de 60min. Para a adsorção de íons de Cu, são observados os resultados na tabela 7-8 a seguir.

Tabela 7-8: Matriz de planejamento fatorial 2³ e os resultados experimentais para adsorção de íons de Cu pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Cu				
Amostra(C1)	Massa(mg)	Tempo(min)	pH	Adsorção (%)
A1	30	30	3	76,74
A2	50	30	3	85,86
A3	30	60	3	73,05

A4	50	60	3	71,22
A5	30	30	7	83,59
A6	50	30	7	83,24
A7	30	60	7	81,77
A8	50	60	7	75,48
A9	40	45	5	84,69
A10	40	45	5	84,66
A11	40	45	5	89,95
A12	40	45	5	82,70

Para adsorção de íons Cu, a amostra de maior percentual foi a A11 89,95% dentro dos pontos centrais e por se tratar da mesma condição experimental, e o segundo maior valor foi a A2 85,86% mantendo constante a massa de 50mg.

Após análises dos resultados obtidos, e através de uma observação simplificada encontramos as melhores condições do planejamento experimental para pH, massa e tempo foram: pH 7, massa 50mg, e tempo 60 min. Na maioria das amostras A8 para os metais em estudo eles apresentam as melhores condições citadas acima, logo podemos inferir que os valores percentuais dessa linha retratam os maiores percentuais das adsorções dos metais em estudo. Mesmo com alguns valores percentuais maiores em outras linhas, observa-se com exatidão uma sequência desses percentuais em quase todos os metais na linha com as amostras A8 (tabela 7-9).

Tabela 7-9: Resultados experimentais para adsorção dos metais em estudo pelo bioadsorvente proposto em solução mista.

Amostra (C1)	pH	Massa (mg)	Tempo (min)	Adsorção (%)							
				Fe	Pb	Mn	Zn	Cd	Ni	Cr	Cu
A1	3	30	30	51,54	34,15	33,65	7,97	32,72	31,14	78,78	76,74
A2	3	50	30	80,52	35,00	60,88	55,16	79,40	48,76	69,79	85,86
A3	3	30	60	44,22	36,77	14,94	17,52	18,75	14,59	75,54	73,05
A4	3	50	60	71,61	37,28	69,37	74,78	84,96	64,13	81,12	71,22
A5	7	30	30	65,30	35,41	42,63	15,78	45,56	34,34	84,00	83,59
A6	7	50	30	76,70	41,36	53,21	41,89	72,40	45,67	74,12	83,24
A7	7	30	60	56,06	41,53	30,77	40,91	40,84	31,66	69,84	81,77
A8	7	50	60	70,03	42,01	71,60	82,14	87,47	66,70	87,68	75,48
A9	5	40	45	70,27	49,04	63,26	74,42	89,09	53,69	81,19	84,69
A10	5	40	45	71,19	43,39	63,51	79,37	89,80	57,61	83,90	84,66
A11	5	40	45	66,42	31,82	59,82	75,41	87,17	58,56	83,67	89,95
A12	5	40	45	65,78	31,10	58,29	78,38	86,81	53,82	78,69	82,70

7.0 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

A Tabela 6 e a Figura 12 mencionadas na metodologia fornecem uma visão abrangente do cenário analisado, destacando os dados relacionados aos fluxos de entrada e saída, adaptados para uma unidade de 1 kg. É de suma importância notar que a energia quantificada no sistema não segue uma relação linear com a quantidade do produto, devido ao fato de que a estufa utilizada é um equipamento de volume fixo. O consumo de energia não foi modelado como diretamente proporcional à massa do produto. Em vez disso, os valores de energia necessários para o funcionamento da estufa foram ajustados em relação ao tempo de uso, introduzindo uma perspectiva dinâmica e adaptável. Por outro lado, é observável que a quantidade de água necessária mantém uma relação linear com o valor de massa do produto final.

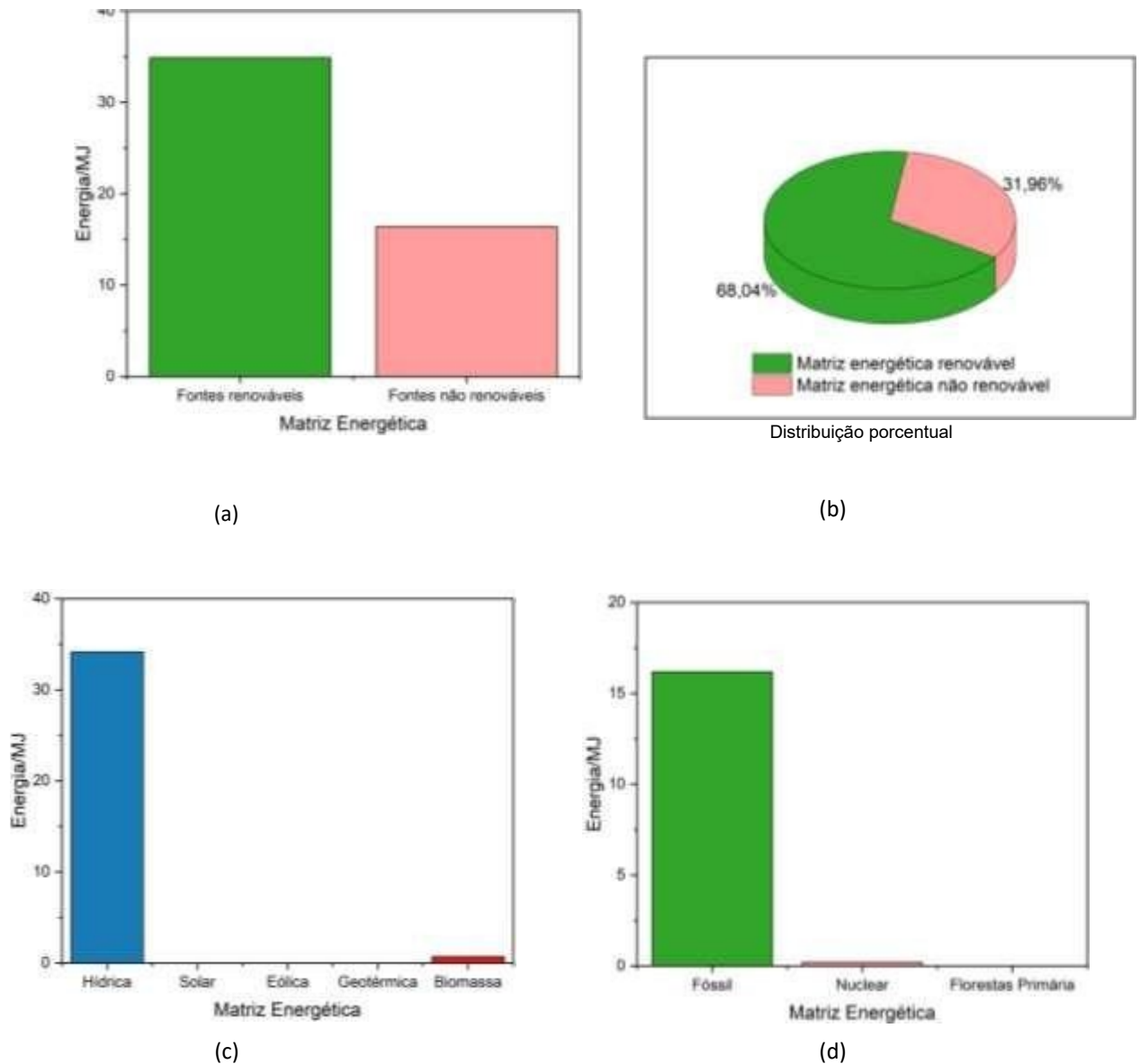
Conforme os dados tabulados na Tabela 8, relativos à demanda de energia acumulada para a execução do processo de beneficiamento de 1 kg de biomassa, o sistema em questão demanda uma quantidade de energia equivalente a 14,24 kWh.

Tabela 8 Demanda de Energia acumulada no processo de beneficiamento de 1 kg de biomassa

Consumo de Energia Elétrica	Energia/MJ	Energia/kWh
Renovável	34,88	9,69
Não Renovável	16,39	4,55
Total	51,26	14,24

Desse valor global, observa-se que 68,04 % é proveniente de fontes de energia renovável, enquanto os restantes 31,96% são derivados de fontes não renováveis, conforme ilustrado na Figura 15 (a) e (b).

Figura 15 Demanda de Energia Acumulada das etapas do processo de beneficiamento aplicado e suas contribuições percentual. (a) Quantidade de energia utilizada de fontes renováveis e não renováveis; (b) Distribuição percentual; (c) Contribuição de fontes renováveis; (d) Contribuições de fontes não renováveis.



O processo adotado no presente trabalho para o beneficiamento da biomassa se destaca pela sua eficiência, caracterizada por uma baixa complexidade operacional, resultando em um consumo energético total de 14,24 kWh. Ao comparar os resultados obtidos com o estudo de Hjalil et al. (2013), que descreve a produção de carvão ativado a partir de resíduos de azeitona, observa-se uma notável vantagem quanto à demanda de energia acumulada. No referido estudo, a metodologia envolve uma série de etapas, desde a secagem até a lavagem, resultando em um consumo energético total de 46,57 kWh.

A análise mais aprofundada dos dados apresentados na Figura 15 e Tabela 9 revela informações cruciais sobre a demanda de energia acumulada. Verifica-se que a

principal

fonte de abastecimento energético é proveniente de uma matriz renovável, especificamente utilizando recursos hídricos, representando 66,63 % do total. Este dado encontra-se de acordo com a matriz energética predominante na região, que se caracteriza pelo suprimento majoritário proveniente da Usina Hidrelétrica Pedra do Cavalo, localizada no Rio Paraguaçu no Estado da Bahia. Devido ao tempo substancialmente longo do processo de moagem, é condizente com essa distribuição energética, considerando as contribuições relativamente menores da energia destinada à produção de água.

Tabela 9 Demanda de Energia Acumulada por contribuição de processos

Categoria	Processos (MJ)			Total percentual/%
	Eletricidade	Água ultrapura	Água da torneira	
Recursos renováveis – hídrico	34,0889	0,0491	0,0201	66,63
Recursos Não renováveis – nuclear	0,0973	0,0917	0,0066	0,38
Recursos renováveis – solar	0,0001	0,0001	0,0000	0,00
Recursos Não renováveis – fóssil	15,4023	0,6999	0,0780	31,56
Recursos renováveis - vento	0,0089	0,0106	0,0016	0,04
Recursos renováveis – geotérmico	0,0013	0,0021	0,0001	0,01
Recursos não renováveis – floresta primária	0,0107	2,51E-05	0,0001	0,02
Recursos renováveis – biomassa	0,6789	0,0114	0,0041	1,35

A quantidade de carbono equivalente referente ao processo de beneficiamento de biomassa realizado nesse estudo foi de 1,83 kg CO₂ eq, comparando com o valor anteriormente apresentado no trabalho de Hjaila, 2013, de 11,1 kg CO₂ eq, evidencia a importância da busca por materiais sustentáveis. A redução significativa na pegada de carbono, representada por uma diminuição de quase metade em relação ao estudo anterior, ressalta os avanços e as possibilidades associadas ao desenvolvimento de materiais mais “ecoeficientes”. Essa métrica não apenas enfatiza a eficácia da metodologia aplicada, mas também reforça a necessidade de direcionar esforços para a pesquisa e adoção de práticas que resultem em materiais com menor impacto ambiental. A discussão sobre o desenvolvimento de materiais sustentáveis ganha relevância não apenas do ponto de vista científico, mas também como uma resposta prática aos desafios do aquecimento global. A busca por alternativas que minimizem as emissões de gases de

efeito estufa é crucial para promover uma transição para uma economia mais verde e sustentável.

6. CONCLUSÕES

Com base nas discussões acerca da caracterização da biomassa da casca da manga por FTIR e DRX observou-se que temos um material tipicamente amorfo, apresentando os seguintes grupos funcionais como a carbonila (C=O), como aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, relacionadas a lignina, hemicelulose, celulose pectina, e alcaloides, (C=C), característicos dos alcenos, CH₂ e CH₃ atribuídos a um polissacarídeo que contribuem para a adsorção facilitando a interação entre o bioadsorvente e os íons metálicos. O MEV mostrou que o material apresenta uma forma superficial bastante irregular, não uniforme, rugosa e densa (não porosa) promovendo uma adsorção não uniforme na superfície do material.

Duas faixas foram identificadas no potencial de carga zero, foram apresentados no gráfico, sendo o primeiro de 4,5 e o segundo em 10,5. Realizamos o teste em duplicatas e os valores apresentaram os mesmos nas duas análises, inferindo assim que o material tem dois pontos característicos.

Através dos resultados apresentados do planejamento experimental em relação às análises da adsorção dos metais as melhores condições apresentadas foram pH 7, massa 50 mg, e tempo 60min. Onde foi possível verificar que os percentuais de adsorção da solução mista dos metais usados nas análises trouxeram melhores respostas na linha A8 indicando um maior número de metais que apresentaram dados significativos avaliando a condição ótima de adsorção.

Com as análises dos dados dos ensaios de adsorção, é possível notar que o bioadsorvente proposto apresenta resultados promissores para aplicação na remoção de metais potencialmente tóxicos em meio aquoso.

A quantidade de carbono equivalente referente ao processo de beneficiamento de biomassa realizado nesse estudo foi de 1,83 kg CO₂ eq, comparando com o valor anteriormente apresentado no trabalho de Hjalil, 2013, de 11,1 kg CO₂ eq, evidencia a importância da busca por materiais sustentáveis. A redução significativa na pegada de carbono, representada por uma diminuição de quase metade em relação ao estudo

anterior, ressalta os avanços e as possibilidades associadas ao desenvolvimento de materiais mais “ecoeficientes”. Essa métrica não apenas enfatiza a eficácia da metodologia aplicada, mas também reforça a necessidade de direcionar esforços para a pesquisa e adoção de práticas que resultem em materiais com menor impacto ambiental.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAPITO, M. D. L.; **Remoção do corante azul de metileno através do uso de resíduo do processamento de sisal como adsorvente.** 2016 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente, Feira de Santana, Ba 2016.

ÁGUAS residuais: O recurso inexplorado. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021: O valor da água, fatos e dados, UNESCO, 2021

AJILA, C. M.; NAIDU, K. A.; BHAT, S. G.; PRASADA RAO, U. J. S. Bioactive compounds and antioxidante potential of mango peel extrat. **Food Chemistry**, v.105, p. 982-988, 2007.

ALI, H. KHAN, E. IHALI, I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.* 2019, pp.1-14.

ALMEIDA, C.V.M.; GOMES, S.A.S.; BARROS, D.A.; SILVA, M.E.S.; LUCENA, R.M.; SILVA, S.P. Avaliação da influencia da temperatura nos parâmetros físico-químicos do subproduto da manga (*Mangifera indica* L.cv. Tommy Atkins) para fins de uso alimentício. *Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, 6(1): 51-57, Abril 2020, Online version ISSN: 2447-0740

ANALUDDIN, K.; SHARMA, S.; JAMILI, S.; SEPTIANA, A.; SAHIDIN, S.; RIANSE, U.; NADAOKA, K. Heavy metal bioaccumulation in mangrove ecosystem at the coral triangle ecoregion, Southeast Sulawesi, Indonesia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 125, 2017.

ANDRADE, R. C.; **Carvões ativados derivados de caroços de manga (*Mangifera Indica* L) para a captura de CO₂ e compostos orgânicos voláteis (COVs).**2018.109 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador ,2018

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUTI 2022. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2022. Disponível em: https://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2022/04/HORTIFRUTI_2022.pdf. Acesso em: 8 Dezembro. 2022.

ASIF, A. *et al.* Therapeutic potentials of bioactive compounds from mango fruit wastes. **Trends in Food Science and Technology**, v. 53, p. 102-112, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Brasil, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14044: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.** Brasil, 2009b.

BADRI, M. A; ASTON, S. R. Observations on heavy metal geochemical associations in polluted and Non-polluted estuarine sediments. *Environmental pollution (series B)*, v.6, p. 181-193, 1983.

BAILEY, S.E; OLEN, T.J; ADRIAN, D.D., **A review of potentially low cost sorbents for heavy metals.** *Water Research*, 33, 2469-2479, 1999.

BARROS, D. N., ALMEIDA, C.V de M., RIBEIRO, D.S., CORRÊA, M. M., SILVA, S. P. da IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMIDO EM FARINHA DE CASCA DE MANGA POR FTIR E DRX. III Congresso Internacional das Ciências Agrárias Cointer PDVAGRO 2018

BARBOSA, S. R. A.;**Caracterização e aplicação na remoção de cromo hexavalente de um bioadsorvente obtido de endocarpo de *Spondias purpurea*.** Dissertação (mestrado)- Universidade Federal Rural do Semi-árido Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de materiais. Mossoró-RN 2017

BASU, M., GUHA, A.K., RAY, L., Adsorption of lead on cucumber peel. **Journal of Cleaner Production.** v.151, p.603-615, 2017.

BATVARI, B P. D.; SIVAKUMAR, S.; SHANTHI, K.; LEE, K.; OH, B.; KRISHNAMOORTHY, R R.; KAMALA-KANNAN, S. Heavy Metals Accumulation In Crab And Shrimps From Pulicat Lake, North Chennai Coastal Region, Southeast Coast Of India. **Toxicology And Industrial Health**, p. 1-6, 2013.

BJØRN, A. et al. LCA History. In: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. (Org.). **Life Cycle Assessment: Theory and Practice**. Cham: Springer International Publishing, 2018, p. 17–30.

BRASIL (2011) Resolução CONAMA N°430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial União, Brasília, DF, 17 mar, p. 1-8.

Disponível em:

https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf. Acesso em: 08 maio. 2023

BRITO, Suzana M. O. **Adsorventes de baixo custo para tratamento de efluentes coloridos**. Feira de Santana. Monografia para progressão na carreira. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010.

CARVALHO, N. R.N.F.; MOTA, A. T.; O,S.R.S.Biochemical and morphological responses in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) as indicators of contamination status in mangroves and port areas from northern **Brazil**. **Environ Sci Pollut Res**. 26: 15884. 2019

CASTRO, B. D. V.; SANTOS, S. M. M.; JESUS, V. M.; LIMA, A. L. C.; BRITO, N. M. Avaliação das causas do desperdício dos frutos em estabelecimentos comerciais de São Luís – MA. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 3, 2008, Fortaleza. **Anais do III**

Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Fortaleza: CONNEPI, 2008.

CAVALCANTE, T. Q. **Utilização de biomassa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) in natura como bioadsorvente para remoção de íons de Cd e Pb em meio aquoso**. 2019. 63 f. Trabalho de conclusão de curso - Licenciatura em Química, Departamento de Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019.

CAVALCANTI, J. E. W. DE A. Manual de tratamento de efluentes industriais, 2009.

CHOUDHARY, V. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of the lead, chromium, and cadmium removal from water through electrocoagulation. **Materials Today: Proceedings**, 1 ago. 2023.

CONAMA, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P. SOUSA, F. C. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. In: CONGRESSO INTERNASCIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, Nº 2, 2017, Natal-RN, Anais do evento PDVAGRO 2017, Instituto Internacional Despertando Vocações, 2017. p.1-8.

CUNHA, G. A. P.; PINTO, A. C. Q; FERREIRA, F. R. Origem, dispersão, taxonomia e botânica. In: GENU, P. J. de C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 407-432, 2002.

DÍEZ, E. G; CORELLA, J. P; ADATTE, T; THEVENON, F; LOIZEAU, J. High-resolution reconstruction of the 20th century history of trace metals, major elements, and organic matter in sediments in a contaminated area of Lake Geneva, Switzerland. *Applied Geochemistry*, v. 78, p. 1-11, 2017

DORTA, E. *et al.* Screening of phenolic compounds in by-product extracts from mangoes (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI-QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient. **Food Research International**, v. 57, p. 51–60, 2014.

EMBRAPA- Manga: o produtor pergunta, a Embrapa responde / editores técnicos, Márcio Eduardo Canto Pereira, Nelson Fonseca, Fernanda Vidigal Duarte Souza. – Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2005. 184 p.: il. – (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

EMBRAPA Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/noticia/60585117/exportacao-de-manga-brasileira-bate-recorde-em-2020-totalizando-us-246-milhoes>. Acesso 20 Agosto 2023

EMBRAPA http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/man_ga/b1_mang_a.pdf acesso dia 31/10/21 às 12:45

EUROPEIA, U. **Manual do Sistema ILCD: Sistema internacional de referência de dados do ciclo de produtos e processos: Guia geral para avaliações do ciclo de vida: orientações detalhadas.** Brasília: IBICT, 2014.

ETUK, B. A.; UDIONG, D. S.; AKPAKPAN, A. Human Health Risk Assessment of Trace Metals in Water from Cross River Estuary, Niger Delta, Nigeria. **Asian Journal of Chemical Sciences**, p. 1-11, 2005

FAO. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe. Disponível em: <<https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>> Acesso em: 12 maio. 2023

FLORENCIO, I. M.; SOUZA, M. R.S.; GONDIM, S. S. R.; CAVALCANTI, M. T.; FLORENTINO, E. R. Farinha do caroço da manga como ingrediente na elaboração de produtos de panificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. UEPB, 1, **Anais...** Campina Grande, 2012.

FOROUTAN, R. et al. Characteristics and performance of Cd, Ni, and Pb bio-adsorption using *Callinectes sapidus* biomass: real wastewater treatment.

Environmental Science and Pollution Research, 2019,.

FREITAS, S. T.; MARQUES, N. J. E.; Uso de espectrômetros Vis-NIR para a determinação de parâmetros de qualidade físico-química de mangas Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, 2022

GUEDES. J. A. Poluição de rios em áreas urbanas. **Ateliê Geográfico**. v. 5, n. 2, p. 212-226, 2011.

HECK, Selvino. Crise, **alimentos e valores**, nov. 2008. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2008/11/03/crise-alimento-e-valores-artigo-de-selvino-heck/> Acesso em: 10 mar. 2022.

HJAILA, Kefah et al. Environmental impact associated with activated carbon preparation from olive-waste cake via life cycle assessment. **Journal of environmental management**, v. 130, p. 242-247, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário- 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/> Acesso em: 10 maio. 2023

ISO (International for Standardisation), 2006. ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.

IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006-) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins. ISBN 0-9678550-9-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1351/goldbook>

JAISHANKAR, M.; TSETEN, T.; ANBALAGAN, N.; MATHEW, B. B.; BEEREGOWDA, K. N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60–72, 2014.

JIASHENG, Z.; XIAOLONG, Li.; HANG, Xu.; WEI, Z.; XUNLIN, F.; YIDI, Y.; YANLI, Ma.; LING, Su.; SHIXUE, R.; SHUJUN, Li. Removal of Cd²⁺, Pb²⁺ and Ni²⁺ from water by adsorption onto magnetic composites prepared using humic acid from waste biomass. **Journal of Cleaner Production**. v. 411, 137237, 2023.

KYZAS, G. Z; FU, J; MATIS, K, A. **The Change from Past to Future for Adsorbent Materials in Treatment of Dyeing Wastewaters**. Journal of Hazardous Materials. V. 6, p: 5131-5158; 2013.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; BORROTO, B.; SAURA-CALIXTO, F. Mango Peels As a New Tropical Fibre: Preparation e Characterization. **Lebensmittel-Wissenschaftund Technologie**, v.29, n.8, p. 729-733, 1996.

LERMEN, Andréia Monique et al. A utilização de resíduos agroindustriais para adsorção do corante azul de metileno: uma breve revisão. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 1, p. 273-288, 2021

LIMA, B. N. B.; CABRAL, T. B.; NETO, R. P. C.; TAVARES, M. I. B. Estudo do amido de farinhas comerciais comestíveis. **Polímeros**, v.22, n.5, p.486-490. 2012

LIMA, P.; GHOSH, A.; NASCIMENTO, A.; VIEIRA, L.; COSTA, R.; FERREIRA, O.; ABREU, G.; LOBO, A.; VIANA, B. Advanced sustainable carbon material from

babassu biomass and its adsorption. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**. v. 176, 111188, 2023

LIMA, V. E. et al. Avaliação do uso de materiais residuais como adsorventes para remoção de Pb^{2+} em efluentes de laboratórios. **Braz. J. de Develop.**, Curitiba, v. 6, n.12, p.97249-97626, dez. 2020.

LOUREIRO, D. *et al.* Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. **Oecologia Australis**. v. 16, n. 3, p. 353-364, set, 2012.

MARQUES, A.; CHICAYBOM, G.; ARAUJO, M.T.; MANHÃES, L.R.T.; SRUR, A.U.S. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica L.*) cv. Tommy Atkins. *Rev. Brasileira Fruticultura*. Vol. 32 no.4 Jaboticabal Dec. 2010 Epub Nov 19, 2010.

MELO, M.O. Estudos para reaproveitamento de biomassa de sementes de mangaba e goiaba para adsorção de Cd e Pb em meio aquoso. Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2017

MENGCHAO, S.; YAKAI, Ma.; YAOJUN, Y.; XIFENG, Z. Effect of iron impregnation ratio on the properties and adsorption of KOH activated biochar for removal of tetracycline and heavy metals. **Bioresource Technology**. v.380, 129081, 2023.

MEN, C. Liu, R. Xu, F.; Wang, Q. Guo, L. Shen, Z. Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. *Science of The Total Environment*. v. 612, p.138-147, ISSN 0048-9697. (2018).

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . *Química Nova*, Vol. 33, No. 6, 1279-1284, 2010

MIRLEAN, N.; ANDRUS, V. E.; BAISCH, P. Mercury pollution sources in sediments of Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v.46, n. 3, p. 331-334, 2003.

MOREIRA, S. de A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. 2008. 133 f.

Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos obtidos através do processamento agroindustrial no Brasil. *Revista Virtual de Química*, 2015.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. **Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará - UFC**. Fortaleza - Ceará. 2014.

NIENCHESKI, L. F; WINDOM, H.L; SMITH, R. Distribution of Particulate Trace Metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 28, n. 2, p. 96-102, 1994.

ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). **A ONU e a água**. Organização das Nações Unidas no Brasil. 2012.

ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). Organização das Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <https://sdgs.un.org/conferences/water2023> Acesso 30 agosto 2023

ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). Organização das Nações Unidas no Brasil. Relatório da ONU. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/> Acesso 11 abril 2023

PAM/IBGE reprocessado pelo Observatório de Mercado de Manga da Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/observatorio-da-manga> Acesso 29 maio 2023

PAVAN, F.A, LIMA E.C., DIAS SLP, MAZZOCATO A.C., Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. **Journal of Hazardous Materials**.v. 150 p.703–712, 2008

RAMOS, B.P. et al. Casca de maracujá como adsorvente de íons metálicos em efluente de galvanoplastia. *Braz. J. de Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 6, pág. 6076-6091, jun. 2019.

RESENDE, A, V. **Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

RIBEIRO, A.C. B. **Filmes ativos de pectina e compostos fenólicos da casca da manga para aplicação em embalagens de alimentos**. 2022, 98 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Programa de Pós Graduação em Química, Fortaleza 2022

ROSENBAUM, R. K. et al. Life Cycle Impact Assessment. In: **Life Cycle Assessment**. [s.l.] Springer, Cham, 2017. p. 167–270.

SANTOS, L. T. S. O.; JESUS, T. B. de. Caracterização de metais das águas superficiais da bacia do rio Subaé (Bahia). **Geochímica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.137-148, 2014

SANTOS, R.S.P.; Revisão das técnicas analíticas de caracterização de materiais, Trabalho de conclusão de curso - Licenciatura em Química, Departamento de Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

SEYE, Omar, CORTEZ, Luís Augusto Borbosa e GOMEZ, Edgardo Olivares. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos.. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 3., 2000, Campinas. Procedimentos on-line... Disponível em:<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000_022000000200022&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 15 dez. 2023.

SHAHBANDEH, M. Mango production worldwide from 2000 to 2019.
SILVA, DENISE APARECIDA DA; CALISTO, SONIA MARIA MARQUES.

Avaliação Físicoquímica e Sensorial da Manga Tommy atkins Submetidas à Desidratação. 2013, 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –Curso Superior de Tecnologia de Alimentos -Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Londrina: PR, 2013

SILVA, S. F. C.A.; **Uso de indicadores geoquímicos e biológicos para avaliação da qualidade ambiental da APA Pratigi, Ba**. 2023 75.f.Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente, Feira de Santana, 2023.

SILVA, L, S; OLIVEIRA, F, C; SILVA, I, P; RUZENE, D, S; SILVA, D,P. Gestão de resíduos da manga (*Mangifera indica*): análise bibliométrica e sistêmica da literatura Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2018

SILVA, W. G., et. al. Remoção de chumbo em soluções aquosas por biossorção utilizando cascas de maracujá quimicamente modificados. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste. Brasília, 2016

SON, E.B., POO, K.M., CHANG, J.S., CHAE, K.J. Heavy metal removal from aqueous solutions using engineered magnetic biochars derived from waste. **marine macro-algal biomass. Sci. Total Environ.** v.615, p. 161–168. 2018

SOUZA, F. DE et al. Utilização das folhas de comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia seguine*) como bioadsorvente para a remoção de íons metálicos. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, 5, p. 1-10, 2021, UFCG / CFP / UACEN. ISSN 2526

SOUZA, P. H. M.; SOUZA NETO, M. H.; MAIA, G. A. Componentes funcionais nos alimentos, 2003.

Swiss Centre for Life Cycle Inventories (SCLCI), 2019. Ecoinvent data v3.6. Dübendorf, Switzerland.

VASCONCELOS, O. C. DE M. *et al.* Development of an artificial fruit prototype for monitoring mango skin and flesh temperatures during storage and transportation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 158, 2019.

XINGJIE Li et al. 2023 .Adsorption kinetics of Cd(II) from aqueous solutions onto live vs. dead biosorbents of *Sphingomonas* sp. GX_15 **Materials Chemistry and Physics**,v. 305, 127940 (2023)

ZHANG. W. *et al.* Pollution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in the Soil and Sediment around the HTM Tailings Pond, Northeastern China. **Int. J. Environ. Res.** v. 17, n. 7072, 2020.

YANG, Z. et al. (2021). The behavior and mechanism of adsorption of Pb (II) and Cd (II) by a porous double porous network hydrogel derived from peanut husks. **Materials Today Communications**, v.27, p.102449.

YANYANG, L.; YANGLI, K.; QIGAO, S.; XIAOFANG, Y.; DONGSHENG, W.; GUIYING, L. Fabrication of multifunctional biomass-based aerogel with 3D

hierarchical porous structure from waste reed for the synergetic adsorption of dyes and heavy metal ions. **Chemical Engineering Journal**. v. 451, 138934, 2023.