



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E SUAS TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

RAQUEL KETHY PATRÍCIO CARDOSO

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA PALHA DO MILHO NA
ADSORÇÃO DE COMPOSTOS HIDROGENOCARBONADOS EM SISTEMA DE
LEITO DIFERENCIAL**

**CAMPINA GRANDE - PB
2018**

RAQUEL KETHY PATRÍCIO CARDOSO

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA PALHA DO MILHO NA
ADSORÇÃO DE COMPOSTOS HIDROGENOCARBONADOS EM SISTEMA DE
LEITO DIFERENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB,
como requisito parcial à obtenção do Título do
Bacharelado em Química Industrial, sob
orientação da Prof. Dra. Vera Lúcia Meira de
Morais Silva.

**CAMPINA GRANDE - PB
2018**

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.

C268a Cardoso, Raquel Kethy Patrício.
Avaliação da capacidade adsorptiva da palha de milho na adsorção de compostos hidrogenocarbonados em sistema de leito diferencial [manuscrito] / Raquel Kethy Patrício Cardoso. - 2018.
35 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.
"Orientação : Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva, Departamento de Química - CCT."
1. Palha de milho. 2. Adsorção. 3. Poluição aquática. 4. Impactos ambientais. I. Título
21. ed. CDD 660.284 235

RAQUEL KETHY PATRÍCIO CARDOSO

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA PALHA DE MILHO NA
ADSORÇÃO DE COMPOSTOS HIDROGENOCARBONADOS EM SISTEMA DE LEITO
DIFERENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB,
como requisito parcial à obtenção do Título de
Bacharelado em Química Industrial, sob
orientação da Prof. Dra. Vera Lúcia Meira de
Morais Silva.

Aprovada em: 20/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

Silva

Prof. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Lima

Prof. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Adriana Valéria Arruda Guimarães

Prof. Dr. Adriana Valéria Arruda Guimarães
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

À minha família, por todo apoio, atenção e incentivo,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A minha família, por sempre me apoiar em minhas decisões, pela compreensão e paciência nos meus momentos de dificuldades, por acreditarem em mim e nos meus esforços e por todo o esforço que fizeram para a realização de um sonho meu.

A minha querida orientadora, Profa, Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva, por todos os ensinamentos durante a iniciação científica, por sempre acreditar na minha capacidade para desenvolver atividades e de enfrentar alguns desafios, pelos conselhos e por ser mais que uma orientadora, ser uma grande amiga, no qual pode me mostrar o melhor caminho a percorrer.

A minha querida Prof. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima, por me recepcionar tão bem na iniciação científica durante meu terceiro período de curso, por me apresentar essa área na qual eu tive uma ótima afinidade e me apaixonei, pela paciência, dedicação e por sempre acreditar no meu potencial.

A maravilhosa professora, Dauci Pinheiro Rodrigues, por todos os ensinamentos e pelas oportunidades de conhecimentos que a mim foram concedidas e a qual eu tive o privilégio de ser aluna.

A minha querida professora e amiga, Sara Regina Ribeiro Carneiro de Barros, por sempre acreditar em mim e por todas às vezes que eu estava prestes a cair, segurar minha mão. Gratidão por saber que pude contribuir, durante 1 ano de minha graduação, sendo sua monitora e por ter sido sua aluna.

À banca examinadora, Prof, Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima, Prof, Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva e Prof. Dr. Adriana Valéria Arruda Guimarães, pelas correções, conselhos e valiosas contribuições na finalização deste trabalho.

Às amigas verdadeiras que eu construí durante todo esse percurso da graduação, em especial, ao grupo do “PROJAC”, onde encontram-se inseridos Nayara Eneas, Emanuely Martins, Taís Ferreira, Danilo Moraes, Edson Brito, Monaliza Layse e Bruna Leite, no qual sempre estiveram comigo e compartilhamos momentos de alegria, desespero e tristeza. Agradeço imensamente todas as contribuições e conhecimentos compartilhados que me ajudaram a chegar até aqui, vocês tornaram toda essa jornada mais fácil com nossos momentos de descontrações, conselhos e sorrisos. Levarei vocês sempre comigo.

RESUMO

O avanço da tecnologia industrial tem resultado na geração de águas contaminadas, assim como na produção de biomassas como resíduos industriais e agrícolas, como o caso da palha do milho (*Zea mays L.*). O projeto visa ampliar os estudos acerca do poder adsorptivo dos resíduos de plantas nativas da região Nordeste e objetiva avaliar a capacidade de adsorção da biomassa palha do milho, na forma particulada, quando colocada em contato com corpos de água contaminados com derivados do petróleo. O aproveitamento desse resíduo em um processo adsorptivo, possibilita a redução de custos para purificação de efluentes líquidos contaminados. O processo de adsorção utilizando biomassas vegetais como adsorvente, vem se tornando uma alternativa potencialmente atrativa e econômica para o tratamento de diversos tipos de efluentes. No desenvolvimento dessa pesquisa foram realizados experimentos para avaliação do potencial adsorptivo da biomassa palha do milho na forma particulada, na remoção de gasolina, utilizando sistema em leito diferencial para caracterizar a dinâmica do processo. As etapas do desenvolvimento dessa pesquisa constaram da preparação da biomassa realizada na UEPB e UFCG-Sumé, caracterização morfológica da palha do milho (pó) realizada na UFPB-Areia, e do estudo da interação do contaminante gasolina com o material adsorvente por meio da quantificação volumétrica após a adsorção em leito diferencial, desenvolvido no LAPECA/CCT/UEPB. A cinética de adsorção ocorreu de forma rápida e apresentou valores para a capacidade adsorptiva em torno de 6,0 mL de gasolina por grama de biomassa. Quanto ao leito diferencial, a quantidade adsorvida de gasolina chegou a 100% para o caso da concentração inicial de gasolina igual a 5% e superior a 90% para concentrações iniciais igual a 6,25; 7,5 e 10%.

Palavras-Chave: Corpos aquáticos contaminados. Adsorvente palha do milho. Sistema de adsorção em leito diferencial.

ABSTRACT

The advance of industrial technology has resulted in the generation of contaminated water, as well as in the production of industrial and agricultural biomass wastes. It is the case of corn husk (*Zea mays L.*) waste. This work aims to expand studies about the adsorptive power present in residues of northeastern native plants by evaluating the adsorption capacity of particulate corn husk biomass when placed in contact with water bodies contaminated with petroleum derivatives. The use of such residue in an adsorption process allows reduction of costs for purifying contaminated liquid effluents. The adsorption process using vegetal biomass as adsorbents, is becoming a potentially attractive choice for the treatment of several types of effluents due to its great efficiency and cost benefits. In the development of this research, experiments were carried out using particulate corn biomass to evaluate its adsorptive potential in removing gasoline on a differential bed system in order to characterize the process dynamics. This research project was divided into the following stages: preparation of the biomass, carried out at UEPB and UFCG-Sumé, morphological characterization of corn husk (powder) at UFPB-Areia, and an interaction study between gasoline contaminant and the adsorbent material through a post adsorption volumetric quantification in differential bed, performed at LAPECA / CCT / UEPB. Adsorption's kinetics developed quickly and presented values for adsorptive capacity around 6,0 mL of gasoline per gram of biomass. As for differential adsorption bed, the amount of adsorbed gasoline reached a 100% when gasoline's initial concentration was equal to 5% and higher than 90% for initial concentrations equal to 6,25; 7,5 and 10%.

Palavras-Chave: Contaminated water bodies. Corn husk adsorbent. Differential bed adsorption system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Indústria Petrolífera	14
Figura 2 - Diagrama esquemático de pellet adsorvente (representação ideal, cristalitos esféricos uniformes), mostrando os três tipos principais de resistência à transferência de massa.	17
Figura 3 - Classificação das isotermas de BET.	18
Figura 4 - Esquema representativo do leito diferencial.	20
Figura 5 - Palha do milho in natura, seca em temperatura ambiente (a); palha do milho cortada em pedaços pequenos (b); palha do milho na forma particulada obtida utilizando moinho de facas (c).....	22
Figura 6 - Balança para pesagem da biomassa palha do milho na forma particulada; (b) Recipientes com palha do milho para serem adicionados aos frascos erlenmeyer.	23
Figura 7 - Mesa agitadora com dispersão água/gasolina/biomassa palha do milho e frascos retirados após o tempo pré-determinado.	23
Figura 8 - Provetas com dispersão obtida após à adsorção, para quantificar a gasolina adsorvida por análise volumétrica.	24
Figura 9 - Sistema de adsorção em leito diferencial em escala de laboratório.....	24
Figura 10 - Sistema de adsorção em leito diferencial em escala de laboratório (bancada): (a) reservatório de vidro com capacidade de 4 L para armazenamento do corpo aquático sintético com contaminante gasolina; (b) tela de alumínio para recepção da biomassa palha na forma em pó.	25
Figura 11 - Recipiente retangular de vidro com a mistura heterogênea água/gasolina (a); tela de alumínio com camada de biomassa palha do milho (pó) de espessura 3 mm (b); tela com palha do milho (pó) imersa no reservatório de vidro simulando corpo aquático contaminado com gasolina.	26
Figura 12 - Separação do sistema água/gasolina por meio da diferença de densidade, em funil de decantação.....	26
Figura 13 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada no liquidificador, com repetição.	28
Figura 14 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada no liquidificador, utilizando valores médios.....	28
Figura 15 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada em moinho de facas, com repetição.	29

Figura 16 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada em moinhos de faca, utilizando valores médios.	29
Figura 17 - Comparação entre as curvas da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada em moinhos de faca e em liquidificador, utilizando valores médios.	30
Figura 18 - Isoterma de adsorção de gasolina dispersa em água, utilizando palha do milho triturada em moinho de facas, utilizando valores médios e modelo matemático de Langmuir.	31
Figura 19 – Percentual de gasolina adsorvida utilizando biomassa palha do milho na forma particulada, com concentrações do contaminante gasolina iguais a 5; 6,25; 7,5 e 10% da mistura heterogênea sintética, água/gasolina, com tempo de contato igual a 10 minutos.	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 CONTAMINAÇÃO DE CORPOS AQUÁTICOS	13
2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR DERIVADOS DO PETRÓLEO.....	14
2.3 PETRÓLEO.....	15
2.4 ADSORÇÃO	15
2.4.1 Tipos de Adsorção	16
2.4.2 Fatores que influenciam o processo de Adsorção	16
2.4.3 Cinética de Adsorção.....	17
2.4.4 Equilíbrio de Adsorção	18
2.4.4.1 Isoterma de Langmuir.....	19
2.4.4.2 Isoterma de Freundlich	19
2.4.4.3 Isoterma de Henry	20
2.4.5 Adsorção em Leito Diferencial	20
2.5 BIOADSORVENTE.....	21
3 MATERIAL E METODOLOGIA	21
3.1 ADSORVENTE E ADSORVATO UTILIZADOS.....	21
3.2 METODOLOGIA.....	22
3.2.1 Preparação Da Biomassa Palha De Milho.....	22
3.2.2 Cinética de adsorção e isoterma de equilíbrio.	22
3.2.3 Adsorção em sistema de Leito Diferencial	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 ANÁLISE BROMATOLÓGICA DA PALHA DO MILHO	27

4.2	OBTENÇÃO DAS CURVAS CINÉTICAS PARA A MISTURA HETEROGÊNEA ÁGUA/GASOLINA/PALHA DO MILHO.....	27
4.3	OBTENÇÃO DA CURVA DE EQUILÍBRIO	30
4.4	OBTENÇÃO DA CURVA DE ADSORÇÃO EM SISTEMA DE LEITO DIFERENCIAL	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea caminha junto à tecnologia, esquecendo muitas vezes de preservar os meios naturais que são essenciais à vida humana, como a água, que é um meio indispensável a saúde e sobrevivência dos seres vivos (ALMEIDA, 2015). Sendo assim, a dimensão ambiental vem tomando proporções cada vez mais preocupantes exigindo, de cada indivíduo, uma reeducação sob todos os aspectos: comportamento, atitude, consumo, dentre outras.

Segundo Costa *et al.* (2010) nos últimos anos tem aumentado bastante a preocupação da sociedade quanto à preservação do meio ambiente. A poluição das águas, ocasionada pela negligência no tratamento de seus rejeitos ou por acidentes ambientais cada vez mais frequentes, que acabam por lançar muitos poluentes nos ambientes aquáticos é um fato preocupante, sendo essencial o levantamento das condições de qualidade e o tratamento dos corpos aquáticos, que representa um potencial de risco para os seres vivos de uma forma geral.

O avanço desenfreado das indústrias ocorrido nas últimas décadas, tem refletido fortemente na contaminação das águas, seja pela negligência do seu tratamento antes de despejá-las nos rios, ou por acidente e descuidos cada vez mais frequente que propiciam o lançamento de muitos poluentes nos ambientes aquáticos (KAWAI *et al.*, 2014).

As indústrias de derivados do petróleo, apresentam como carga residuária, diversos tipos de hidrocarbonetos. O próprio petróleo pode contaminar corpos aquáticos por derramamentos acidentais do petróleo bruto ou de seus produtos refinados.

A toxicidade de hidrocarbonetos é amplamente estudada, uma vez que está relacionada à sua estrutura química e sua hidrofobicidade, ou seja, os hidrocarbonetos mais solúveis em água são menos tóxicos (SOUZA *et al.*, 2011). Lewis e Pryor (2013) observaram que partículas de óleos em contato com a água formam uma película superficial, diminuindo a penetração de luz e consequentemente, impede a transferência de oxigênio.

Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias têm sido pesquisadas para a degradação ou imobilização destes compostos. Desta forma, o desenvolvimento de métodos alternativos de tratamento de efluentes que combinem índices cada vez menores de substâncias tóxicas e baixo custo, é de extrema importância. A adsorção apresenta-se como um método alternativo ao tratamento destes efluentes (PERIN *et al.*, 2006). Este método

ganha destaque, pois, pode ser desenvolvido utilizando biomassas naturais como adsorventes, garantindo-lhe eficiência e baixo custo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade adsorptiva da palha do milho (*Zea mays L.*) como bioadsorvente na remoção de gasolina presente em corpos aquáticos, utilizando sistema em Leito Diferencial em escala bancada.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Preparar a biomassa palha do milho, na forma de partículas (pó).
- Obter as curvas cinéticas para a caracterização da dinâmica da adsorção de gasolina com a palha do milho.
- Avaliar o poder adsorptivo da palha do milho, como adsorvente de gasolina, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTAMINAÇÃO DE CORPOS AQUÁTICOS

A qualidade dos ecossistemas aquáticos tem sido alterada em diferentes escalas nas últimas décadas. Fator este, desencadeado pela complexidade dos usos múltiplos da água pelo homem, os quais acarretaram em degradação ambiental significativa e diminuição considerável na disponibilidade de água de qualidade, produzindo inúmeros problemas ao seu aproveitamento (PEREIRA, 2014). É clara a necessidade de água limpa para manter um ambiente de vida saudável e seguro. Um fator que influencia a viabilidade do sistema hídrico da Terra é a necessidade de remover impurezas das águas residuais antes de descarregá-las ou, preferivelmente, reutilizá-las.

Muitas dessas águas residuárias apresentam hidrocarbonetos originados dos processos de produção nas indústrias de plásticos, borrachas sintéticas, tintas, corantes, adesivos,

solventes, detergentes, explosivos, produtos farmacêuticos, que derivam do petróleo. Os hidrocarbonetos leves, contendo de um a nove carbonos, estão presentes na maior parte das frações de petróleo. Além disso, pode-se citar a contaminação causada pelo petróleo, ocasionada pelo derramamento de petróleo bruto ou de seus produtos refinados, decorrentes de problemas nos tanques de armazenamento ou plataformas, vazamentos em navios ou explosões de poços (SOUZA *et al.*, 2011).

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR DERIVADOS DO PETRÓLEO

O petróleo é um dos maiores viabilizadores do desenvolvimento econômico no mundo, constituindo a base das indústrias petrolífera, como mostra na Figura 1, e automobilística, duas das indústrias mundiais mais rentáveis na atualidade. Porém, além de promover desenvolvimento, a indústria do petróleo se caracteriza como uma grande fonte de riscos e impactos negativos ao meio ambiente. Os riscos estão presentes em cada etapa da indústria petrolífera e, tendo em vista que as maiores reservas de petróleo estão localizadas em alto-mar, os maiores impactos são causados aos ambientes marinhos (ALVES *et al.*, 2013).

Figura 1 - Indústria Petrolífera



Fonte: Blog o Petróleo (2018)

Quando ocorrem grandes acidentes em que são lançadas nas águas toneladas de elementos oleaginosos, de constituição química formada por hidrocarboneto de petróleo, o peso do processo de recuperação das águas é lento. O vazamento de óleo, decorrente quer da exploração, quer do transporte, prejudica intensamente a atividade pesqueira um dos pontos fortes da economia litorânea. O impacto ambiental pode produzir leve ou severa alteração no meio ambiente, desequilibrando seus componentes por determinada ação ou atividade que

ocorreu por acidente ou por imperícia. As estimativas dos impactos ambientais fazem parte efetiva do diagnóstico das alterações efetivas na área afetada (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Os impactos da exploração do petróleo começam desde o estudo sísmico, quando são identificadas estruturas do subsolo, e “[...] seu princípio tem como base a velocidade de propagação do som e suas reflexões nas diversas camadas do subsolo”. As ondas sonoras são provocadas por explosões que geram efeitos negativos sobre a fauna da região. Os riscos estão presentes também no processo de perfuração e extração do óleo, quando são descartados fluídos de perfuração e compostos tóxicos, que geram perturbação ao ecossistema próximo, até o processo de refino, quando há emissão de gases poluentes para a atmosfera, descarte de efluentes líquidos com elevadas cargas orgânicas e também de resíduos sólidos (ALVES *et al.*, 2013).

2.3 PETRÓLEO

O petróleo é um líquido viscoso, menos denso que a água e formado por uma mistura complexa de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos associados a pequenas quantidades de outras classes de compostos que contêm nitrogênio, oxigênio e enxofre. A teoria mais aceita para a origem do petróleo é a de que ele foi originado a partir de restos de seres vivos, animais e vegetais, depositados no fundo do mar, ao longo de milhares de anos (FOGAÇA, 2018).

O petróleo se encontra sob forma gasosa, líquida ou sólida, em poros e fraturas, em geral de rochas sedimentares. Nos depósitos encontram-se também água salgada e uma mistura de gases responsáveis pela pressão que provoca a ascensão do petróleo através de poços perfurados. O petróleo líquido é também chamado óleo cru para distingui-lo do óleo refinado, produto comercial mais importante. O gás de petróleo (gás natural) é uma mistura de hidrocarbonetos leves, enquanto as formas semi-sólidas são compostas de hidrocarbonetos pesados (ALVES, 2014).

2.4 ADSORÇÃO

A contaminação química da água a partir de poluentes orgânicos e inorgânicos, dentre eles os hidrocarbonetos simples ou policíclicos aromáticos (HPAs), desencadeou a necessidade de desenvolver tecnologias com a finalidade de remover esses poluentes encontrados em resíduos líquidos e gasosos. Para a remoção dessas substâncias, geralmente os métodos de degradação biológica não são eficazes e ainda não são removidos efetivamente

por métodos de tratamento físico-químicos. Com isso, a adsorção tornou-se, um dos métodos mais populares para este fim, ganhando importância como um processo de separação e purificação, nas últimas décadas (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A adsorção pode ser classificada como o acúmulo de uma substância a um sólido ou uma interface de duas fases, como líquido-líquido, gás-líquido, líquido-sólido. A fase sólida é conhecida como adsorvente e a fase líquida como adsorvato. (GONÇALVES, 2015).

Existem três mecanismos distintos que caracterizam os processos de separação por adsorção, são eles: os mecanismos estéricos, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. Para os mecanismos estéricos, os poros do material adsorvente possuem dimensões características, as quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se as habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorvatos, que são adsorvidos, preferencialmente, a outros compostos. O mecanismo cinético está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

2.4.1 Tipos de Adsorção

Existem dois tipos de adsorção, a física e a química, dependendo do tipo de forças responsáveis pelo fenômeno. Quando as forças entre o adsorvato e adsorvente são apenas do tipo Van der Waals a adsorção é física e também chamada de fisissorção. As moléculas são fracamente adsorvidas e o calor envolvido é baixo (no máximo alguns quilojoules/mol) e da ordem da entalpia de vaporização do adsorvato. Um aumento de temperatura diminui consideravelmente a adsorção física. Quando as moléculas adsorvidas reagem quimicamente com o adsorvente, a adsorção é química e também chamada de quimissorção, Neste tipo de adsorção o calor envolvido é da mesma ordem que as entalpias de reação química, variando de alguns quilojoules até 400 kJ/mol.

De uma maneira geral, a adsorção física é um fenômeno reversível, enquanto a adsorção química pode levar a uma reação química irreversível (VAL *et al.*, Apostila).

2.4.2 Fatores que influenciam o processo de Adsorção

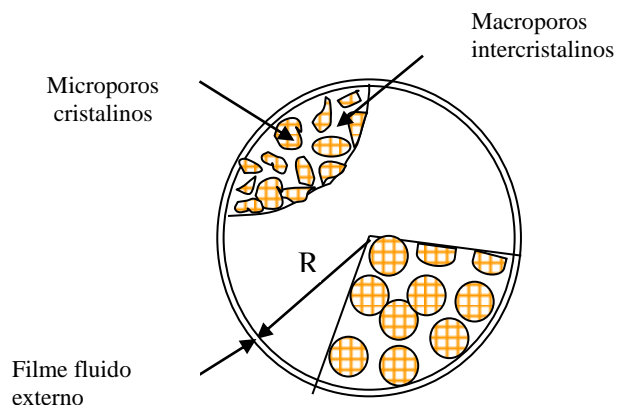
Vários fatores afetam a adsorção, tais como a estrutura molecular ou a natureza do adsorvente, a solubilidade do soluto, o pH da solução e a temperatura. A estrutura molecular

ou a natureza do solvente é particularmente importante no ordenamento do grau de adsorção que pode ocorrer, e o tipo e a localização dos grupos funcionais responsáveis pela adsorção afeta seu grau de adsorção. Além desses fatores, as moléculas com menores diâmetros moleculares têm maior facilidade em difundir-se para o interior do sólido e conseqüentemente a quantidade adsorvida é maior (MOREIRA, 2010).

2.4.3 Cinética de Adsorção

Os estudos de adsorção em condições estáticas se complementam com estudos de cinética de adsorção para determinar a resistência à transferência de massa e o coeficiente efetivo da difusão, assim como estudos de adsorção em coluna. O fenômeno de adsorção de um adsorvato sobre um sólido poroso pode englobar várias 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 promover 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 (Figura 2). A resistência oferecida pelo filme líquido externo pode ser eliminada se o sistema for submetido à agitação (OLIVEIRA, 2017).

Figura 2 - Diagrama esquemático de pellet adsorvente (representação ideal, cristallitos esféricos uniformes), mostrando os três tipos principais de resistência à transferência de massa.

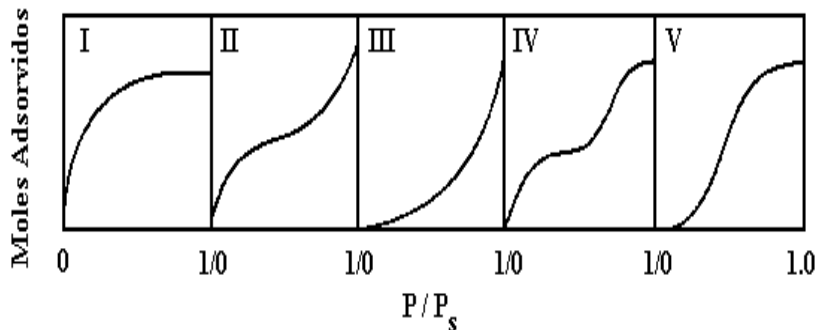


2.4.4 Equilíbrio de Adsorção

Em um processo de adsorção o equilíbrio do sistema é alcançado quando não há mudanças líquidas nas concentrações do adsorvato na fase sólida e do soluto na solução. O equilíbrio reflete a capacidade e/ou a afinidade de um adsorvente por um soluto, sob um dado conjunto de condições em que o sistema é submetido. Termodinamicamente, é apresentado pelas isotermas de adsorção. Elas relacionam a quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente, q_e (mg g^{-1}), em equilíbrio com a quantidade de soluto que permanece em solução, C_e (mg dm^{-3}) a uma dada temperatura (SILVA, 2005).

As informações das isotermas de equilíbrio podem fornecer a estimativa da quantidade aproximada de adsorvente necessária para um dado processo e conseqüentemente, o tamanho do equipamento requerido para a operação de adsorção em condições de equilíbrio. Brunauer, Emmett e Teller, em 1938, destacaram que as isotermas de equilíbrio poderiam ser classificadas em cinco tipos, conforme ilustração contida na Figura 3 (LIMA, 2010).

Figura 3 - Classificação das isotermas de BET.



Fonte: Ruthven (1984).

Na Figura 3 estão descritos os seguintes tipos de isotermas: a) Isotermas do tipo I: São características de sólidos microporosos com superfícies externas relativamente pequenas. A quantidade adsorvida tende a um limite; b) Isotermas dos tipos II e III: A quantidade adsorvida tende a um valor infinito, correspondendo à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, e ocorre em sólidos não porosos ou macroporosos; c) Isotermas dos tipos IV e V: São obtidas para sólidos que apresentam mesoporos nos quais ocorre o fenômeno de condensação capilar, ou seja, o gás se condensa no interior dos mesoporos, o que não acontece se o adsorvato for líquido (RUTHVEN, 1984).

2.4.4.1 Isoterma de Langmuir

A isoterma de Langmuir que se caracteriza por uma aproximação monotônica a uma quantidade limite de adsorção, e que se presume corresponder à formação de uma monocamada, (comportamento esperado para a quimissorção).

A expressão da Isoterma do Langmuir é representada pela:

$$Q_e = \frac{q_0 \cdot b \cdot C_{eq}}{1 + b \cdot C_{eq}}$$

onde q_0 [mg/g_{carvão}] e b [Lsolução/g_{carvão}] são os parâmetros de Langmuir: q_0 representa a máxima capacidade de cobertura da monocamada e b está relacionado com a constante de equilíbrio de Langmuir, Kl , que é dada pela Equação (MOREIRA, 2010):

$$Kl = q_0 \cdot b$$

2.4.4.2 Isoterma de Freundlich

A isoterma de Freundlich é caracterizada por uma equação empírica, aplicável a sistemas caracterizados por heterogeneidade. Segundo Suzuki (1990), não há limite para a capacidade de adsorção, pois a quantidade adsorvida tende ao infinito, ou seja, não prevê a saturação.

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

Em que, a constante K_F ((mg g⁻¹) (L mg⁻¹)^{1/n}) está relacionada com a capacidade de adsorção do sólido e n indica se o processo é ou não favorável, valores de n no intervalo de 1 a 10 são indicativos de condições favoráveis do processo de adsorção. Na saturação q_{eq} se torna constante, independente do aumento do C_{eq} , de modo que a equação de Freundlich não possa mais ser utilizada (CARPINÉ, 2011).

2.4.4.3 Isoterma de Henry

Regida pela Lei de Henry, aplica-se à adsorção em uma superfície uniforme a baixas concentrações, tais que todas as moléculas são isoladas de seus vizinhos mais próximos. A relação entre a fase fluida e concentrações de equilíbrio de fase adsorvida é linear, com uma constante de proporcionalidade, que é igual a constante do equilíbrio de adsorção, conhecida como a constante de Henry (k_H).

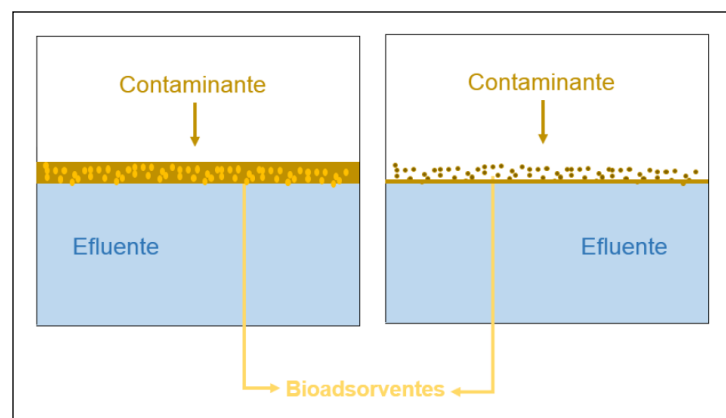
$$q_e = k_H \cdot C_e$$

Onde q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio na fase sólida (mg g^{-1}), C_e é a concentração de equilíbrio na fase líquida (mg L^{-1}) e k_H é a constante de Henry (KEHL, 2015).

2.4.5 Adsorção em Leito Diferencial

O sistema de adsorção em leito diferencial consiste em uma camada fina de espessura específica de adsorvente em contato com o efluente que se deseja remover os contaminantes, como está representado na Figura 4. O processo em leito diferencial é preferencialmente aplicado para retirada de material líquido sobrenadante (CARVALHO, 2014).

Figura 4 - Esquema representativo do leito diferencial.



Fonte: Adaptado de Amorim (2016).

2.5 BIOADSORVENTE

O termo bioadsorvente engloba toda a biomassa, seja ela ativa (com atividade metabólica) ou inativa (sem atividade metabólica). Todos os bioadsorventes são oriundos de alguma forma biológica, como vegetais, crustáceos, microorganismos e animais (MOREIRA,2010).

Diversas biomassas têm sido estudadas com resultados promissores como bioadsorventes. Dentre estão o bagaço de cana-de-açúcar (BRANDÃO 2010,), o mesocarpo de coco (SANTOS et al., 2007), sisal (LIMA et al. 2016), algas arribadas (MEDEIROS, 2017).

A produção de milho gera grandes quantidades de palha, sabugo e caule que, na maior parte das vezes, perde-se no solo sem agregar nenhum valor a estes subprodutos. Configurando-se como um resíduo abundantemente produzido no Brasil, a palha de milho tem sido avaliada como adsorvente alternativo por ser um resíduo agroindustrial de grande disponibilidade e baixo custo. As fibras da palha de milho possuem uma estrutura celulósica que é constituída por fases cristalinas e amorfas, onde a fase amorfa tem por característica possuir uma diversidade de grupos funcionais presentes na parede celular da palha, que engloba hemicelulose, lignina e macromoléculas de celulose (MILHOMEM, 2018).

3 MATERIAL E METODOLOGIA

Os experimentos de adsorção foram realizados no Laboratório de Pesquisas em Ciências Ambientais (LAPECA)/CCT/UEPB/Campina Grande-PB e no Laboratório de Solos do CDSA/UFCG/Sumé-PB.

3.1 ADSORVENTE E ADSORVATO UTILIZADOS

O bioadsorvente usado foi a palha do milho, na forma de partículas, com granulometria homogênea. O contaminante orgânico utilizado foi gasolina (adsorvato), na forma de efluente sintético simulando a dispersão água/gasolina.

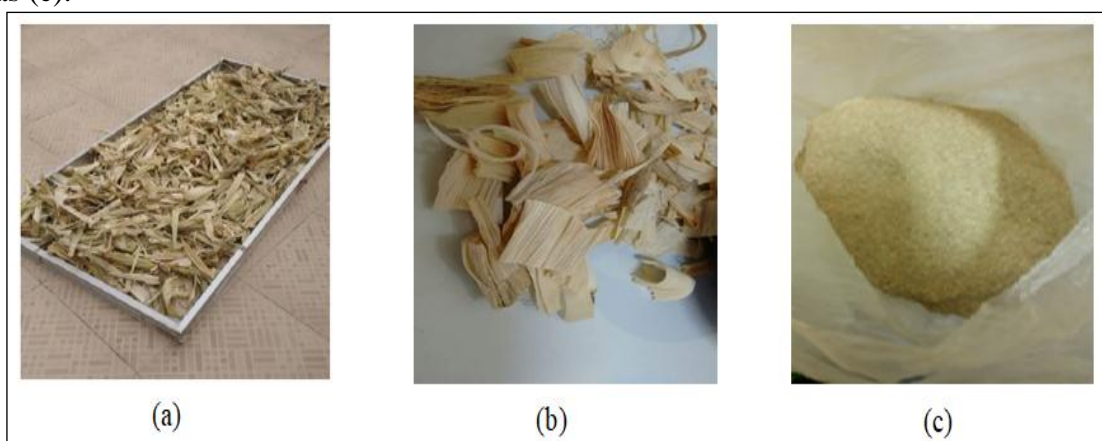
3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Preparação Da Biomassa Palha De Milho

Inicialmente, a biomassa foi seca à temperatura ambiente (Figura 5a), em seguida foi preparada com pequenos cortes da palha do milho (Figura 5b) e foi cominuída em moinho de facas, pertencente à UFCG/Sumé-PB, para obtenção do pó com granulometria uniforme (Figura 5c), obedecendo ao intervalo de 1 a 2 mm para a granulometria, conforme é mostrado na Figura 5 e é destacado em Lima (2010).

Em seguida foi feita a análise granulométrica em que a biomassa foi peneirada durante 5 minutos, utilizando um conjunto de peneiras série *Tyler* 10 e 14 *mesh* com aberturas 1,18 e 1,70 mm, respectivamente, acopladas a uma mesa vibratória com velocidade de 100 rpm, de maneira a se obter um material uniforme com diâmetro entre 1 e 2 mm, como destacado no trabalho de Lima (2010). Em seguida a biomassa foi acondicionada em reservatório e vidro devidamente identificado para posterior utilização.

Figura 5 - Palha do milho in natura, seca em temperatura ambiente (a); palha do milho cortada em pedaços pequenos (b); palha do milho na forma particulada obtida utilizando moinho de facas (c).

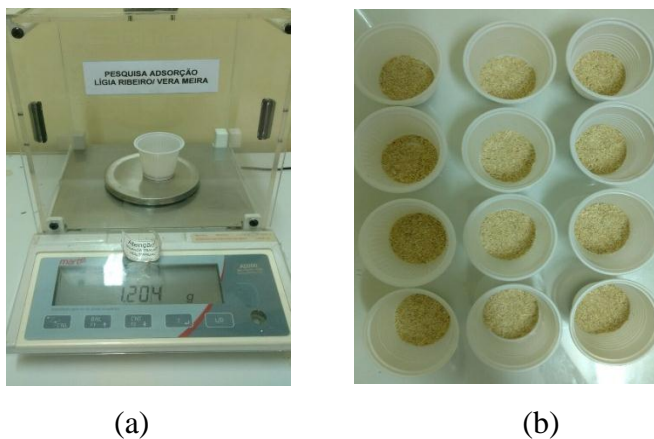


Fonte: Própria autoria (2018).

3.2.2 Cinética de adsorção e isoterma de equilíbrio.

Na cinética de adsorção para o sistema água/gasolina/palha do milho (pó) foi utilizada a mesa agitadora, na qual foram colocados 12 frascos erlenmeyer contendo quantidades determinadas da biomassa palha do milho (pó) e água contaminada com gasolina, variando a concentração inicial entre 5 e 50%. Na Figura 6 estão apresentados a pesagem da palha e recipientes já contendo a palha a ser adicionada aos erlenmeyer.

Figura 6 - Balança para pesagem da biomassa palha do milho na forma particulada; (b) Recipientes com palha do milho para serem adicionados aos frascos erlenmeyer.



Fonte: Própria autoria (2017)

As medições do contaminante e da água foram realizadas com auxílio de provetas de 10 e 50 mL. Após o adicionamento da água e da gasolina nos frascos erlenmeyer, os mesmos foram colocados na mesa agitadora em movimento sendo em seguida acrescentada a biomassa palha do milho na forma de pó. Os frascos erlenmeyer ficaram durante 60 minutos sob agitação com velocidade de 130 rpm. Assim que o tempo de agitação de cada erlenmeyer chegou ao tempo pré-determinado, cada um foi retirado da mesa agitadora e a mistura heterogênea água/gasolina/palha do milho (pó) foi transferida para um béquer, separando a biomassa com auxílio de uma peneira da fase líquida para que fosse possível fazer a análise volumétrica da gasolina adsorvida. Nas Figuras 7 e 8 pode ser visto o sistema para obtenção da curva de isoterma de adsorção de gasolina em palha de milho.

Figura 7 - Mesa agitadora com dispersão água/gasolina/biomassa palha do milho e frascos retirados após o tempo pré-determinado.



Fonte: Própria autoria (2018)

Figura 8 - Provetas com dispersão obtida após à adsorção, para quantificar a gasolina adsorvida por análise volumétrica.



Fonte: Própria autoria (2017)

3.2.3 Adsorção em sistema de Leito Diferencial

O equipamento usado para a adsorção em leito diferencial de biomassa ilustrado na Figura 9 é constituído por um reservatório de vidro (Figura 10a) com capacidade de 4 L, para armazenamento do corpo aquático sintético simulado com água e gasolina, em escala de laboratório, e por uma tela de alumínio (Figura 10b) para recepção da biomassa palha do milho na forma de pó.

Figura 9 - Sistema de adsorção em leito diferencial em escala de laboratório.



Fonte: Souza *et al.* (2011).

Figura 10 - Sistema de adsorção em leito diferencial em escala de laboratório (bancada): (a) reservatório de vidro com capacidade de 4 L para armazenamento do corpo aquático sintético com contaminante gasolina; (b) tela de alumínio para recepção da biomassa palha na forma em pó.



(a)



(b)

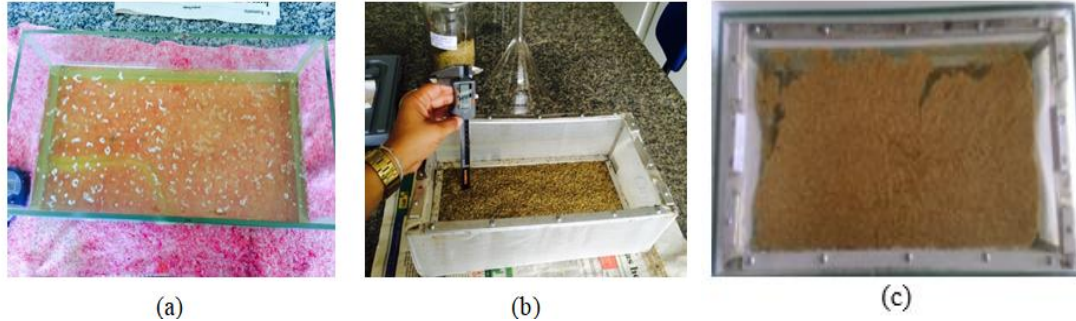
Fonte: Souza *et al.* (2011).

Os valores da capacidade de adsorção da palha do milho foram medidos em experimentos individuais preliminares, variando o tempo de contato entre a biomassa da palha do milho (pó) e a concentração inicial do contaminante gasolina contida no efluente sintético simulado. Sendo em cada experimento medido a quantidade do contaminante adsorvida pela biomassa, por meio de análise volumétrica. Os ensaios foram realizados em triplicata.

A metodologia para o processo de adsorção em leito diferencial consistiu em adicionar 4000 mL (4 L) da mistura heterogênea água/gasolina ao recipiente retangular de vidro (Figura 11a), posteriormente foi acrescentada a palha do milho na forma particulada à tela de alumínio (Figura 11b) formando um leito com uma camada de espessura de 3 mm. Por fim, a tela de alumínio com a camada de biomassa palha do milho foi sobreposta ao reservatório retangular de vidro (Figura 11c), para que a biomassa e a dispersão água/gasolina ficassem em contato físico, variando o tempo entre 5 e 120 minutos. Todos os ensaios de adsorção foram realizados em triplicata, com percentuais do contaminante gasolina iguais a 5; 6,25; 7,5 e 10% em relação ao total da mistura heterogênea.

A adsorção é um processo que resulta na remoção de um soluto de uma solução, em que o adsorvato se concentra na superfície do adsorvente, até que a quantidade do soluto remanescente na solução esteja em equilíbrio com a que se encontra na superfície. O estudo do conjunto de experimentos forneceu dados para a análise da eficácia do sistema de adsorção em leito diferencial, em escala de laboratório, utilizando a palha do milho como biomassa adsorvente, posta em contato direto com o corpo aquático contaminado com gasolina, com o propósito de aplicação em escala industrial.

Figura 11 - Recipiente retangular de vidro com a mistura heterogênea água/gasolina (a); tela de alumínio com camada de biomassa palha do milho (pó) de espessura 3 mm (b); tela com palha do milho (pó) imersa no reservatório de vidro simulando corpo aquático contaminado com gasolina.



Fonte: Própria autoria (2018).

Ao final dos tempos de contato, o sistema de tela de alumínio foi retirado para que fosse separada a fase líquida da biomassa, a separação da água e da gasolina, e isso foi realizado por meio de um funil (Figura 12) e por fim, foi possível mensurar a quantidade adsorvida do adsorvato gasolina em relação ao adsorvente palha de milho por análise volumétrica com proveta.

Figura 12 - Separação do sistema água/gasolina por meio da diferença de densidade, em funil de decantação.



Fonte: Própria autoria (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE BROMATOLÓGICA DA PALHA DO MILHO

Os valores das análises lignocelulósicas para a caracterização química estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros químicos da palha de milho na forma particulada.

AMOSTRA	CELULOSE (%)	HEMICELULOS E (%)	LIGNINA (%)
Palha de milho	54,4	16,2	23,8

Fonte: Adaptado de Santos (2014).

Os valores dos parâmetros químicos da palha de milho segundo Santos (2014), foram usados como base teórica visto ser o mesmo material, apenas de outra localidade.

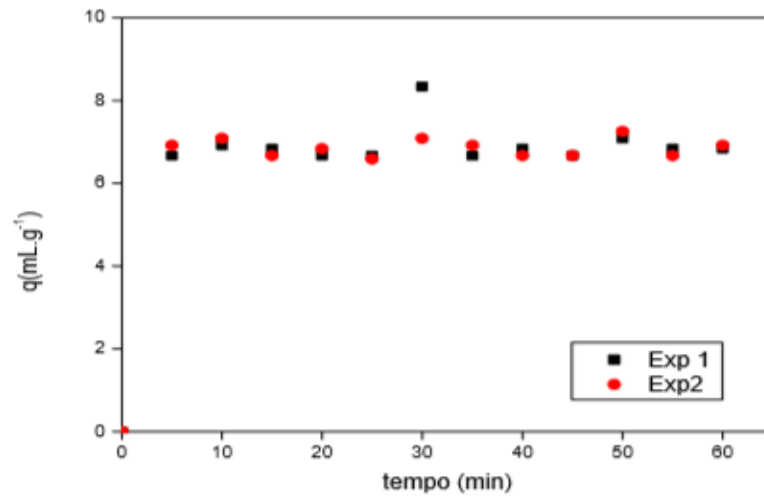
4.2 OBTENÇÃO DAS CURVAS CINÉTICAS PARA A MISTURA HETEROGÊNEA ÁGUA/GASOLINA/PALHA DO MILHO.

Nas Figuras 13 a 17 estão apresentadas as curvas cinéticas de adsorção de gasolina dispersa em água, usando palha do milho na forma particulada como adsorvente para três relações entre o volume de contaminante por grama de biomassa: Relação 7 (40 mL H₂O₂ + 8,4 mL gasolina + 1,2 g biomassa); Relação 10 (40 mL H₂O₂ + 12 mL gasolina + 1,2 g biomassa); Relação 13 (40 mL H₂O₂ + 15,6 mL gasolina + 1,2 g biomassa).

Foram realizados experimentos com repetições, os quais estão apresentados nas Figuras 13 e 15. Os resultados mostraram que não há variações significativas entre os experimentos, o que possibilita a utilização de valores médios para a curva cinética de adsorção, sendo os resultados apresentados na Figura 14 para a palha triturada em liquidificador e na Figura 16 para a palha triturada em moinho de facas.

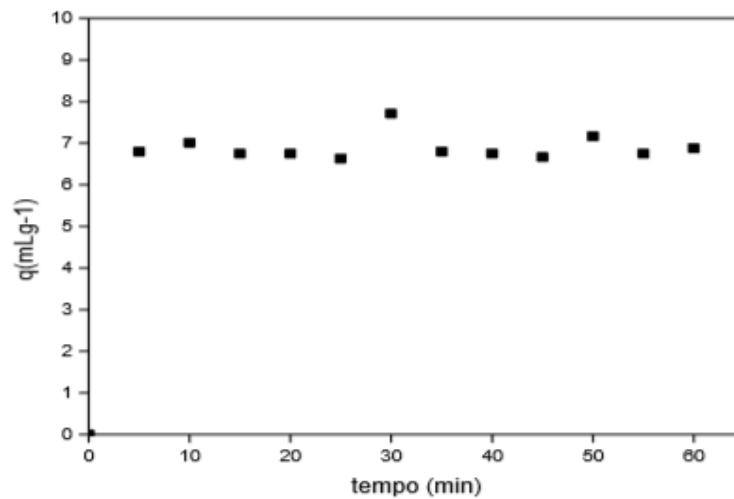
Foram também comparados os resultados quanto à forma de trituração da palha de milho, por liquidificador ou moinho de facas. Resultados apresentados nas Figuras 17.

Figura 13 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada no liquidificador, com repetição.



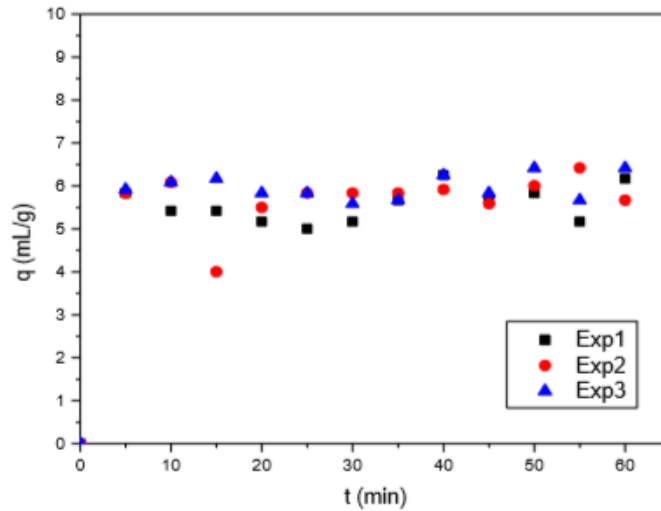
Fonte: Própria autoria (2018)

Figura 14 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada no liquidificador, utilizando valores médios.



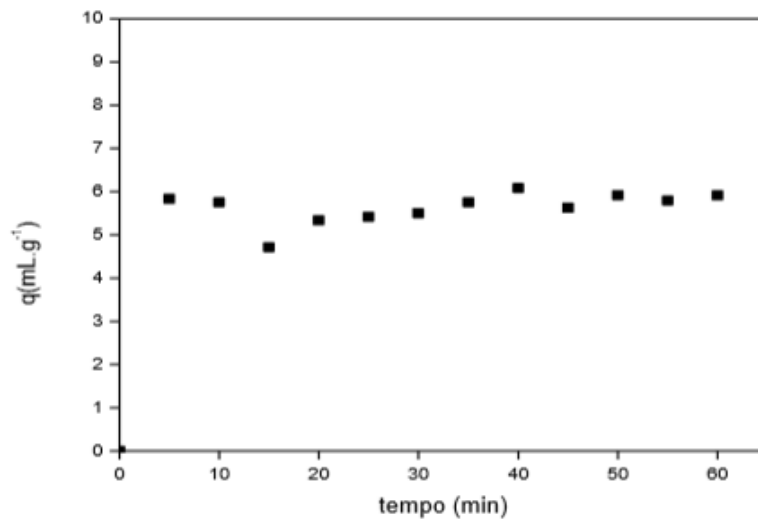
Fonte: Própria autoria (2018)

Figura 15 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada em moinho de facas, com repetição.



Fonte: Própria autoria (2018)

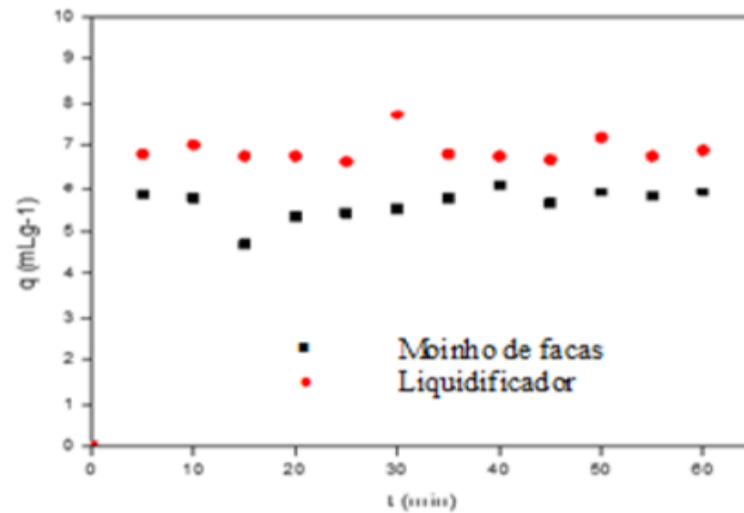
Figura 16 - Curva da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada em moinhos de faca, utilizando valores médios.



Fonte: Própria autoria (2018)

Os resultados experimentais obtidos por meio do estudo da cinética de adsorção, utilizando a biomassa triturada, tanto em moinho de facas, quanto no liquidificador, evidenciaram uma adsorção rápida, tendo início nos primeiros 5 minutos do contato entre o adsorvente obtido a partir da palha do milho e o adsorbato gasolina. Os valores permaneceram sem grandes alterações ao longo do experimento.

Figura 17 - Comparação entre as curvas da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina em contato com palha do milho triturada em moinhos de facas e em liquidificador, utilizando valores médios.



Fonte: Própria autoria (2018)

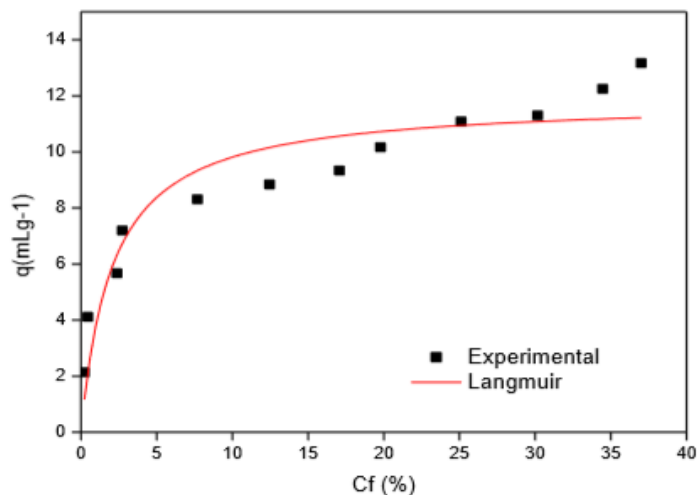
Conforme pode ser observado na Figura 17, a palha de milho triturada em liquidificador apresentou capacidade de adsorção ligeiramente maior do que a obtida por trituração em moinho de facas. Porém, devido às perdas de material pela formação de pó muito fino quando foi utilizado o liquidificador, uma avaliação custo benefício, levou a que a utilização do moinho de facas é mais viável.

4.3 OBTENÇÃO DA CURVA DE EQUILÍBRIO

A isoterma de adsorção é o requisito básico para a concepção de qualquer sistema de adsorção. A adsorção é um dos principais fenômenos de superfície e, por isso, é importante que seja feita uma descrição satisfatória do estado de equilíbrio do sistema representando a adsorção de um composto presente no fluido para a fase sólida (XING *et al.*, 2008). Este equilíbrio pode ser expresso pela quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente, em função da concentração do soluto remanescente na solução.

Na Figura 18 está apresentada a curva da isoterma de equilíbrio de adsorção de gasolina dispersa em água, usando palha do milho na forma particulada como adsorvente.

Figura 18 - Isoterma de adsorção de gasolina dispersa em água, utilizando palha do milho triturada em moinho de facas, utilizando valores médios e modelo matemático de Langmuir.



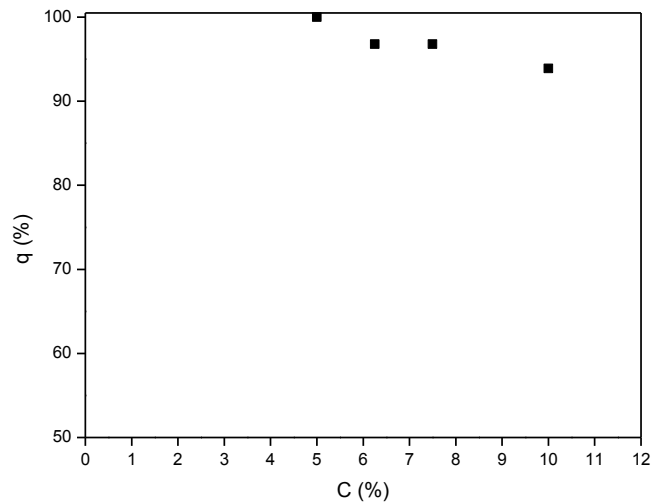
Fonte: Própria autoria (2017)

Conforme ilustrado na curva da cinética de adsorção na Figura 18, com a relação 10 foram obtidas as maiores quantidades adsorvidas de gasolina. Determinando com que fosse a melhor relação para aplicarmos o modelo matemático. Portanto, a partir da curva de equilíbrio pode-se observar que a quantidade máxima de contaminante adsorvido foi 13 mL de gasolina por grama de biomassa, e que o modelo de Langmuir ajustou-se bem aos dados experimentais.

4.4 OBTENÇÃO DA CURVA DE ADSORÇÃO EM SISTEMA DE LEITO DIFERENCIAL

Os ensaios de adsorção em leito diferencial, em que a espessura do leito de biomassa palha do milho (pó) foi de 3 mm equivalente a 78,418 g, as concentrações iniciais de gasolina utilizadas foram 5% (correspondente a 200 mL de gasolina e 3800 mL de água); 6,25 (correspondente a 250 mL de gasolina e 3750 mL de água); 7,5% (correspondente a 300 mL de gasolina e 3700 mL de água) e 10% (correspondente a 400 mL de gasolina e 3600 mL de água), mantendo-os em contato durante 10 minutos. Apresentados na Figura 19.a partir da qual foi possível observar que, apesar do pouco tempo de contato, mais de 90% da gasolina foi adsorvida, chegando até 100% para o caso da concentração inicial igual a 5%. Indicando que a biomassa estudada pode ser utilizada como adsorvente de gasolina.

Figura 19 – Percentual de gasolina adsorvida utilizando biomassa palha do milho na forma particulada, com concentrações do contaminante gasolina iguais a 5; 6,25; 7,5 e 10% da mistura heterogênea sintética, água/gasolina, com tempo de contato igual a 10 minutos.



Fonte: Própria autoria (2018).

Campos et al. (2018) avaliou a capacidade adsortiva do carvão do sabugo de milho na remoção de ácido naftênico em mistura modelo de querosene de aviação e concluiu que a isoterma de adsorção apresentou comportamento favorável, sendo o modelo de Langmuir que melhor representou o processo, a capacidade máxima adsortiva foi de 564 mg.g⁻¹. O carvão demonstrou potencial técnico para remover ácido naftênico em mistura modelo de querosene de aviação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A cinética de adsorção usando a palha do milho, na forma particulada, como adsorvente de gasolina ocorreu de forma rápida e apresentou valores para a capacidade adsorviva em torno de 6,0 mL de gasolina por grama de biomassa.
- A curva de equilíbrio (isoterma) apresentou um bom ajuste pelo modelo de Langmuir.
- A quantidade de gasolina adsorvida, utilizando a mistura heterogênea sintética água/gasolina simulada no processo de leito diferencial, chegou ao valor de 100% para o caso da concentração inicial de gasolina igual a 5% e superior a 90% para concentrações iniciais igual a 6,25; 7,5 e 10%. Esses resultados indicam que a biomassa palha do milho, na forma particulada, pode ser utilizada como adsorvente na remoção de derivados do petróleo, como a gasolina. Podendo ser, a ampliação de escala desse sistema, para aplicação em escala industrial, uma sugestão para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. Z. F, **Estudo da adsorção de chumbo e zinco em sistemas de leito fixo, utilizando bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.
- ALMEIDA, W. M. S; BRAZ, E. M. Q; SANTOS, C. L. **IMPACTOS AMBIENTAIS E O PETROLEO.** Disponível em:<http://sites.unisantabrasil.com.br/revistaceciliana/edicao_10b/7.pdf>. Acesso em 12 de outubro de 2013.
- ALVES, A. K; ALVES, B; MARTINS, L. O Petróleo e os impactos de seu derramamento no ecossistema de uma região. *Essentia Editora*, v. 3, 2013.
- ALVES, R. S. **O PETRÓLEO COMO INSTRUMENTO DE SEGURANÇA ENERGÉTICA NO ÂMBITO DO COMPLEXO REGIONAL DE SEGURANÇA DA AMÉRICA DO SUL: O CASO DO PRÉ-SAL.** Monografia de conclusão do curso de Relações Internacionais. Universidade Católica de Brasília. Brasília, DF, 8 p., 2014.
- AMORIM, F. V. **Estudo do poder adsorptivo do resíduo gerado na produção de cerveja utilizando sistema em leito diferencial.** Monografia de conclusão do curso de Química Industrial. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, PB, 50 p., 2016.
- BLOG O PETRÓLEO. **Indústria petrolífera precisa de grandes descobertas novas, muito em breve.** Disponível em:< <https://www.opetroleo.com.br/industria-petrolifera-precisa-de-grandes-descobertas-novas-muito-em-breve/>>. Acesso em 13 de outubro de 2018.
- BRANDÃO P. C.; SOUZA, T. C.; FERREIRA, C. A.; HORI, C. E.; ROMANIELO, L. L. **Removal of petroleum hydrocarbons from aqueous solution using sugarcane bagasse as adsorbent.** Journal of Hazardous Materials, n.175, p.1106–1112, 2010.
- CAMPOS, N. F.; BARROS JR., M. C. G.; CAVALCANTI, J. V. F. L; BARBOSA, C. M. B. M.; DUARTE, M. B. **Cinética e equilíbrio de adsorção de ácido naftênico em mistura modelo de querosene de aviação utilizando carvão de sabugo de milho como adsorvente.** 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção (12º EBA), CD-Rom. Fortaleza, CE, 2018.
- CARPINÉ, D, **RECUPERAÇÃO DO AROMA ÁLCOOL FENILETÍLICO POR ADSORÇÃO EM BATELADA E EM COLUNA.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- CARVALHO, E. S, **Reuso do mesocarpo de coco na remoção de contaminantes derivados do petróleo presentes em corpos d'água, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- COSTA, E. C.; BARBOSA, C. D. A. E. S.; MACHADO, J. A.; GARCIA, C. A. B. Estudo comparativo de adsorção do corante preto *sulphcolor* utilizando o carvão ativo convencional com o bagaço da cana-de-açúcar *in natura* e tratada quimicamente. *Scientia Plena*, v. 6, n. 12, 2010.
- DOMINGUES, R. Z; MATENCIO, T; VAL, A. M. G. **UNIDADE VI FENÔMENO DE SUPERFÍCIE.** Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2015. (Apostila).
- GONÇALVES, T. R, **ADSORÇÃO DE Cu II EM LIGNINA E CELULOSE OBTIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "**O que é petróleo?**"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-petroleo.htm>>. Acesso em 21 de novembro de 2018.

KAWAI, B; URIAS, C; LEONEL, L; ALMARO, M. **Poluição ambiental por metais**. Disponível em: < <http://www.fernandosantiago.com.br/met90.htm>>. Acessado em 22 out. 2018.

KEHL, C. C. P. L, **Remoção de nitrogênio amoniacal por adsorção em carvão ativado**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

LEWIS, M.; PRYOR, R. Toxicities of oils, dispersants and dispersed oils to algae and aquatic plants: Review and database value to resource sustainability. *Environmental Pollution*, v. 180, p. 345-367, 2013.

LIMA, L. M. R.; OLIVEIRA, E. D. C.; NEPOMUCENO, T. C.; DINIZ, N. M. R.; SILVA, V. L. M. M.; ALMEIDA, M. M. **Caracterização e uso da mucilagem do sisal (*Agave sisalana*) na adsorção de gasolina em leito diferencial**. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza/CE, 2016.

LIMA, L. M. R. **Avaliação de contaminantes orgânicos presentes em efluentes aquosos mediante leito fixo de biomassa em escala ampliada**. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, UFCG. Campina Grande, PB, 2010.

MEDEIROS, K. M. S., **Estudo da Capacidade Adsorptiva de Algas “Arribadas” Utilizando um Sistema de Adsorção em Leito Diferencial para Purificação de Corpos Aquáticos**, Trabalho de Conclusão de Curso, Química Industrial, UEPB, Campina Grande, PB, maio 2017.

MILHOMEM, K. P. **Estudo do bagaço de cevada e da palha de milho como materiais adsorventes alternativos para remoção do agrotóxico carbaril de meio aquoso contaminado**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Goiás, Catalão, GO, 2018.

MOREIRA, D. R, **DESENVOLVIMENTO DE ADSORVENTES NATURAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE GALVANOPLASTIA**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S.C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Imprensa Universitária, Fortaleza, CE, 255 p., 2014.

OLIVEIRA, E. D. C, **REMOÇÃO DE GASOLINA EM CORPOS D'ÁGUA UTILIZANDO SISAL (*Agave sisalana*) COMO ADSORVENTE EM SISTEMA DE ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

PEREIRA, R. S. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. IPH, UFRGS, v. 1, n. 1, p. 20-36, 2014.

PERIN, P.; PIVA, J. D.; BARROS, S. T. D.; SANTOS, O. A. A. **Remoção do corante reativo azul pela adsorção em carvão ativado**. Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR, 2006.

RUTHVEN, D. M. Principles of adsorption and adsorption process. **United States of America: Wiley – Interscience Publication**, p. 1–13, 221–270, 1984.

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H.; **Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos.** Química Nova, v. 30, n. 2, 327-331, 2007.

SANTOS, M. S. R. **Estudo de pré-tratamentos de palha e sabugo de milho visando a produção de etanol 2G.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Centro de Tecnologia. Maceió, AL, 74 p., 2014.

SILVA, A. T, **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de Pinus elliottii como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SOUZA, R. S.; LIMA, L. M. R.; SILVA; V. L. M. M. Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos - REMAP*, v. 6, p. 123-126, 2011.

SUZUKI, M. **Adsorption Engineering.** Chemical engineering monographs, vol. 25. Japan: Kodansha, 1990.

XING, W.; NGO, H. H.; KIM, S. H. Adsorption and bioadsorption of granular activated carbon (GAC) for dissolved organic carbon (DOC) removal in wastewater. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 18, p. 8674–8678, 2008.