



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCEG
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO – CDSA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E
BIOPROCESSOS – UAEB
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E
BIOPROCESSOS

EDGLEIGA DAISE ALVES FEITOZA

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA CASCA DE PALMA
FORRAGEIRA SECA EM ESTUFA PARA REMOÇÃO DE GASOLINA
CONTIDA EM ÁGUAS DE DESCARTE, UTILIZANDO O PROCESSO
DE ADSORÇÃO

SUMÉ – PB

2018

EDGLEIGA DAISE ALVES FEITOSA

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA CASCA DE PALMA FORRAGEIRA SECA EM ESTUFA PARA REMOÇÃO DE GASOLINA CONTIDA EM ÁGUA DE DESCARTE, UTILIZANDO O PROCESSO DE ADSORÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Biotecnologia e Bioprocessos.

Orientadora: Profª Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.

Sumé – PB
2018

S586e

Feitosa, Edgleiga Daise Alves..

Estudo da utilização da biomassa casca de palma forrageira seca em estufa para remoção de gasolina contida em águas de descarte, utilizando o processo de adsorção. / Edgleiga Daise Alves Feitosa Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

37 f.

Orientadora: Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

1. Biotecnologia e Bioprocessos. 2. Biomassa. 3. Processo de Adsorção. I. Título.

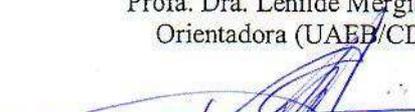
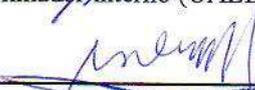
CDU: 628 (043.1)

EDGLEIGA DAISE ALVES FEITOZA DA SILVA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA CASCA DE PALMA FORRAGEIRA
SECA EM ESTUFA PARA REMOÇÃO DE GASOLINA CONTIDA EM ÁGUAS DE
DESCARTE, UTILIZANDO O PROCESSO DE ADSORÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

BANCA EXAMINADORA:

 _____ Prof. Dra. Lenilde Mergia Ribeiro Lima Orientadora (UAEB/CDSA/UFCG)	Nota (9,5)
 _____ Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro Examinador interno (UAEB/CDSA/UFCG)	Nota (9,5)
 _____ Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros Examinador externo (UATEC/CDSA/UFCG)	Nota (9,5)

Nota Final (Média)

Nota (9,5)

Aprovado em: 21 de Março de 2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Evaneide Alves Feitoza e Damião Francisco da
Silva**, à minha **vozinha Inês Alves da Silva** e meu irmão
Edgleidson Alves Feitoza.
Sem vocês nada teria sentindo.

Com amor, dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, sabedoria, força e coragem para prosseguir, e por me guiar e proteger em todo esse caminho.

À Prof^a. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima, pela orientação, paciência e apoio na execução dos experimentos, pelos conhecimentos adquiridos, por toda dedicação para desenvolvimento do trabalho.

À equipe de adsorção da UFCG/CDSA, Laedson Cavalcante, Joanny Bandeira, Rainy de Sousa e Jonnas Paulo.

Aos professores da UFCG/CDSA, por todos os ensinamentos que foram muito importantes para minha formação acadêmica e desenvolvimento desta monografia.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de poder participar de programas de incentivo à pesquisa.

À professora Dra. Adriana Meira Vital, coordenadora do Laboratório de Solos I do CDSA, pela disponibilização do espaço para realização do experimento e ao técnico Danilson Silva, por toda atenção dada ao desenvolvimento das atividades experimentais.

Aos meus pais, Evaneide Alves Feitoza e Damião Francisco da Silva, por todo amor, paciência, compreensão, carinho, esforço e dedicação, para que eu chegasse até aqui, sou grata a Deus por tê-los em minha vida.

Agradeço à minha vizinha Inês, que me deu forças para enfrentar os obstáculos da vida com determinação, caráter e dignidade.

À minha tia Erleide Alves Feitosa, por ser uma tia com o papel de mãe, sempre me apoiando no fosse preciso.

Ao meu irmão Edgleidson, amigo João Albino e amigas Merilane Rodrigues e Inácia Bernardino, por todo apoio e incentivo e por saber que pude e posso contar com a ajuda de vocês pra vida.

Às minhas amigas de graduação com quem pude compartilhar os melhores e piores momentos durante a graduação, Isabela Campos, Rosilândia Almeida, Vanessa de Oliveira, Joanny Bandeira e Jessika Bandeira. Levarei a amizade de vocês por toda a vida.

Às minhas amigas irmãs Jessica Santos, Chirlaine Eloisa, Josiele Fernandes e Leilha Souto e amigos Jackson Nobrega, Tony Banderas que mesmo distantes sempre fizeram parte da minha vida, por me permitirem saber o real sentido da palavra amizade.

A todos, meu muito Obrigado!

EPÍGRAFE

*Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.*

Charles Chaplin.

RESUMO

Alterações na qualidade da água podem acarretar sérios problemas, tanto para o desenvolvimento socioeconômico quanto para a saúde dos organismos que dela dependem. O derramamento de combustíveis é um dos acidentes mais recorrentes, oferecendo sérios riscos de contaminação às fontes de água, pela presença de hidrocarbonetos. A adsorção vem se destacando como processo alternativo eficiente e econômico na remoção de contaminantes em soluções de líquidos e gases. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo estudar eficiência adsorptiva da biomassa da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) utilizando sua casca, submetida à secagem convectiva artificial, como adsorvente para a remoção da gasolina em corpos d'água. Na metodologia experimental adotada para obtenção da biomassa a partir da palma na forma particulada, o material é submetido ao processo de secagem convectiva em estufa a temperatura constante de 50 °C. No estudo da cinética foram avaliados tempos de 5 a 60 minutos, com intervalos de 5 minutos para cada experimento, e no equilíbrio, diferentes concentrações de contaminantes variando de 5 a 60%, com taxa de variação de 5% para cada ensaio. Na cinética de adsorção o processo foi rápido, com eficiência maior no tempo de 35 minutos, mantendo-se constante entre 35 e 55 minutos. No equilíbrio, a capacidade máxima de adsorção foi de 10,32 g.g⁻¹. Conforme os resultados a casca da palma, submetida à secagem em estufa a 50 °C, apresenta eficiência no processo de adsorção do composto gasolina.

PALAVRAS-CHAVE: Água. Descontaminação. Adsorção. Palma Forrageira.

ABSTRACT

Changes in water quality can pose serious problems for both socioeconomic development and health of organisms that depend on it. Spill of fuels is one of the most recurrent accidents, offering serious risks of contamination to water sources, due to presence of hydrocarbons. Adsorption has been highlighted as an efficient and economical alternative process in removal of contaminants in solutions of liquids and gases. In this sense, objective of this work was to study adsorptive efficiency of cactus pear forage biomass (*Opuntia ficus indica*) using its bark, submitted to artificial convective drying, as adsorbent for removal of gasoline in water bodies. In the experimental methodology adopted to obtain biomass from cactus pear forage in particulate form, material is submitted to convective drying process in an oven at a constant temperature of 50 °C. In kinetics study, time from 5 to 60 minutes, with intervals of 5 minutes for each experiment, was evaluated, and at equilibrium, different concentrations of contaminants varying from 5 to 60%, with a variation rate of 5% for each test. In adsorption kinetics process was fast, with greater efficiency in time of 35 minutes, remaining constant between 35 and 55 minutes. At equilibrium, maximum adsorption capacity was 10.32 g.g⁻¹. According to results, bark of cactus pear forage, submitted to drying at 50 °C, presents an efficiency in process of adsorption of compound gasoline.

Keywords: Water. Decontamination. Adsorption. Cactus pear forage.

LISTA DE FIGURAS E TABELA

Figura 1 – Classificação dos Hidrocarbonetos.....	7
Figura 2 – Estrutura química dos BTEX.....	8
Figura 3 – Processo adsortivo.....	9
Figura 4 – Tipos de isothermas.....	11
Figura 5 – Cultivar de <i>Opuntia ficus indica</i>	15
Figura 6 – Cascas de palma forrageira secas em estufa a 50°C.....	16
Figura 7 – Forma particulada da palma forrageira.....	17
Figura 8 – Erlenmeyers com a mistura água/gasolina.....	17
Figura 9 – Erlenmeyer contendo a mistura água, óleo e biomassa sob agitação em mesa vibratória a 130 rpm.....	18
Figura 10 – Aferição do volume de gasolina.....	18
Figura 11 – Cinética da palma sem casca, seca em estufa, para o sistema biomassa palma forrageira/gasolina.....	20
Figura 12 – Isoterma de adsorção da gasolina em palma sem casca seca em estufa, com ajuste do modelo de Langmuir.....	21
Tabela 1 – Valores de concentração de água e gasolina.....	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Micrograma por litro
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno
C	Carbono
$-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Grupo etil
$-\text{CH}_3$	Grupo metil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
g	Grama
H	Hidrogênio
kJ	Quilojoules
$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	Quilojoules por mol
$\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$	Litro por miligrama
$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	Miligrama por grama
$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Miligrama por litro
mL	Mililitro
mm	Milímetros
°C	Graus Celsius
PB	Paraíba
pH	Potencial de hidrogênio
rpm	Rotação por minuto
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 CONTAMINAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA	4
3.2 PETRÓLEO	5
3.3 GASOLINA	6
3.4 HIDROCARBONETOS	7
3.5 ADSORÇÃO	9
3.5.1 Isotermas de Adsorção	10
3.5.2 Isotermas de Langmuir	12
3.6 SEMIÁRIDO NORDESTINO	13
3.6.1 Palma Forrageira (<i>Opuntia ficus indica</i>)	14
3.6.1.1 Palma Redonda (<i>Opuntia ficus indica</i>)	15
4 MATERIAIS E METODOLOGIA	16
4.1 PREPARAÇÃO DA BIOMASSA	16
4.2 CINÉTICA DE ADSORÇÃO	17
4.3 ESTUDO DO EQUILÍBRIO	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO	20
5.2 EQUILÍBRIO NA ADSORÇÃO	21
6 CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

Água é um recurso natural essencial para a manutenção de todas as formas de vida no planeta. Alterações em seus parâmetros qualitativo e quantitativo podem acarretar em sérias adversidades, tanto para o desenvolvimento socioeconômico quanto à sanidade dos organismos que dela dependem (SILVA *et al.*, 2010).

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) estima que o Brasil possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição natural desse recurso não é equilibrada pois, em média, cerca de $260.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de água escoam pelo território brasileiro. Apesar da abundância, cerca de 80% desse total encontra-se na região Amazônica.

A escassez da água é um problema mundial, em que a preocupação não é somente em encontrar novas fontes, mas sim na preservação e reaproveitamento desse recurso limitado no planeta. O uso racional e o reaproveitamento da água ganha, cada vez mais, atenção entre os pesquisadores, ambientalistas, governantes e da sociedade, acarretando em leis mais rígidas e punições severas para o descarte de efluentes e contaminações provenientes de derramamentos de poluentes tóxicos no ambiente (MIORANZA, 2015).

A crescente industrialização no Brasil a partir da década de 1970, devido ao grande desenvolvimento econômico, causou aumento no consumo de derivados de petróleo, tornando propícia a contaminação de solos e fontes de águas por hidrocarbonetos (PORTO, 2014). Nesse contexto a indústria de petróleo é tida como grande fonte de poluição por gerar diversos efluentes desde a etapa de perfuração de um poço até as refinarias (BORGES, 2017).

As indústrias de petróleo lidam diariamente com problemas decorrentes de vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte, e operações de armazenamento do petróleo e seus derivados (CORSEUIL; MARINS, 1997). O derramamento de combustíveis é um dos acidentes mais recorrentes, oferecendo sérios riscos de contaminação às fontes de água, nas quais estão presentes hidrocarbonetos aromáticos, que são compostos muito tóxicos e voláteis e, desta forma, oferecem sérios riscos à saúde humana, além contaminar o meio ambiente (BENETT, 2017).

Diante disso, diversas técnicas físicas, químicas e biológicas, vêm sendo desenvolvidas para a remoção ou a degradação *in situ* ou *ex situ* de petróleo derramado e para a redução de seus efeitos sobre o ecossistema, especialmente os tóxicos (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010). Dentre estas técnicas, a adsorção surge como uma das que pode ser utilizada

em diversas situações, sendo caracterizada como um processo de transferência de massa, em que uma ou mais substâncias, chamadas de adsorbato, presentes em uma corrente gasosa ou líquida é transferida de forma seletiva para a superfície de um sólido poroso (adsorvente), gerando baixo volume de resíduos, fácil recuperação do adsorbato e possível reutilização do adsorvente (ALVES, 2007).

Devido à necessidade da utilização de tecnologias econômicas para controle de impacto ambiental, a adsorção vem se destacando como processo alternativo eficiente na remoção de contaminantes em soluções de líquidos e gases, sendo muito empregada na remoção de poluentes, recuperação de solventes ou de produtos de alto valor agregado. Outro fator importante a ser considerado é que a aplicação desta técnica requer baixo consumo de energia (GUELFÍ; SCHEER, 2007).

Nesse sentido alternativas mais baratas e eficazes devem ser priorizadas, para isso necessita-se que o adsorvente seja de natureza abundante e fácil obtenção. Materiais naturais ou determinados resíduos de operação industrial ou agrícola são algumas fontes de adsorventes de baixo custo (COELHO *et al.*, 2014).

Segundo Drumond *et al.* (2008), o nordeste brasileiro caracteriza-se pelo clima semiárido, pois 70% de seu território é tomado por esse clima e sua vegetação, com clima seco e quente. A vegetação predominante no clima semiárido é a caatinga, que tem sua composição formada por plantas lenhosas e herbáceas de pequeno porte, cactáceas, bromeliáceas e xerófilas resistentes ao clima seco e baixa umidade (CAMPOS *et al.*, 2017).

A palma forrageira tem grande capacidade de produção de fitomassa nas condições climáticas de regiões semiáridas, apresentando características de adaptação ao clima e boa produtividade (MARQUES *et al.*, 2017).

De acordo com Lima *et al.* (2016), por ser de fácil obtenção na região, além de resistente aos períodos de estiagem, a utilização da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) apresenta-se como alternativa de biomassa atrativa para aplicação na descontaminação de águas contaminadas por hidrocarbonados.

Diante do exposto, este trabalho propõe analisar a eficiência adsorvente da casca da palma forrageira obtida por secagem convectiva à temperatura constante, como adsorvente para remoção de contaminantes da gasolina presentes em corpos d'água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a eficiência adsortiva da biomassa palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) utilizando sua casca, obtida a partir de secagem convectiva em temperatura constante, para remoção de compostos de gasolina presentes em corpos d'água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter a biomassa a partir da casca de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) por meio da secagem convectiva em estufa, a 50 °C, e posterior pulverização para a obtenção da granulometria adequada.
- Obter as curvas cinéticas para a caracterização da dinâmica de adsorção entre o adsorvente casca da palma forrageira e a mistura água/gasolina.
- Analisar a eficiência adsortiva da casca de palma, quando colocada em contato com a mistura água/gasolina, por meio das isotermas obtidas a partir dos parâmetros de equilíbrio.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONTAMINAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA

A importância da água não está relacionada apenas às suas funções na natureza, mas ao papel que exerce na saúde, economia e qualidade de vida humana. Nesse sentido sua qualidade é aspecto fundamental quando se trata da sua principal utilidade, em especial, atividades com fins de abastecimento humano. Os ambientes aquáticos são utilizados em todo o mundo com distintas finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento de água (doméstico e industrial), a geração de energia, a irrigação, a navegação, pesca, a aquicultura, a harmonia paisagística, preservação da fauna e da flora, criação de espécies, entre outras (SOUZA *et al.*, 2014).

Segundo Silva (2010), a poluição aquática resulta da introdução de resíduos no corpo d'água, na forma de matéria ou energia, que venha a alterar as suas propriedades, prejudicando espécies de animais ou vegetais que dela dependem ou tenham contato, além de provocar modificações em suas características físico-químicas, violando o equilíbrio dos ecossistemas, destruindo sua capacidade de auto regulação e renovação, causando assim desequilíbrio ecológico no planeta.

De acordo com Pinto (2008), atividades decorrentes da indústria do petróleo envolvem as etapas de exploração, perfuração, produção, transporte, refino, distribuição e consumo. Todas têm potenciais para causar uma série de impactos ao meio ambiente, tais como aumento antropogênico do efeito estufa e como consequência o aquecimento global, poluição atmosférica, as chuvas ácidas, degradação e contaminação das águas e dos lençóis freáticos, além da contribuição para a perda de biodiversidade, degradação da paisagem e desestruturação de ecossistemas.

No Brasil, a exploração e produção de petróleo são realizadas em bacias terrestres e marítimas, sendo o transporte e distribuição do mesmo realizado por dutos, embarcações, trens e caminhões, o que aumenta os riscos de derramamento. O rompimento de tubovias, acidentes com caminhões tanques, vagões, embarcações, vazamento de tanques de armazenamentos em refinarias, bases e postos de serviços automotivos podem liberar quantidades significativas de petróleo e seus derivados (SCHINEIDER, 2005).

Devido à escassez e à poluição de águas superficiais, águas subterrâneas têm se tornado fonte alternativa para o consumo humano, entretanto o custo de tratamento a níveis de

potabilidade é elevado (SILVA *et al.*, 2002). O derramamento de gasolina é uma das principais causas da contaminação de aquíferos que são utilizados para o abastecimento humano. Dessa forma, é um fator preocupante, pois águas subterrâneas são intensamente exploradas no Brasil. Após atingir a água subterrânea, os contaminantes derivados do petróleo são transportados como fase dissolvida e podem atingir os rios e as captações, por meio de poços rasos e profundos (SILVA *et al.*, 2010).

A alta mobilidade desses compostos nos sistemas água-solo favorece a contaminação das águas subterrâneas, com extrema dificuldade de recuperação subterrânea. Dessa forma, os compostos monoaromáticos do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno), encontrados nos combustíveis automotivos podem estar presentes dissolvidos na água subterrânea e podem restringir seu uso abastecimento público quando há instalações de postos combustíveis que apresentam contaminações (LIMA *et al.*, 2017).

A Resolução CONAMA 396/2008 determina valores de referência para prevenção e investigação dos contaminantes no solo e água subterrâneas (COSTA; NUNES; CORSEUIL, 2009).

De acordo com a Portaria N°518 do Ministério da Saúde, os BTEX são compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana podendo afetar o sistema nervoso central e causar leucemia em uma exposição crônica (COSTA; CORSEUIL; WENDT, 2006).

3.2 PETRÓLEO

No Brasil, o petróleo tem um papel preponderante e sua utilização como fonte de energia apresenta-se como a mais importante, porém tem conquistado seu espaço na economia, caracterizando-se como matéria-prima e/ou constituinte dos inúmeros produtos fabricados a partir de seus compostos derivados, tais como parafinas, tintas, resinas e solventes (OLIVEIRA, 2015).

Entretanto, a utilização do petróleo não apresenta apenas aspectos positivos, visto que ele possui alto potencial de impacto ambiental negativo, resultante de sua exploração e produção industrial, sendo capaz de causar a morte de animais e plantas, além de comprometer a qualidade do solo, do ar e das águas (MARTINS *et al.*, 2015).

O petróleo é proveniente da decomposição de restos de animais e vegetais que sofrem transformações físico-químicas ao longo de milhares de anos, e outras condições, tais como a presença de microrganismos, altas temperaturas e pressões. Depois de formado, migra da rocha

na qual foi gerado, sob ação de pressões, até uma rochosa permeável adjacente, que se cercada por uma rocha impermeável, aprisiona-o em seu interior e, a partir desse processo, o petróleo é extraído (BORGES, 2017).

A composição do petróleo é compreendida em termos das proporções de hidrocarbonetos saturados, hidrocarbonetos aromáticos e não-hidrocarbonetos. Contendo cerca de 350 hidrocarbonetos, 200 compostos de enxofre, além de diversos não-hidrocarbonetos. Em termos elementares, o petróleo é composto essencialmente por carbono (80 a 90% em peso), hidrogênio (10 a 15%), enxofre (até 5%), oxigênio (até 4%), nitrogênio (até 2%) e traços de outros elementos como níquel e vanádio (GEOLOGIA...,2018).

3.3 GASOLINA

De acordo com Pinto (2012), as gasolinas são utilizadas nos motores dos mais diferentes tipos de veículos, entre os quais pode-se citar os automóveis, motocicletas, caminhões, aviões. Esses motores a explosão, apresentam potências diferentes e exigem diferentes qualidades de gasolina. O Brasil comercializa três tipos de gasolina para automóveis caracterizadas como gasolina comum, aditivada e *Premium*.

Gasolina é um combustível derivado do petróleo constituído por hidrocarbonetos, alcanos de cadeia linear e cicloalcanos, formada por cadeias carbônicas com normalmente 4 a 12 átomos de carbono (ALMEIDA, 2015). Apresenta pontos de ebulição entre 35 e 220 °C, próprios para utilização em motores de combustão interna. Por força da legislação brasileira, a gasolina automotiva pode ser incorporada de álcool etílico (BORSATO *et al.*, 2009).

Segundo Mioranza (2015), a gasolina apresenta em sua composição uma mistura complexa de hidrocarbonetos hidrofóbicos voláteis, classificados como alifáticos (butano, pentano, hexano, octano) e aromáticos, conhecidos como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros de xileno).

A gasolina é líquida, volátil e inflamável. Além dos hidrocarbonetos e dos oxigenados, também podem estar presentes compostos de enxofre e nitrogênio, que são substâncias tóxicas à saúde humana, atuando como depressores do sistema nervoso central, causando distúrbios de fala, visão, audição, controle dos músculos e tumores cerebrais, podendo levar à morte (PORTO, 2014).

Com o objetivo de aumentar a octanagem dos motores e diminuir a emissão de monóxido de carbono, foram adicionados à gasolina brasileira compostos de etanol e metil terc-

butil-éter, porém em casos de derramamento ou vazamento, essa mistura promove aumento no impacto negativo no ambiente devido ao comportamento de cossolvência do etanol (ALMEIDA, 2015).

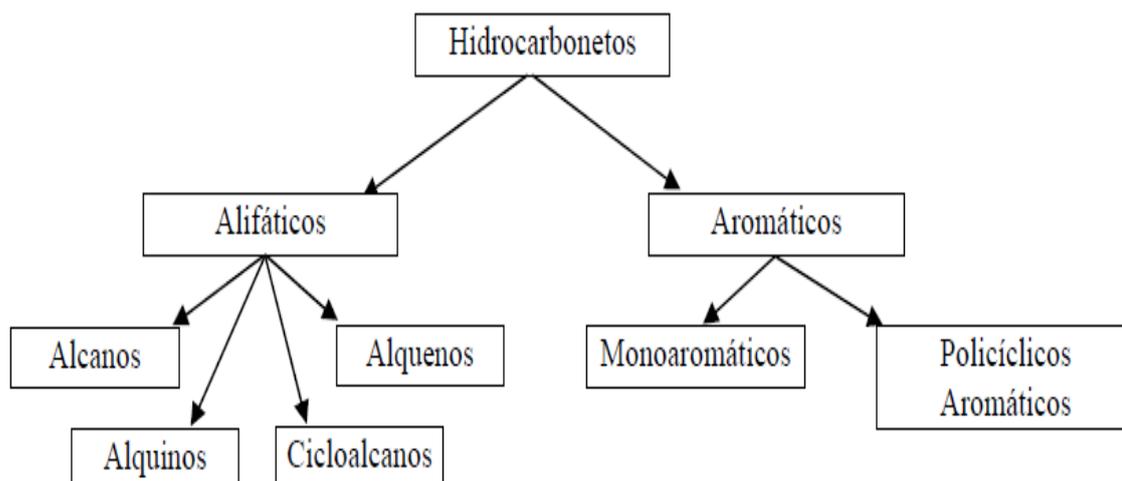
O Brasil é o país que adiciona a maior quantidade de etanol à gasolina, variando entre 20 e 26%. Essa adição de etanol modifica a gasolina promovendo aumento na solubilidade e mobilidades dos hidrocarbonetos aromáticos. Em contato com o etanol, o xileno e etilbenzeno apresentam polaridade alta, diminuindo o grau de volatilização dos hidrocarbonetos (BENETTI, 2017).

Especificações da gasolina automotiva são estabelecidas pelo governo federal por meio da Agência Nacional do Petróleo (ANP). A PETROBRAS produz a gasolina automotiva cumprindo estas especificações. A portaria que especifica a gasolina automotiva é a ANP nº 309, de 27/12/2001. Nesta portaria são definidas as especificações das gasolinas comum e premium (CULTIVAR..., 2018).

3.4 HIDROCARBONETOS

Os hidrocarbonetos são formados por átomos de carbono e hidrogênio configurados em diferentes formas estruturais, divididos em dois grupos, os alifáticos e os aromáticos (Figura 1).

Figura 1 – Classificação dos Hidrocarbonetos.



Fonte: SCHNEIDER, 2005.

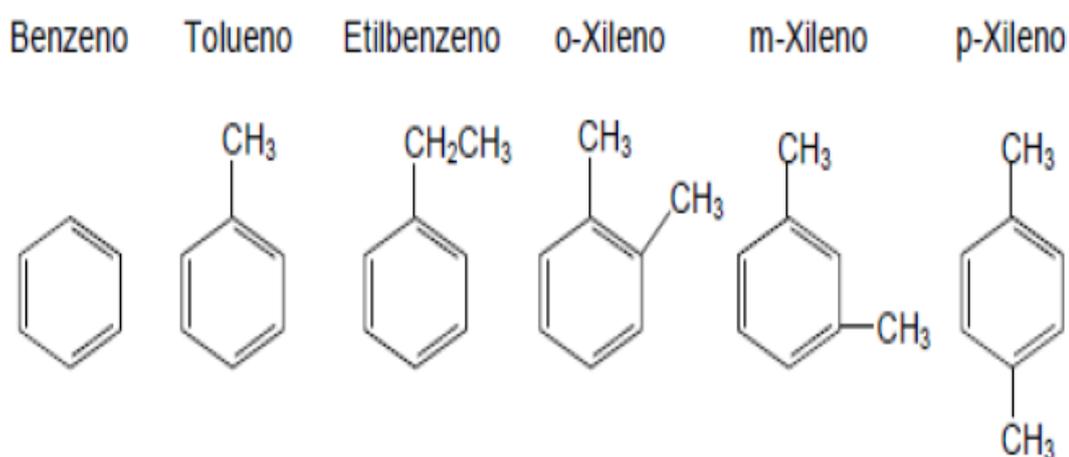
Os hidrocarbonetos saturados são compostos de C e H unidos por ligações simples, incluindo os alcanos normais, isoalcanos e os cicloalcanos. Hidrocarbonetos aromáticos

apresentam o anel aromático (benzeno), podendo apresentar mais de um anel. E por fim, os não-hidrocarbonetos que além do carbono e hidrogênio, contém outros elementos como nitrogênio, enxofre e oxigênio (ALMEIDA, 2015).

Hidrocarbonetos aromáticos apresentam em sua estrutura o anel benzênico diferente dos alifáticos, os monoaromáticos, tais como benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno (BTEX), encontrados em petróleo e gasolina (BEZERRA, 2017).

Conforme representado na Figura 2, os hidrocarbonetos classificados no grupo dos Compostos Orgânicos Voláteis (COV), estão arranjados em um anel aromático composto de carbonos e hidrogênios, em que o hidrogênio do anel benzênico pode conter uma ramificação do grupo metil ($-CH_3$) formando o tolueno, ou etil ($-CH_2-CH_3$) formando xileno e etilbenzeno (AZEVEDO, 2017).

Figura 2 – Estrutura química dos BTEX.



Fonte: ALMEIDA, 2015.

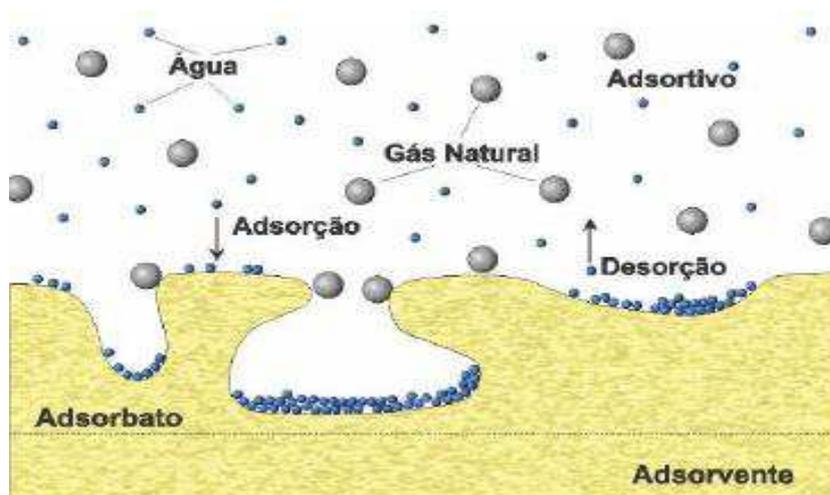
Os compostos BTEX possuem utilização diversificada em processos industriais, como na produção de borrachas, tintas, plásticos, *nylon*, pesticidas, solventes na produção de resinas e óleos. Estes elementos são capazes de induzir efeitos genotóxicos e mutagênicos. A portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 determina que as concentrações máximas de BTEX permitidas são $5\mu\text{g.L}^{-1}$ para o benzeno, $170\mu\text{g.L}^{-1}$ para o tolueno, $200\mu\text{g.L}^{-1}$ para o etilbenzeno e para xilenos $300\mu\text{g.L}^{-1}$ (ALMEIDA, 2015).

A gasolina, obtida do petróleo, tem sido uma preocupação atualmente devido ao impacto causado no meio ambiente quando ocorre algum derramamento em cursos d'água. Por isso, algumas técnicas de descontaminação têm sido utilizadas para reduzir esta contaminação. Dentre estas, a adsorção se destaca por ser um processo eficiente e de baixo custo.

3.5 ADSORÇÃO

Segundo Araújo (2016), adsorção é um processo de transferência de um ou mais constituintes (adsorbatos) e uma fase fluida (adsorvido) para a superfície de uma fase sólida (adsorvente), em que as moléculas presentes na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas não compensadas nas superfícies do adsorvente. A Figura 3 ilustra o processo de adsorção (CARVALHO, 2016).

Figura 3 – Processo adsorativo.



Fonte: CARVALHO, 2016.

Existem dois tipos principais de adsorção. O processo químico de adsorção é específico, ocorrendo efetiva troca de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida, conduzindo à formação de um composto químico de superfície ou complexo de adsorção. Visto que na adsorção química ligações são quebradas e formadas, o calor de adsorção é da mesma ordem de grandeza dos calores de reação química variando em alguns quilojoules até 400KJ (ALMEIDA, 2015).

Na adsorção física ocorre atração das moléculas na fase fluida com a superfície sólida, envolvendo fenômenos de condensação ou atração por forças de *van der Waals*. As moléculas do fluido aderem à superfície do adsorvente sólido estabelecendo um equilíbrio entre o fluido adsorvido e o fluido restante. Neste tipo de adsorção nenhuma ligação é quebrada ou feita, logo a natureza química do adsorbato é inalterada (FERNANDES, 2005). É um processo reversível, não específico, que ocorre normalmente com a deposição de mais de uma camada de adsorbato. A energia de ligação apresenta um valor entálpico médio de $20 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ e o processo pode ser desfeito, devido à estabilidade do adsorvente (SILVA, 2010).

A eficiência do processo adsorptivo é influenciada por alguns fatores, tais como características do adsorvente, incluindo: área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Em relação à natureza do adsorbato, depende da polaridade, tamanho da molécula, solubilidade e acidez. E, por fim, as condições operacionais, incluindo temperatura, pH e natureza do solvente (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A cinética de adsorção permite definir o tempo necessário para chegar-se ao equilíbrio entre o adsorbato e o adsorvente e a velocidade em que ocorre a remoção do contaminante. Velocidade em função do tempo de equilíbrio pode ser mais rápida ou mais lenta, conforme alteração nos parâmetros operacionais, tais como tamanho de partícula, agitação, temperatura e pH (MIORANZA, 2015).

O equilíbrio de adsorção é atingido quando o adsorbato é adsorvido na superfície do adsorvente, ocorrendo equilíbrio de distribuição definido termodinamicamente, em uma temperatura constante. Quando isto acontece, consideram-se igualadas as velocidades de adsorção e dessorção do soluto na superfície sólida, indicando a eficiência de adsorção específica (OLIVEIRA, 2015).

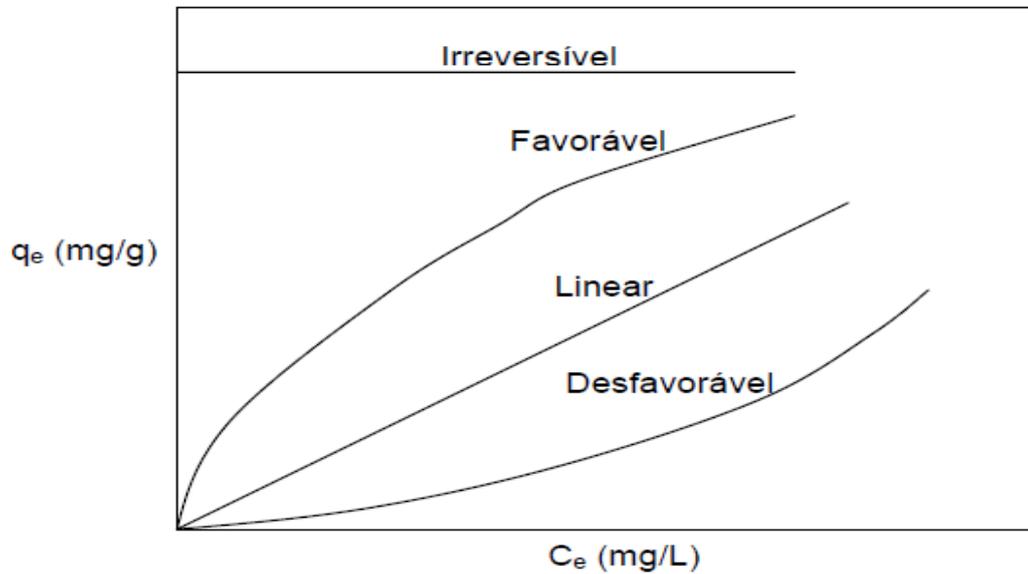
3.5.1 Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção determinam a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura, expressando a quantidade adsorvida por quantidade de adsorvente em função da concentração de adsorbato em solução (FONTANA, 2016).

Dessa forma é possível estimar a quantidade de adsorvente e concentração inicial de adsorbato, avaliando a capacidade de adsorção de uma molécula específica, informação esta de aspecto relevante para selecionar um adsorvente eficiente para o processo de adsorção.

Os gráficos das isotermas podem apresentar-se de várias formas, fornecendo informação importante sobre o modelo matemático que o representa. A Figura 4 descreve esse comportamento típico de algumas dessas isotermas.

Figura 4 – Tipos de isothermas.



Fonte: ALVES, 2007.

Na isoterma linear q_e representa a quantidade de massa de adsorbato retida por unidade de massa do adsorvente é proporcional à concentração de equilíbrio representada por C_e do adsorbato na fase fluida. Na isoterma favorável a massa de adsorbato retida por unidade de massa do adsorvente é alta, para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorbato na fase fluida. No caso da irreversível, a massa de adsorbato retida no adsorvente independe da concentração de equilíbrio do adsorbato na fase fluida. Na isoterma desfavorável, a massa retida de adsorbato no adsorvente é baixa mesmo em alta concentração de adsorbato na fase fluida (ALVES, 2007).

Conforme Nascimento *et al.* (2014), para obter as isothermas é necessário adicionar um determinado volume (V) de soluções com concentração inicial (C_o) diferente e conhecida. Quando o equilíbrio for atingido, tem-se a concentração final de soluto na solução em equilíbrio (C_e), em gramas ou mols por litro de solução, e q em massa ou mols de adsorbato, por unidade de massa de adsorvente. Dessa forma é possível obter o gráfico de q versus C_e de acordo com a equação 1.

$$q = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

q: capacidade de adsorção (mg.g^{-1})

C_0 : concentração inicial do adsorbato (g.L^{-1})

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio (g.L^{-1})

V: volume da solução (L)

m: massa do adsorvente (g)

3.5.2 Isotermas de Langmuir

Segundo Lima (2012), isoterma de Langmuir é o modelo mais conhecido e mais amplamente aplicado para determinação do equilíbrio. Foi desenvolvido em 1916 para adsorção de gases em superfícies sólidas a partir da pressão gasosa aplicada e caracteriza uma adsorção em monocamada.

O modelo de Langmuir assume que nas superfícies homogêneas todos os sítios ativos têm igual afinidade pelo adsorbato; portanto, a adsorção de um sítio não afetaria a adsorção do sítio adjacente a este, onde um número fixo de lugares ficaria disponível na superfície do adsorvente, todos com a mesma energia, e assim a adsorção é reversível. O modelo foi desenvolvido para representar a adsorção em monocamada a partir das seguintes considerações (FONTANA, 2016):

- Cada sítio ativo da superfície só pode acomodar uma entidade adsorvida.
- Entidades adsorvidas não têm mobilidade.
- Adsorção máxima corresponde à saturação da monocamada de moléculas de adsorbato na superfície do adsorvente.
- Adsorção é energeticamente idêntica em todos os centros ativos.

A equação de Langmuir para um sistema sólido-líquido é normalmente definida como (OLIVEIRA, 2015):

$$q_e = \frac{q_m \cdot k_L \cdot C_e}{1 + k_L \cdot C_e} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

q_e = quantidade de adsorbato por massa de adsorvente (mg.g^{-1}) no equilíbrio

C_e = concentração de adsorbato na solução no equilíbrio (mg.L^{-1})

K_L = quantidade de soluto adsorvida por unidade de massa do adsorvente formando uma monocamada completa na superfície (L.mg^{-1})

q_m = capacidade máxima de adsorção ou a capacidade de cobertura do adsorbato em uma monocamada (g.g^{-1}).

3.6 SEMIÁRIDO NORDESTINO

O semiárido nordestino brasileiro apresenta características climáticas específicas responsáveis pela variação dos elementos que compõem suas paisagens. Ao clima estão relacionados a vegetação e os processos de formação do relevo, temperaturas acima dos 20°C em médias anuais, precipitações em torno de 280 a 800 mm e *déficit* hídrico, com solos pouco profundos (ARAÚJO, 2011).

O Nordeste representa 18,3% do território brasileiro, formado por nove estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, em que o Semiárido corresponde a 53% da área, com aproximadamente 47 milhões de habitantes, dos quais 17 milhões vivem na região semiárida (FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO, 2018).

A Caatinga é o ecossistema predominante e restrita ao território nacional, região cuja flora é composta por árvores e arbustos caracterizados pela rusticidade, tolerância e adaptação às condições climáticas da região. O nome “Caatinga” é de origem tupiguarani e significa “floresta branca”, o que caracteriza bem o aspecto da vegetação na estação seca (CORREIA *et al.*, 2018).

A economia é caracterizada por atividades pastoris, predominando a criação extensiva de bovino e de pequenos ruminantes (caprinos e ovinos), o cultivo de espécies resistentes à estiagem, como o algodão e a carnaúba nas áreas mais secas, produção de grãos (milho e feijão), e em áreas mais úmidas a cultura da mandioca (FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO, 2018).

Nesse contexto, a palma forrageira faz parte do cenário nordestino, constituindo base para alimentação de rebanhos da região. Apresenta resistência à seca e boa adaptabilidade, o que possibilitou sua ampla difusão no semiárido brasileiro, aspectos estes de importância econômica e social na região (FROTA *et al.*, 2015).

3.6.1 Palma Forrageira (*Opuntia ficus*)

A palma forrageira é uma cactácea originária do México, cultivada com sucesso, apresentando altos rendimentos e baixa demanda de energia nas regiões áridas e semiáridas do Brasil, Estados Unidos, México, África do Sul, desde o século XX, introduzida no Brasil em 1880, no estado do Pernambuco, por meio de raquetes provenientes do Texas, EUA (ROCHA, 2012).

Inicialmente cultivada para servir de suporte à criação da cochonilha do carmim, para produção do corante carmim. Atualmente estima-se que na região nordeste do Brasileiro existam cerca de 400 a 600 mil hectares de palma forrageira plantadas, concentrados nos estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Rio Grande do Norte e Bahia (SILVA *et al.*, 2014). Nesta região são encontradas três tipos principais de palma: a gigante (da espécie *Opuntia ficus indica*), redonda (*Opuntia sp*) e a miúda (*Nopalea cochenilifera*) (ROCHA, 2012).

A instabilidade climática limita as atividades agropecuárias no nordeste, acarretando em um estancamento das produções, redução da disponibilidade de forragens em períodos secos e, conseqüentemente, impactos negativos na economia de produção animal (ROCHA, 2012).

A palma apresenta tolerância aos períodos de estiagem e às temperaturas diurnas elevadas, com elevada eficiência no uso da água, fatores estes que contribuem para manutenção dos rebanhos nordestinos (SILVA *et al.*, 2014).

Neste sentido, a palma forrageira apresenta-se como fonte essencial de suplementação alimentar dos rebanhos, compondo a dieta dos ruminantes no período de estiagem, principalmente no sertão de Alagoas e nos agrestes de Pernambuco e da Paraíba, também sendo utilizada para obtenção de frutos e verdura para consumo humano (ROCHA, 2012).

As palmas são ricas em vitaminas A, do complexo B e C, em minerais como cálcio, magnésio, sódio e potássio, e em 17 tipos de aminoácidos. Seu valor nutritivo é maior que alimentos como a couve, a beterraba e a banana, além de ser um produto mais econômico. Contudo sua utilização na alimentação humana esbarra no preconceito (SILVA; SAMPAIO, 2015).

3.6.1.1 Palma Redonda (*Opuntia ficus indica*)

A palma redonda, é uma cultivar de *Opuntia ficus indica* (Figura 5), originada da palma gigante. Suas plantas apresentam porte médio e caule muito ramificado lateralmente, reduzindo assim o crescimento vertical. Sua raquete pesa cerca de 1,8 kg, possuindo quase 40 cm de comprimento, de forma arredondada e ovoide, produzindo grandes rendimentos de um material mais tenro e palatável que a palma gigante (SILVA; SAMPAIO, 2015). Porém, é altamente suscetível à praga Cochonilha do Carmim. As variedades gigante e redonda apresentam, em média, teores de matéria seca, proteína bruta, fibra bruta e digestibilidade *in vitro* da matéria seca de 10,48; 4,72; 9,96 e 74,66%, respectivamente, necessárias para produção de leite e porcentagens de gorduras (PAULINO, 2013).

Figura 5 – Cultivar de *Opuntia ficus indica*.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos foi utilizado como contaminante orgânico a gasolina, obtida de postos de combustíveis no município de Sumé-PB, localizada no Cariri Paraibano. Como adsorvente foi utilizada a casca da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) casca na forma particulada. A solução gasolina/água foi simulada como efluente contaminado.

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Câmpus de Sumé-PB, nos Laboratórios de Química Orgânica e de Solos no período de 27 de Fevereiro a 09 de Março de 2018. Os procedimentos experimentais foram baseados na metodologia de LIMA *et al.* (2014), que utilizou o mandacaru (*Cereus jamacaru*) na forma particulada para remoção da mistura gasolina/óleo diesel por meio do processo de adsorção.

4.1 PREPARAÇÃO DA BIOMASSA

As raquetes da palma foram coletadas no plantio da própria Universidade no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido. Em seguida, foi retirada toda a casca, a qual foi colocada para secar em estufa em temperatura constante de 50°C por um período de 96 horas, tempo necessário para secagem uniforme do material, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Cascas de palma forrageira secas em estufa a 50°C.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Para obtenção da palma na sua forma particulada, as cascas secas foram submetidas à cominuição para forma de pó, utilizando-se moinho de facas, obtendo partículas com diâmetro na faixa de 1 a 2 mm, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Forma particulada da palma forrageira.



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

4.2 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

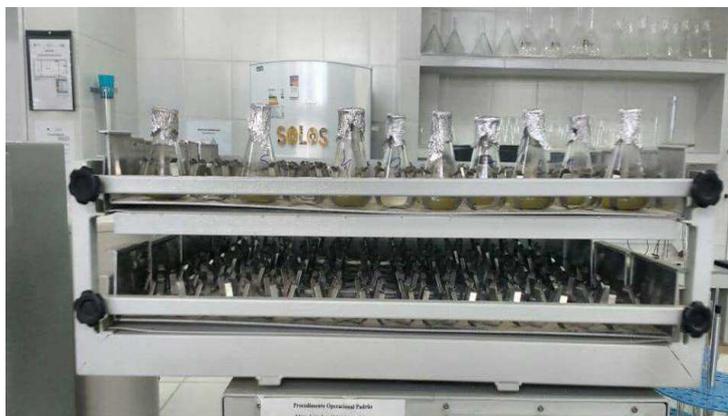
Para obtenção das curvas cinéticas foram preparados 12 frascos Erlenmeyer com capacidade para 125 mL, contendo quantidades fixas de água e gasolina, sendo 40 mL de água e 12 mL de gasolina (Figura 8) e colocados em uma mesa vibratória, sob agitação de 130 rpm (Figura 9), com variação de tempo de 5 a 60 minutos. Foi adicionado 1,2g da biomassa palma na sua forma particulada em todos os frascos Erlenmeyer, com intervalo de 5 minutos para cada frasco.

Figura 8 – Erlenmeyers com a mistura água/gasolina.



FONTE: Dados da pesquisa, 2018.

Figura 9 – Erlenmeyer contendo a mistura água, gasolina e biomassa, sob agitação em mesa vibratória a 130 rpm.



FONTE: Dados da pesquisa, 2018.

Ao término da agitação, as amostras foram submetidas à filtração em peneira comum, para remoção da biomassa, de maneira que a casca da palma particulada ficava retida na peneira e a mistura líquida escoava para o béquer. Em seguida, com o auxílio de provetas, realizou-se a aferição volumétrica das amostras ao final do tempo de contato entre o adsorbato e o adsorvente e, assim, determinou-se o volume de gasolina adsorvida, conforme mostrado na Figura 10. Por fim, as massas do adsorvente foram pesadas em balança analítica.

Figura 10 – Aferição do volume de gasolina.



FONTE: Dados da pesquisa, 2018.

4.3 ESTUDO DO EQUILÍBRIO

No estudo do equilíbrio, foram utilizados 12 frascos Erlenmeyer, nos quais foram adicionadas quantidades fixas de 1,2g da biomassa e uma solução de água e gasolina, com a

concentração de gasolina variando de 5 a 60%, com variação de 5% para cada frasco, de forma atingir um volume total de 52 mL. A medição da solução gasolina/água foi feita utilizando provetas. Após o preparo, os Erlenmeyers foram submetidos à mesa vibratória, com uma rotação de 130 rpm, por tempo de 60 minutos. Ao final do tempo de agitação, as amostras foram filtradas com auxílio de uma peneira comum. Utilizando provetas de 100 mL, seus volumes foram aferidos, e suas massas foram determinadas em balança analítica.

Todos os experimentos foram realizados em triplicata nos Laboratórios de Química Orgânica e de Solos (cedido pela Profa. Dra. Adriana Meira Vital), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Câmpus de Sumé.

A Tabela 1 apresenta os valores de volume de gasolina e de água utilizados no experimento de equilíbrio.

Tabela 1 – Valores de concentração de água e gasolina.

Concentração de Gasolina (%)	Volume de Gasolina (mL)	Volume de Água (mL)
5	2,6	49,4
10	5,2	46,8
15	7,8	44,2
20	10,4	41,6
25	13,0	39,0
30	15,6	36,4
35	18,2	33,8
40	20,8	31,2
45	23,4	28,6
50	26,0	26,0
55	28,6	23,4
60	31,2	20,8

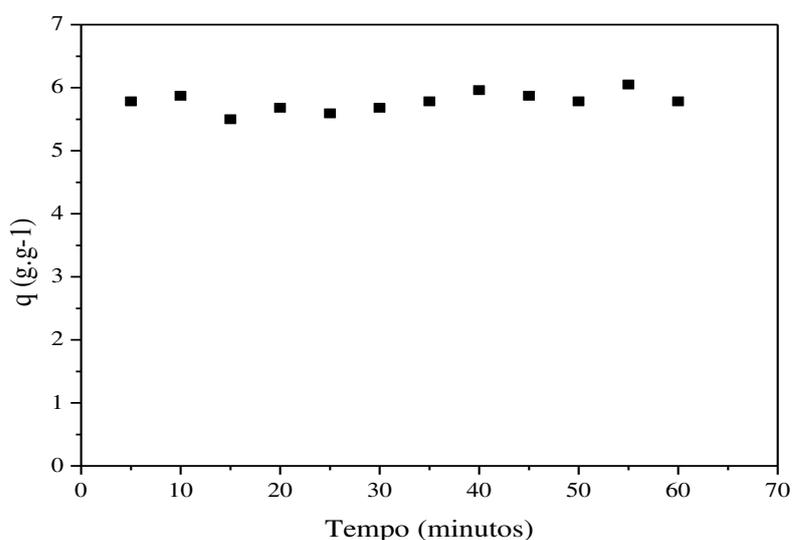
FONTE: Dados da pesquisa, 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A curva obtida referente à cinética de adsorção relacionando a quantidade adsorvida de contaminante por gramas de biomassa está apresentada na Figura 11.

Figura 11 – Cinética da palma sem casca, seca em estufa, para o sistema biomassa palma forrageira/gasolina.



Analisando a Figura 11, é possível identificar que a cinética de adsorção da gasolina por meio da biomassa foi rápida, com valores próximo dos 05 minutos até os 60 minutos de contato após a adição da adsorvente na solução. Pode-se observar que o processo adsorativo manteve uma remoção constante do poluente. Após esse tempo de contato, observam-se as seguintes concentrações: no tempo de 15 minutos, 5,5 g.g⁻¹ como a menor concentração obtida, e no tempo de 55 minutos, 6,05 g.g⁻¹ como menor concentração.

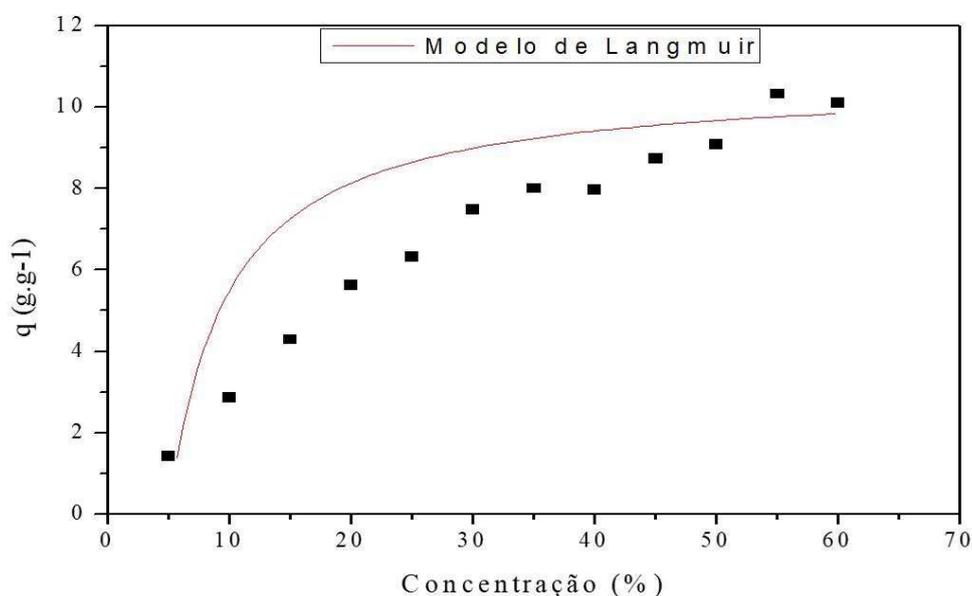
Dessa forma, a casca da palma forrageira como adsorvente apresenta potencial de adsorção com maior remoção do poluente a partir do tempo de 35 minutos, havendo uma boa redução na concentração do mesmo presente na solução.

Conforme os resultados observados, comparando com Cavalcante (2017), houve uma melhor redução da concentração do poluente na solução utilizando a casca (*Opuntia ficus indica*) por secagem em estufa à temperatura constante de 50°C, apresentando melhor eficiência em relação à casca da palma quando seca à temperatura ambiente.

5.2 EQUILÍBRIO NA ADSORÇÃO

Na Figura 12 estão apresentados os resultados obtidos para a obtenção da isoterma de equilíbrio, a partir da análise da água contaminada com gasolina, variando a concentração do contaminante de 5 a 60%, em contato com a palma forrageira. O modelo de Langmuir foi ajustado aos resultados obtidos, para avaliação da capacidade de adsorção da biomassa.

Figura 12 – Isotherma de adsorção da gasolina em palma sem casca seca em estufa, com ajuste do modelo de Langmuir.



Conforme a Figura 12, a capacidade máxima de adsorção (q) da gasolina foi de aproximadamente 10,32 g por grama de biomassa da palma forrageira para concentração de 55%. Com a menor concentração (5%), foi possível remover 1,43 g.g⁻¹. A partir dos resultados obtidos, comparando-se com Cavalcante (2017), que obteve capacidade máxima de adsorção de 7,04 g.g⁻¹, pode-se considerar que houve melhor eficiência na capacidade de adsorção da biomassa da casca da palma forrageira quando submetida à secagem convectiva artificial.

O modelo de isoterma de Langmuir apresentou perfil semelhante àquele obtido nos experimentos com a casca da palma forrageira.

6 CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos, pode-se concluir que a casca da palma forrageira é considerada um adsorvente satisfatório para remoção de compostos de gasolina em corpos d'água, apresentando-se como alternativa eficiente no processo de adsorção, sustentável, economicamente viável e de fácil acessibilidade.

A secagem da biomassa casca de palma forrageira em estufa a 50 °C mostrou-se eficaz, visto que houve um aumento da quantidade de contaminante removido.

A cinética de adsorção foi bastante rápida, com início nos primeiros 05 minutos de contato entre a mistura água/gasolina e a biomassa (adsorvente), ocorrendo remoção do contaminante de modo constante.

O equilíbrio de adsorção foi obtido com valores significativos de remoção do contaminante (10,32 g.g⁻¹).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. C. **Estudo do Tratamento Sequencial (Adsorção e Eletro-Oxidação) para Remediação de Efluente Sintético Contaminado com BTX**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN, 2015.
- ALVES, A. C. M. **Avaliação da Tratamento de Efluentes Líquidos Contendo Cobre e Chumbo por Adsorção em Carvão Ativado**. Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL, Junho 2007.
- ANA. **Informe: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR). Brasília - DF, 2017.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de Solos Contaminados Por Petróleo e Seus Derivados. **Ecl. Quím.**, São Paulo, 35 - 3: 17 - 43, 2010.
- ARAÚJO, N. K. C. **Estudo da Eficiência dos Adsorventes de Al_2O_3 e Fe. Al_2O_3 para Remoção de BTX Presente em Água Contaminada com Gasolina**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Rio Grande do Norte. Natal - RN, 2016.
- ARAÚJO, S. M. S. A Região Semiárida Do Nordeste Do Brasil: Questões Ambientais E Possibilidades De Uso Sustentável Dos Recursos. **Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE** ano 5 n. 5 dezembro de 2011.
- AZEVEDO, T. G. C. **Estudo da Contaminação do Solo e Da Água Subterrânea em Área de Posto de Revenda de Combustíveis Através da Difusão de Hidrocarbonetos Btex e Hpa**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte. Natal - RN, Junho de 2017.
- BENETT, C. N. **Estudo da Degradação de Águas Contaminadas Artificialmente Por Gasolina Comum Via Sistema Fenton e Foto-Fenton**. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2017.
- BEZERRA, J. K. A. **Remoção de Benzeno e Tolueno em Solução Aquosa por Adsorção Utilizando Carvão Ativado Produzido a Partir de Lodo Doméstico**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.
- BORGES, B.B. G. **Tratamento da Água Produzida do Petróleo para Injeção em Mananciais**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Petróleo – CEP/CT/UFRN 2017.
- BORSATO, D.; MOREIRA, I.; NOBREGA, M. M.; MOREIRA, M. B.; et al. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Identificação de Gasolinas Adulteradas Comercializadas na Região De Londrina – Paraná. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 9, 2328-2332, 2009.
- CAMPOS, F. S.; GOIS, G. C.; VICENTE, S. L. A.; MACEDO, A.; et al. Alternativa de Forragem Para Caprinos e Ovinos Criados no Semiárido. **Nutritime Revista Eletrônica**, on-line, Viçosa, v.14, n.2, p.5004-5013, ISSN: 1983-9006, mar./ abr. 2017.

CARVALHO, P. C. A. P. **Tratamento Combinado da Água Produzida de Petróleo: Filtração, Adsorção e Foto-Fenton.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

CAVALCANTE, L. E. **Avaliação do Processo de Adsorção de Contaminantes Orgânicos em Água, Utilizando Casca da Palma Forrageira (*Opuntia Ficus*) Como Biomassa para sua Remoção.** Monografia (Graduação), Campina Grande – Paraíba, 2017.

COELHO, G. F.; JR, A. C. G.; SOUSA, R. F.B.; SCHWANTES, D.; et al. Uso De Técnicas De Adsorção Utilizando Resíduos Agroindustriais Na Remoção De Contaminantes Em Águas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.291-317, 2014.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S.B.; CUNHA, T. J. F.; et al. **A região semiárida brasileira.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54762/1/01-A-regiao-semiarida-brasileira.pdf-18-12-2011.pdf>. Acesso em: 15 de Fevereiro de 2018.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação De Águas Subterrâneas Por Derramamentos De Gasolina: O Problema É Grave?, **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.2, n.2, p.50-54, 1997.

COSTA, A. H. R.; CORSEUIL, H. X.; WENDT, M. F. **Biorremediação Com Injeção de Nitrato de Águas Subterrâneas Contaminadas por Vazamento de Gasolina.** XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006.

COSTA, A. H. R.; NUNES, C. C.; CORSEUIL, H. X. **Biorremediação de águas subterrâneas impactadas por gasolina e etanol com o uso de nitrato.** Eng Sanit Ambient. v.14 n.2, 265-274, abr/jun 2009.

CULTIVAR. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/tudo-sobre-gasolina>. Acesso em: janeiro de 2018.

DRUMOND, M. A.; PIRES, I. E.; OLIVEIRA, V. R.; OLIVEIRA, A. R.; et al. Produção e Distribuição de Biomassa de Espécies Arbóreas no Semi-Árido Brasileiro. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.665-669, 2008.

FERNANDES, R. **Adsorventes Alternativos para Remoção de Fenol em Solução Aquosa.** Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, p. 78, 2005.

FONTANA, J. F. **Modificação Superficial de Adsorventes para a Adsorção de Dibenzotiofeno Presente em Óleo Lubrificante.** Tese de Doutorado (Engenharia Química), 168P – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, 2016.

FROTA, M. N.L.; CARNEIRO, M. S. S.; CARVALHO, G. M. C.; NETO, R. B. A. **Palma Forrageira na Alimentação Animal.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Meio-Norte Teresina, PI -2015.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. **SEMI-ÁRIDO: Proposta de Convivência com a Seca.** Disponível em: http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&id=659&Itemid=376. Acesso em: 15 de Fevereiro de 2018.

GEOLOGIA DO PETRÓLEO. PGT - **Petroleum Geoscience Technology.** Disponível em: https://albertowj.files.wordpress.com/2010/03/geologia_do_petroleo.pdf. Acessado em 12 de Fevereiro de 2018.

GUELFY, L. R.; SCHEER, A.P. **Estudo de Adsorção para Purificação e Separação de Misturas na Indústria Petrolífera.** Curitiba Fevereiro, 2007.

LIMA, L. M. R.; COSTA, K. J. B.; OLIVEIRA, E. D. C.; OLIVEIRA, E. K. G.; et al. Utilização do mandacaru (*Cereus jamacaru*) como biomassa adsorvente de gasolina presente em corpos d'água, **X Encontro Brasileiro sobre Adsorção**, Guarujá – SP, 2014.

LIMA, L. M. R.; TAVARES, D.; OLIVEIRA, F. J. C.; SILVA, J. L. B. C.; et al. **Avaliação do poder adsorvente da palma forrageira (*Opuntia ficus*) para remoção de contaminantes hidrogenocarbonados em águas de descarte.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza- CE, 2016.

LIMA, R. R. C. **Estudo Do Equilíbrio e Cinética de Adsorção de um Corante Aniônica e m Quitosana.** Dissertação de Mestrado (Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN, 2012.

LIMA, S. D.; OLIVEIRA, A.F.; GOLIN, R.; CAIXETA, D. S.; et al. Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Rev. Ambient. Água** vol. 12 n. 2 Taubaté – Mar. / Apr. 2017.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; et al. Palma Forrageira: Cultivo E Utilização Na Alimentação De Bovinos. **Cad. Ciênc. Agra.**, v. 9, n. 1, p. 75-93, ISSN 2447-6218, 2017.

MARTINS, S. S. S.; SILVA, M. P; AZEVEDO, M. O; SILVA, V. P. **Produção de Petróleo e Impactos Ambientais:** Algumas Considerações. HOLOS, Ano 31, Vol. 6. 2015.

MIORANZA, D. T. **Remoção de Gasolina Sintética de Corpos Hídricos Utilizando Carvão Ativado como Adsorvente.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis- SC, 2015.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; et al **Adsorção:** Aspectos teóricos e aplicações ambientais. 256 p. Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, L. H. **Tratamento de Água Produzida Contaminada com Óleo Diesel Utilizando Adsorventes Funcionalizados.** Tese de Doutorado (Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis- SC, 2015.

PAULINO, J. R. L. **Palma Forrageira Na Alimentação De Ruminantes No Semiárido – Revisão.** Universidade Federal da Paraíba, Abril de 2013.

PINTO, V. D. A. **Gasolina:** Uma Proposta Temática Para Estudo do Petróleo no Ensino de Química. Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, 2012.

PINTO, T. A. **Gasolina, Gás Natural e Etanol:** Comparação dos Principais Impactos Ambientais da Produção ao Consumo Final. Trabalho de Conclusão de Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, 2008.

PORTO, D. C. **Investigação da Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas Por Óleo Combustível:** Estudo de Caso em Riberão Preto (Sp) - Empresa Viação Garcia. Trabalho De Conclusão De Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

ROCHA, J. E. da S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil:** Estado da Arte, Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 40 p.: il. — (Documentos / Embrapa Caprinos e Ovinos, ISSN 1676-7659; 106), 2012.

SCHNEIDER, M. R. **Intemperismo de Fontes de Contaminação em Aquíferos Impactados por Derramamentos de Gasolina e Álcool e a Influência Sobre o Risco à Saúde Humana.** Tese de Doutorado (Engenharia Ambiental). Florianópolis - SC, Junho de 2005.

SILVA, L. M. da S.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio, **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.2064-2071, nov, 2014.

SILVA, M. L. R.; FAZZIO, A. L.; FREIRE, C. C.; FERREIRA, I. V. L. **Postos de Combustíveis e Contaminação das Águas Subterrâneas:** Aspectos Legais. IV Congresso de Engenharia, Ciência e Tecnologia, 2002.

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

SILVA, R. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Palmas Forrageiras *Opuntia Ficus-Indica* e *Nopalea Cochenillifera*: Sistemas de Produção e Usos. **Revista GEAMA**, Recife, v.1, n.2, mês – setembro - 2015.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E.B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, v.8, n.1, p. 26-45, Fortaleza, Brasil, ISSN: 1982-5528, abr. 2014.

SILVA, W. M.; ALVES, F. R.; BATISTA, A. S. S.; SILVA, D. D. **Análise de Adsorventes Naturais Empregados na Remoção de Metais Pesados para o Tratamento de Efluentes.** III WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Campina Grande – PB, 2017. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/revistas/aguanosemiarido/trabalhos/TRABALHO_EV079_MD4_SA8_ID238_28082017015900.pdf. Acesso em: 19 de Fevereiro de 2018.