



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

MARIA LIDIANE DA CONCEIÇÃO SILVA

**REMOÇÃO DE Pb^{2+} e Zn^{2+} POR ADSORÇÃO EM BIOMASSA
RESIDUAL DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR**

**CAMPINA GRANDE - PB
2020**

MARIA LIDIANE DA CONCEIÇÃO SILVA

**REMOÇÃO DE Pb^{2+} e Zn^{2+} POR ADSORÇÃO EM BIOMASSA RESIDUAL DE
BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Química Industrial pela Universidade
Estadual da Paraíba

Orientador: Prof. Dr. Verônica Evangelista de Lima Emerich.

**CAMPINA GRANDE - PB
2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586r Silva, Maria Lidiane da Conceicao.
Remoção de Pb²⁺ E Zn²⁺ por adsorção em biomassa residual de bagaço de cana de açúcar [manuscrito] / Maria Lidiane da Conceicao Silva. - 2020.
37 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2020.
"Orientação : Profa. Dra. Verônica Evangelista de Lima Emerich, Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."
1. Efluentes químicos. 2. Bioadsorvente. 3. Adsorção. 4. Metais pesados. I. Título

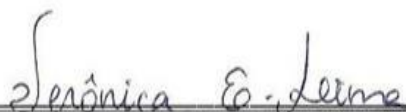
21. ed. CDD 660.284 235

**REMOÇÃO DE Pb²⁺ E Zn²⁺ POR ADSORÇÃO EM BIOMASSA RESIDUAL DE
BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR**

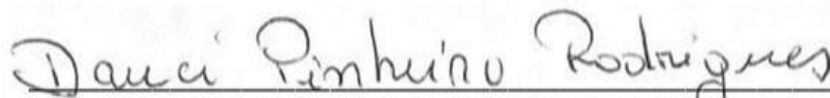
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Química Industrial pela Universidade
Estadual da Paraíba

Aprovada em: 02 / 12 / 2020 .

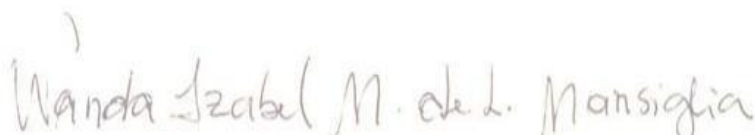
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Verônica Evangelista de Lima Emerich (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra Dauci Pinheiro Rodrigues
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Wanda Izabel Monteiro de Lima Marsiglia
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A Deus, que nunca me abandonou, sempre me deu força e coragem todos os dias da minha vida, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Gratidão infinita a Deus que sempre me fortalece diariamente com sua infinita bondade, e me permitiu concluir este curso com êxito.

Aos meus amados pais Josefa Guilhermina e José Marques que sempre me apoiaram em todas as escolhas da minha vida, depositando toda confiança em mim, e sempre me educaram da melhor forma possível.

A minha querida e eterna vó Terezinha, que não pôde estar comigo até o fim da jornada, mas sempre estará em meu coração. Ao meu vô Elias por todo apoio desde sempre.

Aos meus irmãos Ligilvania e Lindomar por manterem nosso vínculo de irmandade e por proporcionar bons momentos de descontração. Ao meu sobrinho Guilherme por alegrar meu coração com apenas um sorriso. Ao meu cunhado Júnior por todos os momentos que se dispôs a me ajudar.

Ao meu namorado Hugo Cavani que sempre me apoiou e ajudou em todos os desafios encontrados ao longo dessa jornada, inclusive na realização deste trabalho. Agradeço por todo carinho e dedicação.

Agradeço a minha orientadora Dra. Verônica pela dedicação, paciência que teve ao me acompanhar nas pesquisas ao longo de 3 anos, e por me aceitar como orientanda neste trabalho.

Aos meus amigos de curso Izabelle, Diego e Cecilia por serem sempre um apoio emocional para mim e tornar essa jornada mais leve, agradeço também pela troca de conhecimentos ao longo de todo curso. À minha amiga de infância Dayse Freitas que mesmo distante sempre foi um apoio para mim. Ao meu amigo Adelmo Sousa que sempre me ajudou quando eu precisei ao longo da minha jornada.

Agradeço as professoras Dauci Rodrigues e Wanda Monteiro por aceitarem compor a banca de avaliação deste trabalho.

Agradeço a UEPB, a CAPES e o CNPQ pelos incentivos recebidos através de bolsas e pelo conhecimento adquirido nos projetos de pesquisa.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

Diante da constatação de que uma variedade de metais pesados compõe os efluentes gerados em laboratórios de pesquisa e ensino de química, foi avaliado o uso de biomassas regionais com vistas à obtenção de um processo viável e de baixo custo operacional para remoção por adsorção de metais pesados em efluentes laboratoriais. A metodologia proposta incluiu a determinação das curvas cinéticas e de equilíbrio de adsorção para os metais Zn^{2+} e Pb^{2+} em valores de pH na faixa ácida e básica, usando bagaço de cana de açúcar como adsorvente. O bagaço de cana-de-açúcar apresentou moderada capacidade de remoção para o zinco (60%) e baixa capacidade para o chumbo (II) (30%), em pH 5. Na faixa de pH básico, observou-se a ocorrência de precipitação de hidróxidos metálicos com interferência significativa no processo de adsorção. Dos estudos realizados, pode-se concluir que o adsorvente de bagaço de cana de açúcar por ser um resíduo natural, abundante na região, e de baixo custo, apresenta boas perspectivas para utilização em processos de remoção de metais pesados de efluentes. É necessário, porém, investigar outros fatores que influenciam o processo de adsorção tais como a interferência de outros metais, agentes complexantes e agentes salinos bem como, os testes preliminares em escala piloto, contribuindo para a formulação de uma proposta adequada para tratamento de efluentes químicos.

Palavras-Chave: Adsorção, Metais pesados, Bioadsorvente, Efluentes químicos.

ABSTRACT

In view of the finding that a variety of heavy metals make up the effluents generated in research laboratories and teaching of chemistry, the use of regional biomass was evaluated in order to obtain a viable and low operating cost process for removal by adsorption of heavy metals in laboratory effluents. The proposed methodology included the determination of the kinetic and adsorption equilibrium curves for the metals Zn^{2+} and Pb^{2+} at pH values in the acidic and basic range, using sugarcane bagasse as an adsorbent. The sugarcane bagasse showed moderate removal capacity for zinc (60%) and low capacity for lead (II) (30%), at pH 5. In the basic pH range, the occurrence of precipitation of metal hydroxides with significant interference in the adsorption process. From the studies carried out, it can be concluded that the sugarcane bagasse adsorbent for being a natural residue, abundant in the region, and of low cost, presents good prospects for use in processes of removal of heavy metals from effluents. However, it is necessary to investigate other factors that influence the adsorption process such as the interference of other metals, complexing agents and saline agents, as well as preliminary tests on a pilot scale, contributing to the formulation of an adequate proposal for the treatment of chemical effluents.

Keywords: Adsorption, Heavy metals, Bioadsorber, Chemical effluents.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do processo de Adsorção.....	17
Figura 2 - Equação de Langmuir linearizada.....	21
Figura 3 - Classificação B.E.T. das isothermas de adsorção.....	23
Figura 4 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 2.....	27
Figura 5 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 3.....	27
Figura 6 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 5.....	28
Figura 7 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 8.....	28
Figura 8 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 2.....	29
Figura 9 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 3.....	29
Figura 10 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 5 e ajuste pelo modelo da isoterma de Langmuir.....	30
Figura 11 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 8 e ajuste pelo modelo da isoterma de Langmuir.....	30
Figura 12 - Adsorção de Zn^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar, em pH = 5.	31
Figura 13 - Adsorção de Zn^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar, em pH = 8.	32
Figura 14 - Isoterma de adsorção do Zn^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 5.....	32
Figura 15 - Isoterma de adsorção do Zn^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 8.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Metais Pesados.....	13
2.1.1 Toxicidade dos Metais pesados.....	13
2.1.2 Chumbo	14
2.1.3 Zinco	14
2.2 Contaminação ambiental por metais pesados.....	15
2.3 Processos de separação por adsorção.....	15
2.4 Adsorventes naturais	17
2.4.1 O bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente de metais pesados.	18
2.5 Cinética de adsorção	18
2.5.1 Modelos de Pseudo-primeira-ordem e Pseudo-segunda-ordem.....	19
2.6 Isotermas de adsorção	20
2.6.1 Lei de Henry	20
2.6.2 Isoterma de Langmuir.....	21
2.6.3 Isoterma de Freundlich.....	22
2.6.4 O modelo B.E.T.....	22
2.7 Espectrofotometria como técnica analítica	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 Preparo do adsorvente de bagaço de cana	25
3.2 Preparo das soluções reagentes	25

3.3 Determinação da cinética de adsorção	25
3.4 Estudo do equilíbrio de adsorção	26
3.5 Determinação da concentração por UV/VIS.	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Estudos de adsorção do chumbo (II) em bagaço de cana de açúcar	27
4.1.1 Estudos do equilíbrio de adsorção.....	28
4.2 Estudos da adsorção de zinco (II) em bagaço de cana de açúcar	31
4.2.1 Estudos do equilíbrio de adsorção.....	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Os laboratórios químicos das Instituições de Ensino Superior do Brasil, nas suas atividades de ensino, pesquisa e extensão geram resíduos químicos com características complexas e de composição diversificada. Porém, quase sempre são manuseados inadequadamente, sendo despejados nos esgotos, armazenados em áreas inseguras ou simplesmente descartados como resíduo comum (CAVALCANTI, 2009; LIRA, 2014).

O descarte direto de efluente contendo metais pesados vem trazendo consequências sérias de contaminação do meio ambiente, com risco à saúde humana e a manutenção dos ecossistemas (DUFFUS, 2002). No meio aquático tais cátions podem ser encontrados sob diferentes formas: em solução na forma iônica ou na forma de complexos solúveis orgânicos ou inorgânicos; formando ou retidos às partículas coloidais minerais ou orgânicas; retidos no sedimento; ou incorporados à biota (MANAHAN, 2013).

Mesmo procedendo com a minimização de resíduos e estímulo à reciclagem, há necessidade de tratamento adequado dos efluentes, utilizando um método que seja ao mesmo tempo versátil e de baixo custo. Atualmente diversos métodos vêm sendo utilizados para a remoção de metais, dos quais podemos destacar: osmose reversa, troca iônica, precipitação química e adsorção. Este último tem se destacado, pois é de fácil manipulação, baixo custo e com uma grande variedade de possíveis adsorventes (NADAROGLU et al., 2010). A adsorção apresenta ainda as vantagens de baixa geração de resíduos, possibilidade de recuperação dos metais removidos dos efluentes e possibilidade de reutilização do adsorvente.

O campo para pesquisa envolvendo o processo de adsorção, usando biomassas como adsorventes, para remoção tanto de metais pesados como de derivados de petróleo, é muito vasto e ainda pouco explorado. Biomassas como cascas de arroz, bagaço de cana de açúcar, casca de tangerina, casca de coco, casa de abacaxi, têm sido investigadas como adsorventes, e apresentado uma boa eficiência na adsorção de diversos íons metálicos. (AHMARUZZAMAN, 2011). Logo, os estudos da adsorção destes contaminantes utilizando biomassas mostram-se necessários e promissores.

Nesse trabalho foi utilizada a biomassa de bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) com o objetivo de produzir um bioadsorvente para remoção

de metais pesados em efluentes líquidos. O Brasil produz anualmente cerca de 330 milhões de toneladas de cana de açúcar, sendo o maior produtor mundial (CPT, 2019). Os produtos de maior valor obtidos a partir da cana de açúcar são o açúcar e o álcool. O bagaço da cana de açúcar é um resíduo gerado em grande quantidade, sendo usado na alimentação de animais e na geração de energia por queima em caldeiras. A possibilidade de obtenção de adsorventes alternativos com biomassas residuais tais como o bagaço de cana de açúcar conduz à descoberta de novos horizontes comerciais para materiais tidos como inservíveis e de baixo valor agregado, geralmente causadores de grandes impactos ambientais quando descartados.

O estudo comparativo dos parâmetros de adsorção do Pb^{2+} e Zn^{2+} em biomassa adsorvente de bagaço de cana de açúcar visa à obtenção de elementos elucidativos para a adequação de um sistema satisfatório em termos econômicos e de eficiência no processo de remoção de metais pesados em efluentes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Encontrar condições favoráveis para o tratamento de efluentes contaminados por metais pesados, através do processo de adsorção utilizando biomassa de cana-de-açúcar como adsorvente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a eficiência do bagaço de cana-de-açúcar como material adsorvente dos íons Pb^{2+} e Zn^{2+}
- Estudar a cinética de adsorção do sistema bagaço de cana-de-açúcar / efluente sintético.
- Estudar o de equilíbrio para a construção da isoterma de adsorção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Metais Pesados

Ainda que bastante empregado, o termo "metal pesado" não possui apenas uma definição, o termo varia de acordo com o ramo da ciência que o aporta. Ao questionar diferentes profissionais sobre esta definição, estes darão significados e explicações diversas. A questionar um agrônomo sobre esta definição, este certamente dará ênfase principalmente aos elementos tóxicos às culturas vegetais (fitotoxicidade), cuja contaminação no solo venha a prejudicar a produtividade agrícola. Já um químico poderá destacar a posição dos metais pesados na tabela periódica, como também suas altas densidades atômicas (maior que 6g/mL). Em suma , a ideia comum a estas diferentes áreas é a de que os metais pesados são metais ou metalóides que sempre estão ligados a toxicidade, contaminação e poluição (PAOLIELLO E DE CAPITANI, 2003).

Embora seja do conhecimento de todos os efeitos benéficos dos metais, estes também estão relacionados a diversos efeitos maléficos. A maioria têm origem natural, partes de componentes de rochas, e são dispostos no planeta de forma natural, seja por ciclos biológicos ou geológicos, alguns geram complexos estáveis, todaviaa, a forma mais tóxica e nociva é o íon metálico livre. Os que mais apresentam potencial de poluição e toxicidade dentre os metais são os conhecidos "metais pesados". Acredita-se que os agentes tóxicos mais antigos conhecidos pelo homem sejam os metais pesados (MARTINS e LIMA, 2001).

2.1.1 Toxicidade dos Metais pesados

A toxicidade das espécies inorgânicas dos metais tem um comportamento biológico diferente dos compostos orgânicos, podendo ser mais ou menos tóxicas; por exemplo, a espécie orgânica de mercúrio, metil-mercúrio, que é comum de ser encontrado em frutos do mar, apresenta efeitos teratogênicos e neurotóxicos, mesmo em pequenos níveis de exposição. Por outro lado, compostos de arsênio inorgânico, tais como As(III) e As(V), são perigosos, podendo apresentar até efeitos cancerígenos; entretanto, as suas formas orgânicas, presentes em frutos do mar,

não apresentam toxicidade significativa para humanos quando comparadas às formas inorgânicas. (ERG, 2003).

A toxicidade de um metal pesado irá depender de vários fatores, tais como a quantidade de carbono dissolvido e em suspensão, o pH, já que interações como adsorção e complexação podem remover de forma adequada alguns íons metálicos e eliminar sua atividade biológica potencial (BAIRD, 2004)

2.1.2 Chumbo

O uso do chumbo pelo homem remonta aos egípcios antigos, que faziam uso dele para fabricação de cosméticos e cunhagem de moedas. Algumas de suas utilidades foram preservadas através do tempo. O início do uso desse metal pelo homem provavelmente tenha vindo das grandes quantidades de chumbo que eram obtidas de minérios, subproduto da fusão da prata.

O chumbo, de símbolo Pb, é um metal azulado brilhante, cinzento, dúctil, mole, não elástico, razoável condutor de calor e eletricidade, trabalhável a frio (TEIXEIRA, 2009).

O chumbo é um dos elementos de maior emprego na indústria moderna, sob a forma de composto e puro, isso se deve as características demonstradas e a facilidade de se juntar com outros metais, sendo o sexto metal de maior utilidade industrial. Sua principal utilidade é na construção de baterias ácidas industriais e automotivas, que consomem em torno de 90% em todo mundo. O mercado produtor de baterias que fazem uso do chumbo em tido um crescimento moderado nos países desenvolvidos (TEIXEIRA, 2009).

Difícilmente o chumbo é achado em sua forma natural, porém sim, em conjunção com outros elementos, sendo o minério mais importante a galena. A galena (PbS), é o seu mineral–minério mais importante e geralmente ocorre associada com a prata. O , o cobre, o ouro, zinco, antimônio,e o estanho são outros metais que também, aparecem associados ao chumbo (BAIRD, 2004).

2.1.3 Zinco

O zinco é um elemento químico facilmente encontrado na crosta terrestre, de símbolo Zn (PIETROBELLI, 2007). Anjos (2003) apresenta este elemento como um metal dúctil, lustroso e maleável quando aquecido.

O zinco tem ação bioquímica razoável, isso se deve ao fato de sua presença em muitas enzimas; além de agir no funcionamento de certos hormônios e na síntese das proteínas. O metal ainda atua no funcionamento normal do sistema imunitário (PIETROBELLI, 2007). Desde que seja na quantidade adequada, o zinco é considerado um elemento essencial a vida, pois em altas concentrações, é considerados tóxico para plantas, animais e humanos (SOUZA et al, 2006).

Das muitas aplicações do zinco, Anjos (2003) apresenta as principais, são elas: proteção de ferro contra corrosão; ligas metálicas, tais como o latão (Zn-Cu) e o ferro galvanizado (Zn-Fe) em telhados e calhas de residências, eletrodos (anodo) de sacrifício, e na indústria de galvanoplastia em geral, como componente do aço galvanizado.

A quantidade máxima regulamentada de Zinco total em efluentes lançados no corpo receptor, não deve ultrapassar de 5,0 mg/L do metal. Essa quantidade é determinada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução de Nº 430, de 13 de maio de 2011.

2.2 Contaminação ambiental por metais pesados

A poluição ambiental causada por metais pesados teve início ainda na domesticação do fogo, embora associada frequentemente ao desenvolvimento e tecnologias modernas. Durante a queimada da lenha, nas cavernas e a acumulação de pequenas quantidades de metais, seus níveis foram alterados nesses ambientes. Na Era Antiga, ocorreu a descoberta das técnicas de manuseio dos metais pesados e da mineração, estava formada então a ligação entre a poluição por metais pesados e a história da humanidade. O comércio de minérios e a mineração na época, forma elementos chaves para a economia e as técnicas de recuperação dos metais conceberam um importante avanço tecnologico para as culturas antigas (PAOLIELLO E DE CAPITANI, 2003).

2.3 Processos de separação por adsorção

Os métodos tradicionais para remoção de metais pesados da água incluem, adsorção, troca iônica, osmose inversa, redução e precipitação. Muitos desses

métodos têm altos custos e despesas recorrentes. A adsorção porém, se sobressai devido a alta eficiência na remoção de metais pesados em baixas concentrações.

A adsorção é um fenômeno físico ou químico de superfície onde uma quantidade de moléculas de um fluido (adsorbato), adere-se na superfície de um sólido (adsorvente). Na adsorção, as moléculas presentes no adsorbato são atraídas para a zona interfacial, isso se deve a existência de forças atrativas não compensadas na superfície do adsorvente.

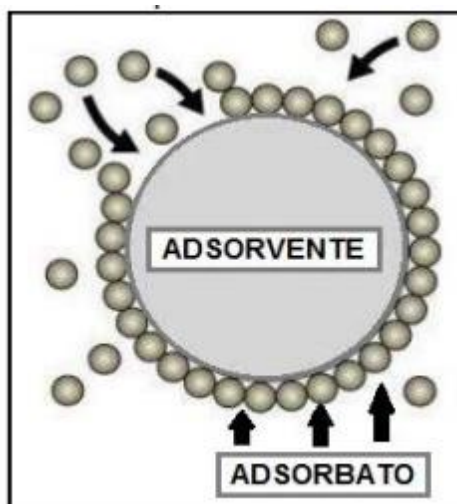
A adsorção pode ocorrer de forma física (adsorção física) ou de forma química (adsorção química). Na adsorção física as forças envolvidas são as forças de Van Der Waals e interações eletrostáticas compreendendo também as interações de polarização. A adsorção consiste em um fenômeno espontâneo, exotérmico, e que ocorre com uma diminuição de energia livre do sistema. Diversos fatores alteram a adsorção, como o tamanho da partícula do material adsorvente, a estrutura molecular, pH do meio, solubilidade do soluto, temperatura e tempo de contato. (CAVALCANTI JR; AZEVEDO, 1995).

O processo de adsorção é um dos métodos mais promissores devido a sua alta eficiência e baixo custo dos adsorventes, é necessário porém, pesquisar por adsorventes de baixo custo, alta disponibilidade e fácil manuseio, para serem utilizados em larga escala na indústria. A biossorção, fenômeno de adsorção observada na biomassa viva ou morta, tem ganhado confiabilidade pelo reconhecimento da biomassa como material adsorvente abundante e de baixo custo (YAMAURA, 2008).

O termo biomassa é usado para descrever uma série de materiais orgânicos, de origem animal, vegetal ou microbiana, podendo ser classificada em três tipos: biomassa residual: gerada como subproduto de atividades antropogênicas, como agroindústria, por exemplo, sendo uma das matérias que mais tem chamado atenção dos pesquisadores; biomassa natural: produzida na natureza, sem intervenção humana, e biomassa produzida: cultivada com o propósito de obter um material para transformá-lo em um produto comercial.

O resultado da adsorção é melhor quando a superfície do adsorvente é a maior, uma vez que é nessa superfície que o adsorbato irá se concentrar. Dessa forma frequentemente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (PIETROBELLI, 2007). Na Figura 1 está esquematizado o processo de remoção das partículas da fase fluída durante o processo de adsorção com matriz adsorvente.

Figura 1 - Esquema do processo de Adsorção.



Fonte: manutencao&suprimentos, modificado, 2012.

Junior (2007) enfatiza que além de muitas vantagens o processo de adsorção apresenta também desvantagens. O processo não elimina o contaminante, e sim, o modifica quimicamente a produtos inertes e de menor toxicidade.

Por outro lado é vantajoso quando não é possível a destruição dos contaminantes, sendo este o caso dos metais pesados, onde o processo de adsorção é eficiente e viável para a remoção de íons metálicos em efluentes.

2.4 Adsorventes naturais

Biossorventes é o termo usado para designar adsorventes naturais, diferenciando-os dos de origem sintética. Os biossorventes têm em sua parede celular uma pluralidade de grupos orgânicos, tais como, fénois, aminas e amidas, ácidos carboxílicos, que podem reter íons metálicos por distintos mecanismos (troca-iônica, adsorção física, quelação) na superfície do bioadsorvente. As principais vantagens dos biossorventes com relação aos adsorventes sintéticos, é que estes materiais são muito abundantes, com baixos valores comerciais, normalmente são resíduos de produtos agrícolas, que geralmente são desprezados. Estes biossorventes demonstram alto potencial de retenção para íons metálicos, geralmente na mesma ordem de grandeza dos adsorventes sintéticos, uma vez que possuem muitos grupamentos orgânicos disponíveis, além de serem fibrosos, facilitando um maior contato entre os sítios ativos do material (PAVAN, 2007).

Um dos principais fatores que tem incentivado a busca por novos adsorventes é a possibilidade de usá-los para o tratamento de efluentes, isso se deve também ao seu baixo custo. Distintos tipos de adsorventes têm sido pesquisados e experimentados por pesquisadores, tais como, serragem de madeira, fibra de coco, casca de laranja, casca de banana e casca de arroz.

2.4.1 O bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente de metais pesados.

No Brasil o cultivo de cana-de-açúcar tem destaque devido a crescente produção de açúcar e etanol de primeira geração (etanol 1G) e em decorrência disso há geração de subprodutos de valor econômico. O principal subproduto gerado é o bagaço de cana-de-açúcar, que tem gerado interesse de estudos acerca de sua composição e posterior utilização (OLIVEIRA, 2011).

O produto resultante da moagem para extração do caldo da cana-de-açúcar é um bagaço fibroso e é o maior resíduo da agroindústria brasileira. Cada tonelada de cana moída resulta em aproximadamente 50-300 kg de bagaço de cana contendo 50% de umidade, isto é, aproximadamente 30% do que entra no processo produtivo se transforma em resíduo que precisa ser destinado e/ou reaproveitado, pois esse tipo de subproduto causa um problema para a indústria em relação ao seu armazenamento, além de constituir um problema ambiental e de saúde (TEIXEIRA, 2009).

Em razão da sua alta disponibilidade e abundância e ao seu baixo custo no território brasileiro, o bagaço de cana-de-açúcar é um importante resíduo industrial que deve ser reaproveitado e fonte de estudos (GUSMÃO, 2011).

2.5 Cinética de adsorção

Estudos de adsorção em condições estáticas se integram com estudos de cinética de adsorção para definir a resistência à transferência de massa e o coeficiente efetivo da difusão, bem como estudos de adsorção em coluna. O fenômeno de adsorção de um adsorbato sobre um sólido poroso pode englobar diversas etapas de transferência de massa. Na direção da adsorção do componente químico percorre-se um caminho entre o seio do fluido e a superfície do sólido

cristalino. Os efeitos de transferência de massa podem proporcionar o aparecimento de três resistências: resistência do filme líquido externo que circunda a partícula, resistência difusional no mesoporo ou no macroporo do sólido e resistência no microporo dos cristais adsorventes ou micropartículas. A resistência oferecida pelo filme líquido externo pode ser eliminada se o sistema for submetido à agitação (SOUZA, 2011).

A velocidade de adsorção pode ser alterada em decorrência de alguns fatores, como, força iônica, temperatura, pH, agitação, dimensão das partículas, concentração inicial do adsorbato e distribuição do tamanho dos poros. O modelo de difusão homogêneo da partícula, conforme a Lei de Fick, onde é considerada uma partícula adsorvente em esfera perfeita e está sujeita a uma variação da concentração do adsorbato na superfície, na qual este será dispersado para o seu interior de acordo com a Equação 1 (NASCIMENTO et al., 2014):

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(D_e r^2 \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (1)$$

A adsorção de um adsorbato por um adsorvente pode ser representada por equações matemáticas, modelos cinéticos que possibilitam importantes informações relacionadas ao mecanismo de adsorção. Os modelos cinéticos mais empregados na cinética de adsorção são os modelos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem (CARDOSO, 2010).

2.5.1 Modelos de Pseudo-primeira-ordem e Pseudo-segunda-ordem

Para ajuste matemático dos resultados, foram utilizados os modelos de Lagergren e de Ho e Mckay (2000). A equação de pseudo-primeira-ordem sugerida inicialmente por Lagergren baseia-se na capacidade de adsorção do sólido e é expressa como segue na equação 2:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (2)$$

Em muitos casos, o modelo de pseudo-primeira-ordem não se ajusta bem em todo o intervalo do tempo de contato e geralmente é aplicável durante a fase inicial

do processo de adsorção. Já o modelo de pseudo-segunda-ordem é útil para prever o comportamento sobre uma vasta extensão da adsorção e assume que a adsorção química é a etapa dominante do processo, na qual envolvem forças de valência, através do compartilhamento ou troca de elétrons entre o adsorvato e o adsorvente (LOPES, et.al. 2003).

O modelo de pseudo-segunda-ordem pode ser expresso pela equação (3):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Nessas equações, q_e e q_t representam as quantidades do soluto adsorvidas no adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente, e K_1 e K_2 são as constantes de pseudo-primeira-ordem e pseudo-segunda-ordem. Gráficos com plote de $\ln(q_e - q_t) \times t$ produzem retas, cujos coeficientes angulares são iguais a K_1 e os coeficientes lineares iguais a $\ln q_e$. E os gráficos de $t/q_t \times t$ produzem retas, cujos coeficientes angulares são iguais a $1/q_e$ e os coeficientes lineares iguais a $1/(K_2 q_e^2)$.

2.6 Isotermas de adsorção

No processo de adsorção, a elaboração de isotermas é muito importante na análise da interação entre o adsorvato e o adsorvente. Frequentemente, a forma das isotermas fornece informações qualitativas da natureza das interações sólido/solução. Todavia, é fundamental estabelecer a mais apropriada correlação para as curvas de equilíbrio. Uma adequada representação matemática dos dados é fundamental na obtenção de parâmetros termodinâmicos e proporciona a análise dos processos de adsorção, assim como a comparação de procedimentos de adsorção para distintas condições ou sistemas. (GIMBERT, et.al, 2008).

2.6.1 Lei de Henry

Para a adsorção física numa superfície homogênea, em concentrações consideravelmente baixas, a isoterma de equilíbrio pode ser aproximada por uma relação linear mostrada na equação (4)

$$C = K \cdot q \quad (4)$$

q = concentração da fase adsorvida (g do soluto/100g de adsorvente)

K = constante de Henry

c = concentração do adsorbato na fase fluida

Fisicamente, K demonstra uma situação onde a fase adsorvida está tão diluída que não há interações significativas entre as moléculas adsorvidas nem competição na superfície dos sítios.

2.6.2 Isoterma de Langmuir

Esse modelo considera que há um número fixo de sítios no sólido; todos os sítios são igualmente energéticos, portanto possuem a mesma entalpia de adsorção; cada sítio retém somente uma molécula do adsorbato (monocamada); as moléculas adsorvidas em sítios vizinhos não interagem entre si e que no equilíbrio a taxa de adsorção é igual a taxa de dessorção.

$$\frac{q}{q_s} = \frac{bc}{1 + bc} \quad (5)$$

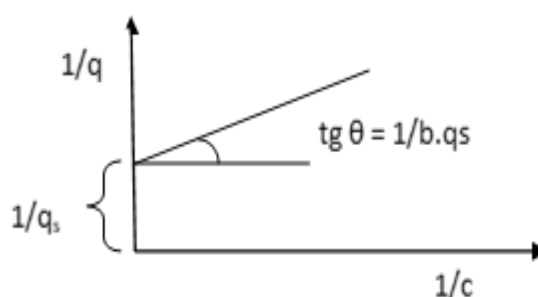
Em que, q/q_s = taxa de adsorção; q_s é a máxima capacidade de adsorção; b é o parâmetro da equação de Langmuir e c é a concentração do adsorbato na fase líquida.

Os valores de b e q_s do modelo de Langmuir são determinados através da reorganização da equação (5) para a forma linear:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_s} + \frac{1}{b \cdot q_s} \times \frac{1}{c} \quad (6)$$

Evidencia-se que o gráfico de $1/q$ contra $1/c$ será uma linha reta cuja inclinação e interseção fornecem os valores de b e q_s (Figura 2).

Figura 2 - Equação de Langmuir linearizada.



Embora desenvolvido originalmente para a quimissorção, o modelo de Langmuir tem sido largamente utilizado para a adsorção física em sólidos microporosos, particularmente em fase gasosa. A heterogeneidade energética das superfícies reais pode conduzir a discrepâncias entre a teoria e os resultados experimentais, levando à determinação de parâmetros sem significado físico.

2.6.3 Isoterma de Freundlich

A isoterma de Freundlich supõe que as superfícies de adsorventes reais são irregulares (MOREIRA, 2010). Este modelo foi criado experimentalmente de forma que seja um dos modelos mais usados, porém este só é útil para as concentrações em que os parâmetros foram ajustados. Pois para sua criação foi desconsiderado a saturação dos sítios ativos (CASAGRANDA, 2014). Este modelo de isoterma comprova que a concentração do adsorbato aumenta na superfície do adsorvente de acordo com a concentração do adsorbato. De acordo com a Equação (7) observa-se que este modelo possui comportamento exponencial, segundo Cardoso (2010).

$$q_e = K_f C_e^{\left(\frac{1}{n_f}\right)} \quad (7)$$

Onde:

Q_e = Quantidade adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio $mg\ g^{-1}$.

K_f = Constante de capacidade de adsorção de Freundlich.

$1/n_f$ = Constante relacionada a heterogeneidade da superfície,

C_e = Concentração de equilíbrio em solução.

A isoterma de Freundlich descreve o equilíbrio de adsorção em superfícies heterogêneas, considerando que o processo de adsorção apresenta uma distribuição exponencial de calores de adsorção a partir da monocamada adsorvida.

2.6.4 O modelo B.E.T.

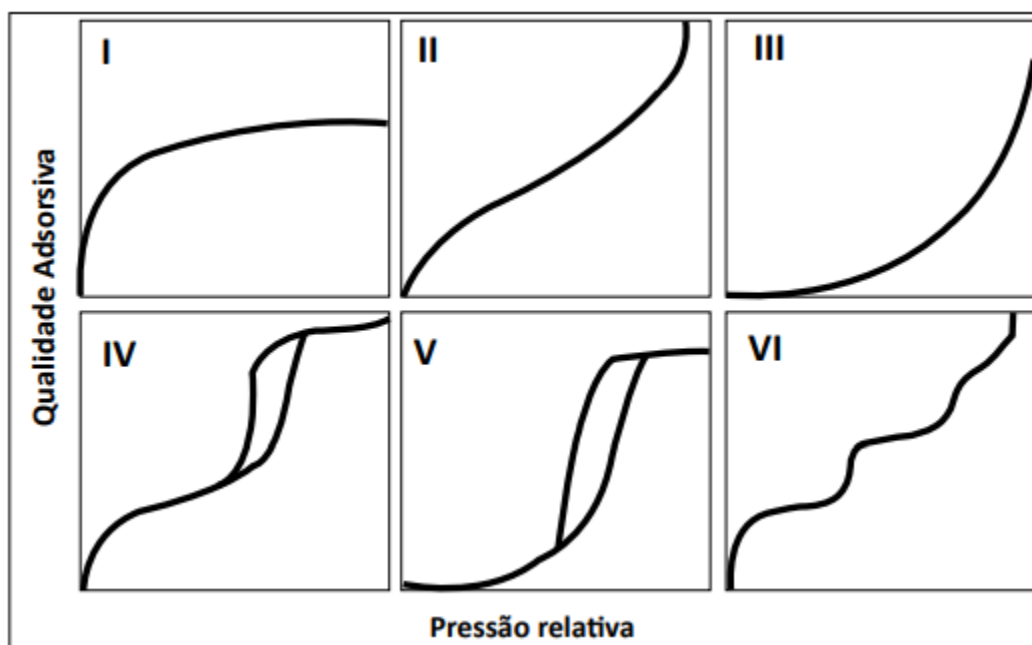
O modelo BET desenvolvido por Brunauer et al. (1940), considera que a superfície do sólido adsorvente é homogênea energeticamente e que inexistem

limite no número de camadas que podem ser acomodadas nessa superfície, levando em consideração, então, a adsorção em multicamadas (DO, 1998; DANTAS, 2009).

É uma extensão dos fundamentos da teoria de Langmuir para permitir uma adsorção maior, para a formação de duas ou mais camadas na superfície. A teoria leva em consideração que as forças envolvidas na adsorção física são similares às aquelas envolvidas na liquefação, ou seja, força de Van der Waals, e que a adsorção física não está limitada à formação de monocamada, mas pode continuar e formar multicamadas sobre a superfície do adsorvente.

O método BET utiliza um gás inerte para, através da determinação do volume de gás adsorvido fisicamente, obter informações como área específica e estrutura porosa do material. Quanto ao formato, as isotermas podem ser classificadas conforme os tipos ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Classificação B.E.T. das isotermas de adsorção.



Fonte: Thommes et. al., 2015.

Em linhas gerais, as isotermas do Tipo I, são obtidas para materiais microporosos e se assemelham ao modelo de Langmuir. As do Tipo II e Tipo III são características da adsorção em múltiplas camadas, em sistemas não porosos ou macroporosos. Formações do Tipo IV são tipicamente encontradas para amostras com mesoporos ou macroporos, nas quais há formação de monocamadas seguida por adsorção em multicamadas até a inflexão e saturação da isoterma. As isotermas

do tipo V são características de sistemas com fracas interações sorvente-sorbato, a exemplo da adsorção de água em adsorventes microporosos e mesoporosos hidrófobos. Por fim, as isotermas do Tipo VI representam uma adsorção camada sobre camada em superfícies altamente uniformes e não porosas.

2.7 Espectrofotometria como técnica analítica

A espectrofotometria é uma técnica de análise de concentração de espécies químicas que utiliza a luz para medir a concentração. O método baseia-se na interação (absorção e/ou emissão) da matéria com a energia luminosa radiante, isto significa, radiação eletromagnética quando os elétrons se movem entre níveis energéticos. Como distintas soluções possuem distintos padrões de absorção, a espectrofotometria nos possibilita, por exemplo, identificar espécies químicas com base no seu espectro. Possibilita também, a quantificação das mesmas, uma vez que a quantidade de luz absorvida está ligada com a concentração da substância.

Para determinar a concentração de um soluto em uma amostra utilizando a espectrofotometria, há a comparação da absorbância da amostra com uma solução padrão de concentração conhecida. Normalmente, é utilizado uma solução padrão com padrões de referência, ou seja diferentes concentrações, onde é determinada suas respectivas absorbâncias. A preparação desses padrões ocorre pela diluição da solução-padrão em proporções precisas para a obtenção das concentrações almejadas. Uma vez com os valores conhecidos de absorbância e concentração, traça-se um gráfico cujo perfil é chamado de “curva analítica” “curva-padrão”.

A forma mais comum de determinar a concentração de compostos presentes em solução é pelo conhecimento da absorção da luz pela matéria. Grande parte das técnicas utilizadas em bioquímica clínica envolve a determinação espectrofotométrica de compostos corados (cromóforo) resultantes da reação entre o composto a ser analisado e o reagente (cromogênico), formando um produto colorido. Os métodos que se baseiam nesse princípio são chamados métodos colorimétricos, os quais normalmente são muito sensíveis e específicos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades da presente pesquisa foram desenvolvidas no Laboratório de Ensino e Tecnologia Química (LETEQ), e no Laboratório de Pesquisa e Ciência Ambientais (LAPECA), ambos pertencentes ao Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, campus I.

3.1 Preparo do adsorvente de bagaço de cana

Inicialmente o bagaço da cana-de-açúcar na sua forma natural, proveniente de uma moagem de cana-de-açúcar foi lavado em água corrente até a eliminação do odor característico de fermentação, como também os açúcares fermentescíveis. Passou por um processo de secagem com um período de 48 horas a temperatura de 50°C em uma estufa. Posteriormente, separaram-se as partes macias do bagaço e triturou-se o material. Por fim, fez-se a separação em peneiras, utilizando para os experimentos a fração correspondente a uma granulometria média de 1,69 mm.

3.2 Preparo das soluções reagentes

A solução estoque de PAR ($C_{11}H_8N_3NaO_2H_2O$) **4-(2-piridilazo) resorcinol**, foi preparada dissolvendo a massa do reagente em água destilada de acordo com os cálculos estequiométrico para cada metal e o volume desejado, a solução foi armazenada num frasco envolvido em papel alumínio.

A complexação do metal chumbo com o PAR foi realizada em pH próximo de 9,0, para garantir esta faixa de pH foi utilizado uma solução de tampão de bórax (tetraborato de sódio- $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) a 0,05 mol/L.

Para compor as amostras de contaminante, foi preparada uma solução estoque de nitrato de chumbo e nitrato de zinco na concentração de 1000 mg/L, pela dissolução em água de quantidade suficiente do reagente. Posteriormente uma alíquota deste padrão foi diluída a várias concentrações menores, para o estudo do equilíbrio de adsorção.

3.3 Determinação da cinética de adsorção

Para verificação da cinética de adsorção, variou-se o tempo de contato das biomassas, de 5 a 60 minutos com intervalo de 5min entre as medidas, com uma

solução nítrica com concentração de 1000 ppm do metal em estudo. Foram utilizados 0,6g da biomassa com 26mL das soluções, para cada ensaio. Os erlenmeyers foram colocados em uma mesa agitadora, mantendo-se a rotação constante durante o experimento (120RPM). Para evitar perdas por respingos, os erlenmeyers permaneceram cobertos durante todo o período de agitação. Após o tempo, as amostras foram filtradas, retirou-se 1mL da amostra e diluídas em água destilada, para a determinação da concentração do metal remanescente. As medidas de absorvância das soluções finais foram determinadas utilizando o método espectrofotométrico. Em cada cinética foi ajustado um pH fixo para as amostras, e assim, determinou-se a influência desse parâmetro na adsorção do metal. Os ensaios foram realizados em triplicata.

3.4 Estudo do equilíbrio de adsorção

Nesse estudo foram utilizadas 0,6000 g das biomassas com 26 ml de uma solução contendo o metal, variando as concentrações de 100 ppm até 1000 ppm. Os recipientes foram colocados na mesa agitadora durante 60 minutos com uma rotação de 120 RPM. Após o término do período, os recipientes foram retirados da mesa e as amostras filtradas. Por fim, foi determinada a concentração do metal utilizando o método espectrofotométrico. Para ajuste matemático dos resultados, foi proposto o modelo de Langmuir, considerado como o mais eficaz para a representação de sistemas em que há uma interação forte entre a superfície do adsorvente e o soluto para um único componente.

3.5 Determinação da concentração por UV/VIS.

As concentrações de chumbo e zinco foram medidas por espectroscopia UV/VIS. Para as medições da concentração de Chumbo II, o comprimento de onda fixado foi 547 nm; já para a medições do Zinco II, o comprimento de onda fixado foi de 525 nm. Foi utilizado um espectrofotômetro UV/VIS para a leitura de absorvância das amostras.

Foram realizados ensaios nas faixas de pH (2 – 3 - 5 - 8) para remoção de Pb^{2+} em solução aquosa por adsorção na biomassa. Os resultados foram organizados em termos da percentagem de adsorção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudos de adsorção do chumbo (II) em bagaço de cana de açúcar

Com os resultados organizados em termos da percentagem de adsorção. As curvas da cinética de adsorção foram submetidas ao ajuste do modelo de pseudo segunda ordem de Ho e McKay, entretanto não houve boa adequação ao modelo. As Figuras de 4 a 7 ilustram o comportamento de adsorção do metal nos valores de pH estudados.

Figura 4 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 2.

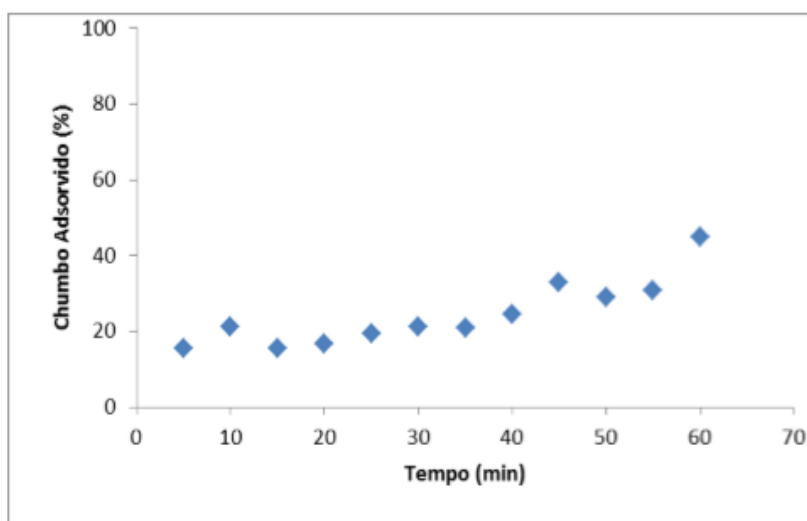


Figura 5 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 3.

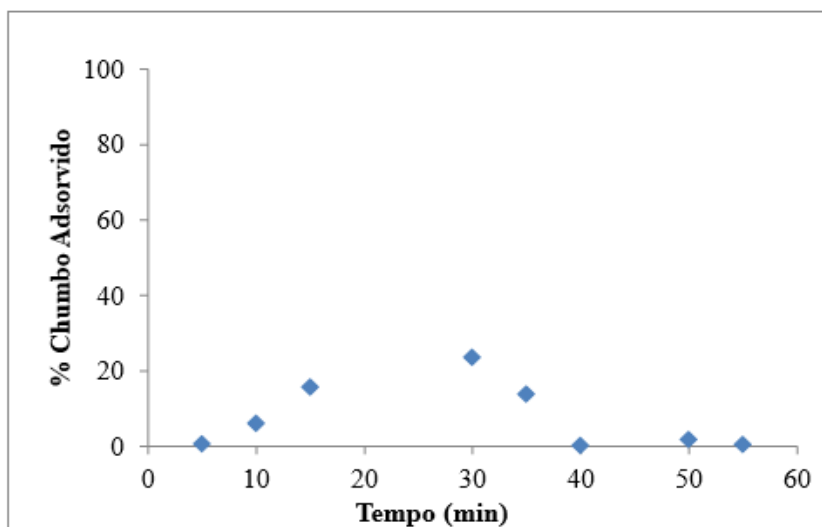


Figura 6 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 5.

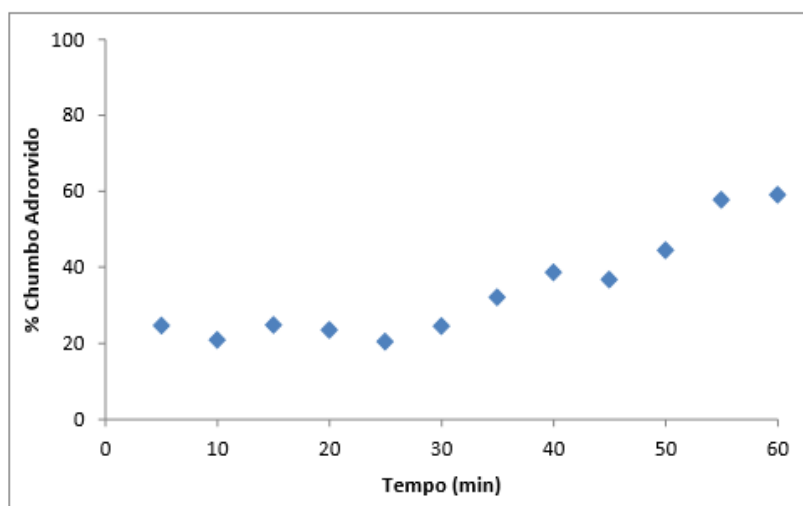
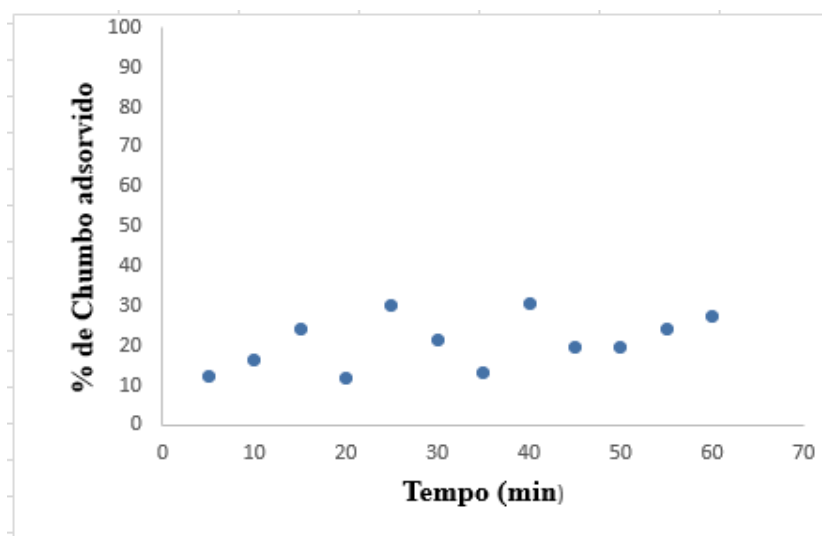


Figura 7 - Adsorção de Pb^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar com solução em pH = 8.



Observou-se que os percentuais de adsorção do chumbo (II) para a biomassa bagaço de cana-de-açúcar foram baixos. O percentual médio de adsorção, não recebeu influência significativa da faixa de pH estudada, mantendo-se em torno de 30% nos primeiros 30 minutos do processo e apresentado melhor percentual no pH 5 para o tempo de contato 55 e 60 minutos..

4.1.1 Estudos do equilíbrio de adsorção

As curvas de equilíbrio descrevem a relação da concentração na fase fluida em equilíbrio e a quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa. Nas Figuras

8 a 11 estão representadas a curva obtida experimentalmente e a curva do ajuste ao modelo de Langmuir.

Verifica-se a partir das isotermas de adsorção para o Chumbo em solução sintética que o processo de remoção dos mesmos ocorre segundo um processo favorável, isso quer dizer que a massa do adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida.

Figura 8 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 2.

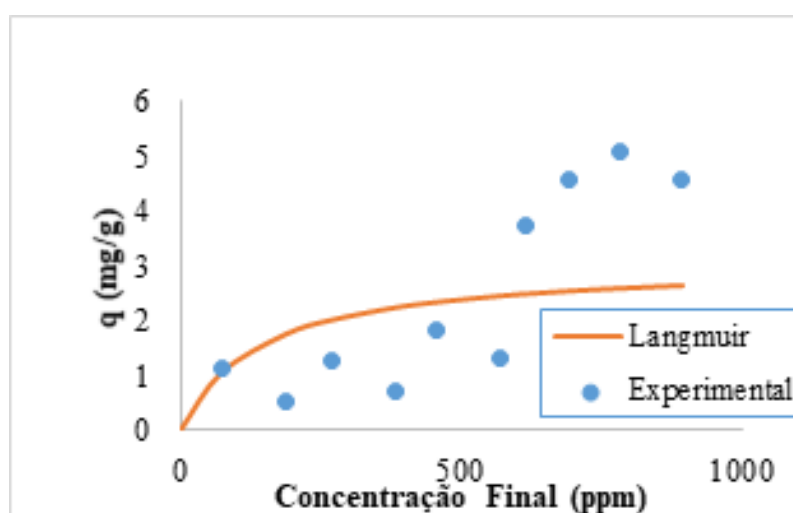


Figura 9 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 3.

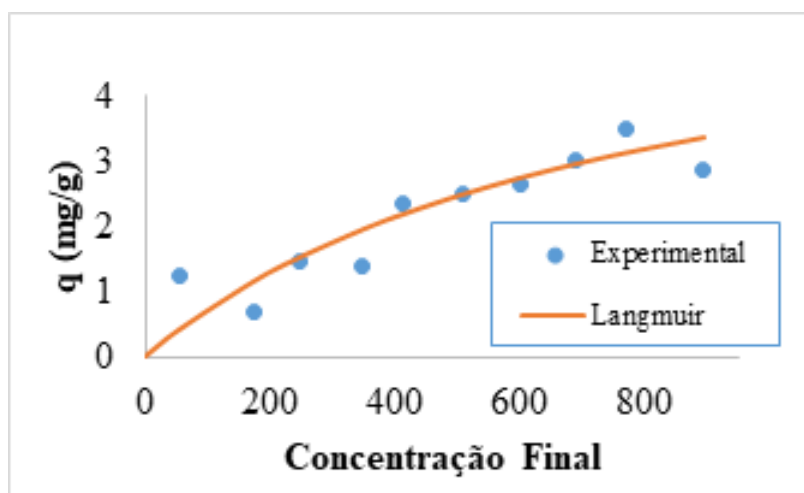


Figura 10 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 5 e ajuste pelo modelo da isoterma de Langmuir.

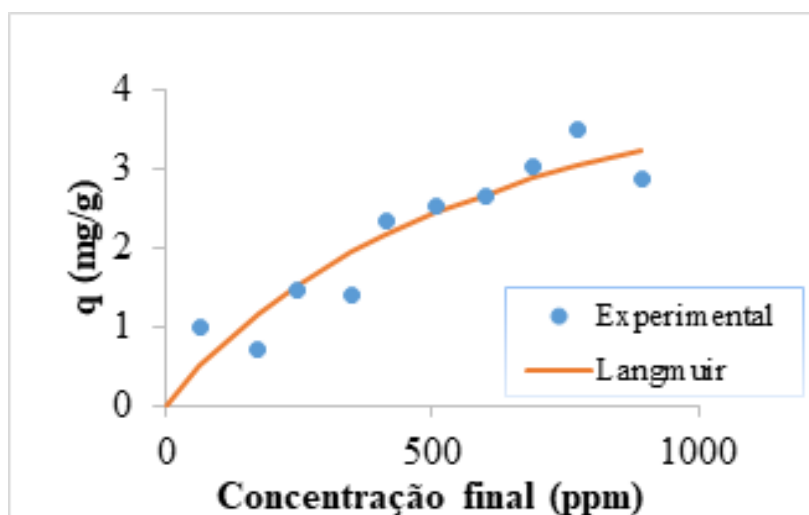
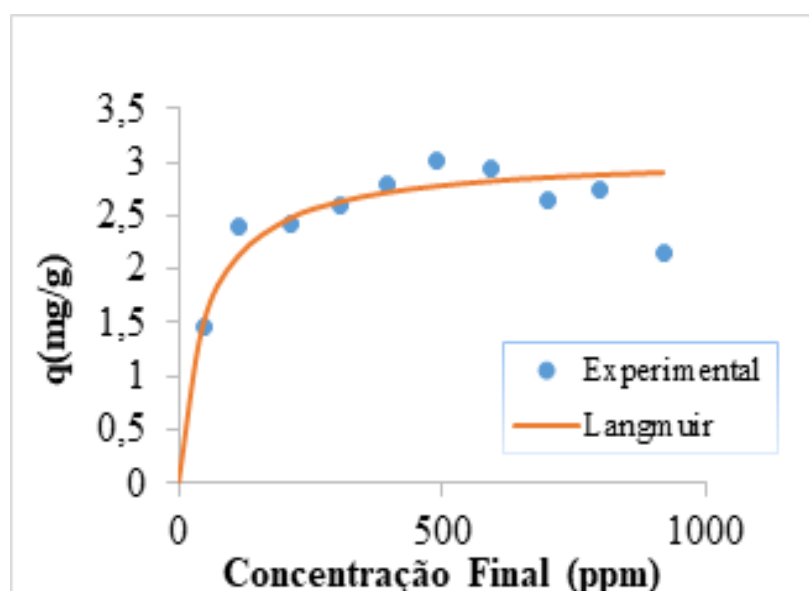


Figura 11 - Isoterma de adsorção do Pb^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 8 e ajuste pelo modelo da isoterma de Langmuir.



Os resultados foram avaliados segundo o modelo de Langmuir e os valores obtidos para os parâmetros de equilíbrio, determinados pela linearização do gráfico $1/C_f \times 1/q$, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de ajuste ao modelo de isoterma de Langmuir para a adsorção Chumbo (II) em bagaço de cana de açúcar.

pH	b	q _s (mg/g)	R ²
2	7,257 x 10 ⁻³	3,034	0,443
3	1,304 x 10 ⁻³	6,238	0,947
5	1,494 x 10 ⁻³	5,672	0,954
8	2,004 x 10 ⁻²	3,054	0,967

Fonte: própria, 2020.

Conforme se observa na representação gráfica e nos valores da Tabela 1, os dados de equilíbrio não se ajustaram totalmente ao modelo da isoterma de Langmuir. Este era um resultado esperado porque o modelo de Langmuir se fundamenta na adsorção sobre uma superfície com sítios ativos idênticos e energeticamente uniformes, características dificilmente encontradas nas biomassas naturais. Processos não controlados, paralelos ao processo de adsorção, não podem ser negligenciados. Sendo o adsorvente uma biomassa natural, não é possível controlar a uniformidade dos poros e estabilidade das partículas, de modo que fenômenos de absorção e difusão no macroporo também podem ocorrer, dificultando o ajuste dos modelos de adsorção.

4.2 Estudos da adsorção de zinco (II) em bagaço de cana de açúcar

Os resultados da cinética de adsorção para o zinco em bagaço de cana nos pH 5 e 8 estão apresentados nas Figuras 12 e 13, em termos do percentual de remoção.

Figura 12 - Adsorção de Zn²⁺ no bagaço de cana-de-açúcar, em pH = 5.

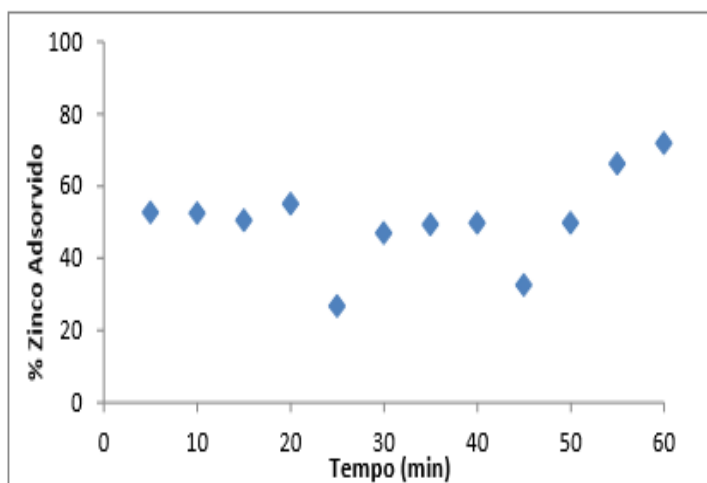
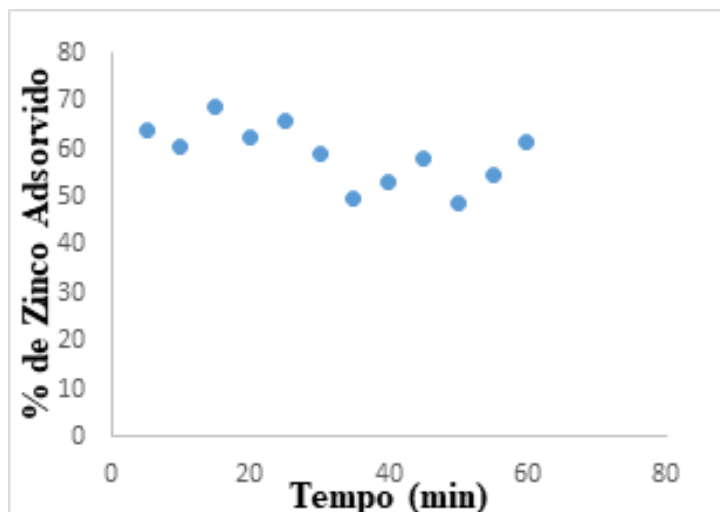


Figura 13 - Adsorção de Zn^{2+} no bagaço de cana-de-açúcar, em pH = 8.



No pH 5 observa-se uma adsorção do zinco em bagaço de cana em torno de 58%, sendo que para o tempo de 55 e 60 minutos essa capacidade aumenta para em média 75%. No pH 8 a capacidade de adsorção do bagaço de cana para o zinco é em média de 53%.

4.2.1 Estudos do equilíbrio de adsorção

As curvas de equilíbrio obtidas são mostradas nas Figuras 14 e 15. Possivelmente, devido a irregularidade dos microporos da biomassa, o ajuste aos modelos matemáticos não foi satisfatório para o equilíbrio de adsorção do zinco em bagaço de cana.

Figura 14 - Isoterma de adsorção do Zn^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 5.

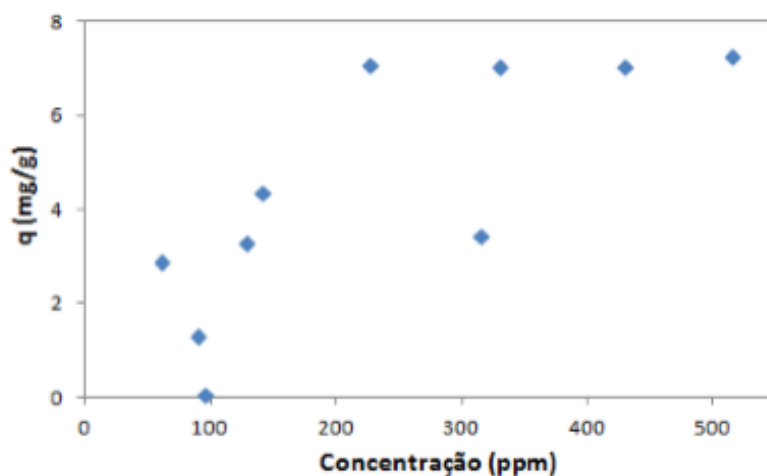
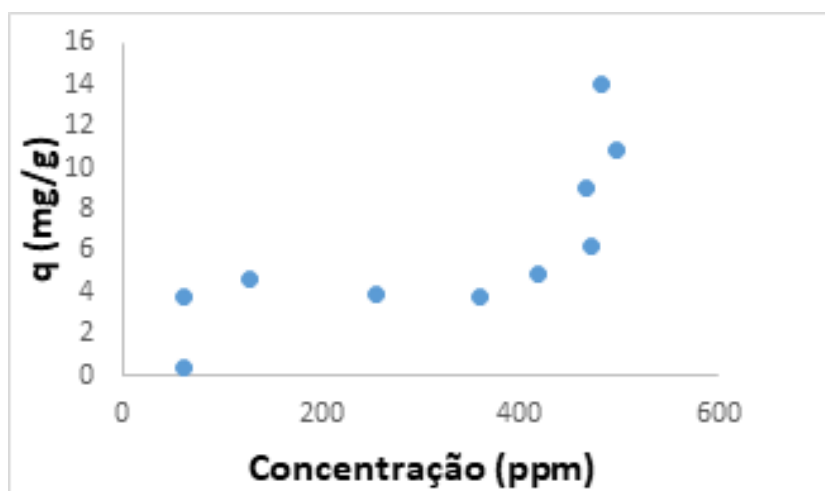


Figura 15 - Isoterma de adsorção do Zn^{2+} em bagaço de cana de açúcar em pH 8.



Na Figura 14, observa-se que, a isoterma cresce continuamente, até que a biomassa fique saturada, e alcance a estabilidade de adsorção, configurando a capacidade máxima no equilíbrio (q_s). Nesse caso, é previsto que em concentrações maiores não haveria aumento da capacidade adsorptiva, pois o equilíbrio do sistema foi atingido, tendo como capacidade máxima adsorptiva, aproximadamente 7 mg do metal por cada grama do adsorvente.

Na Figura 15 é observado um comportamento diverso, com um perfil de equilíbrio semelhante a isoterma do tipo II, da classificação de BET, descrita para sistemas nos quais a quantidade adsorvida tende a um valor infinito, relativo à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, de ocorrência prevista para sólidos não porosos ou macroporosos, o que entende-se que além de ser adsorvido nos poros da biomassa, o íon metálico também foi retido entre as partículas granulométricas.

Deve-se ressaltar também a formação de hidróxi-complexos metálicos em pH básico, evento que pode ter ocasionado precipitação na solução no pH 8, representando um obstáculo a mais para a modelagem do equilíbrio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na proposta de remoção dos metais pesados Zinco (II) e Chumbo (II) por adsorção em biomassa de bagaço de cana de açúcar, o desempenho do adsorvente foi mediano. O percentual médio de adsorção do Chumbo é de 30% nos primeiros 30 minutos do processo, para o Zinco obteve-se um percentual de adsorção em torno de 58%. No pH 5 a biomassa mostrou um melhor poder de adsorção para ambos os metais. Devido a irregularidade dos microporos da biomassa, o ajuste aos modelos matemáticos não foi totalmente satisfatório nem para o equilíbrio de adsorção do zinco nem para a cinéticas dos dois metais.

Nos estudos cinéticos da adsorção um fator que se destacou foi rapidez com que o contaminante é adsorvido pela biomassa. Devido essa rapidez de adsorção, tem-se uma dificuldade no acompanhamento e na modelagem matemática do fenômeno, entretanto esse fator acarreta uma vantagem adicional para o uso da biomassa. A fácil adsorção do metal através do bagaço da cana de açúcar diminui o tempo do processo, reduz os custos operacionais de implantação e dimensionamento, potencializando as aplicações em grande escala.

Para a descontaminação dos efluentes dos laboratórios de ensino experimental de química é bastante promissor que as variações de pH na faixa ácida não tenham influência significativa sobre o desempenho do processo de adsorção, visto que foi constatado a acidez dos efluentes gerados nessas unidades.

Os resultados obtidos até o momento apontam para a versatilidade e possibilidade da utilização das biomassas naturais, com ênfase o bagaço da cana de açúcar, para a utilização de tratamento de efluentes contaminados com metais pesados, motivadas pela eficiência e baixo custo desse tipo de adsorvente.

REFERÊNCIAS

AHMARUZZAMAN, M, Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals. **Advances in Colloid and Interface Science** 166 (2011) 36–59; journal homepage: www.elsevier.com/locate/cis

ANJOS, J. A. S. A, **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. São Paulo, 2003. Apresentado como tese de doutorado em Engenharia Mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ed. Porto Alegre: Bookmam, 2004.622p;

BRUNAUER, S.; DEMING, L.S.; DEMING, W.E.; TELLER, E.; “On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases”, **Journal of American Chemical Society**, 62, 1723- 1732, (1940).

CALVALCANTI JR., C. L; AZEVEDO, D. C. S. Adsorção: um novo processo de separação. **Revista Engenharia** – Fortaleza, 1995. 66p.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente. Capítulo II, Seção II, Art. 16, 2011.

CPT - Centro de Produções Técnicas. Produção de cana-de-açúcar: uma alternativa econômica para a sua fazenda. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-agroindustria/artigos/producao-de-cana-de-acucar-uma-alternativa-economica-para-a-sua-fazenda>. Acessado em: novembro, 2020.

CARDOSO, Natali Farias. **Remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos utilizando casca de pinhão in natura e carbonizada com adsorvente**. 2010. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CASAGRANDA, Lucas. **REMOÇÃO DE CORANTE VERMELHO REATIVO 4B, UTILIZANDO COMO ADSORVENTE PALHA DE MILHO**. 2014. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009.

DANTAS, T.L.P.; **Separação de Dióxido de Carbono por Adsorção a partir de Misturas Sintéticas do Tipo Gás de Exaustão**, Tese de Doutorado, Florianópolis-SC (2009).

DO, D.D., **Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics, Series on Chemical Engineering** Vol. 2, Imperial College Press, London (1998).

DUFFUS, J.H. **Heavy metals - A meaningless term?** Pure and Applied Chemistry. v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

ERG. GOYER, R. e GOLUB, M. **Issue paper on the human health effects of metals. Draft.** Submitted a: USEPA - Risk Assessment Forum, 2003;

GIMBERT, F.; MORIN-CRINI, N.; RENAULT, F.; BADOT, P-M.; CRINI, G. Adsorption isotherm models for dye removal by cationized starch-based material in a single component system: Error analysis. **Journal of Hazardous Materials**, 157, p. 34–46, 2008.

GUSMÃO, K. A. G. **Estudo de adsorção em solução aquosa de dois corantes catiônicos e de uma eteramina usando bagaços de cana modificados quimicamente.** 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011

HO. Y.S., NG J.C.Y., MCKAY, G.. Kinetics of pollutant sorption by Biosorbents: review. **Separation and purification methods**, 29(2), 189–232 (2000)

JUNIOR, O. K, **Modificação química do bagaço de cana e celulose usando anidrido do EDTA. Uso destes materiais na adsorção de metais pesados em solução aquosa.** Ouro Preto, MG: UFOP, 2007. Apresentado como dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto.

LIRA, T. K. B. **Gerenciamento de resíduos em laboratórios de ensino de química e proposta de tratamento de efluentes por adsorção.** Campina Grande, PB: UEPB, 2014. Apresentado como trabalho de conclusão de curso de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba.

LOPES, E.C.N.; ANJOS, F.S.C.; VIEIRA, E.F.S.; CESTARI, A.R.; An alternative Avrami equation to evaluate kinetic parameters of the interaction of Hg(II) with thin chitosan membranes. **Journal of Colloid and Interface Science**, 263, p.542-547, 2003.

MANAHAN, S.E. **Química ambiental.** 9 ed, Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARTINS, I. e LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do manganês e seus compostos.** Cadernos de referência ambiental. V.7. CRA. Salvador, 2001;

MOREIRA, Danna Rodrigues. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia.** 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NADAROGLU, H; KALKAN, E; DEMIR, N. Removal of copper from aqueous solution using red mud. **Desalination**, v.251, p.90–95, 2010

NASCIMENTO, R.F., LIMA, A.C.A., VIDAL, C.B., MELO, D.Q., RAULINO, G.S.C., **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**, 2014.

Oliveira, T.; Rocha Júnior, V.; Reis, S.; Aguiar, E.; Souza, A.; Silva, G.; Dutra, E.; Silva, C.; Abreu, C.; Bonalti, F. "Composição química do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com diferentes doses de uréia e soja grão". **Archivos de zootecnia**. 60(231), 625-635, 2011.

PAOLIELLO, M. M. B e DE CAPITANI, E. M. **Chumbo**. In: **Metais – Gerenciamento da Toxicidade**. 1ª Ed. São Paulo: Atheneu, 2003

PAVAN, F. A. **Biometrias in natura e quimicamente modificadas: preparação, características e aplicações como biossorventes na remoção de metais tóxicos de água**. UFP: projeto de pesquisa, 2007.

PIETROBELLI, J. M. T. de A, **Avaliação do potencial de biossorção dos íons Cd (II), Cu (II) e Zn (II) pela macrófita Egeria Densa**. Toledo, PR: UNIOESTE, 2007. Apresentado como dissertação de mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SOUZA, R. S. **Avaliação do reuso do bagaço da cana-de-açúcar em tratamento de efluentes contaminados por gasolina através da adsorção em leito fixo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Estadual da Paraíba, CCT, Campina Grande, PB. – 2011.

SOUZA, R. S; CHAVES, L. H. G; FERNANDES, J. D. Adsorção de zinco e sua relação com características de solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Universidade Federal Rural de Pernambuco, vol. 1, núm. 1, p. 1-6, outubro-dezembro, 2006.

TEIXEIRA, Juliana Ayres de A. B.. **MINERAÇÃO DE METAIS NÃO-FERROSOS: Chumbo** .. In: BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. . ECONOMIA MINERAL DO BRASIL. Brasília: Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral – Didem, 2009. Cap. 4. p. 198-215.

THOMMES, Matthias; KANEKO, Katsumi; NEIMARK , Alexander V.; OLIVIER, James P.; REINOSO, Francisco Rodriguez-; ROUQUEROL, Jean; SING, Kenneth S. W.. **Pure Appl. Chem**. 2015; 87(9-10): 1051–1069 DOI 10.1515/pac-2014-1117

YAMAURA, M.; COSTA, C. H.; COTRIM, M. E. B.; PIRES, M. A. F. Avaliação de um Resíduo Agroindustrial como biossorvente para remoção de íons Ni²⁺. In: **Safety, Health and Environmental world congress** – SHEWC, Rio de Janeiro: 2008;