



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E
BIOPROCESSOS
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS**

JOANNY LAYS BANDEIRA CRUZ DA SILVA

AVALIAÇÃO DO PODER ADSORTIVO DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) PARA USO NA REMOÇÃO DE GASOLINA COMUM EM CORPOS D'ÁGUA

SUMÉ-PB

2017

JOANNY LAYS BANDEIRA CRUZ DA SILVA

AVALIAÇÃO DO PODER ADSORTIVO DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) PARA USO NA REMOÇÃO DE GASOLINA COMUM EM CORPOS D'ÁGUA

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) ao curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

Orientadora: Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima

SUMÉ-PB

2017

S586a Silva, Joanny Lays Bandeira Cruz da.
Avaliação do poder adsorptivo da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) para uso da remoção de gasolina comum em corpos D'água. / Joanny Lays Bandeira Cruz da Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2017.

38 f.

Orientadora: Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.

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

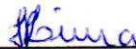
1. Biotecnologia - Bioprocessos. 2. Palma forrageira. 3. Descontaminação da água. I. Título.

CDU: 628.19(043.1)

JOANNY LAYS BANDEIRA CRUZ DA SILVA

AVALIAÇÃO DO PODER ADSORTIVO DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) PARA USO NA REMOÇÃO DE GASOLINA COMUM EM CORPOS D'ÁGUA

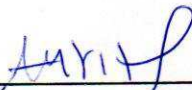
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima
Orientadora - UAEB/CDSA/UFCG



Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro
Examinador - UAEB/CDSA/UFCG



Profa. Dra. Adriana de Fátima Meira Vital
Examinadora - UATEC/CDSA/UFCG

Aprovado em: 20 de Setembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Lindinar M^a Bandeira e
Marinaldo Cruz da Silva.**

Devo tudo a vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por sempre guiar meus passos.

À minha orientadora, Profa. Dra. LenildeMérgia Ribeiro Lima, por toda orientação dada no decorrer do experimento, pelo empenho dedicado a este trabalho, pelas suas correções e incentivo.

À equipe de adsorção da UFCG/CDSA, Alysson Henrique, Camila Rafaela, Débora Tavares, Edgleiga Feitosa, Fagner Oliveira, Jayane Karine, Laedson Cavalcante, Rebeca Albino e Thalita Neves.

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

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.

Aos meus pais, Lindinar Maria Bandeira e Marinaldo Cruz da Silva, por todo amor, educação e esforço para que eu chegasse até aqui. Agradeço por toda dedicação e carinho, os quais jamais poderei retribuir, ainda que dedicasse minha vida inteira a isso.

Agradeço à minha mãe, que me tornou um ser humano íntegro para enfrentar os obstáculos da vida com coragem, caráter e dignidade.

Aos meus avós maternos e paternos, pelas orações e por todo apoio.

À minha irmã Jéssika Lorena que, direta e indiretamente, contribuiu para minha formação.

Às minhas grandes amigas, Amanda Káren e Laryssa Valentim, por sempre estarem presentes, mesmo que distantes, trazendo alegrias nos momentos difíceis. O tempo passa, a distância separa, mas os grandes amigos ficam.

Às minhas amigas Edgleiga Feitosa, Izabela Campos, Rosilândia Almeida e Vanessa de Oliveira, meninas incríveis e de uma generosidade imensa. Levarei a amizade de vocês por toda a vida. Obrigada por tudo.

À turma de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos 2011.1, por todos esses anos de convivência, por terem compartilhado comigo momentos importantes e por todo aprendizado que me foi adquirido com cada um de vocês. Nesses anos de estudo e dedicação, percebi que temos grandes dádivas: o convívio entre as pessoas, a partilha de alegrias e a troca do maior bem do mundo, o conhecimento!

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis"

José de Alencar

RESUMO

Compostos orgânicos são liberados constantemente em efluentes como resultado de diversas atividades industriais, o que tornam as águas impróprias para os diferentes usos a que se destinam. Postos de combustíveis são principais fontes de contaminação do lençol freático devido ao seu vazamento, ocasionando a contaminação tanto dos solos como da água. Métodos alternativos com a utilização de materiais com fácil acesso e de baixo custo têm sido usados para remediação desse tipo de contaminante. A adsorção é uma técnica muito utilizada para o tratamento de efluentes, por utilizar produtos naturais obtidos de subprodutos da indústria e da agricultura. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi o estudo do poder adsorptivo da biomassa da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) sem casca, material vegetal obtido da agricultura, como adsorvente para a remoção da gasolina em corpos d'água. Na metodologia utilizada nesse experimento para a obtenção da biomassa da palma na forma particulada, o material passa por um processo de secagem natural e, em seguida, cominuição à forma de pó. Fez-se o estudo da cinética e do equilíbrio, em que, na cinética de adsorção foram avaliados tempos de 5 a 60 minutos (com intervalo de 5 minutos para cada experimento) e no equilíbrio, com concentrações diferentes de contaminantes variando de 5 a 50%, com taxa de variação de 5% para cada experimento. Como resultado, pode-se observar que na cinética de adsorção, o processo foi rápido, com uma eficiência maior de adsorção no tempo 30 minutos, mantendo-se constante entre 35 e 45 minutos. No equilíbrio de adsorção o modelo de Langmuir ajustou-se bem aos dados experimentais, com capacidade máxima de adsorção de $5,94 \text{ g.g}^{-1}$. Os resultados confirmam que a palma forrageira sem casca, seca ao natural surge como uma biomassa promissora no processo de adsorção da gasolina.

PALAVRAS-CHAVE: Descontaminação. Águas residuais. Adsorção. Gasolina.

ABSTRACT

Organic compounds are released constantly in effluents as a result of various industrial activities, which make water unfit for different uses for which it is intended. Fuel stations are main sources of groundwater contamination due to their leakage, causing contamination of both soil and water. Alternative methods with use of materials with easy access and of low cost have been used for remediation of this type of contaminant. Adsorption is a technique widely used for treatment of effluents, by using natural products obtained from by-products of industry and agriculture. Therefore, objective of this work was study of adsorptive power of cactus pear forage biomass (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) without shelled, vegetal material obtained from agriculture, as adsorbent for removal of gasoline in water bodies. In methodology used in this experiment to obtain biomass of palm in the particulate form, material undergoes a natural drying process and then comminution to powder form. Kinetics and equilibrium were studied, in which adsorption kinetics were evaluated from 5 to 60 minutes (with a 5 minute interval for each experiment) and at equilibrium, with different concentrations of contaminants varying from 5 to 50 %, with a variation rate of 5% for each experiment. As a result, it can be observed that in adsorption kinetics, process was fast, with a greater adsorption efficiency in time 30 minutes, remaining constant between 35 and 45 minutes. In adsorption equilibrium, Langmuir model fitted well to experimental data, with a maximum adsorption capacity of 5.94 g.g⁻¹. Results confirm that cactus pear forage without shelled, natural drought appears as a promising biomass in gasoline adsorption process.

KEYWORDS: Decontamination. Residual waters. Adsorption. Gasoline.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática de áreas contaminadas por uma indústria desativada.....	188
Figura 2 - Representação esquemática do processo de adsorção: (a) aproximação do adsorbato ao adsorvente; (b) contato entre as moléculas do contaminante e o adsorvente (c) adsorção do adsorvente pelo adsorbato.	211
Figura 3– Plantio da palma forrageira no CDSA.	255
Figura 4 - Localização da cidade de Sumé no mapa da Paraíba.....	27
Figura 5 - Biomassa após ser submetida à secagem a céu aberto.....	288
Figura 6– Forma particulada da palma forrageira.	289
Figura 7 - Preparação dos frascos erlenmeyers com a mistura água/gasolina.....	299
Figura 8 - Frascos erlenmeyer contendo a mistura água, óleo e biomassa sob agitação em mesa vibratória a 130 rpm.	3030
Figura 9 - Aferição volumétrica de volume de gasolina remanescente em proveta.....	31
Figura 10 - Curva de cinética para adsorção de gasolina pela biomassa palma forrageira.	33
Figura 11 - Isoterma de adsorção para biomassa palma forrageira seca ao natural, ajustada ao modelo de Langmuir.....	34
Tabela 1: Valores de concentração de água e gasolina.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BTEX	Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno
CDSA	Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
g	Grama
GLP	Gás liquefeito de petróleo
Km ²	Quilometro quadrado
MAC	Metabolismo ácido das crassuláceas
mL	Mililitro
PB	Paraíba
rpm	Rotação por minuto
SACS	Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
µg.L ⁻¹	Micrograma por litro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVOGERAL.....	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 CONTAMINAÇÃO DE CORPOS D'AGUA POR HIDROCARBONETOS.....	16
3.2 ARMAZENAMENTO EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS	17
3.3 GASOLINA BRASILEIRA	19
3.4 ADSORÇÃO	20
3.4.1 Isoterma de Langmuir	22
3.4.2 Isoterma de Freundlich	23
3.5 SEMIÁRIDO NORDESTINO	24
3.6 PALMA FORRAGEIRA (<i>Opuntia ficus indica (L.)Mill</i>).....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS	27
4.2 METODOLOGIA	28
4.2.1 Obtenção da biomassa palma forrageira (<i>Opuntia ficus indica (L.)Mill</i>) na forma seca	28
4.2.2 Cinética de Adsorção	29
4.2.3 Estudo do Equilíbrio	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO	33
5.2 EQUILÍBRIO NA ADSORÇÃO	34
6 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A escassez da água é um problema mundial, em que a preocupação não está somente na descoberta de novas fontes, mas também na preservação e reaproveitamento desse recurso limitado no planeta.

As águas subterrâneas são fontes vitais para o fornecimento de água potável. São várias as atividades que têm gerado impacto no que se refere às águas subterrâneas, tais como a disposição inadequada de efluentes líquidos e os acidentes ambientais que, em muitas ocasiões, envolve o derramamento de derivados de petróleo que podem gerar uma carga de contaminação nesses efluentes (FERNANDES, 1997).

As principais fontes de contaminação do lençol freático são os postos de combustíveis, devido aos vazamentos ocorridos em tanques de armazenamento que, ao longo do tempo apresentam desgastes, corrosões e, por consequência, o derramamento de combustíveis ocorrendo a contaminação tanto do solo como das águas (MIORANZA, 2015).

Métodos alternativos que combinem a remoção de índices cada vez maiores de contaminação por substâncias tóxicas contaminantes e baixo custo têm sido estudados com mais frequência para o tratamento dos efluentes contaminados com compostos hidrogenocarbonados (CARVALHO, 2014).

O processo de adsorção destaca-se como uma técnica alternativa de grande potencial para o tratamento de efluentes, principalmente pela utilização de produtos naturais que podem ser obtidos de subprodutos da indústria e da agricultura. Muitos estudos têm comprovado a eficiência destes adsorventes para o tratamento de águas contaminadas por óleo, metais pesados e outras substâncias tóxicas (CURBELO, 2002).

A adsorção é um fenômeno no qual moléculas de um fluido concentram-se sobre a superfície de um sólido adsorvente, com ou sem ocorrência de reações químicas. (LUNA, 2007). Quando o adsorvente, sólido sobre o qual ocorre o fenômeno, entra em contato com um dado volume de um líquido contendo o soluto adsorvível, este chamado de adsorbato, a adsorção ocorre até que o equilíbrio seja alcançado, ou seja, quando o adsorbato é colocado em contato com o adsorvente, as moléculas dos íons tendem a fluir do meio aquoso para a superfície do adsorvente até que a concentração de soluto na fase líquida permaneça constante. Nesse estágio é dito que o sistema atingiu o estado de equilíbrio e a capacidade de adsorção do adsorvente é determinada. (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Um dos materiais mais utilizados no processo de adsorção é o carvão ativado; no entanto, em função do seu custo elevado e necessidade de regeneração, outros materiais vêm sendo estudados e utilizados (SILVA, 2005). Alguns adsorventes de baixo custo são resíduos de operação agrícola ou industrial que estão facilmente disponíveis em grande quantidade, o que os torna uma matéria-prima de baixo custo (COELHO et al., 2014).

As regiões, climaticamente definidas como áridas e semiáridas, representam aproximadamente 48 milhões de km², distribuídas em 2/3 dos países do mundo. Nessas áreas o fenômeno da estiagem é normal e causa sérios prejuízos ao setor agropecuário. No Brasil, a faixa territorial considerada como semiárida representa 11% do território Brasileiro e 60% da região Nordeste. Esta área é caracterizada por apresentar solos pouco profundos de média a alta fertilidade, escassez e irregularidade das chuvas, tendo como principal atividade desenvolvida a pecuária, destacando-se os rebanhos bovino, caprino e ovino, os quais são criados extensivamente alimentando-se da vegetação nativa (OLIVEIRA et al., 2010).

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) destaca-se no semiárido nordestino por apresentar um enorme potencial produtivo e múltiplas utilidades, podendo ser usada na alimentação humana, na produção de medicamentos, cosméticos e corantes, na conservação e recuperação de solos, cercas vivas, paisagismo, além de uma infinidade de usos. (LEITE, 2006). Além disso, torna-se atrativa para o processo de adsorção, visto que além de contribuir para a diminuição dos impactos ambientais causados pela contaminação de corpos d'água, é uma espécie de cultivar facilmente encontrado na região e resistente a períodos de estiagem (LIMA et al., 2016).

Sendo assim, este trabalho propôs uma alternativa para remoção da gasolina de efluentes aquosos por meio de processos adsorptivos, avaliando a eficiência da biomassa palma forrageira como adsorvente, obtida por meio da secagem natural.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência adsortiva da biomassa palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill), obtida a partir de secagem natural, quando utilizada para remoção de gasolina presente em corpos d'água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar a biomassa palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) por meio da secagem convectiva natural e posterior pulverização para a obtenção da granulometria adequada.
- Obter as curvas cinéticas para a caracterização da dinâmica de adsorção entre o adsorvente palma forrageira e a mistura água/gasolina.
- Estudar a eficiência adsortiva da palma quando colocada em contato com a mistura água/gasolina por meio das isotermas obtidas pela análise de equilíbrio.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONTAMINAÇÃO DE CORPOS D'AGUA POR HIDROCARBONETOS

A qualidade da água pode ser afetada pelas mais diversas atividades do homem, sejam essas atividades domésticas, comerciais ou industriais. Cada uma dessas atividades gera poluentes que podem causar implicações no corpo receptor (PEREIRA, 2004). Devido à contaminação por fossas sépticas, aterros sanitários, contaminação por pesticidas, fertilizantes e vazamento de Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SACS), as águas subterrâneas vêm perdendo a sua qualidade de utilização e têm se tornado uma preocupação bastante discutida no Brasil, devido à alta toxicidade de hidrocarbonetos aromáticos presentes (ANJOS, 2012).

As indústrias de petróleo lidam diariamente com problemas decorrentes de vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refino, transporte e operações de armazenamento do petróleo e seus derivados (ANALÍTICA..., 2017).

A contaminação dos corpos d'água por hidrocarbonetos pode representar um risco para os ecossistemas aquáticos e para a saúde humana. Os efeitos variam dependendo do composto. Alguns hidrocarbonetos são carcinogênicos e, portanto, podem aumentar o risco de desenvolvimento de câncer (AGSOLVE,2017).Os hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, chamados BTEX, são os componentes presentes na gasolina que possuem maior solubilidade em água e, portanto, são os primeiros contaminantes a atingirem o lençol freático (ANALÍTICA...,2017).

A Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde, estabelece os limites permitidos para os hidrocarbonetos em água potável: $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ no caso do benzeno, $170 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o tolueno, $200 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o etilbenzeno e $300 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o xileno (SILVA *et al.*, 2010).

Em função dos BTEXs serem extremamente tóxicos à saúde humana e apresentarem toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, a legislação tem se tornado cada vez mais restritiva, fazendo-se necessário o monitoramento contínuo das áreas de risco (BRITO *et al.*, 2005).

No Brasil, a implantação de postos de combustíveis tem se tornado cada vez mais rígida depois da resolução nº 273 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de novembro de 2000, a qual foi criada especificamente para postos de combustíveis, devido ao seu alto grau de periculosidade ao meio ambiente quando instalado de maneira irregular. Essa

resolução obriga os donos de postos de combustíveis a adquirirem o licenciamento ambiental para seu funcionamento (MACHADO; FERREIRA, 2017).

3.2 ARMAZENAMENTO EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Uma fonte de alto potencial de poluição ambiental é o armazenamento de combustíveis em tanques subterrâneos, comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas, o que é um aspecto preocupante, visto que estas águas são intensamente exploradas no Brasil (SILVA et al., 2010).

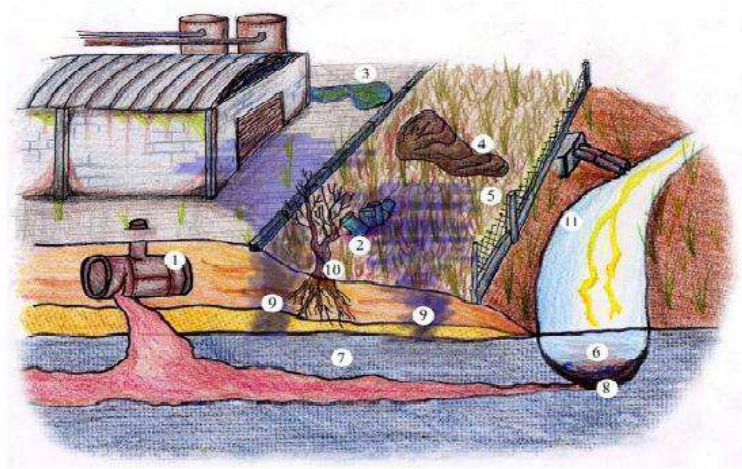
As instalações inadequadas dos produtos derivados de petróleo e o não cumprimento das normas regulamentadoras podem causar danos ao meio ambiente e à saúde pública, tornando as atividades desenvolvidas por postos de combustíveis altamente poluidoras. (MACHADO; FERREIRA, 2017).

No Brasil existem cerca de 27.000 postos de combustíveis, os quais podem provocar impacto sobre os recursos aquáticos, principalmente envolvendo água subterrânea. Em função de muitos tanques terem mais de 25 anos de uso, acredita-se que a possibilidade de ocorrerem vazamentos é extremamente grande, principalmente pelo surgimento de rachaduras ou corrosão (BRITO et al., 2005). Atualmente, no Brasil existem cerca de 41.697 postos de combustíveis distribuídos por todo o Brasil e a maior parte encontra-se no Sudeste, com 16.262 postos. (ANP... 2017).

Segundo Brito *et.al.* (2005), o número de postos que apresentam problemas varia de 20 a 30% no Brasil, sendo que na maioria dos casos só se percebem os vazamentos depois da descoberta de seus efeitos.

A Figura 1 ilustra um exemplo didático de áreas contaminadas por uma indústria desativada, em que podem-se observar os pontos potencialmente perigosos no que se refere à contaminação das águas (TROVÃO, 2002).

Figura 1 - Representação esquemática de áreas contaminadas por uma indústria desativada.



FONTE: TROVÃO, 2002.

Na Figura 1 são destacados os seguintes pontos de possível contaminação:

1. Vazamentos de tanques enterrados e sistema de tubulação.
2. Abandono de barris enferrujados, com resíduos tóxicos.
3. Percolação no solo, a partir de derramamento ou de antigos vazamentos.
4. Resíduos abandonados lançados sob o solo.

Como consequência, ainda na Figura 1, percebem-se os seguintes cenários:

5. Poluição do solo.
6. Poluição da água subterrânea.
7. Percolação de poluentes na água subterrânea em direção aos corpos d'água.
8. Deposição de metais pesados no fundo do corpo d'água.
9. Emissão de gases tóxicos.
10. Efeito na vegetação.
11. Fluxo superficial de poluentes em direção aos corpos d'água.

Segundo a resolução nº 273/2000 do CONAMA, toda instalação e sistema de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis configuram-se com empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores do meio ambiente (ANJOS, 2012). Por este motivo, a instalação, modificação, ampliação e operação de postos de abastecimentos dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente (MACHADO; FERREIRA, 2017).

O Licenciamento Ambiental é exigido desde 1997, quando foi criada a Resolução CONAMA 237. De acordo com a resolução esta resolução o Licenciamento Ambiental é subdividido em três etapas (FEITOSA; LIMA; FAGUNDES, 2004):

- Licença Prévia – É a primeira etapa do licenciamento, em que o órgão licenciador avalia a localização e a concepção do empreendimento, atestando a sua viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos para as próximas fases.
- Licença de Instalação – Autoriza o início da construção do empreendimento e a instalação dos equipamentos. A execução do projeto deve ser feita conforme o modelo apresentado. Qualquer alteração na planta ou nos sistemas instalados deve ser formalmente enviada ao órgão licenciador para avaliação
- Licença de Operação – Autoriza o funcionamento do empreendimento. Esta deve ser requerida quando a empresa estiver edificada e após a verificação da eficácia das medidas de controle ambiental estabelecidas nas condicionantes das licenças anteriores.

Toda essa legislação baseia-se nas propriedades e características dos combustíveis utilizados no país, levando-se em consideração desde sua extração até a comercialização.

3.3 GASOLINA BRASILEIRA

Nas refinarias, o petróleo é submetido a diversos processos pelos quais se obtêm grande diversidade de derivados, tais como o gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, óleo diesel, gasóleos, óleo combustível, lubrificantes, solventes, parafinas, coque de petróleo e resíduos. O principal objetivo dos processos de refino é a obtenção da maior quantidade possível de derivados de alto valor comercial, ao menor custo operacional possível, com a máxima qualidade, minimizando-se ao máximo a geração de efluentes líquidos, gasosos e resíduos sólidos (LUZ, 2009).

A gasolina é um derivado do petróleo formado por uma mistura complexa de mais de 400 hidrocarbonetos provenientes de processo de refino (CULTIVAR...,2017). Apresenta uma composição diversificada em função do seu processo de produção, das características do petróleo e dos aditivos adicionados para diminuir os efeitos ao meio ambiente, aumentar o seu desempenho e reduzir os desgastes mecânicos (ANJOS, 2012).

Alguns países do mundo começaram a utilizar combustíveis alternativos, adicionando à gasolina solventes orgânicos polares, tais como álcoois e éteres. Estas misturas proporcionaram uma economia de petróleo e também uma diminuição da poluição do ar nos grandes centros urbanos, uma vez que, em primeiro lugar, estes aditivos aumentam a

octanagem da gasolina, e o rendimento nos motores é maior do que utilizando a gasolina pura; e, em segundo lugar, a queima deste combustível alternativo tem como resíduo os aldeídos, diminuindo assim o monóxido de carbono (resíduo da queima da gasolina pura) nos grandes centros urbanos (FERNANDES, 1997).

No Brasil, por exemplo, a gasolina é aditivada com aproximadamente (20-25%) de etanol, fato que aumenta consideravelmente a probabilidade de contaminação de águas subterrâneas por BTEX. O etanol é completamente miscível em água o que faz com que, por efeito de cossolvente, aumente a solubilização e migração de BTEX (TIBURTIUS; ZAMORA; LEAL, 2003). Deste modo, as interações entre o etanol e os compostos BTEX podem causar um comportamento completamente diferente no deslocamento da pluma¹ do que aquele observado em países que utilizam gasolina pura. (CORSEUIL; MARINS, 1997).

Os três aspectos principais que podem afetar o comportamento dos hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno em sistemas subsuperficiais em presença de etanol são: a possibilidade do aumento da solubilidade dos BTEX em água, o provável aumento da mobilidade dos BTEX dissolvidos na água subterrânea e a possibilidade de que a presença do etanol possa dificultar a biodegradação natural dos BTEX, aumentando a persistência destes compostos na água subterrânea (CORSEUIL; MARINS, 1997).

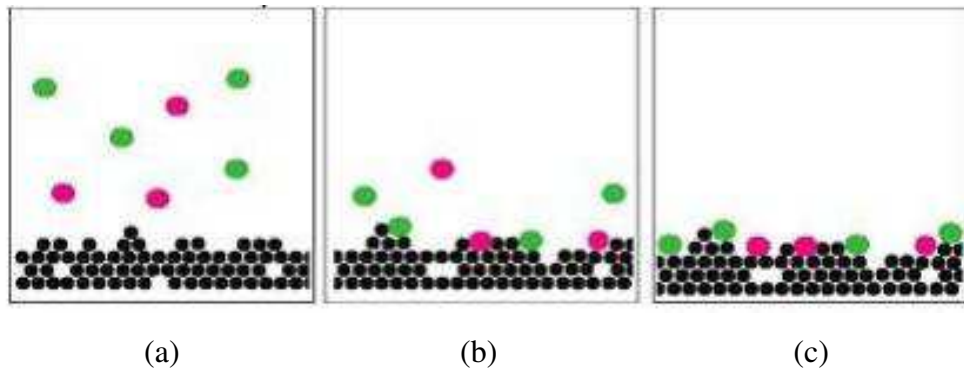
A preocupação com a contaminação de corpos d'água por substâncias hidrogenocarbonadas tem merecido atenção das pesquisas científicas, que têm desenvolvido inúmeras técnicas na tentativa de descontaminar esses meios. Dentre os principais métodos de remoção de contaminantes destaca-se a adsorção, procedimento simples e de baixo custo.

3.4 ADSORÇÃO

Segundo Oliveira (2016), a adsorção, representado na Figura 2, pode ser definida como sendo um processo no qual moléculas de um determinado material, o adsorbato, que se encontra no estado líquido ou gasoso, aderem à superfície de um material sólido, chamado de adsorvente.

¹ A pluma de contaminação é o resultado do transporte de contaminantes dissolvidos em água subterrânea. Ao encontrar uma fonte de contaminação, como um vazamento, derrame, material enterrado, ou outros; a água dissolve lentamente os compostos ali presentes e os transporta consigo.

Figura 2 - Representação esquemática do processo de adsorção: (a) aproximação do adsorbato ao adsorvente; (b) contato entre as moléculas do contaminante e o adsorvente (c) adsorção do adsorvente pelo adsorbato.



FONTE: LUNA, 2007.

Denomina-se de adsorvente, o sólido sobre o qual ocorre o fenômeno adsorptivo, ou seja, o fluido em contato com o adsorvente; e adsorbato, a(s) espécie(s) química(s) retida(s) pelo adsorvente (LUNA, 2007).

Vários são os fatores que influenciam o processo de adsorção, tais como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorbato, temperatura do sistema, natureza do solvente e pH do meio. Os processos de adsorção são resultados da combinação entre dois tipos de forças envolvidas na adsorção física ou química (NASCIMENTO et al., 2014).

A adsorção física é caracterizada por interações fracas, as interações de Van der Waals, interações dipolo-dipolo e dipolo-dipolo induzido entre as moléculas do adsorbato e do adsorvente. Na adsorção química, as interações adsorbato-adsorvente são muito mais fortes, envolvendo, muitas vezes, ligações químicas do tipo covalente. As moléculas envolvidas tendem a acomodarem-se nos sítios de modo a atingir o número de coordenação máximo com o substrato (OLIVEIRA, 2016).

A cinética de adsorção é determinada para estabelecer o tempo de contato ideal entre o adsorvente e o adsorbato, em que a influência do tempo de contato entre eles vise obter um tempo de agitação “ótimo” para o contato do adsorbato como adsorvente (ZEFERINO; FREITAS, 2013).

Para os estudos de adsorção, a avaliação do equilíbrio é fundamental para o entendimento dos processos. Os dados de equilíbrio de adsorção são importantes para determinar o quanto de adsorbato podem ficar retidos no material adsorvente (LUNA, 2007).

Em um processo de adsorção, o equilíbrio do sistema é alcançado quando não há mudanças líquidas nas concentrações do adsorbato 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 (SILVA, 2005).

Da informação obtida a partir da isoterma de adsorção, é possível estimar a quantidade total de adsorvente necessária para um determinado processo (LUNA, 2007).

A obtenção de uma isoterma de adsorção é um processo simples, em que a massa do adsorvente é adicionada a um determinado volume (V) de uma série de soluções com concentrações iniciais diferentes e conhecidas (C_0). Quando o equilíbrio de adsorção é atingido, tem-se a concentração final de soluto na solução em equilíbrio (C_e), em gramas ou mols por litro de solução) e a capacidade de adsorção do adsorvente (q , em massa ou mols de adsorbato, por unidade de massa de adsorvente), conforme descrito na Equação (1). Assim, pode-se obter um gráfico de q versus C_e (NASCIMENTO et al., 2014).

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Em que:

q = capacidade de adsorção

C_0 = concentração inicial do adsorbato

C_e = concentração do adsorbato no equilíbrio

V = volume da solução

m = massa do adsorvente

As isotermas mais frequentemente utilizadas são aquelas desenvolvidas por Langmuir e Freundlich (SILVA, 2005).

3.4.1 Isoterma de Langmuir

O modelo de isoterma de Langmuir assume que a adsorção ocorre em monocamada, em que cada sítio de adsorção só interage com uma única molécula. Além disso, parte da premissa da existência de um número definido de sítios, todos de mesma energia, e de que as moléculas do adsorbato não interagem umas com as outras. A Equação 2 descreve o modelo de Langmuir (FREIRE, 2016).

$$q_e = \frac{q_m K_a C_e}{1 + K_a C_e} \quad (2)$$

Em que:

q_e = quantidade adsorvida no equilíbrio (mg.g^{-1})

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

q_m = capacidade de adsorção máxima (mg.g^{-1})

K_a = constante da isoterma de Langmuir (L.mg^{-1})

3.4.2 Isoterma de Freundlich

O modelo de Freundlich admite que a energia de adsorção não é constante, devido à heterogeneidade da superfície. Em consequência, a velocidade do aumento do volume adsorvido (V_a) cai à medida que aumenta a pressão P de equilíbrio do gás adsorvido, quando se trata de um sistema em fase gasosa (LEAL, 2003).

O volume adsorvido é proporcional à pressão P elevado a uma potência (Equação 3).

$$V_a = k_f P^{1/n} \quad (3)$$

Na forma linearizada:

$$\log V_a = \log k_f + \frac{1}{n} \log P \quad (4)$$

Nos casos de adsorção em fase líquida a equação de Freundlich vem sendo utilizada sob uma forma semelhante, de acordo com a Equação 5:

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (5)$$

Em que:

k_f = constante que depende da temperatura e da área superficial específica do adsorbente

n = função que depende da temperatura e sempre maior que 1

q_e = quantidade adsorvida no equilíbrio (mg.g^{-1})

C_e = concentração residual do soluto na solução em equilíbrio com q_e

Linearizando, a Equação 5 pode ser escrita como:

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

Os estudos relativos à remoção de contaminantes em corpos têm se utilizado de diferentes biomassas. O termo biomassa está relacionado a toda matéria de origem vegetal, seja ela da floresta nativa ou plantada, às culturas agrícolas e seus resíduos. Quando utilizada para fins adsorptivos é denominada biomassa adsorvente, enquadrando-se também ao termo bioadsorvente, caracterizado como toda a biomassa com atividade metabólica ativa ou inativa de origem biológica. A preparação de um bioadsorvente é feita por meio de tratamentos físicos a baixo custo tais como lavagem, secagem, trituração e peneiramento (FONTES, 2014).

No caso do semiárido nordestino, há uma grande variedade de espécies de vegetação que podem ser estudadas para aplicação como adsorventes, dentre estas a palma forrageira, nos seus diferentes gêneros, estudada por Lima e Alves (2015) na remoção de óleo diesel em águas de descarte e Lima et al. (2016) para a remoção de óleo lubrificante.

3.5 SEMIÁRIDO NORDESTINO

A região semiárida do Nordeste do Brasil é caracterizada pela instabilidade climática, o que limita as atividades agropecuárias. Apresenta como fator de destaque o clima, responsável pela variação de outros elementos que compõem as paisagens. Ao clima estão adaptados a vegetação e os processos de formação do relevo; os solos são geralmente pouco desenvolvidos em função da escassez das chuvas (ARAÚJO, 2011).

Uma das principais atividades desenvolvidas na região Nordeste do Brasil é a pecuária, com destaque para os rebanhos bovinos, ovinos e caprinos que, no geral, são criados extensivamente, alimentando-se da vegetação nativa. Por este motivo, é preciso valorizar as plantas forrageiras que melhor se adaptam às suas condições climáticas. A palma forrageira aparece nesse contexto como uma alternativa de cultivo adaptada ao clima semiárido, visto ser uma cultura de mecanismo fisiológico especial no que se refere à absorção, otimizando a perda de água (OLIVEIRA et al., 2010).

Com relação ao Estado da Paraíba, a área do Semiárido é da ordem de 48.785 km² que corresponde a 86% da área do estado e comporta 170 municípios. Nos anos 90, o semiárido paraibano já tinha uma porção afetada por processos de desertificação, já eram mais de 2,8

milhões de hectares, o que correspondia a 49% da área do estado. Sua vegetação nativa tem sido bastante modificada pelo homem. Os solos vêm sofrendo um processo intenso de desertificação devido a substituição da vegetação natural por campos de cultivos e pastagens (SÁ *et al.*, 2013). Neste cenário, a palma forrageira destaca-se como planta ideal para mitigar os efeitos do baixo rendimento da pecuária no semiárido (ROCHA, 2012). A palma forrageira representa grande parte dos alimentos que compõem a dieta dos ruminantes no período de estiagem em muitas partes do semiárido no Nordeste brasileiro (LIRA *et al.*, 2016).

3.6 PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill)

A palma forrageira, ilustrada na Figura 3, foi introduzida no Brasil no final do século XIX e tem como origem o México. Sua área de cultivo no Nordeste brasileiro é de mais de 400 mil hectares, sendo a maior parte em Pernambuco e Alagoas (SANTOS *et al.*, 2011). Originalmente cultivada somente no continente Americano, encontra-se atualmente distribuída em todo o mundo, desde o Canadá até a Argentina. Da Europa, para onde foi levada em 1520, esta cactácea mexicana se espalhou a partir do mediterrâneo para a África, Ásia e Oceania (OLIVEIRA *et al.*, 2010) .

Figura 3– Plantio da palma forrageira no CDSA.



FONTE: MARTINS, 2016.

Inicialmente, a palma forrageira foi utilizada para a produção de corantes naturais "carmim", sendo aplicada como forragem somente por volta de 1915. Após a seca de 1932, por ordem do Ministério da Viação, foram plantados do Piauí até a Bahia diversos campos de

demonstração, sendo este o primeiro grande trabalho de difusão da palma no Nordeste (FIGUEIREDO; SILVA; FILHO, 2010).

A palma se consolidou no Semiárido nordestino nos mais diversos sistemas de produção pecuária; no entanto, é uma planta de enorme potencial produtivo e de múltiplas utilidades, podendo ser utilizada na alimentação humana, produção de medicamentos, cosméticos e corantes. Trata-se da espécie mais explorada e distribuída nas zonas áridas e semiáridas do mundo; contudo, sua real dimensão produtiva ainda não está plenamente conhecida no Nordeste (LEITE, 2006). Apresenta como principais atributos sua vasta disponibilidade, ausência de entressafra, resistência à seca e fácil plantio (NETO, 2009).

Por apresentar metabolismo fotossintético MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), a palma abre os estômatos para a absorção do CO₂ durante a noite, para reduzir a perda de água para o ambiente. O CO₂ absorvido é armazenado temporariamente na forma de ácido málico no vacúolo celular para posteriormente ser utilizado nas reações fotossintéticas do dia seguinte (SANTOS et al., 2011).

Dotada de mecanismos fisiológicos que a torna uma das plantas mais adaptadas às condições ecológicas das zonas áridas e semiáridas do mundo, a palma forrageira se adaptou com relativa facilidade ao semiárido do Nordeste Brasileiro; com finalidade forrageira, começou no início do século XX (ARAÚJO, 2009). Além das usuais utilizações da palma, como fonte de alimentação animal e humana, pode ser empregada em processos biotecnológicos; neste caso como substrato para a produção de enzimas, área ainda pouco explorada pela comunidade científica. (OLIVEIRA et al, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi do tipo exploratória aplicada conforme Gil (2002), visto que o tema possui grande aplicabilidade prática e visa proporcionar maior familiaridade com o problema estudado, a fim de torná-lo explícito. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases científicas disponíveis, abordando os temas de biorremediação, petróleo e gestão ambiental. Essa metodologia visou à contextualização e fundamentação científica do tema proposto, mediante a identificação dos principais autores, conceito, metodologias e resultados já obtidos.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

O contaminante utilizado no experimento foi a gasolina, obtida de postos de combustíveis do município de Sumé-PB. Como adsorvente foi utilizada a palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) na forma particulada.

O município de Sumé conforme ilustra a figura 4 tem sua área de 864 Km, representando 1,53% da área do estado e está localizada na microrregião dos Cariris. Está a 250 Km da capital João Pessoa e a 130 Km de Campina Grande. Inserida no polígono das secas, a área possui um clima do tipo semiárido quente, esse clima caracteriza-se pela insuficiência de precipitações. Sua vegetação é constituída pela caatinga xerofítica, sendo representada por bromélias e cactáceas. (PREFEITURA....2017)

Figura 4- Localização da cidade de Sumé no mapa da Paraíba



Fonte: Prefeitura Municipal de Sumé, 2017

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os experimentos foram realizados na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Câmpus de Sumé-PB, no Laboratório de Solos. O experimento foi desenvolvido no período de, 9Dezembro de 2016 (período em que a palma foi coletada e exposta ao ar) a Julho de 2017 (período dos experimentos - Cinética e Equilíbrio). A metodologia baseou-se no trabalho de Lima et al. (2014). A palma foi coletada de um plantio da própria Universidade; em seguida, foi retirada toda a casca do material para que a palma forrageira sem casca fosse exposta ao ar por um período de três dias, para que todo o líquido da palma fosse absorvido. A palma ficava exposta ao ar no período da manhã e da tarde e noite era colocada em uma área coberta para evitar o sereno da noite, e no dia seguinte exposta novamente. Após este período, o material apresentou-se conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Biomassa após ser submetida à secagem a céu aberto



FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

4.2.1 Obtenção da biomassa palma forrageira (*Opuntia tuna Mill*) na forma seca

Após a secagem, houve a preparação da biomassa de palma na forma particulada, na qual a matéria-prima foi submetida à cominuição para forma de pó, conforme a Figura 6, utilizando-se o moinho de facas para obter a granulometria na faixa entre 1 e 2 mm.

Figura 6 - Forma particulada da palma forrageira



FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

4.2.2 Cinética de Adsorção

Para o estudo da cinética foram preparados 12 frascos Erlenmeyer (Figura 7), contendo quantidades fixas de água e gasolina (40 mL de água e 12 mL de gasolina) e colocados em uma mesa vibratória, sob agitação de 130 rpm (Figura 8).

Figura 7 - Preparação dos frascos erlenmeyers com a mistura água/gasolina



FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

Figura 8- Frascos Erlenmeyer contendo a mistura água, óleo e biomassa sob agitação em mesa vibratória a 130 rpm.



FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

Foi acrescentada a mesma quantidade do adsorvente para todos os frascos (1,2 g) do adsorvente em estudo. Os tempos avaliados variaram entre 5 e 60 minutos, com intervalo de 5 minutos para cada Erlenmeyer. Após o tempo de agitação, as amostras foram filtradas em uma peneira comum, de forma que a palma (adsorvente) ficasse retida na peneira, enquanto a fase líquida escoava. Com o auxílio de provetas, foi realizada a aferição volumétrica das amostras ao final do tempo de contato entre o adsorbato e o adsorvente para, assim, determinar o volume de gasolina adsorvida, conforme mostrado na Figura 9. Ao final, foi determinada a massa do adsorvente em balança analítica.

Figura 9 - Aferição volumétrica de volume de gasolina remanescente em proveta.



FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

4.2.3 Estudo do Equilíbrio

Para o estudo do equilíbrio, ou seja, a capacidade de adsorção do adsorvente, foram utilizados 10 frascos Erlenmeyer, contendo água e gasolina com faixa de concentrações entre 5 e 50%, conforme mostrado na Tabela 1, com variação de 5% para cada frasco, mantendo a mesma quantidade do adsorvente para todos os frascos (1,2 g), sob agitação de 130 rpm, por um período de 60 minutos. Em seguida, a amostra foi filtrada com o auxílio de uma peneira e realizada a aferição volumétrica na proveta e, ao final do processo, determinada a massa do adsorvente.

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

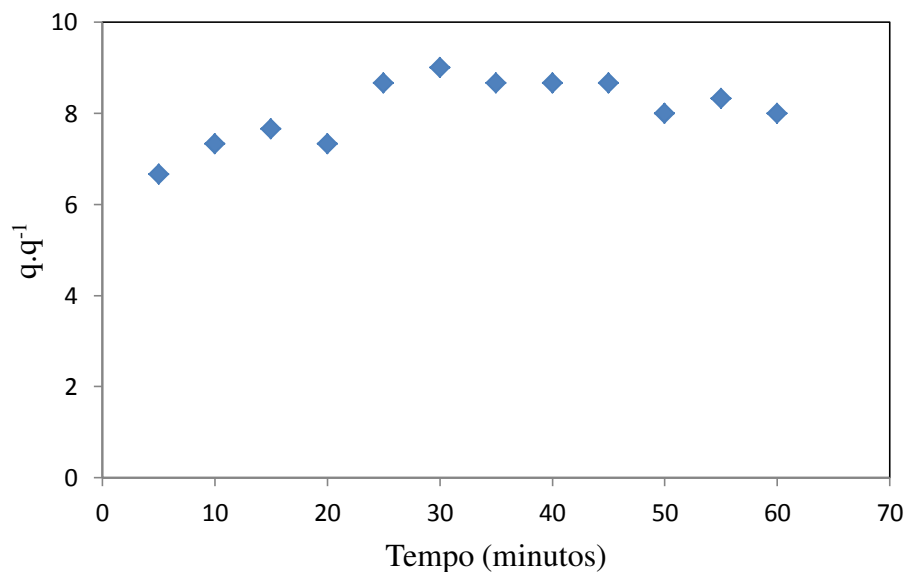
FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A partir dos dados obtidos a partir dos experimentos realizados para a cinética de adsorção, foi construída a curva referente à quantidade de gasolina adsorvida em relação ao tempo de contato e agitação, apresentada na Figura 10. A quantificação foi feita por meio de medição volumétrica em proveta graduada de 100mL.

Figura 10 - Curva de cinética para adsorção de gasolina pela biomassa palma forrageira.



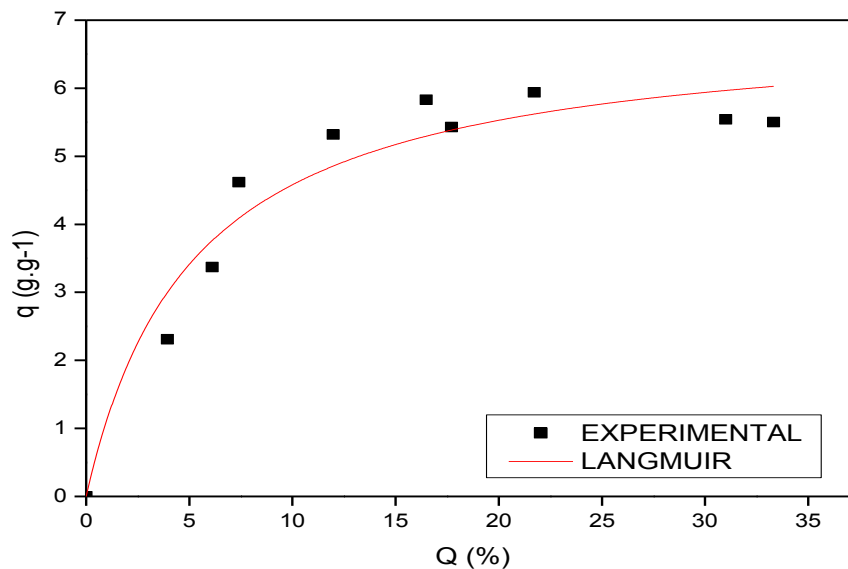
FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

Pode-se observar que a taxa de adsorção foi rápida, com valores próximos nos primeiros vinte minutos de contato da gasolina com a biomassa. Os melhores resultados de adsorção foram obtidos após os 20 minutos de contato. Após esse tempo foi observado um acréscimo quanto a capacidade adsortiva da biomassa, sendo o melhor resultado de adsorção observado no tempo de 30. Foi observado também que, comparando com Martins (2016), a utilização da biomassa da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) sem casca tem mostrado uma melhor eficiência na capacidade de adsortiva em relação a palma forrageira com casca.

5.2 EQUILÍBRIO NA ADSORÇÃO

Para obtenção das isotermas de equilíbrio, foi construído um gráfico, a partir dos resultados obtidos da análise de água contaminada com gasolina, variando a concentração do contaminante de 5 a 50 %. A quantificação foi feita por medição volumétrica em proveta de 100 mL. O modelo de Langmuir foi ajustado aos resultados para avaliação da capacidade adsorptiva da biomassa, conforme mostra a figura 11.

Figura 11 - Isoterma de adsorção para biomassa palma forrageira seca ao natural, ajustada ao modelo de Langmuir.



FONTE: Dados da pesquisa, 2017.

Os resultados obtidos a partir dos experimentos, indica que a capacidade máxima de adsorção (q) foi de $5,94 \text{ g.g}^{-1}$; comparando com Martins (2016), que obteve capacidade máxima de adsorção $5,445 \text{ g}$, houve um aumento na capacidade de adsorção com a biomassa sem casca. Pode-se observar ainda que a isoterma de Langmuir adequou-se bem aos resultados obtidos, permitindo uma ajuste favorável aos resultados.

6 CONCLUSÕES

A partir dos experimentos realizados pode-se concluir que:

A utilização da palma forrageira foi considerada satisfatória para utilização na descontaminação de corpos d' água com presença de gasolina, utilizando a técnica de adsorção.

A cinética de adsorção foi rápida nos primeiros cinco minutos de contato entre a mistura (água/ gasolina) e o adsorvente (biomassa palma forrageira sem casca), houve remoção do contaminante pela biomassa.

A isoterma de adsorção mostrou- se bem ajustada ao modelo de Langmuir, sendo favorável a adsorção. O equilíbrio de adsorção foi alcançado, com valores considerados significativos de remoção do contaminante ($5,94 \text{ g. g}^{-1}$), comparando com a literatura existente.

A palma forrageira sem casca mostrou ser uma alternativa eficiente, econômica e sustentável para remoção de gasolina presente em água.

REFERÊNCIAS

AGSOLVE. Disponível em: www.agsolve.com.br. Acesso em: Maio de 2017.

ANALÍTICA AMBIENTAL. Disponível em: www.analiticaambiental.com.br. Acesso em: Maio de 2017.

ANJOS, R. B. **Avaliação de HPA e BTEX no solo e água subterrânea, em postos de revenda de combustíveis**: estudo de caso na cidade de Natal- RN. Dissertação de mestrado (Ciência e Engenharia de Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal- RN, 2012.

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Abastecimento em números**. Ano 12, Nº 55, junho de 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/boletins-anp/2394-boletim-abastecimento-em-numeros>>. Acesso em: Setembro de 2017.

ARAÚJO, A. M.. **Interação entre adubação fosfatada e espaçamento no cultivo da palma forrageira (*opuntia ficus-indica* (L.) Mill) no estado da Paraíba**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Patos - PB, 2009.

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. Nº 5. Universidade Federal de Campina Grande UFCG - PB, 2011.

BRITO, F. do V.; OLIVEIRA, A. S.; NEVES, H. C.; AZEVEDO, J. A. T.; et al. **Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Salvador- BA, 2005.

CARVALHO, E. S. **Reuso do mesocarpo do coco na remoção de contaminantes derivados de petróleo presentes em corpos d'água, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial**. Monografia (Graduação em Química Industrial) Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande- PB, 2014.

COELHO, F. C.; GONÇALVES JR, A. C.; 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.

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.

CULTIVAR. Disponível em: www.grupocultivar.com.br. Acesso em: Maio de 2017.

CURBELO, F. D. S. **Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada**. Dissertação de mestrado (Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal- RN, 2002.

FEITOSA, I. R.; LIMA, L. S.; FAGUNDES, R. L. **Manual de Licenciamento Ambiental: Guia de procedimentos passo a passo.** 23p. Rio de Janeiro- RJ, 2004.

FERNANDES, M. **Influência do etanol na solubilidade de hidrocarbonetos em aquíferos contaminados por gasolina.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis- SC, 1997.

FIGUEIREDO, V. S.; SILVA, E. C.; FILHO, M. F. G.; **Sustentabilidade ambiental para o Semiárido paraibano: á busca de estratégias para o município de Juazeirinho –PB,** Anais XVI. Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, 2010.

FONTES, H. G. **Utilização de resíduos culturais como bioadsorventes no tratamento de efluentes – Estudo de casos.** Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. Campina Grande, 2014.

FREIRE, T. M. **Síntese e caracterização de nanoquitosanas magnéticas por sonoquímica e sua aplicação na remoção de azo compostos.** Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado (Química: Físico-Química). Fortaleza- CE, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LEAL, C. C. A. **Avaliação da remoção do corante *remazolblack b* em efluentes têxteis utilizando como adsorvente o mesocarpo do coco verde.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Química). Universidade Federal de Pernambuco. Recife- PE, 2003.

LEITE, M. L. M. V. **Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenilifera*).** Universidade Federal da Paraíba. Areia- PB, 2006.

LICENCIAMENTO AMBIENTAL. RESOLUÇÃO CONAMA n° 273, de 29 de novembro de 2000. Publicada em DOU n°5, de 8 de janeiro de 2001, Seção 1, p 20-23. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=271>>. Acesso em: Setembro de 2017.

LIMA, L. M. R.; COSTA, K. J. B.; OLIVEIRA, E. D. C.; OLIVEIRA, E. K. G.; SANTOS, T. C.; SILVA, V. L. M. M. 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.; ALVES A. H. A. **Estudo da eficiência adsortiva da biomassa palma forrageira (*opuntia ficus*) sem casca para uso na remoção de contaminantes orgânicos em águas de descarte de lava-jatos.** Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. Sumé- PB, 2015.

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

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DIAS, F. M.; FERRAZ, A. P. F. SILVA, M. C.; et al. **Cadernos do Semiárido- Riquezas e oportunidades.** Palma forrageira: Cultivo e Usos. Novembro de 2016.

LUNA, F. M. T. **Estudos de adsorção de poliaromáticos em materiais nanoporosos.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Química). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, 2007.

LUZ, A. D. **Aplicação de processos adsortivos na remoção de compostos BTX presentes em efluentes petroquímicos.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis- SC, 2009.

MACHADO, F. H.; FERREIRA, O. M. **Postos de combustíveis: quantificação e qualificação da atividade no município de Goiânia.** Universidade Católica de Goiás. Goiânia- GO, 2017.

MARTINS, T. D. N.; **Estudo da capacidade adsortiva da biomassa palma forrageira (*Opuntia ficus*) como adsorvente para remoção de contaminantes orgânicos em corpos d'água.** Monografia (Engenharia de Biotecnologia). Universidade Federal de Campina Grande. Sumé - PB, 2016.

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.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais.** 256 p. Fortaleza, 2014.

NETO, A. B. T. **Estudo da pré-hidrólise ácida da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica mill*).** Dissertação de Mestrado. (Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande- PB, 2009.

OLIVEIRA, E. S. **Avaliação da adsorção da ortofenantrolina na perlita expandida utilizando a termogravimetria e espectrofotometria de absorção molecular UV-VIS.** Relatório de estágio (Bacharel em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Instituto de Química. Natal- RN, 2016.

OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P.; FILHO, F. C. A.; JÚNIOR, E. B. P. PALMA FORRAGEIRA: adaptações e importâncias para os ecossistemas áridos e semiáridos. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável.. **Revista Verde.** v5, n 4, p. 27 - 37, 2010.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica: causas e consequências.** Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH-UFRGS v. 1 n. 1 p. 20-36. 2004. Disponível em: www.abrh.org.br. Acesso em: Maio de 2017.

QUEIROZ, A. E. S. F; SANTOS, W. L.; SILVA, A. C.; MEDEIROS, M. C. L.; et al. **Palma Forrageira e enzimas de interesse industrial: produção de protease de origem fúngica com o auxílio de planejamento experimental.** Universidade Federal Rural de Pernambuco. AGROPEC 2017. Anais V Congresso Brasileiro de Palma e outras cactáceas. Natal - RN, 2017.

ROCHA, J. E. S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estudo da Arte.** 40 p. Embrapa Caprinos e Ovinos. Sobral- CE, 2012. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: Maio de 2017.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TAURA, T. A.; DRUMONT, M. A.; **Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos.** Embrapa Semiárido. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu - PR, 2013.

SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; LIRA, M. A.; DUBEUX JR, C. B.; et al. **Manejo da Palma Forrageira.** Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2º Congresso Brasileiro de Palma e Outras Cactáceas. Garanhuns- PE, 2011.

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. Monografia (Bacharel em Química) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis- SC, 2005.

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, 2010.

TIBURTIUS, E. R. L.; ZAMORA, P. P.; LEAL E. S. Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química nova.** Vol. 27, Nº 3, p. 441-446, 2003.

TROVÃO, R. S. **Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos- SP.** Dissertação de Mestrado (Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo- SP, 2002.

ZEFERINO, L. F.; FREITAS, P. A. M.; **estudo cinético da adsorção do corante indigo blue (2,2'-bis-2,3-diidro-3-oxoindolilideno) em fibras de casca de coco verde (*cocos nucifera* L).** Escola de Engenharia Mauá, 2013.