

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
LICENCIATURA EM QUÍMICA
BRUNNA GOMES DO NASCIMENTO

USO DA FOLHA DE COLVE “*Brassica Oleracea*” NA ADSORÇÃO DE ÍONS Fe^{2+}

CERES – GO
2022

BRUNNA GOMES DO NASCIMENTO

USO DA FOLHA DE COLVE “*Brassica Oleracea*” NA ADSORÇÃO DE ÍONS Fe^{2+}

Trabalho de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química, sob orientação do Prof. Dr. Jozemir Miranda dos Santos.

**CERES – GO
2022**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

N244u NASCIMENTO, BRUNNA GOMES
 USO DA FOLHA DE COUVE (Brassica Oleracea) NA
 ADSORÇÃO DE IONS Fe²⁺ / BRUNNA GOMES NASCIMENTO;
 orientador JOZEMIR MIRANDA DOS SANTOS; co-
 orientador FABIANA MARQUES. -- Ceres, 2022.
 20 p.

 TCC (Graduação em LICENCIATURA EM QUIMICA) --
 Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2022.

 1. ADSORÇÃO. 2. BIOSORVENTE. 3. FERRO. 4. FOLHA
 . I. MIRANDA DOS SANTOS, JOZEMIR , orient. II.
 MARQUES, FABIANA , co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO
PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 4/2023 - CEG-CE/GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO
INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

[] Tese [] Artigo Científico
[] Dissertação [] Capítulo de Livro
[] Monografia - Especialização [] Livro
[X] TCC - Graduação [] Trabalho Apresentado em Evento
[] Produto Técnico e Educacional - Tipo:

Nome Completo do Autor: Brunna Gomes do Nascimento

Matrícula: 2018103221530

Título do Trabalho: Uso da folha de couve (*Brassica oleracea*) na adsorção de íons Fe²⁺

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: [X] Não [] Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 13/02/2023

O documento está sujeito a registro de patente? [] Sim [X] Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? [] Sim [X] Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual

- não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, 10/02/2023.

Brunna Gomes do Nascimento
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Jozemir Miranda dos Santos
Assinatura do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Brunna Gomes do Nascimento, 2018103221530260 - Discente, em 15/02/2023 19:18:46.
- Jozemir Miranda dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/02/2023 10:11:52.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/02/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 465433
Código de Autenticação: 0631b2c00c



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, None, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 5/2022 - CEG-CE/GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

LICENCIATURA EM QUÍMICA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos treze do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e dois, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso da acadêmica Brunna Gomes do Nascimento, do Curso de Licenciatura em Química, matrícula 2018103221530, cuja monografia intitula-se "Uso da folha de couve (*Brassica oleracea*) na adsorção de íons Fe²⁺". A defesa iniciou-se às 08:00 horas e 30 minutos, finalizando-se às 09:00 horas e 40 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho, aprovado com média 8,75 no trabalho escrito, média 9,03 no trabalho oral, apresentando assim, média aritmética final de 8,89 pontos, estando a estudante aprovada para fins de conclusão do Trabalho de Curso. Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em Calendário Acadêmico, a estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Jozemir Miranda dos Santos (IF Goiano/Campus Ceres)
(Presidente da Banca)

Cristiane Andretta Francisco (IF Goiano/Campus Ceres)
(Banca Examinadora)

Marcela Carmen de Melo Burger (IF Goiano/Campus Ceres)
(Banca Examinadora)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marcela Carmen de Melo Burger, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/12/2022 16:28:27.
- Cristiane Andretta Francisco, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/12/2022 16:03:56.
- Jozemir Miranda dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/12/2022 15:57:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/12/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 452412
Código de Autenticação: 4d672a3d79



RESUMO

O desenvolvimento das atividades humanas, assim como o crescimento das cidades trouxeram consigo problemas de contaminação de corpos aquáticos, por exemplo, rios e lagos, por elementos químicos. Dentre as atividades humanas, a industrial é umas das principais fontes de contaminação por elementos. O ferro (Fe), mesmo estando presente de forma natural no ambiente, pode vir a ser um contaminante. A remoção de parte da concentração desse elemento tem sido estudada como estratégia de minimização dos impactos ao meio ambiente, assim como a saúde de populações. A adsorção deste elemento é uma das estratégias mais estudadas. Um dos materiais adsorventes com mais alta eficiência em adsorver íons metálicos é o carvão ativado. Contudo, há limitações quanto ao custo e disponibilidade deste material. Alternativas ao uso deste tipo de material têm sido estudadas, entre elas estão os adsorventes naturais. Tais materiais recebem o nome de "biossorvente". Este trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade e eficiência de um biossorvente produzido a partir das folhas de couve (*Brassica Oleracea*) na adsorção de íons Fe^{2+} . O estudo da adsorção de íons Fe^{2+} foi feito por meio do preparo do adsorvente e sua caracterização primária. Dentre as propriedades avaliadas, temos o pH, pH_{PCZ} , matéria orgânica e umidade. A adsorção de íons Fe^{2+} mostrou-se viável, tendo em vista que já a partir do uso de 0,25 g do adsorvente, um percentual de 62,0% de remoção desses íons é observado. Essa adsorção é verificada a partir de 10 minutos de contato entre adsorvente e adsorvato.

Palavras-chave: adsorção; biossorvente; ferro; folha

ABSTRACT

The development of human activities, as well as the growth of cities, brought with it problems of contamination of water bodies, for example, rivers and lakes, by chemical elements. Among the human activities, the industrial one is one of the main sources of contamination by elements. Iron (Fe), even though it is naturally present in the environment, can become a contaminant. Removing part of the concentration of this element has been studied as a strategy to minimize impacts on the environment, as well as the health of populations. The adsorption of this element is one of the most studied strategies. One of the adsorbent materials with the highest efficiency in adsorbing metallic ions is activated carbon. However, there are limitations on the cost and availability of this material. Alternatives to the use of this type of material have been studied, among them are natural adsorbents. Such materials are called "biosorbent". This work aims to study the viability and efficiency of a biosorbent produced from cabbage leaves (*Brassica Oleracea*) in the adsorption of Fe²⁺ ions. The study of the adsorption of Fe²⁺ ions was done through the preparation of the adsorbent and its primary characterization. Among the evaluated properties, we have the pH, pHPZC, organic matter and humidity. The adsorption of Fe²⁺ ions proved to be viable, considering that already from the use of 0.25 g of the adsorbent, a percentage of 62.0% of removal of these ions is observed. This adsorption is verified after 10 minutes of contact between adsorbent and adsorbate

Keywords: adsorption; biosorbent; iron; Green cabbage

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Porcentagem de matéria orgânica observada nas folhas de Brassica Oleracea. .	24
Figura 2. Determinação do "Ponto de Carga Zero-pH _{PCZ} ".	25
Figura 3. Curva de calibração para determinação de Fe.	25
Figura 4. Percentual de remoção de íons Fe ²⁺ em função da massa em diferentes tempos.	26
Figura 5. Capacidade de remoção de íons Fe ²⁺ em função da massa em diferentes tempos.	26
Figura 6. Perfil da capacidade de adsorção de íons Fe ²⁺ em função do tempo em três diferentes massas de adsorventes.....	27
Figura 7. Perfil da taxa de remoção de íons Fe ²⁺ em função do tempo em três diferentes massas de adsorventes.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de massa de adsorvente e tempo (30, 60 e 90 minutos) de contato com a solução de íons Fe^{2+}	21
Tabela 2. Valores de massa de adsorvente e tempo (10 a 90 minutos) de contato com a solução de íons Fe^{2+}	21
Tabela 3. Curva de calibração para Fe.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 METAIS PESADOS E O IMPACTO NO ECOSISTEMA.....	13
2.2 A CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E ORGANISMO HUMANO POR Fe ²⁺	15
2.3 APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	16
3. METODOLOGIA	19
3.2 PREPARO DO BIOSSORVENTE	19
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSORVENTE (<i>Brassica oleracea</i>).....	19
3.3.1 Determinação do pH	19
3.3.2 Determinação da umidade	20
3.3.3 Determinação do teor de matéria orgânica	20
3.3.4 Ponto de carga zero.....	21
3.3.5 Testes de adsorção	21
3.3.6 Construção da curva de calibração.....	22
3.3.7 Leitura da amostra	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 DETERMINAÇÃO DO pH	23
4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE	23
4.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DA MATÉRIA ORGÂNICA	23
4.4 TESTE PONTO DE CARGA ZERO	24
4.5 CURVA DE CALIBRAÇÃO.....	25
4.6 TESTE DE ADSORÇÃO	26
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

Os metais são bio-acumulativos, podendo se acumular na cadeia alimentar (plantas e animais), não são biodegradáveis, possuem poder carcinogênico e podem ser absorvidos por órgãos e tecidos, representando um grande problema ambiental, pois, quando descartados de maneira inadequada podem contaminar os recursos hídricos e isso pode provocar diversos danos ao meio ambiente e também a saúde humana. Os elementos chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, ferro, cobre e arsênio são exemplos de metais tóxicos e cancerígenos que podem estar presentes em efluentes industriais (BARROS, 2017).

As atividades antropogênicas ocasionaram nos últimos anos um aumento na geração de resíduos, gerando graves problemas de poluição hídrica. Essa situação ocorre devido a produção e conseqüentemente o descarte incorreto de efluentes tóxicos. Um dos principais poluentes presentes nesses efluentes são os metais pesados, que também podem ser denominados como metais tóxicos, por serem mais densos que os demais, nos quais, um mesmo volume contém maior massa (BARROS, 2017).

Dentre os metais pesados que apresentam aspecto prejudicial ao meio ambiente o ferro. Sendo o íon Fe^{2+} um íon metálico de toxicidade moderada. Vale ressaltar que o ferro é essencial para o corpo humano, pois participa da síntese da hemoglobina além de participar da manutenção das células sanguíneas. No entanto, a principal preocupação com esse metal decorre da bioacumulação pela flora e fauna aquática, nos quais, através da cadeia alimentar torna-se nocivo aos seres humanos por ocasionar efeitos subletais e letais devido a disfunções metabólicas (SOUZA *et al*, 2018).

A redução da bioacumulação de íons metálicos pode ser alcançada por meio da utilização de diferentes tipos de biomassa que apresentam capacidade de retenção de metais pesados. Isso ocorre por meio do processo de adsorção. Esses processos possuem viabilidade econômica e se utilizam de recursos renováveis (SILVA *et al.*, 2013).

A biossorção é definida como um processo de adsorção pela retenção, remoção ou recuperação de contaminantes em uma solução (efluentes) pela utilização da biomassa vegetal ou de microrganismos (SILVA, 2014). Consoante a Lima (2017) a biossorção é capacidade da biomassa em adsorver poluentes em sua

superfície através de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos, que em pH neutro tornam-se desprotonados, onde a carga negativa é capaz de remover os cátions em solução por meio de processos como complexação, troca-iônica e adsorção. É um processo relativamente rápido, podendo ser reversível, e por isso mostra-se adequado para a remoção de íons metálicos, além de ser um processo de baixo custo.

A adsorção é um fenômeno de superfície, onde distinguem-se duas fases, o adsorvente e o adsorvido, também chamado de adsorvato (SCHIFINO, 2013). A adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade, a adsorção física e a adsorção química. A adsorção física ou fisissorção envolve uma força fraca entre as moléculas de adsorvato e a superfície do adsorvente essa força pode ser atribuída às forças de Van der Waal, diferente da adsorção química ou quimissorção que envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultado uma ligação química, caracterizando uma ligação mais forte comparada a da fisissorção (NASCIMENTO, *et al.*, 2014)

A eficiência do processo de biossorção dependerá do material adsorvente e poderá ser avaliada a partir de isotermas de adsorção, que representam a concentração do elemento na fase sólida, comparada a sua concentração na fase líquida. (NOVO, 2010).

Existem diversos estudos reportados na literatura sobre a utilização de biossorventes na remoção de íons metálicos. Essa relevância demonstra que a partir da industrialização, têm-se o crescimento na produção de resíduos e conseqüentemente seu descarte incorreto no meio ambiente. Dessa forma, houve uma necessidade de investigação e viabilização de metodologias que pudessem remediar a poluição do meio ambiente. (BUENO, 2009).

O íon Fe^{2+} é um íon metálico tóxico, quando descartado em corpos hídricos sofre um efeito de amplificação biológica, levando a bioacumulação nos tecidos dos seres vivos, ampliando seus efeitos ao longo da cadeia alimentar, e afetando significativamente os órgãos e seu funcionamento (AGUIAR; NOVAES; GUARINO, 2002).

A partir desta problemática, o estudo de materiais alternativos ao carvão ativado, que é o adsorvente com maior capacidade de adsorção, vem sendo incentivado. Tendo em vista que o carvão ativado é um material de custo elevado. (AGUIAR; NOVAES; GUARINO, 2002).

Neste contexto, surgem os materiais biológicos, que apresentam baixo custo e eficiência como adsorventes, além de serem renováveis. Nessa perspectiva, o presente estudo justifica-se pela necessidade da realização de estudos desses materiais. Com isso a investigação da folha de couve (*Brassica Oleracea*) torna-se importante a fim de aumentar as opções de materiais efetivos que ajudem no processo de despoluição dos efluentes.

O objetivo deste trabalho é a avaliação da folha de couve na remoção dos íons Fe^{2+} em solução aquosa. Já os objetivos específicos estão direcionados a: 1) Avaliação da massa de adsorvente; 2) Estudo do tempo de contato do adsorvente com o adsorvato e 3) Avaliação do pH no ponto isoelétrico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 METAIS PESADOS E O IMPACTO NO ECOSISTEMA

O termo metal pesado tem diversas definições, embora seja comumente empregado seu uso pode ter diferentes significados de acordo com a área em que se aplica, como por exemplo, oceanográfica, ecologia e química. Os metais pesados abordados no presente trabalho referem-se a elementos químicos associados à poluição ambiental e a alta toxicidade humana, pois, diversos destes metais são comprovadamente tóxicos (BORBA, 2006).

No entanto, tornou-se usual identificar qualquer metal pesado como tóxico, independente da sua densidade relativa, quimicamente este termo é usado para designar elementos metálicos que possuem densidade maior que $5g.ml^{-1}$, considerados poluentes não biodegradáveis (BORBA, 2006).

Os metais pesados diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por não serem degradáveis biologicamente e quimicamente, de modo a acumular-se no meio ambiente, solo, sedimentos e água, onde manifestam sua toxicidade. Os níveis de metais pesados têm aumentado acentuadamente em águas subterrâneas e superficiais, pelo descarte indiscriminado de efluentes oriundos de atividades industriais. Deste modo, os pesquisadores têm desenvolvido inúmeros estudos em prol da melhoria de processos e técnicas de tratamento destes efluentes (BRAIRD, 2022).

BRAGA e Colaboradores (2002) enfatiza diversos impactos no ecossistema em decorrência da presença de metais pesados nos recursos hídricos, visto que, estes

metais podem ser solubilizados em água provocando toxicidade, ou ainda se bioacumulando em organismos aquáticos, potencializando seu efeito nocivo ao longo da cadeia alimentar.

As atividades de manipulação de metais pesados no meio ambiente incluem extração de metais, processo de fabricação de peças metálicas, tintas e pigmentos, indústria de petróleo cujos efluentes, águas de processo e utilidades, são contaminados por metais pesados. Estes efluentes oriundos de atividades antrópicas reduzem a capacidade autodepurativa das águas, em decorrência da ação tóxica sobre os microrganismos responsáveis por esse processo, através da decomposição de materiais orgânicos (FELLENBERG, 2003).

Ao serem descartados no meio ambiente, os metais pesados lançados nos cursos hídricos, sofrem um efeito denominado Amplificação Biológica, que corresponde ao aumento da concentração de poluentes ao longo da cadeia alimentar. Este efeito decorre em virtude desses compostos não integrarem o ciclo metabólico dos seres vivos, onde neles armazenados e conseqüentemente sua concentração é ampliada nos tecidos dos organismos vivos que integram a cadeia alimentar do ecossistema. Os metais estão presentes no meio ambiente em diversas formas, como íons livres, complexos organo-minerais solúveis ou adsorvidos às partículas sólidas. Portanto, faz-se essencial a utilização de processos para reduzir ou remover metais como chumbo, cobre, cádmio, cromo, níquel, e outros, presentes em efluentes (FONTES, 2010).

Ao ser humano, os metais pesados podem gerar inúmeros danos à saúde em função de uma série de fatores, tais como, quantidade ingerida, sua toxicidade e seus potenciais carcinogênicos, mutagênicos ou teratogênicos. De modo geral, além de trazer danos à saúde humana, os metais pesados quando lançados no meio ambiente causam sérios problemas de acumulação durante os ciclos eco biológicos, alterações das características físico-químicas da água, redução da biodiversidade e contaminação de organismos vivos, isto é, devido sua natureza tóxica e não biodegradável (SILVA, 2010; PIOVESAN, 2017).

2.2 A CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E ORGANISMO HUMANO POR Fe²⁺

O ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, encontrado em uma grande variedade de rochas e solos minerais, é o segundo metal mais abundante, seguido pelo alumínio. É o metal mais utilizado, respondendo por 95% da produção mundial, e em decorrência de seu baixo preço e alta dureza, é indispensável, principalmente para peças estruturais de automóveis, navios e edifícios (HENNIG, 2009).

A absorção do ferro ocorre no sistema gastrointestinal, precisamente no epitélio duodenal, várias proteínas estão envolvidas neste mecanismo, na membrana das células encontra-se um transportador de metal divalente (DMT1), onde converte Fe (III) (não heme) em Fe (II), esta conversão é mediada pela redutase citocromo b duodenal (DCYTL), a proteína transportadora e de captação do ferro extracelular para meio intracelular dos enterócitos é a HCP1, onde o ferro será liberado da protoporfirina pela heme oxigenase, sendo armazenado conforme a necessidade do organismo na forma de ferritina nos enterócitos, liberado no sangue, ou estocado nas células reticuloendoteliais do fígado, baço e medula óssea na forma de ferritina ou hemossiderina (GROTTO, 2008).

A absorção intestinal do ferro heme e não heme acontece por meio de processos diferentes no enterócito. Quando há deficiência de ferro a sua absorção é facilitada pela ação de mecanismos reguladores. Os enterócitos contêm duas membranas que servem de passagem para moléculas e para o transporte de micronutrientes como o ferro. A da borda em escova (contato com o lúmen intestinal) e a basolateral (transferência de nutrientes para o sangue). O ferro precisa ultrapassar a borda em escova, ser transportado dentro do enterócito e, posteriormente, conforme a necessidade, ser disponibilizado na corrente sanguínea, chegando aos tecidos exercendo as suas diversas funções (WEFFORT et al., 2012).

O ferro caracteriza-se por ser um metal de transição e a extensão de sua utilização biológica está na capacidade de existir em diferentes estados de oxidação, formar muitos complexos, além de agir como um centro catalítico para diversas funções metabólicas. Presente na hemoglobina, este mineral é de fundamental importância para o transporte de oxigênio e dióxido de carbono, essenciais à respiração celular aeróbica, além de participar de componentes de numerosas

enzimas celulares, importantes para o funcionamento do sistema imunológico (CARVALHO et al., 2006).

Embora o ferro não seja considerado um metal pesado altamente tóxico, ele provoca alterações na qualidade da água, afetando suas propriedades físicas como a turbidez, estimulando o crescimento bacteriano, além de reagir quimicamente com outras substâncias presentes no corpo hídrico receptor. O Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 430 de 2011, estabeleceu normas finais para o lançamento direto de efluentes em corpos hídricos receptores. De acordo com esta resolução, o valor máximo permitido para ferro dissolvido é de 15,0 mg/L (FELTRIN; CECHINEL, 2018).

Tanto o excesso quanto a deficiência de ferro podem causar problemas no organismo humano. Consoante a Crichton et al. (2002), a deficiência de ferro no organismo pode levar à anemia e, em altas concentrações, pode ser tóxico, denominado hemocromatose, em que o metal se acumula no cérebro levando ao desenvolvimento de doenças genéticas, tais como, Parkinson, Alzheimer e outras. A reação entre ferro e oxigênio no corpo humano leva a formação de radicais livres e peróxidos, prejudicando o metabolismo intracelular, levando a sérios problemas de saúde como cirrose hepática, diabetes, câncer de fígado, infecções bacterianas e virais. Doenças oculares como rinite, conjuntivite e coroidite também são alguns dos problemas de saúde comuns enfrentados devido à alta concentração de ferro na água (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

2.3 APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Nas últimas décadas têm-se intensificado as pesquisas que envolvem novos métodos e processos de tratamento de efluentes industriais, a fim de combater a poluição ambiental causada pelo descarte incorreto desses resíduos. A remoção dos íons metálicos poluentes de diferentes efluentes industriais podem ser alcançadas fisicamente, quimicamente e biologicamente (FONTES, 2010).

A adsorção é um processo de separação dos componentes de determinado fluido através de um sólido poroso, onde, a eficiência da adsorção corresponde ao tamanho da superfície do sólido, ou seja, quanto maior a superfície melhor será a adsorção de substâncias. A adsorção é classificada conforme as

interações que ocorrem no processo de atração entre o adsorbato e o adsorvente. Desta forma, pode-se distinguir dois tipos de adsorção: a quimissorção (adsorção química) e a fisissorção (adsorção física), podendo ocorrer simultaneamente (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

No processo de separação por adsorção são utilizados três mecanismos: o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. Para o mecanismo estérico, os poros do material fazem uma seletividade das moléculas que serão acumuladas em sua superfície. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se a capacidade de acomodar diferentes espécies de adsorbatos. Os mecanismos cinéticos estão relacionados às diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes. Portanto, a adsorção envolve a combinação de forças físicas e químicas, as quais influenciam no processo de adsorção como, área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorbato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A quimissorção caracteriza-se pela forte interação entre as moléculas de um fluido e a superfície de um sólido (adsorvente), ocorrendo efetiva troca de elétrons entre o adsorvente e a molécula adsorvida (adsorbato) resultando em liberação de calor, semelhante aos valores liberados em uma reação química. Conseqüentemente, o adsorbato se ligará mais fortemente à superfície do sólido por meio de ligações iônicas ou covalentes polares, geralmente irreversíveis. No processo de adsorção física os componentes são retidos na superfície do sólido, onde as interações ocorrem pela ação das forças de Van der Waal (forças dipolo-dipolo e dipolos induzidos), entre o adsorvente e o adsorbato, por serem interações de fraca intensidade o equilíbrio de adsorção pode ser revertido rapidamente. A principal vantagem da adsorção física é a reversibilidade do processo, recuperando os componentes adsorvidos em sua forma original pelo mecanismo de dessorção (MELO, 2009).

Os processos físicos incluem adsorção, troca de íons, filtração em membrana, e coagulação. Métodos químicos incluem soluções ácidas ou básicas ou oxidação, enquanto métodos biológicos podem ser aeróbios, anaeróbios ou enzimáticos. Esses processos conhecidos como métodos de tratamento convencionais têm várias desvantagens principalmente, altas consumo de energia e custo de produção, e baixa eficiência. Recentemente, várias abordagens têm sido propostas por muitos pesquisadores ao redor do mundo para o desenvolvimento de métodos não

convencionais e utilização de adsorventes de baixo custo proveniente da biomassa, aplicado ao processo de adsorção (BARROS, 2017).

2.4 MATERIAL ADSORVENTE: Couve Manteiga (*Brassica oleracea*) como biossorvente

Um dos requisitos básicos do processo de adsorção é avaliar a capacidade adsorvente do material adsorvente a ser utilizado, assim como a sua capacidade de regeneração para ciclos sucessivos de sorção/dessorção. A aplicação de diferentes tipos de materiais adsorventes orgânicos e inorgânicos, proveniente de diversas fontes têm sido amplamente estudadas na última década (LIMA, 2017).

A busca por alternativas aos métodos convencionais que possuam baixo custo e alta eficiência, impulsionou a comunidade científica nos últimos anos, a pesquisar a utilização de diferentes biossorventes em sistemas de adsorção. O termo biossorvente corresponde a toda biomassa, seja ela ativa (com atividade metabólica) ou inativa (sem atividade metabólica). Os biossorventes são oriundos de alguma forma biológica, como vegetais, crustáceos, micro-organismos e animais (BARROS, 2017).

Ao utilizar biossorventes em formas ativas, como micro-organismos ou plantas, os sistemas de remoção de íons metálicos tornam-se mais complexos, envolvendo rotas metabólicas de bioacumulação. Sendo assim, os biossorventes provenientes de plantas, apresentam na sua parede celular uma ampla variedade de grupos orgânicos como ácidos carboxílicos, fenóis, aminas e amidas que podem reter contaminantes na sua superfície. Neste sentido, sua vantagem principal é que são abundantes na natureza e por muitas vezes sem valor comercial (PINO, 2005).

A adsorção de íons metálicos por biossorventes de origem vegetal estão diretamente relacionados aos grupos funcionais químicos existentes no material. Esses grupos normalmente estão presentes em estruturas contidas na parede celular do biomaterial que englobam macromoléculas de celulose organizadas em forma de microfibras cercadas por hemiceluloses, lignina, pectina e proteínas vegetais. Essas macromoléculas possuem grupos funcionais químicos, como álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, fenóis e éteres; grupos que tendem a doar elétrons para o cátion metálicos, estabelecendo assim, a ligação entre o íon metálico e o biossorvente (VAGHETTI, 2009).

Pertencente à família *Brassicaceae*, a couve de folha (*Brassica oleracea*) também conhecida como couve-comum e couve-manteiga, tem sua origem no continente Europeu. No Brasil, o consumo dessa hortaliça vem crescendo gradativamente devido às novas formas de uso na culinária e às descobertas de suas propriedades nutricionais pela ciência. Em comparação a outras hortaliças de folha, a couve-manteiga tem-se destacado pelo maior teor de proteínas, vitaminas A e C, fibras e carboidratos (GONÇALVES, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1 AQUISIÇÃO DO MATERIAL PARA PRODUÇÃO DO ADSORVENTE

As folhas de couve foram adquiridas em mercado da cidade de Ceres.

3.2 PREPARO DO BIOSSORVENTE

Após aquisição, as folhas de couve foram limpas com água de osmose reversa para remoção de possíveis impurezas presentes e secas à temperatura ambiente. Após a secagem em temperatura ambiente, as folhas foram armazenadas em sacos plásticos e armazenadas a 4°C. A temperatura de secagem em estufa utilizada foi de 60°C. O tempo de secagem foi de 48 horas. Depois de secas as folhas foram trituradas em aparelho processador doméstico específico para essa ação. (MARTINS et al., 2020).

Após a etapa de trituração, o material foi passado em peneira de 500 µm. Após peneiramento, o material foi pesado em balança analítica. Em seguida o material foi armazenado em saco plástico lacrado. As amostras foram então guardadas em armário próprio. (MIMURA; VIEIRA; MARTELLI, 2010).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSORVENTE (*Brassica oleracea*)

A caracterização do material foi feita de acordo aos parâmetros: pH, teor de umidade, teor de matéria orgânica e análise por espectrofotometria de absorção molecular no ultravioleta-visível. (MIMURA; VIEIRA; MARTELLI, 2010).

3.3.1 Determinação do pH

A determinação do pH foi realizada conforme a metodologia descrita por TEDESCO (1995, p. 88), no qual, foram utilizadas amostras sólidas das folhas de couve em extrato aquoso em cloreto de cálcio (CaCl_2) 0,01 mol.L⁻¹ na proporção de

1:5. Inicialmente, preparou-se a solução de CaCl_2 a $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ dissolvendo 0,22g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em 100 mL de água de osmose reversa. Posteriormente, pesou-se 10g do biossorvente e adicionou-se 100 mL da solução de CaCl_2 a $0,01 \text{ mol.mol}^{-1}$. A amostra foi agitada manualmente por 30 minutos (intervalos de 5 minutos). Passado então esse tempo, o pH foi medido com equipamento pHmetro.

3.3.2 Determinação da umidade

O procedimento utilizado na determinação do teor de umidade segue os parâmetros de SILVA (2020, p.73), no qual, pesou-se 10g das amostras das folhas de couve e em seguida o material foi seco em estufa a 105°C por 2h. Posteriormente a amostra foi resfriada e pesada até obter seu peso constante, considerando uma precisão de 0,1 mg. O teor de umidade foi determinado utilizando a equação 1 descrito por TEDESCO (1995, p. 87), onde o resultado será expresso em $\% \text{m.m}^{-1}$.

Equação 1. $\text{Umidade } (\%) = \frac{\text{peso úmido} - \text{peso seco}}{\text{peso úmido}} \times 100$

3.3.3 Determinação do teor de matéria orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica baseia-se na metodologia de CARMO&SILVA (2012, p.1213), onde as amostras das folhas de couve foram levadas à estufa para secagem a 105°C por 24h, posteriormente o material foi adicionado ao cadinho de porcelana. Em seguida o material foi levado a mufla na 550°C , por 3h. O teor de matéria orgânica foi determinado mediante a equação 2 abaixo:

Equação 2. *Teor de matéria orgânica* $(\%) = P - (T - C) \times 100$

P – Peso da amostra após aquecimento á 105°C ;

C- Tara do cadinho;

T – Peso do cadinho + amostra (g).

3.3.4 Ponto de carga zero

O ponto de carga zero (PCZ) é um parâmetro que indica o valor de pH no qual um determinado sólido apresenta carga igual a zero em sua superfície. Este parâmetro é importante porque permite prever a carga na superfície do adsorvente em função do pH. Para a determinação do ponto de carga zero ou ponto isoelétrico foi utilizada metodologia adaptada de Zanella (2012).

A metodologia consiste em adicionar 3,0 g do material biossorvente em 50 mL de água destilada em erlenmeyer de 250 mL variando pH (2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11 e 12). O ajuste do pH foi realizado com uso de soluções de NaOH 0,100 mol.L⁻¹ e HCl 0,100 mol.L⁻¹. As medidas foram feitas em duplicata. Após período de uma hora em repouso, foram determinados os valores de pH em cada erlenmeyer.

3.3.5 Testes de adsorção

A adsorção foi testada inicialmente, variando-se a massa de adsorvente e tempo de contato com a solução de Fe²⁺. A concentração de íons Fe²⁺ utilizada foi 30 mg.L⁻¹. O pH das amostra foi ajustado para 5,39. O ácido ascórbico 1,0 % (m/v) foi utilizado com agente redutor. A Tabela 1 apresenta os detalhes do experimento.

Tabela 1. Valores de massa de adsorvente e tempo (30, 60 e 90 minutos) de contato com a solução de íons Fe²⁺.

Tempo (min)	Massa (g)
30	0,25; 0,50 e 0,75
60	0,25; 0,50 e 0,75
90	0,25; 0,50 e 0,75

Posteriormente, o experimento foi estendido para tempos anteriores a 30 minutos e em intervalos de 10 minutos. A Tabela 2 apresenta essa organização.

Tabela 2. Valores de massa de adsorvente e tempo (10 a 90 minutos) de contato com a solução de íons Fe²⁺.

Tempo (min)	Massa (g)
10	0,25; 0,50 e 0,75
20	0,25; 0,50 e 0,75

30	0,25; 0,50 e 0,75
40	0,25; 0,50 e 0,75
50	0,25; 0,50 e 0,75
60	0,25; 0,50 e 0,75
70	0,25; 0,50 e 0,75
80	0,25; 0,50 e 0,75
90	0,25; 0,50 e 0,75

A quantificação do Fe foi realizada por meio do método colorimétrico da complexação do íon Fe^{2+} com o ligante 1,10-fenantrolina. A seguir são apresentados os procedimentos de construção da curva de calibração e análise da amostra.

3.3.6 Construção da curva de calibração

O intervalo da curva de calibração foi de 5 a 100 mg.L^{-1} . Em um balão volumétrico de 25 mL foram adicionados: 1,0 mL de solução padrão de Fe, 1,0 mL da solução de ácido ascórbico (concentração em 1,0%, m/v), 4,0 mL da solução de 1,10-fenantrolina e 5,0 mL da solução tampão ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^{-1}$, 1,0 mol.L^{-1}) pH 4,5. A Tabela 3 apresenta dos valores das soluções padrão de Fe. Após cinco minutos realiza-se a leitura no equipamento.

Tabela 3. Curva de calibração para Fe.

Padrões	Concentração Fe (mg.L^{-1})
1	5,0
2	20,0
3	35,0
4	50,0
5	100,0

3.3.7 Leitura da amostra

A leitura da concentração de íons Fe^{2+} , seguiu a seguinte ordem de adições: Em um balão volumétrico de 25 mL adiciona-se 1,0 mL de solução amostra,

1,0 mL da solução de ácido ascórbico (concentração em 1,0%, m/v), 4,0 mL da solução de 1,10-fenantrolina e 5,0 mL da solução tampão ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$, $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$) pH 4,5. Após cinco minutos realiza-se a leitura no equipamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo da adsorção do Fe pelo material preparado a partir da folha de couve, buscou inicialmente, comprovar ou não a adsorção do metal pelo material preparado. A caracterização do material produzido teve por objetivo conhecer algumas de suas características químicas e a partir delas, apontar eventuais justificativas para essa adsorção. A seguir são apresentados os resultados obtidos durante o estudo.

4.1 DETERMINAÇÃO DO pH

O estudo apontou que a amostra *in natura* do material possui um pH de 5,02. Isso o caracteriza como um material ácido. Menezes, Fernandes e Sabaa-Srur (2005) relataram que a faixa ideal do pH para matérias de origem vegetal varia de 5,0 a 7,0. Já em trabalhos nos quais a folha de couve foi estudada, como em Sanches et al. (2016) e Pereira et al. (2016) relataram valores de pH de 5,20 e pH 5,6, respectivamente.

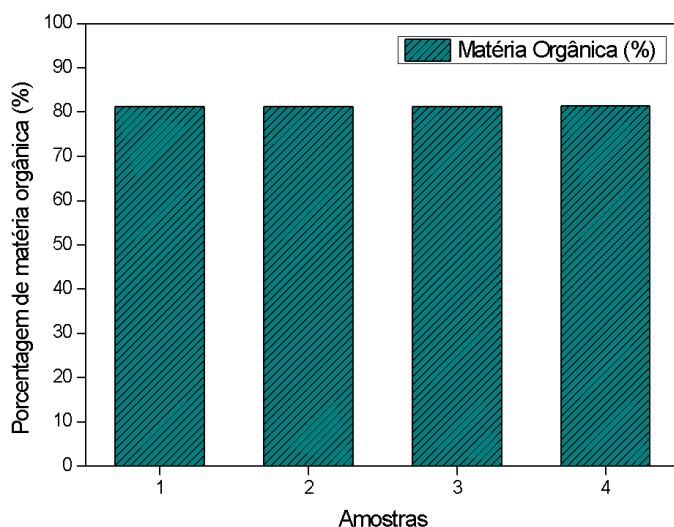
4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

O teor de umidade em plantas ou resíduos de compostos orgânicos é geralmente determinado em relação à temperatura de secagem até peso constante. A caracterização do teor de umidade foi realizada em triplicata, obtendo-se o valor médio de 83,1%. No estudo realizado por Calheiros et al. (2008), que também trabalharam com a folha de couve, o valor médio de umidade determinado foi de 77,3%. Já nos trabalhos de Lorenz e Maynard (1988) e Luengo et al. (2011), os valores encontrados para umidade foram de 85% e 89%, respectivamente. Esse parâmetro é importante pois está diretamente relacionado a estabilidade do material.

4.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DA MATÉRIA ORGÂNICA

A determinação do teor da matéria orgânica foi realizada em quatro réplicas. Os valores encontrados para as quatro réplicas estão presentes na Figura 1. O valor médio encontrado foi de 85,41%.

Figura 1. Porcentagem de matéria orgânica observada nas folhas de *Brassica Oleracea*.



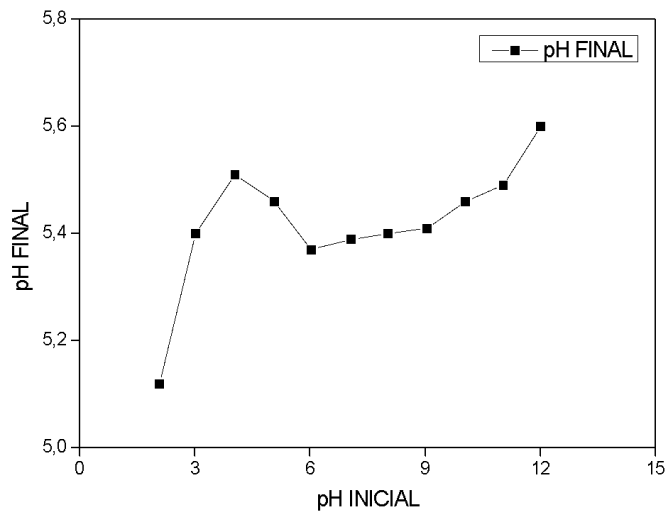
Carmo e Silva (2012, p. 1211) relataram em seu trabalho uma porcentagem de 99,40% de matéria orgânica, em amostra de serragem. O teor de matéria orgânica determinado para a folha de couve está dentro da faixa de valores obtidos para demais tipos de material vegetal (68,00 a 99,40%).

4.4 TESTE PONTO DE CARGA ZERO

Os processos de adsorção são fortemente dependentes do pH, uma vez que ele afeta o grau de ionização e especiação dos metais em solução, além de afetar também a carga superficial dos sítios ativos do material bioissorvente. A tendência de uma superfície apresentar carga positiva ou negativa em função do pH pode ser avaliada através da determinação do ponto de carga zero (PCZ). O PCZ, ou ponto isoelétrico, é definido como o pH em que a superfície do bioissorvente possui carga neutra. De maneira geral, a adsorção de cátions será favorecida em valores de pH maiores que o PCZ (carga superficial negativa), enquanto a adsorção de ânions será favorecida abaixo do PCZ (carga superficial positiva) (HEIDELMANN et al.,2017).

O pH_{PCZ} para a folha de couve resultou em um pH de 5,60 conforme apresenta a Figura 2. Este resultado para o PCZ da folha de couve, demonstra a presença de uma carga superficial negativa que favorece a adsorção de cátions. A partir desta informação, essa condição foi adotada para os experimentos de teste da adsorção.

Figura 2. Determinação do "Ponto de Carga Zero-pH_{PCZ}".



4.5 CURVA DE CALIBRAÇÃO

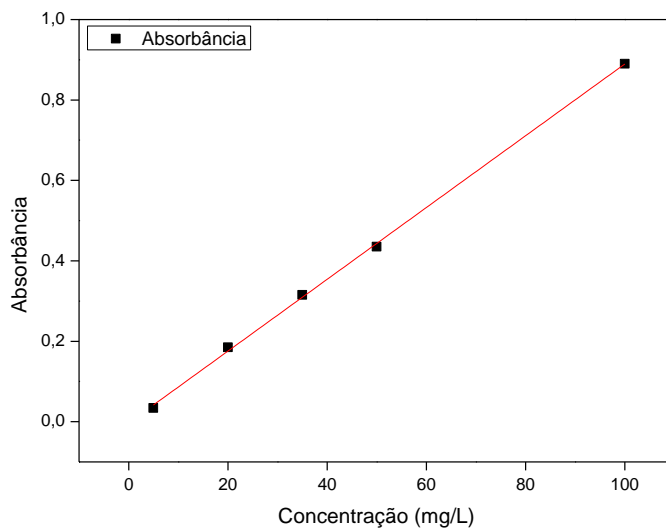
A seguir é apresentada a curva de calibração obtida. Assim como os seus parâmetros estatísticos. A partir dos parâmetros obtidos a seguinte equação da curva de calibração é obtida:

Equação 3

$$y = 0,0089x - 0,0030$$

$$r^2 = 0,9994$$

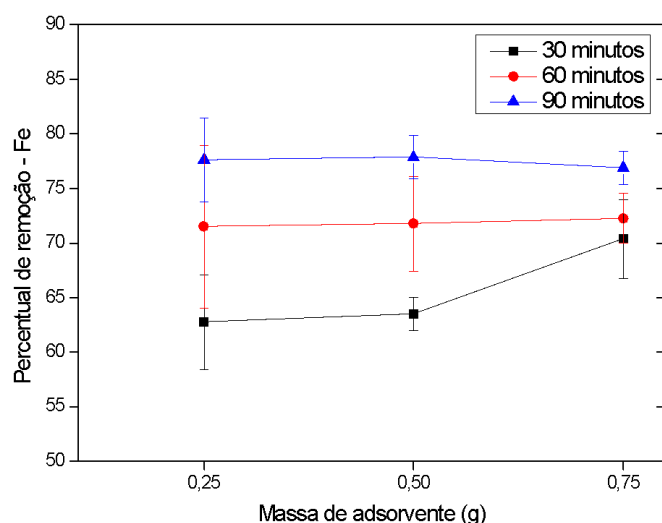
Figura 3. Curva de calibração para determinação de Fe.



4.6 TESTE DE ADSORÇÃO

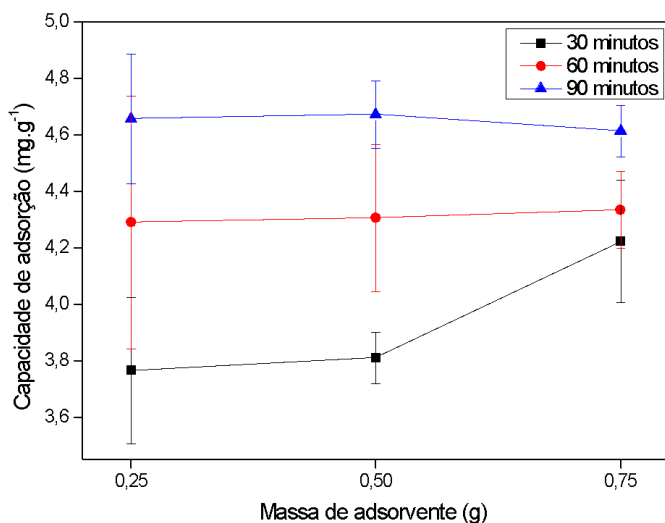
Inicialmente, foi realizado o teste da massa de adsorvente utilizada e do tempo de contato entre adsorvente e adsorvato. A Figura 4 apresenta os resultados referentes a remoção do íon Fe^{2+} , nas três massas testadas e nos três tempos de contato. A partir dos resultados apresentados verifica-se que em termos de massa de adsorvente, não há alteração significativa no percentual de remoção do íon Fe^{2+} , considerando-se os tempos de 60 e 90 minutos, para as três massas de adsorvente testadas. Já para o experimento que empregou 30 minutos de contato, observou-se que há um aumento significativo na porcentagem de remoção, quando consideramos 0,75 g do adsorvente.

Figura 4. Percentual de remoção de íons Fe^{2+} em função da massa em diferentes tempos.



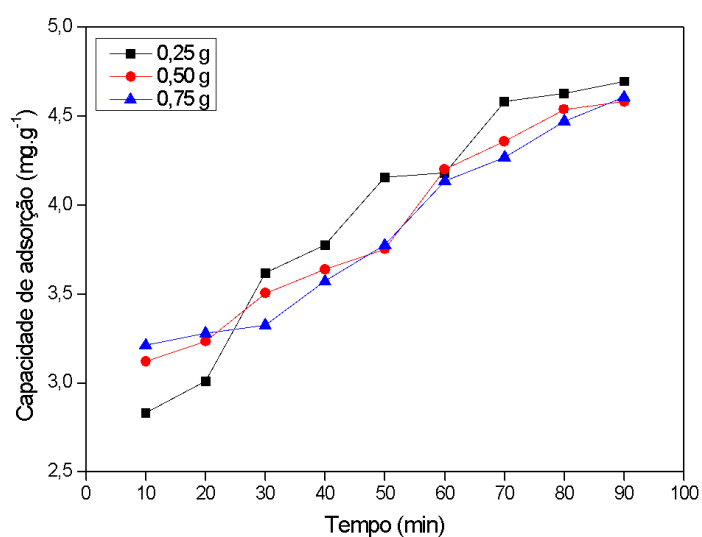
Na Figura 5 são apresentados os resultados para a capacidade de adsorção em função das massas de adsorvente e tempos de contato.

Figura 5. Capacidade de remoção de íons Fe^{2+} em função da massa em diferentes tempos.



A mesma análise realizada para os dados da Figura 4, pode ser aplicada para a capacidade de adsorção (Figura 5). A partir dos resultados obtidos (Figuras 4 e 5), o estudo da adsorção foi expandido para tempos inferiores a 30 minutos e o acompanhamento foi conduzido de 10 em 10 minutos de contato. A Figura 6 apresenta os dados obtidos para a capacidade de adsorção de íons Fe^{2+} , de 10 a 90 minutos, para as três massas de adsorventes testadas. Observa-se que há um aumento linear na capacidade de adsorção em função do tempo, para as três massas de adsorventes. A partir de 70 minutos, esse aumento começa estabilizar. Essa estabilização decorre da saturação dos sítios de adsorção do bioadsorvente.

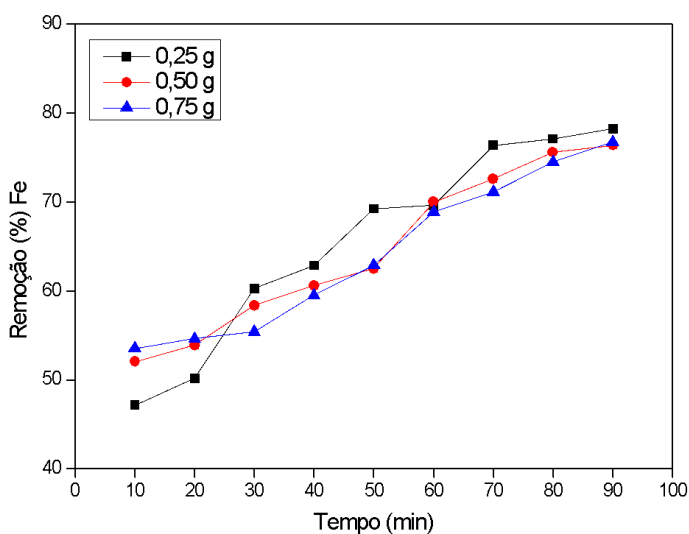
Figura 6. Perfil da capacidade de adsorção de íons Fe^{2+} em função do tempo em três diferentes massas de adsorventes.



A Figura 7 apresenta os dados para remoção de íons Fe^{2+} em função do tempo (10 a 90 minutos), nas três massas de adsorventes testadas. A mesma análise realizada para os dados da Figura 6, é observada para os dados de remoção.

Oliveira e Santos (2018) aplicaram o bagaço de cana de açúcar, na remoção de Fe. Neste trabalho a taxa de remoção observada foi de 97,80%. Até os 90 minutos de contato, observou-se 78,80% de remoção de íons Fe^{2+} . Esses altos percentuais de remoção, em parte são explicados pelo pH no qual os experimentos são conduzidos (5,60). Em meio ácido, há um aumento a solubilidade de íons Fe^{2+} , que facilita a adsorção.

Figura 7. Perfil da taxa de remoção de íons Fe^{2+} em função do tempo em três diferentes massas de adsorventes.



5. CONCLUSÕES

O uso da folha de couve na remoção de íons Fe^{2+} mostrou-se possível, tendo em vista que nos experimentos de adsorção realizados, já a partir de 0,25 g do adsorvente, um percentual de 62% da concentração inicial de íons Fe^{2+} é removido. As massas de adsorvente estudadas mostraram-se suficientes para observação do fenômeno de adsorção. Com relação aos tempos de contato entre adsorvente e adsorvato, o processo de adsorção é observado de a partir dos 10 minutos de contato, sendo ainda verificados quando se atinge os 90 minutos. Sendo que há um aumento linear na remoção, até os 70 minutos. A partir deste momento, uma tendência de estabilização é verificada. Essa tendência é esperada, tendo em vista que os “locais” de adsorção do íon Fe^{2+} , pelo adsorvente vão se tornando “ocupados” ao longo do tempo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. R. M. P; NOVAES, A. C; GUARINO. A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos, **Química Nova**, Vol. 25, No. 6B, 1145-1154, 2002.
- BARROS, D. C; CARVALHO, G; RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia e Ciência, Ceres**, v.6, nº.1, p.1-15, 2017.
- BORBA, C. E. **Modelagem de remoção de metais pesados em coluna em leito fixo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP, 2006.
- BRAGA, B; HESPANHOL, I; JULIANO, N; EIGER, D. S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: editora Prentice Hall, p. 72-123, 2022.
- BRAIRD, C. **Química ambiental**. Porto Alegre: editora bookman, 2° ed, 2022.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Classifica as águas do Território Nacional. **Resolução n.357**, 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Brasília, 2005.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento de Águas Subterrâneas. **Resolução n.396**, 03 de Abril de 2008. Diário Oficial da União. Brasília, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2 set. 1981.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. **Portaria MS nº 518/2004**, 25 de março de 2004. Diário Oficial da União. Brasília, 2004.
- BUENO, B. M. et al. Remoção de Pb(II) de soluções em aquosas por biossorção em *R. opacus*. **Escola de Minas**, Vol. 62, No. 4, Ouro Preto 2009.
- FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo, ed EPU, pág. 196, 2003.
- FELTRIN, N; CECHINEL, M. A. P. Remoção de ferro de soluções aquosas utilizando casca de laranja liofilizada. **Engenharia Química**, 2018.

FONTES, V. A. **Estudo de adsorvente obtido de terras diatomáceas para remoção de metais pesados em águas produzidas: processamento, caracterização e dinâmica em leito fixo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.

GOLÇALVEIS, R. G. M. **Fatores de Transferência de Metais Pesados do Solo para Plantas de Couve Manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) Cultivadas na Microbacia do Rio Jacó, Petrópolis –RJ.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019.

GONÇALVES, JR. et al. **Desenvolvimento de Biossorventes a partir de biomassa da canola para remoção de Pb^{2+} .** Barranquilla-Colombia, 2018.

HENNIG, E. L. **Utilização de quitosana obtida de resíduos de camarão para avaliar a capacidade de adsorção de íons Fe^{3+} .** Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande, 2009.

LIMA, S. N. P. **Caracterização das fibras de buriti e sua aplicabilidade como adsorvente de metais e corantes.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017.

MELO, C. R. **Síntese de zeólita tipo 5 a partir de caulim para adsorção de metais pesados de soluções aquosas.** Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

NASCIMENTO et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** 1. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NOVO, M. C. S. et al; **Desenvolvimento e produção genótipos de couve manteiga. Horticultura Brasileira.** Vol. 28, No. 3, 2010.

OLIVEIRA, S. P. D. et al. **Estudo da adsorção dos íons Fe^{2+} pelo adsorvente supergel™ SGC 650H.** ENEMP- Universidade Federal de Sao Carlos, 2015.

PINO, G. A. H. **Biossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*).** Dissertação de mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PIOSEVAN, M. **Tratamento de efluentes industriais utilizando eletrofloculação com eletrodos de alumínio e ferro.** 2017. 90f. Dissertação de Mestrado – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SAVAZZI, E. A. **Determinação da presença de bário, chumbo e cromo em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru.** Dissertação – Universidade de São Paulo, 2008.

SILVA, R. P. **Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente.** Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SOUZA, A. K. R. et al. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v.9, nº 3, 2018.

VAGHETTI, J. C. P. **Utilização de biossorvente para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons metálicos.** Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.