

**CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PROF. CARMELINO CORRÊA JÚNIOR
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL
DE TÉCNICO EM QUÍMICA**

Gabriel Nunes Valério Fonseca

Hernany Pereira

Luiz Gabriel Batista Sanches

Miguel Capareli de Paula

ADSORÇÃO DO MERCÚRIO COM POLIUREIA

FRANCA

2023

Gabriel Nunes Valério Fonseca

Hernany Pereira

Luiz Gabriel Batista Sanches

Miguel Capareli de Paula

ADSORÇÃO DO MERCÚRIO COM POLIUREIA

Trabalho de Conclusão de curso, apresentado ao Curso Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio da Etec Prof. Carmelino Corrêa Júnior, orientado pela Profa. Dra. Joana D'Arc Félix de Sousa, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Química.

FRANCA

2023

Gabriel Nunes Valério Fonseca

Hernany Pereira

Luiz Gabriel Batista Sanches

Miguel Capareli de Paula

ADSORÇÃO DO MERCÚRIO COM POLIUREIA

Orientador(a): _____

Nome: Profa. Dra. Joana D'Arc Felix Sousa

Instituição: ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Coorientador(a) 1: _____

Nome: Prof. Felipe Cintra Clementino

Instituição 1: ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Instituição 2: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

Coorientador(a) 2: _____

Nome: Nicole Aparecida Amorim de Oliveira

Instituição: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

Examinador(a) 1: _____

Nome:

Instituição ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Examinador(a) 2: _____

Nome:

Instituição ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Examinador(a) 3: _____

Nome:

Instituição: ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Franca, ____ / ____ / ____

AGRADECEMOS em primeiro lugar, a DEUS, que foi e é nosso apoio e nos ajuda nas adversidades. As nossas famílias que nos dão a disponibilidade de estudar e nos incentivaram a continuar. Aos professores pelos ensinamentos que nos ajudaram no desenvolvimento desse trabalho, enriquecendo o nosso processo de aprendizado.

RESUMO

FONSECA, Gabriel Nunes Valério; **PEREIRA**, Hernany; **SANCHES**, Luiz Gabriel Batista; **DE PAULA**, Miguel Capareli. **Adsorção do Mercúrio com Poliureia**. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado para Obtenção do Título de Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2023.

O objetivo deste trabalho é avaliar o percentual de adsorção da matéria utilizada, sendo ela altamente versátil e tecnológica, conhecida como Poliureia. Através do problema da contaminação por mercúrio nas águas que afeta os índios Yanomami's e outras pessoas que se encaixam nessa situação. O objetivo do trabalho é propor uma solução para esse problema, usando um adsorvente para reter o mercúrio. O trabalho visa também explicar o que é a adsorção, um processo que permite a remoção de mercúrio de diferentes tipos de águas. Destacando as vantagens da adsorção, suas características principais e as abordagens mais usadas para a adsorção do mercúrio, enfocando em adsorventes funcionais e tratamentos sustentáveis.

Palavras-chave: Meio Ambiente; Poliureia; Mercúrio.

ABSTRACT

FONSECA, Gabriel Nunes Valério; **PEREIRA**, Hernany; **SANCHES**, Luiz Gabriel Batista; **DE PAULA**, Miguel Capareli. **Adsorption of Mercury with Polyurea**. Completion of Course Work Presented for Obtaining the Title of Technician in Chemistry Integrated to High School. ETEC Prof. Carmelino Correa Junior, Franca/SP, 2023.

The objective of this work is to evaluate the percentage of adsorption of the material used, which is highly versatile and technological, known as Polyurea. Through the problem of mercury contamination in water that affects the Yanomami Indians and other people who fall into this situation. The objective of the work is to propose a solution to this problem, using an adsorbent to retain the mercury. The work also aims to explain what adsorption is, a process that allows the removal of mercury from different types of water. Highlighting the advantages of adsorption, its main characteristics and the most used approaches for mercury adsorption, focusing on functional adsorbents and sustainable treatments.

Keywords: Environment; Polyurea; Mercury.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Manchete sobre o Garimpo.....	11
Figura 2 – Poliureia.....	19
Figura 3 – Iodeto de Mercúrio (Hgl ₂)	20
Figura 4 – Espectrofotômetro UV-Vis.....	21
Figura 5 – Curva de calibração dos espectros de absorção da região UV-Vis das soluções diluídas de iodeto de mercúrio (II).....	22
Figura 6 – Curvas da cinética de adsorção para as concentrações.....	25
Figura 7 – Equilíbrio com tempo de 330 min.....	26
Figura 8 – Classificação das isotermas de Giles.....	26
Figura 9 – Taxa de adsorção obtida para cada concentração de solução de iodeto de Mercúrio (II).....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	09
1.1	Justificativas ou Problema de Pesquisa.....	09
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral.....	11
1.2.2	Objetivo Específico.....	11
2	DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1	Referencial Teórico	12
2.1.1	Riscos à Saúde.....	12
2.1.2	Adsorção.....	13
2.1.3	Mercúrio.....	14
2.1.4	Adsorção no Mercúrio.....	15
2.1.5	Contaminação por Metais.....	17
2.1.6	Poliureia e suas características.....	17
2.2	Materiais e Métodos.....	19
2.2.1	Materiais.....	19
2.2.2	Métodos.....	19
2.2.2.1	Métodos empregados na extração de vitaminas e aminoácidos do balsamo e jatobá.....	19
2.2.2.2	Métodos empregados na extração de vitaminas, nutrientes e proteínas nas frutas.....	20
2.2.2.3	Aferição	20
2.2.2.4	Curva de calibração para determinação de HgI2 – UV-Vis.....	21
2.2.2.5	Estudo cinético e de equilíbrio da adsorção.....	21
2.3	Resultados e Discussão.....	23
2.3.1	Teste de extração das cascas de balsamo e jatobá.....	23
2.3.2	Estudo do equilíbrio.....	24
2.3.3	Taxa de remoção.....	26

3	CONCLUSÃO.....	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas

Muito tem se discutido, recentemente, acerca dos casos dos índios, em específico os Yanomami's, afetados pelo mercúrio nas águas. Pensando nisso, nosso trabalho tem como fundamento a resolução desse problema, criando uma espécie de "filtro" para reter o mercúrio, um filtro capaz de ajudar estes índios e também outras pessoas em situações parecidas a evitarem os problemas de contaminação com mercúrio. Para que isso aconteça, pensamos em um adsorvente, para que as pessoas possam usa-los sem o risco de contaminação com o metal mercúrio. E não apenas isso, a adsorção do mercúrio é um fenômeno de grande relevância e interesse na área da química ambiental. O mercúrio é um metal tóxico e altamente volátil, que pode ser liberado para o ambiente através de atividades industriais, combustíveis fósseis, mineração e outras fontes antropogênicas. Devido aos seus efeitos nocivos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos, é fundamental encontrar métodos eficazes para a remoção desse metal do meio ambiente. A adsorção, um processo pelo qual as moléculas de um soluto são retidas na superfície de um sólido, tem se mostrado uma técnica promissora para a remoção de mercúrio de diferentes tipos de matrizes aquáticas. Neste contexto, esta introdução abordará os princípios básicos da adsorção, suas principais características e as principais abordagens utilizadas para a adsorção do mercúrio, com ênfase em adsorventes de baixo custo e tratamentos sustentáveis.

A Figura 1 mostra a machete sobre o garimpo. Na matéria publicada na revista eletrônica Brasil de Fato, fala de um estudo sobre o garimpo na região amazônica, que verificou uma alta concentração de mercúrio em peixes consumidos por pessoas que vivem na região. Segundo a pesquisa, o mercúrio encontrado em peixes coletados nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima é 21,3% acima dos níveis permitidos, o que pode trazer graves consequências à saúde de quem os consome.

Figura 1. Manchete sobre garimpo

BdF 20
anos

Início Opinião Política Direitos Humanos Cultura Geral Saúde Internacional Especiais Rádio Podcast

Garimpo causa aumento da concentração de mercúrio em peixes na Amazônia, mostra pesquisa

Cientistas constataram uma concentração 21% acima do permitido de substância tóxica ao organismo humano

Lucas Weber e Felipe Mendes
Brasil de Fato | Rio de Janeiro (RJ) | 01 de Junho de 2023 às 16:43



Segundo pesquisa, atividades de garimpo de ouro têm interferência direta no aumento da concentração de mercúrio nos peixes - Bruno Kelly/Amazônia Rea/HAY

Fonte: Brasil de Fato, <https://www.brasildefato.com.br/2023/06/01/garimpo-causa-aumento-da-concentracao-de-mercúrio-em-peixes-na-amazonia-mostra-pesquisa>, acessado em 26/9/23 às 9:24

"A prática de mineração artesanal, notadamente os garimpos, frequentemente emprega o mercúrio metálico como agente de amalgamação no processo de extração de ouro. Contudo, essa utilização imprudente resulta na liberação indiscriminada de mercúrio no ambiente, o qual subsequentemente se acumula nos sedimentos dos corpos hídricos. Nesse contexto, ocorre a conversão do mercúrio em sua forma orgânica mais perigosa, o metilmercúrio, por meio de processos de metilação microbiana. Essa forma química altamente tóxica é então assimilada por organismos aquáticos presentes no ecossistema aquático, estabelecendo-se assim a entrada de metilmercúrio na cadeia trófica aquática", detalha a pesquisa em questão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo primordial desta pesquisa é demonstrar a eficácia da poliureia como adsorvente na remoção de mercúrio (Hg) de águas residuárias. Este estudo busca estabelecer uma base científica sólida para a utilização. Avaliando sua capacidade de adsorção, eficiência e viabilidade em comparação com métodos convencionais. A pesquisa visa contribuir para a mitigação da poluição por metais pesados.

1.2.2 Objetivos Específicos

1) investigar os mecanismos de adsorção envolvidos no processo e otimizar as condições experimentais para alcançar os melhores resultados possíveis.;

2) Os resultados deste estudo podem abrir caminho para o desenvolvimento de soluções inovadoras na gestão de resíduos industriais e na preservação do meio ambiente, fornecendo uma alternativa promissora e economicamente viável para a remoção de metais pesados, com destaque para o mercúrio, das águas residuárias industriais.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Riscos à Saúde

Segundo Professor Paulo Basta, Doutor em Saúde Pública e pesquisador da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), ele explicou que as principais repercussões da exposição ao mercúrio estão relacionadas ao sistema nervoso. Os impactos incluem a possibilidade de comprometimento da função visual, manifestando-se como um campo visual reduzido e visão em túnel. Os afetados também podem apresentar sintomas como cefaleia crônica, irritabilidade, labilidade moral, depressão e insônia. Essa variedade de sintomas pode, por vezes, ser confundida com outras condições médicas

Adicionalmente, há riscos associados a problemas motores, com a perda de força nas mãos e dificuldades para locomoção, incluindo caminhar ou subir escadas. Em casos graves de intoxicação por mercúrio, a progressão da doença pode levar à dependência de uma cadeira de rodas.

É importante destacar que as mulheres grávidas enfrentam um risco aumentado, uma vez que o mercúrio ingerido tem a capacidade de atravessar a barreira placentária, chegando ao cérebro do feto. Os efeitos podem variar consideravelmente, mas em situações de contaminação severa, há um elevado risco de aborto ou de má-formação congênita, caso a gravidez prossiga.

2.1.2 Adsorção

A adsorção é um processo em que átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de um sólido ou líquido. É um fenômeno fundamental na interação entre moléculas ou íons presentes na fase fluida e uma superfície sólida, com ampla aplicação em processos industriais e de purificação.

A adsorção ocorre na interface entre a superfície do adsorvente (material utilizado para adsorver) e a fase fluida, e sua eficácia está diretamente relacionada à área superficial disponível, sendo que uma maior área resulta em uma capacidade de adsorção aumentada.

As forças intermoleculares, como as de Van der Waals e as ligações de hidrogênio, desempenham um papel essencial ao atrair moléculas da fase fluida para a superfície do adsorvente.

A adsorção atinge o equilíbrio quando a quantidade de moléculas adsorvidas se estabiliza em relação à quantidade presente na fase fluida, e a capacidade de adsorção é a medida da quantidade máxima de substância que pode ser adsorvida por unidade de massa ou área superficial do adsorvente.

As isotermas de adsorção, gráficos que relacionam a concentração da substância adsorvida com a concentração na fase fluida, permitem analisar o comportamento do sistema em diferentes temperaturas. Diversos fatores afetam a adsorção, incluindo temperatura, pressão, natureza das substâncias envolvidas e características do adsorvente, como porosidade e carga superficial.

A adsorção encontra aplicação em diversas áreas, como a purificação de água, separação de componentes, tratamento de efluentes e processos industriais, destacando-se como uma ferramenta versátil e eficaz na remoção de impurezas e na recuperação de substâncias valiosas.

O conhecimento dos princípios fundamentais da adsorção e sua aplicação em contextos variados são elementos essenciais para solucionar desafios relacionados à purificação, tratamento e separação em diversas indústrias e campos de pesquisa.

2.1.3 Mercúrio

O mercúrio (Hg) é um elemento químico que pertence ao grupo 12 da tabela periódica, sendo classificado como um metal de transição. Suas propriedades físicas e químicas o tornam notável e, ao mesmo tempo, desafiador em contextos ambientais e de saúde humana.

Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), é um metal líquido prateado e pesado. Sua temperatura de fusão é $-38,83^{\circ}\text{C}$, e seu ponto de ebulição é $356,73^{\circ}\text{C}$, o que o torna um dos poucos metais líquidos em CNTP.

O mercúrio é reconhecido por sua toxicidade. Ele pode existir em diversas formas químicas, sendo as mais preocupantes o mercúrio elementar (Hg^0), o mercúrio inorgânico (Hg^{2+}), e o mercúrio orgânico, como o metilmercúrio (CH_3Hg^+). A exposição a essas formas pode causar danos neurológicos, renais e outros problemas de saúde, especialmente em fetos e crianças.

O mercúrio é volátil, o que significa que pode se transformar em vapores facilmente em temperaturas ambiente. Isso contribui para a disseminação de sua toxicidade em ambientes fechados, como laboratórios e indústrias, as medidas adequadas de segurança não forem implementadas.

Esse metal tem a notável capacidade de formar amálgamas com outros metais, o que o torna valioso em aplicações como odontologia e eletrônica. No entanto, o uso de amálgama de mercúrio em odontologia tem diminuído devido a preocupações ambientais e de saúde.

O lançamento de mercúrio no ambiente, seja através de efluentes industriais, queima de combustíveis fósseis ou descarte inadequado de produtos contendo mercúrio, é uma fonte significativa de contaminação ambiental. Isso resulta na acumulação de mercúrio nos ecossistemas aquáticos, onde pode se transformar em metilmercúrio e entrar na cadeia alimentar.

Devido aos riscos associados à exposição, diversos órgãos reguladores em todo o mundo estabeleceram limites rigorosos para as emissões e o uso de mercúrio em processos industriais, visando mitigar seus impactos ambientais e proteger a saúde humana.

Compreender as características do mercúrio é importante para abordar eficazmente seu manuseio, controle de emissões e remediação em ambientes contaminados. Isso é especialmente relevante em setores como o da indústria galvânica, onde a presença de mercúrio nas águas residuárias representa um desafio ambiental significativo.

Propriedades:

- Símbolo: Hg
- Número atômico: 80
- Massa atômica: 200,592 u
- Configuração eletrônica: [Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s²
- Estado físico: líquido (20 °C)
- Ponto de fusão: -38,8 °C
- Ponto de ebulição: 356,6 °C
- Densidade: 13,55 g/cm³
- Eletronegatividade: 1,9 (escala de Pauling)
- Série química: metal de transição
- Localização na Tabela Periódica: grupo 12, período 6, bloco d.
- Isótopos naturais: ¹⁹⁶Hg (0,15%), ¹⁹⁸Hg (9,97%), ¹⁹⁹Hg (16,87%), ²⁰⁰Hg (23,10%), ²⁰¹Hg (13,18%), ²⁰²Hg (**29,86%**), ²⁰⁴Hg (6,87%)..

2.1.4 Adsorção no Mercúrio

A adsorção do mercúrio é uma preocupação significativa devido à toxicidade do mercúrio e seus compostos. Existem várias abordagens para a adsorção eficiente do mercúrio a partir de soluções aquosas. Algumas das principais abordagens incluem:

Carvão Ativado: O carvão ativado é um adsorvente comum para a remoção de mercúrio. Sua grande área superficial e porosidade oferecem locais de adsorção eficazes para íons de mercúrio.

Resinas Trocadoras de Íons: Resinas trocadoras de íons, especialmente resinas à base de enxofre, podem ser usadas para a adsorção de mercúrio, trocando íons de mercúrio por íons menos tóxicos ou inofensivos.

Carvão de Casca de Coco: Além do carvão ativado convencional, o carvão de casca de coco é uma alternativa eficaz e mais sustentável para a adsorção de mercúrio.

Filmes Finos de Adsorventes: Filmes finos de adsorventes podem ser aplicados em superfícies sólidas, como placas ou membranas, para adsorver mercúrio de forma eficiente.

Nanopartículas Funcionalizadas: Nanopartículas funcionalizadas, como nanopartículas de sílica ou óxidos metálicos, podem ser modificadas para adsorver mercúrio por meio de grupos funcionais específicos.

2.1.5 Contaminação por Metais

A contaminação por metais pesados é um desafio crescente no cenário ambiental, resultante principalmente da liberação de efluentes industriais, principalmente indústrias químicas. Este problema ambiental é agravado pela ineficácia e custos elevados associados aos métodos tradicionais de remoção desses poluentes. Para abordar essa questão, foi conduzida uma pesquisa que investigou o potencial das cascas de banana, das variedades nanica e prata, como bioadsorventes na adsorção de metais pesados presentes nas águas residuárias, especificamente aquelas provenientes da indústria galvânica. Essa abordagem visa substituir alternativas tradicionais dispendiosas, como o carvão ativado, oferecendo uma alternativa promissora para a remoção eficaz dos metais pesados, com foco no mercúrio (Hg).

2.1.6 Poliureia e suas características

Inicialmente, desenvolvidos para o setor automobilístico, os sistemas de poliureia hoje são fornecidos em diversos formatos para atender a inúmeras exigências. Essa versátil tecnologia consiste em uma membrana elástica

impermeável, formada por dois componentes: a resina e o isocianato. A mistura desses componentes provoca reação química, transformando-os em um elemento 100% sólido.

Os empresários da construção civil têm à disposição a tecnologia de revestimentos e impermeabilização em sistemas de poliureia, que é o que existe de mais moderno na área. Importante para construção civil, engenharia naval, indústria de energia e mineração, pavimentação de estradas, assim como revestimento de silos graneleiros, o produto vem se tornando indispensável para os segmentos citados. Exemplo factual dos benefícios do uso desse sistema é a reforma do Estádio do Maracanã, para os jogos da Copa do Mundo de 2014, quando essa tecnologia já estava sendo utilizada.

Características

A poliureia impermeabiliza, protege e reveste vários tipos de base, tendo as seguintes características:

- Seca rápido sem precisar de catalisadores.
- Possui sistema monolítico.
- Sistema sem sobra de contaminantes.
- Pode ser aplicada em temperaturas que variam de 30°C a 120°C.
- Resistente a raios UV e chuva ácida.
- É durável e permite a pigmentação de alta qualidade.

Figura 2: Poliureia



Fonte: os autores

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Materiais

Lista de reagentes e solventes utilizados:

- Iodeto de mercúrio (HgI_2) – Teor 99,0%
- Poliureia
- Água Destilada(osmose reversa)
- Baquer
- Erlenmeyer
- Papel filtro
- Funil

Figura 3. Iodeto de Mercúrio (HgI_2)



Fonte: Os autores

2.2.2 Metodologia

2.2.2.1 Obtenção do adsorvente da poliureia

Realizamos a coleta do polímero no Instituto de Pesquisas Tecnológicas que anteriormente Obtenção das amostras. As amostras das membranas de poliuréia foram sintetizadas utilizando effamine®ED-2003Polyetherdiaminedissolvidoemacetona com 1,6-diisocianato hexanehomopolymer(HDI).

2.2.2.2 Espectroscopia de absorção na região do ultravioleta/visível (UV-Vis)

Os espectros de absorção na região do ultravioleta/visível foram obtidos em um equipamento Espectrofotômetro com Diode Array UV-Vis BEL mod. UV-M51, do IPT-Franca, com calibração RBC, utilizando uma cubeta de quartzo com caminho ótico de 10 mm.

Figura 4: Espectrofotômetro UV-Vis



Fonte: Os autores.

2.2.2.3 Aferição

Primeiramente, realizou-se a aferição da massa de todos os materiais, seguida da verificação do peso pós-utilização, com o propósito de quantificar a alteração de massa e determinar com precisão a quantidade de mercúrio dissolvida no solvente. Isso se tornou necessário devido à tendência do iodeto de aderir aos materiais, sendo importante mencionar que os materiais de vidro foram submetidos a um processo de aquecimento em estufa a uma temperatura de cerca de 80 graus Celsius para garantir maior precisão.

2.2.2.4 Curva de calibração para determinação de HgI_2 – UV-Vis

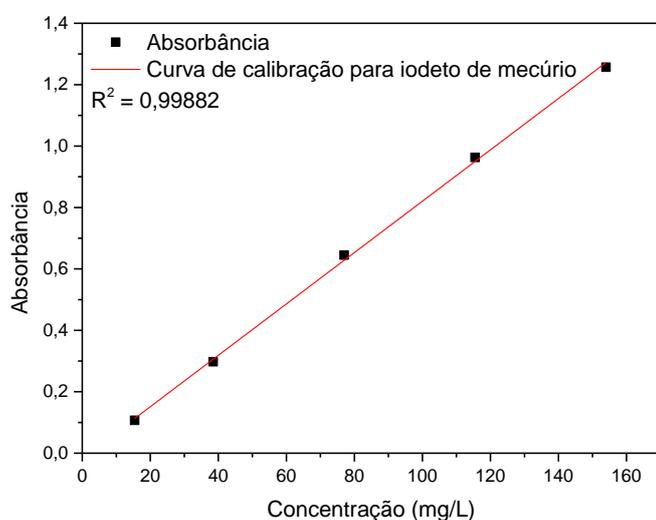
Inicialmente foi preparada a solução estoque de iodeto de mercúrio (II) com concentração de 154 mg.L^{-1} , a partir da mesma foram feitas diluições para 115,5; 77,0; 38,5 e $15,4 \text{ mg.L}^{-1}$. Foram efetuados espectros UV-Vis das soluções e em seguida elaborou-se a curva de calibração, no espectrofotômetro, utilizando a absorbância a 208,4 nm, conforme mostra a Figura 3.

2.2.2.5. Estudo cinético e de equilíbrio da adsorção

Visando a otimização do processo de adsorção de iodeto de mercúrio pela Poliureia foi realizado o estudo da cinética de adsorção, onde esta análise consiste

em um sistema onde a única variável entre os testes é o tempo de adsorção e as outras propriedades são constantes, como, o volume de sua solução, a massa de adsorvente e a temperatura. A variação do tempo neste estudo é feito para encontrar o tempo ótimo de adsorção para cada matriz.

Figura 5. Curva de calibração dos espectros de absorção da região UV-Vis das soluções diluídas de iodeto de mercúrio (II).



Fonte: Os autores.

Após realizar a regressão linear, obteve-se a curva de calibração, que obedece a seguinte equação, e possui $R^2 = 0,99882$.

$$A = 0,00836 \cdot [\text{iodeto de mercúrio II}] - 0,01596$$

em que:

A = Absorbância.

[HgI₂] (mg.L⁻¹) = Concentração da solução de iodeto de mercúrio.

4.2.7. Cálculo da taxa de remoção de iodeto de mercúrio II

A taxa de remoção de adsorvato refere-se à eficiência com que um adsorvente remove um determinado componente (adsorvato) de uma solução. Em processos de adsorção, o adsorvente é uma substância que atrai e retém moléculas ou íons de outra substância, conhecida como adsorvato.

A fórmula geral para calcular a taxa de remoção de adsorvato é:

$$\text{Taxa de Remoção (\%)} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Onde:

C_i é a concentração inicial do adsorvato na solução.

C_f é a concentração final do adsorvato na solução.

1 Essa fórmula expressa a redução percentual na concentração do adsorvato na solução, indicando a eficácia do adsorvente em remover o adsorvato do meio.

2 A taxa de remoção é uma métrica importante em várias áreas, como tratamento de águas contaminadas, purificação de produtos químicos e processos industriais, onde a remoção de impurezas é essencial. Experimentos de adsorção são frequentemente realizados para avaliar a capacidade e eficiência de adsorventes específicos em remover poluentes ou outras substâncias indesejadas de soluções.

2.3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos nos itens a seguir.

2.3.1 Estudo cinético.

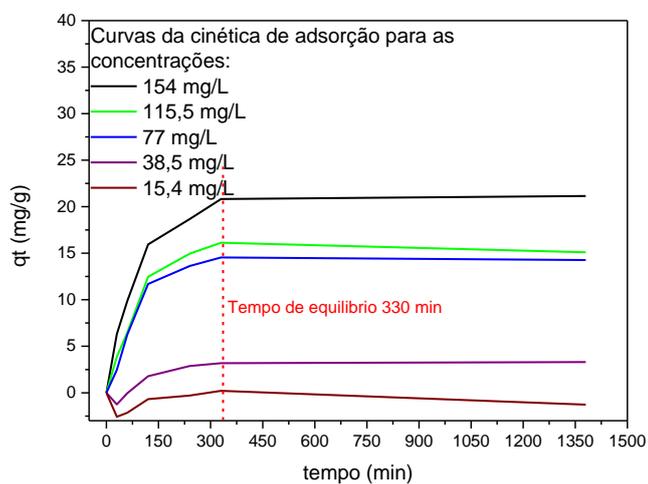
O estudo cinético de adsorção permite descrever a dinâmica da relação adsorvente-adsorvato, representar na forma gráfica um perfil cinético deste processo, de forma a estimar um tempo eficiente de adsorção. Como descrito anteriormente, os testes são realizados utilizando uma solução de concentração e volume fixos do

adsorvato, assim como, a massa de adsorvente e a temperatura. A variável analisada é a concentração de íons Hg (II) residual em solução em função do tempo.

O espectro de absorção da região UV-Vis do estudo cinético da adsorção pode ser visto na figura 6

Espectros de absorção da região UV-Vis do estudo cinético da adsorção de íons mercúrio (II) na poliuréia. Com concentração inicial de adsorbato de 154 mg.L⁻¹ e 50,00 mL de volume, com 70 mg de adsorvente, a temperatura ambiente.

Figura 6. Curvas da cinética de adsorção para as concentrações



Fonte: Os autores.

Analisando os dados da Figura 4 pode se perceber, que para todas as concentrações testadas, o tempo de equilíbrio para adsorção de iodeto de mercúrio (II) é de 330 min, após isso o adsorvente foi praticamente saturado com o adsorvato.

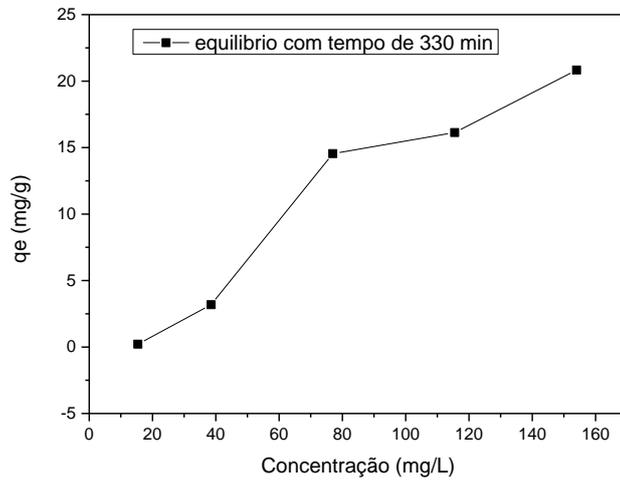
2.3.2 Estudo do equilíbrio.

No estudo do equilíbrio foi analisado a adsorção do íon Hg (II) em diferentes concentrações no tempo de 330 min. Visando determinar a quantidade máxima adsorvida pelo adsorvente e se o adsorvato interage com todos os sítios de ligação disponíveis.

A partir dos resultados foi elaborado a isoterma de adsorção no equilíbrio do íon Hg (II), que pode ser visto na Figura 5.

Isoterma de adsorção no equilíbrio do íon Hg (II), no tempo de 330 min.

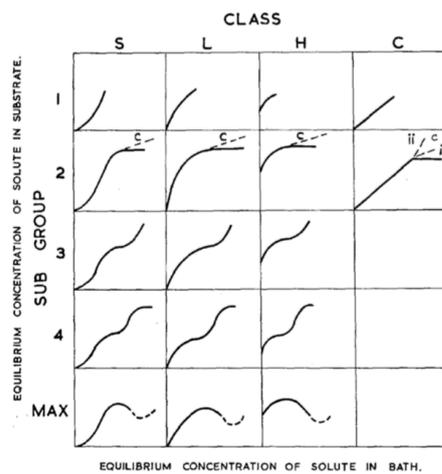
Figura 7. Equilíbrio com tempo de 330 min



Fonte: Os autores.

Para analisar a isoterma da Figura 5 é utilizado a classificação de acordo com Giles e colaboradores (1974), que é mostrada na Figura 6.

Figura 8. Classificação das isotermas de Giles.



Fonte: Os autores.

Com relação a isoterma, obtive a classificação do tipo S (sigmoideal), indicando que o adsorvato tem grande afinidade pelo adsorvente, a quantidade adsorvida inicial é alta e logo o equilíbrio é alcançado, e subgrupo 3, caracterizado por uma subida na isoterma após um ponto de inflexão.

2.3.3 Taxa de remoção.

A tabela 1 mostra os resultados da taxa de adsorção de iodeto de mercúrio II para cada concentração utilizada na adsorção.

Tabela 9: Taxa de adsorção obtida para cada concentração de solução de iodeto de mercúrio II.

Concentração da solução de iodeto de mercúrio (II) (mg/L)	Taxa de adsorção (%)
15,4	16,96
38,5	16,58
77,0	23,53
115,5	20,27
154,0	20,64
Média	19,60
Desvio Padrão	2,88

Fonte: Os autores.

Ao analisar a taxa de adsorção, verifica-se que a média das concentrações foram de aproximadamente 20% e que o desvio padrão entre as análises foi de 3%, indicando que há pouca variação entre os resultados de cada solução.

3 CONCLUSÃO

O estudo cinético de adsorção do iodeto de mercúrio (II) revelou resultados significativos sobre o processo adsorvente-adsorvato. A observação de um tempo de equilíbrio consistente de 330 minutos, independentemente da concentração inicial do adsorvato, destaca a eficiência do adsorvente em atingir a saturação dentro desse intervalo. Isso é crucial para estabelecer um tempo eficiente de adsorção em futuras aplicações práticas.

A análise detalhada do equilíbrio a 330 minutos permitiu identificar a quantidade máxima adsorvida pelo adsorvente, evidenciando a interação do adsorvato com os sítios Sede ligação disponíveis. A classificação da isoterma como tipo S (sigmoideal) e a pertinente característica do subgrupo 3 reforçam a afinidade significativa entre o adsorvente e o adsorvato. A rápida ascensão da quantidade adsorvida inicial, seguida por um equilíbrio após um ponto de inflexão, destaca a eficácia do processo de adsorção.

A análise da taxa de adsorção, com uma média estável de aproximadamente 20% e um desvio padrão de apenas 3%, sugere consistência e confiabilidade nos resultados. A pequena variação entre as análises indica a robustez do método e a replicabilidade dos experimentos.

Esse valor de adsorção de 20% pode se dever a pequena massa empregada como adsorvente, apenas 70 mg, em outros estudos o mesmo material conseguiu adsorver o íon cromo (VI) com taxas de aproximadamente 100%.

Em síntese, os resultados obtidos indicam que o adsorvente estudado demonstra uma rápida resposta de saturação para adsorção de iodeto de mercúrio (II). Essas descobertas têm implicações práticas significativas, fornecendo informações valiosas para a otimização de processos de adsorção em aplicações ambientais e industriais, onde a remoção eficaz de contaminantes é crucial.

Como sugestão de trabalhos futuros, sugerimos fazer um estudo com maior massa de adsorvente como também modificações no tipo de poliuréia empregada para aumentar a eficiência de remoção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ww.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/adsorção 18/09/2023).
.....06

Brasil de Fato, <https://www.brasildefato.com.br/2023/06/01/garimpo-causa-aumento-da-concentracao-de-mercurio-em-peixes-na-amazonia-mostra-pesquisa>, acessado em 26/9/23 as 9:24..... 09

https://ohs.coc.fiocruz.br/posts_ohs/entrevista-com-paulo-basta-a-contaminacao-por-mercurio-em-pescados-da-amazonia/#:~:text=Com%20essas%20informa%C3%A7%C3%B5es%20chega%2Dse,colocando%20sua%20sa%C3%BAde%20em%20risco.....
..... 09

(<https://www.todamateria.com.br/adsorcao/> 18/09/2023)13

Frost, R. L., & Xi, Y. (2006). A vibrational spectroscopic study of the sorption of benzene and cyclohexane on organo-zeolite-Y. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 63(3), 572-579.....13

Sing, K. S. W., Everett, D. H., Haul, R. A. W., Moscou, L., Pierotti, R. A., Rouquérol, J., & Siemieniewska, T. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). *Pure and Applied Chemistry*, 57(4), 603-619 .):.....13

(W. Xie et al., "Removal of mercury(II) from aqueous solution using carbon nanotubes," *Desalination*, 2010/ S. Tran et al., "Modification of walnut shell-based activated carbon for mercury removal from aqueous solutions," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2017./Y. Wang et al., "Adsorption of mercury ions on zeolites synthesized from fly ash," *Journal of Hazardous Materials*, 2010./R. Dixit et al., "Removal of mercury from aqueous solution using polymer inclusion membranes (PIMs) impregnated with a mixture of ionic liquid and Cyphos IL 101," *Journal of Membrane Science*, 2013./M. Ahmed et al., "Mercury removal from aqueous solutions and industrial wastewater using activated carbon derived from rice husk," *Environmental Science and Pollution Research*, 2017.):.....15

<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-os-beneficios-da-tecnologia-poliureia.6202285d134cf410VgnVCM1000004c00210aRCRD>

.....17

