



**UEPB**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS I**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**DANILO DE MORAES LUCENA**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO SISAL (*Agave sisalana*) COMO BIOMASSA  
ADSORVENTE DE GASOLINA EM COLUNA DE LEITO FIXO**

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**2019**

DANILO DE MORAES LUCENA

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO SISAL (*Agave sisalana*) COMO BIOMASSA  
ADSORVENTE DE GASOLINA EM COLUNA DE LEITO FIXO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

**Área de concentração:** Meio ambiente.

**Orientadora:** Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Morais Silva.

**CAMPINA GRANDE - PB  
2019**

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

L935e Lucena, Danilo de Moraes.  
Estudo da aplicabilidade do Sisal (*Agave sisalana*) como biomassa adsorvente de gasolina em coluna de leito fixo [manuscrito] / Danilo de Moraes Lucena. - 2019.  
20 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.  
"Orientação : Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva, Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."  
1. Sisal. 2. Adsorção. 3. Gasolina. I. Título  
21. ed. CDD 660.284 235

DANILO DE MORAES LUCENA


ESTUDO DA APLICABILIDADE DO SISAL (*Agave sisalana*) COMO BIOMASSA  
ADSORVENTE DE GASOLINA EM COLUNA DE LEITO FIXO

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

Área de concentração: Meio Ambiente

Aprovada em: 25/06 /2019.

**BANCA EXAMINADORA**



Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (DQ/UEPB)



Profa. Dra. Sara Regina Ribeiro Carneiro de Barros (Examinadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (DQ/UEPB)



Profa. Dra. Lúcia Maria Ribeiro Lima (Examinadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)

A Deus e a minha família, por todo apoio,  
atenção e incentivo, DEDICO.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Dinâmica de adsorção em leito fixo.....	12
<b>Figura 2</b> – Sisal ( <i>Agave sisalana</i> ).....	13
<b>Figura 3</b> – Mesa agitadora com suporte para frascos erlenmeyer de capacidade para 50 mL.....	14
<b>Figura 4</b> – Quantificação do contaminante adsorvido por análise volumétrica.....	14
<b>Figura 5</b> – Sistema de adsorção em leito fixo.....	15
<b>Figura 6</b> – Curvas cinéticas para adsorção de gasolina em sisal ( <i>Agave sisalana</i> ).....	15
<b>Figura 7</b> – Isoterma de adsorção para adsorção de gasolina em sisal ( <i>Agave sisalana</i> ).....	16
<b>Figura 8</b> – Curva de ruptura para adsorção de gasolina em leito fixo de sisal ( <i>agave sisalana</i> ): $C_0=20\%$ ; $Q=0,3$ mL/s.....	17
<b>Figura 9</b> – Curva de ruptura para adsorção de gasolina em leito fixo de sisal ( <i>agave sisalana</i> ): $C_0=15\%$ ; $Q=0,5$ mL/s.....	17

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos e metas a serem alcançados.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.1</b>	<b><i>Objetivo geral.....</i></b>	<b>9</b>
<b>1.1.2</b>	<b><i>Objetivos específicos.....</i></b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Contaminação de corpos aquáticos.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Gasolina.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3</b>	<b>Adsorção.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Tipos de adsorção.....</i></b>	<b>11</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Cinética de adsorção.....</i></b>	<b>11</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Equilíbrio de adsorção.....</i></b>	<b>11</b>
<b>2.3.4</b>	<b><i>Adsorção em coluna de leito fixo.....</i></b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Obtenção e preparação da biomassa sisal.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Cinética de adsorção.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Isoterma de equilíbrio.....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>Experimento em coluna de leito fixo.....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Cinética de adsorção.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Equilíbrio de Adsorção.....</b>	<b>16</b>
<b>4.3</b>	<b>Experimentos em leito fixo.....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>17</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>
	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>19</b>

# ESTUDO DA APLICABILIDADE DO SISAL (*Agave sisalana*) COMO BIOMASSA ADSORVENTE DE GASOLINA EM COLUNA DE LEITO FIXO

## A STUDY ON SISAL APPLICABILITY (*Agave sisalana*) AS A BIOMASS GASOLINE ADSORVENT IN FIXED BED COLUMN

### RESUMO

O meio ambiente sofre inúmeras agressões por contaminações. A agressão ao corpo hídrico aumenta ainda mais quando o contaminante é um óleo combustível, pois uma camada de óleo sobrenadante formada impede a troca de oxigênio entre o corpo aquático e o ar, ocasionando na maioria das vezes a morte das espécies ali existentes. O processo bioadsorptivo é uma técnica que vem sendo estudada e é bastante eficaz. O uso de um sistema de adsorção em coluna de leito fixo tem sido de ampla utilidade para purificação de efluentes contaminados. Com isso este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do sisal (*Agave sisalana*) em um sistema de adsorção em leito fixo, para a remoção de contaminantes aquáticos como a gasolina. Foram utilizadas uma coluna de leito fixo para adsorção de gasolina, com 15 cm de altura e 5 de comprimento, usando uma biomassa de granulometria homogênea de 1 mm. As variáveis operacionais estudadas foram a vazão 0,2; 0,3 e 0,5 e as concentrações do contaminante 10%, 15% e 20%. Os resultados obtidos mostraram que a biomassa estudada pode ser usada como bioadsorvente para purificação de efluentes contaminados por gasolina, uma vez que a cinética e a isoterma de equilíbrio forneceram valores satisfatórios de adsorção, aproximadamente 5mL de gasolina por grama de biomassa e ainda, quando dos experimentos em leito fixo, o sistema apresentou bom desempenho retendo totalmente o contaminante para vazão de entrada igual a 0,2 mL/s e para as vazões de 0,3 e 0,5 mL/s foi capaz de reter até 15 mL de gasolina antes da saturação do leito. Isso para concentrações de gasolina iguais a 15 e 20%. Considerando que o sistema de leito fixo estudado utiliza uma coluna de apenas 15 cm de altura e 1,5 cm de diâmetro, os valores são satisfatórios e apontam para o estudo em ampliação de escala.

**Palavras-chave:** Sisal. Adsorção. Leito Fixo.

### ABSTRACT

The environment suffers numerous attacks from contamination. The aggression to the water body increases even more when the contaminant is a combustible oil, because a layer of supernatant oil formed prevents the exchange of oxygen between the aquatic body and air, causing in most cases the death of the species there. The bioadsorptive process is a technique that has been studied and is quite effective. The use of a fixed bed column adsorption system has been of wide use for the purification of contaminated effluents. This work aimed to evaluate the influence of sisal (*Agave sisalana*) on a fixed bed adsorption system for the removal of aquatic contaminants such as gasoline. A fixed bed column for adsorption of gasoline, 15 cm in height and 5 in length, was used using a biomass of homogeneous granulometry of 1 mm. The operational variables studied were flow 0.2; 0.3 and 0.5 and the concentrations of the contaminant 10%, 15% and 20%. The obtained results showed that the biomass studied can be used as a bioadsorbent for the purification of gasoline-contaminated



effluents, since the kinetics and the equilibrium isotherm provided satisfactory adsorption values, approximately 5mL of gasoline per gram of biomass, and when In the case of fixed bed experiments, the system presented a good performance, totally retaining the contaminant at an inlet flow rate of 0.2 mL / s, and was able to retain up to 15 mL of gasoline at 0.3 and 0.5 mL / of bed saturation. This is for gasoline concentrations equal to 15 and 20%. Considering that the fixed bed system studied uses a column only 15 cm high and 1.5 cm in diameter, the values are satisfactory and point to the study in scale expansion.

**Keywords:** Sisal. Adsorption. Fixed Bed.

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental pode, sem dúvida nenhuma, ser apontada como um dos grandes problemas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Este fato é decorrente, não apenas de um, mas de uma série de fatores, como o mau uso dos recursos naturais e a falta de consciência ambiental (LIMA, 2010).

A geração de resíduos líquidos a partir de diversas atividades produtivas têm sido responsáveis, muitas vezes, por agressões geradas ao meio ambiente. Os óleos combustíveis, como gasolina e óleo diesel, são alguns desses resíduos que podem ser lançados ao meio ambiente em pequena escala a partir de atividades envolvendo postos de combustíveis e lavagens de automóveis. No entanto, existe o risco de contaminação em grande escala, por acidentes nas refinarias ou no transporte marítimo ou até mesmo rodoviário. A gasolina por ser menos densa que a água, forma uma camada densa sobrenadante, impedindo trocas gasosas entre o corpo d'água e o ar, promovendo assim a morte das espécies aquáticas.

Os avanços nos estudos científicos buscam o tratamento eficaz desses efluentes contaminados. Um desses é o processo de adsorção, que consiste no contato entre um sólido e um fluido promovendo a retenção, na superfície do sólido, de moléculas indesejáveis contidas no fluido, possibilitando assim a redução ou total retirada do contaminante.

Diversas biomassas têm sido utilizadas como alternativa aos adsorventes comerciais, por serem de baixo custo e proporcionarem resultados relevantes. O presente trabalho visa o estudo da aplicabilidade da biomassa obtida a partir do sisal (*Agave sisalana*) para adsorção de gasolina em coluna de leito fixo.

### 1.1 Objetivos e metas a serem alcançados

#### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência do sisal (*Agave sisalana*) em um sistema de adsorção em leito fixo, para a remoção de gasolina em efluente sintético.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- Obter curvas cinéticas e de equilíbrio de adsorção para o sistema água/gasolina/sisal.
- Avaliar o desempenho de uma coluna de adsorção em leito fixo utilizando a biomassa sisal, variando a concentração de gasolina no efluente sintético.
- Averiguar o desempenho de uma coluna de adsorção em leito fixo utilizando a biomassa sisal, variando a vazão de entrada do efluente sintético.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Contaminação de corpos aquáticos

A preservação do meio ambiente tem preocupado bastante a sociedade nas últimas décadas. A negligência no tratamento de rejeitos ou por acidentes cada dia mais frequentes resultam na poluição das águas, sendo essencial o levantamento

das condições de qualidade e o tratamento dos efluentes industriais (COSTA et al., 2010).

A Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, publicado no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” ([www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)).

Na área urbana brasileira os problemas ambientais representam situações de risco e vêm se acumulando, com impactos crescentes na qualidade do ar, da água, do solo e na saúde da população (GURGEL *et al.*, 2009). O art. 225 da Constituição Federal de 1988 consagrou o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito fundamental, criando o dever de o agente degradador reparar os danos causados e estabeleceu o fundamento de responsabilização de agentes poluidores, pessoas físicas e jurídicas (SION et al., 2014).

No intuito de concretizar o comando constitucional, foram editadas, entre outras, a Lei 9.605/98 e a Lei 9.966/2002. A Lei 9.605/98 dispôs sobre as sanções penais e administrativas ambientais genéricas, destacando-se os artigos 54 sobre causar poluição, 56 sobre armazenar e transportar substância perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com a legislação e 60 sobre exercer atividade sem ou em desacordo com a licença ambiental. A seu turno, a Lei 9.966/2002 dispôs sobre a prevenção, controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas submetidas à jurisdição nacional (SION et al., 2014).

## 2.2. Gasolina

A gasolina, dentre os combustíveis derivados do petróleo, é a mais importante nos centros urbanos, uma vez que grande parte dos veículos que circulam nas cidades é movida à gasolina. A gasolina é composta por hidrocarbonetos de cadeia carbônica relativamente pequena se comparada aos hidrocarbonetos constituintes do óleo bruto e do óleo diesel.

Os hidrocarbonetos presentes na gasolina pertencem às séries parafínica, olefínica, naftênica e aromática e suas quantidades relativas dependem do petróleo e do processo de obtenção utilizados ([www.maxwell.vrac.puc-rio.br](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br)).

Se armazenada em condições apropriadas, a gasolina é um combustível relativamente estável capaz de preservar as suas características por até seis meses. Quando ocorre a precipitação de compostos formados pela reação entre os hidrocarbonetos insaturados e íons de cobre, constituinte dos reservatórios de combustível ocorre à deterioração de seus compostos (HAMILTON, 1995).

## 2.3 Adsorção

O fenômeno físico-químico de transferência no qual um ou mais constituintes em uma fase gasosa ou líquida são transferidos para a superfície de uma fase sólida é definido como adsorção. Os chamados adsorbatos são componentes que se ligam a superfície, e é chamada de adsorvente a fase sólida que retém o adsorvato. A migração destes componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Segundo Ruthven (1984), devido à existência de forças atrativas não compensadas na superfície do adsorvente, as moléculas da fase fluida são atraídas para a zona interfacial.

Segundo Sekar et al. (2004) como a adsorção é um fenômeno de superfície, a intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica. Para partículas maiores, a resistência à difusão é maior e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção.

### **2.3.1 Tipos de adsorção**

No fenômeno da adsorção pode-se distinguir duas classes de interação entre as moléculas do meio fluido e as do sólido, baseando-se na natureza das forças que as unem como a fisiossorção (adsorção física) e quimiossorção (adsorção química) (RUTHVEN, 1984).

A adsorção física constitui a maioria dos processos de purificação e separação. Na fisiossorção o processo é sempre reversível e exotérmico. Já na adsorção química ou quimiossorção as moléculas do adsorvato reagem quimicamente com a superfície do adsorvente, simulando uma reação química (VALENCIA, 2007).

### **2.3.2 Cinética de adsorção**

Os modelos cinéticos envolvem a relação da concentração do adsorbato com o tempo de agitação. A concentração do adsorbato em solução diminui com o tempo, até alcançar um valor constante, neste ponto, a quantidade do adsorvato que está sendo adsorvida pelo adsorvente encontra-se em equilíbrio dinâmico com a quantidade que está se desorvendo. O tempo requerido para alcançar este estágio é chamado de tempo de equilíbrio e a quantidade do adsorvato retido neste tempo reflete a capacidade de adsorção no equilíbrio em condições de operação estabelecidas (BRUNO, 2008; DABROWSKI, 2001).

### **2.3.3 Equilíbrio de adsorção**

O estudo de equilíbrio em processos de adsorção fornece informações fundamentais para avaliar a afinidade e a capacidade de adsorção de um adsorvente por um adsorvato. Os modelos de equilíbrio de adsorção podem ser usados para descrever o desempenho do processo sob determinadas condições operacionais (YANG, 2005).

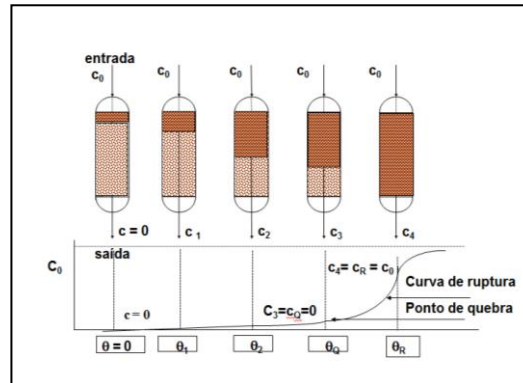
A descrição do estado de equilíbrio entre as duas fases, que compõe o sistema de adsorção, é representada por isotermas de adsorção (DOMINGUES, 2005). A isoterma de Langmuir, é do tipo reversível, ocorre comumente em sólidos microporosos como, carvão ativado, zeólitas, e em alguns óxidos porosos (RUTHVEN, 1984).

### **2.3.4 Adsorção em coluna de leito fixo**

Um sistema para adsorção em leito fixo convencional é formado por uma coluna recheada de material adsorvente, colocado em contato com a solução a ser tratada. O bombeamento pode ser feito por fluxo ascendente ou descendente através da coluna. A substância que se deseja reter no adsorvente é denominado adsorbato.

O desempenho de um leito fixo é avaliado pela análise das curvas de concentração em função do tempo. Na Figura 1 está apresentado um esquema para a dinâmica de adsorção em um leito fixo.

**Figura 1** - Dinâmica de adsorção em leito fixo.



Fonte: GOMIDE, 1980.

Inicialmente, quando o fluido entra em contato com o adsorvente ocorre a maior parte da transferência de massa, o adsorbato é adsorvido próximo à entrada do leito. A concentração do mesmo na fase fluida decai exponencialmente com a distância para um determinado instante de tempo (DA LUZ, 2012). Depois de decorrido um intervalo de tempo, o adsorvente próximo à entrada torna-se saturado e a maior parte da transferência de massa ocorre dentro do leito. Até que, em um dado instante, o leito fica totalmente saturado e então a concentração do adsorbato na saída torna-se igual à concentração de entrada. O ponto no qual ocorre a saturação é denominado ponto de quebra e a curva gerada é denominada curva de ruptura, dada como a razão entre a concentração do efluente ( $C_{\text{saída}}$ ) pela concentração de afluente ( $C_{\text{entrada}}$ ) em função do tempo. O formato da curva de ruptura ao longo do eixo do tempo depende da capacidade de adsorção da coluna, da concentração de alimentação e da vazão de alimentação (BORBA et al., 2006).

### 3 METODOLOGIA

Os estudos de adsorção foram realizados no Laboratório de Pesquisas em Ciências Ambientais (LETEQ) /CCT/UEPB/Campina Grande-PB.

A gasolina do tipo C foi o contaminante estudado como adsorbato, tendo sido a mesma comprada em um posto de gasolina situado no município de Campina Grande, no Estado da Paraíba. A gasolina, derivada do petróleo apresenta afinidade com o adsorvente utilizado, pois possui características orgânicas originárias de uma combinação complexa de hidrocarbonetos.

O sisal da espécie *Agave sisalana*, apresentado na Figura 2, foi a biomassa usada como adsorvente na técnica de separação de contaminantes presentes em corpos aquáticos. O sisal foi obtido na forma de partículas (pó), derivado da mucilagem exposta ao sol, adquirido na Embrapa localizada no município de Monteiro no Estado da Paraíba.

**Figura 2 – Sisal (*Agave sisalana*).**



Fonte: Autor (2019).

### 3.1 Obtenção e preparação da biomassa sisal

O sisal (*Agave sisalana*) foi exposto ao sol para remoção de qualquer umidade existente e armazenada em ambiente seco, para evitar uma decomposição por ação biológica. Em seguida, houve a preparação para obtenção do particulado com granulometria homogênea, na qual a biomassa em estudo foi triturada em um triturador industrial e peneirada em um sistema de peneiras com aberturas de 1,00 e 2,38 mm, sendo logo depois acondicionada em um recipiente com vedação, para posterior utilização.

Como proposto por Oliveira (2017), foi aplicado tratamento térmico à biomassa para redução de espuma gerada durante os experimentos. Assim sendo, houve o pré-tratamento da biomassa, sendo lavada com água da torneira a temperatura de 50°C e seca em estufa a 70°C por 24 horas.

### 3.2 Cinética de adsorção

Foi realizado um experimento em batelada com o efluente simulado da mistura heterogênea gasolina/água em contato com a biomassa, em tempos variando de 5 a 60 minutos com intervalos de 5 minutos. A metodologia utilizada foi a descrita por Oliveira (2017). Usou-se 40 mL de água, 1,2 g de biomassa e 12 mL de gasolina, para uma relação gasolina/biomassa igual a 10. O experimento ocorreu usando-se doze frascos tipo erlenmeyer, nos quais foram adicionadas a água e a quantidade pré-fixada do contaminante (gasolina tipo C). Foram adicionados 1,2 g da biomassa após 5 minutos de agitação, em cada erlenmeyer, permanecendo sob agitação por tempos determinados de 5 a 60 minutos com intervalos de 5 minutos. Depois de alcançado o tempo de contato pré-determinado, cada erlenmeyer foi retirado da mesa agitadora, separando-se as fases líquida e sólida usando uma pequena peneira. Em seguida, foi medida a quantidade adsorvida usando análise volumétrica.

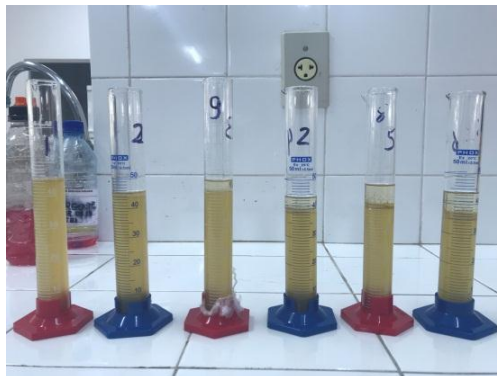
Na Figuras 3 pode-se observar a mesa agitadora com frascos erlenmeyer, a qual foi utilizada para obtenção de curvas cinéticas e de equilíbrio. Na Figura 4 estão apresentadas as provetas para quantificação do contaminante adsorvido por análise de volume, respectivamente.

**Figura 3** - Mesa agitadora com suporte para frascos erlenmeyer de capacidade para 50 mL.



Fonte: Autor (2019).

**Figura 4** - Quantificação do contaminante adsorvido por análise volumétrica.



Fonte: Autor (2019).

### 3.3 Isoterma de equilíbrio

Foi obtida uma curva para isoterma de equilíbrio, também utilizando metodologia descrita por Oliveira (2017). Foram utilizados 12 frascos tipo erlenmeyer contendo a dispersão gasolina/água em concentrações variando de 5 a 60% do contaminante. Em cada erlenmeyer adicionou-se a biomassa sisal com auxílio de um funil de plástico; mantendo-os sempre isolados do contato com o ambiente, fechando-os com papel alumínio.

Os frascos erlenmeyer ficaram 60 min sob agitação na mesa agitadora, com velocidade equivalente a 130 rpm. Após o final do tempo de agitação de cada erlenmeyer, cada um foi retirado da mesa agitadora e a mistura heterogênea contida em cada um foi transferida para provetas e realizada a análise volumétrica do contaminante adsorvido pela biomassa, em uma proveta de 50 mL.

### 3.4 Experimento em coluna de leito fixo

Foi utilizada uma coluna de vidro com 15 centímetros de altura e 1,5 cm de diâmetro. O recheio da coluna formado pela biomassa devidamente seca e na granulometria especificada. O fluxo do efluente contaminado foi descendente e as amostras foram coletadas ao fim da coluna. Essas amostras eram coletadas na parte inferior da coluna em tempos regulares de 5 em 5 segundos, intervalo este estabelecido após testes preliminares. As variáveis operacionais foram à vazão e a

concentração de entrada do contaminante. As curvas de ruptura foram feitas a partir dos resultados da concentração obtidas por meio de análise volumétrica no fim da coluna ao longo do tempo.

Na Figura 5 está apresentado o sistema para adsorção em coluna de leito fixo utilizando sisal como biomassa em contato com a dispersão gasolina/água.

**Figura 5** – Sistema de adsorção em leito fixo.



Fonte: Autor (2019).

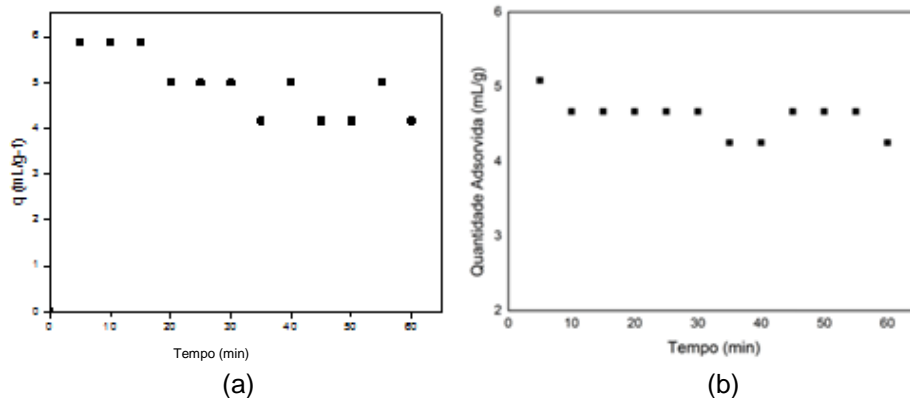
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto estão apresentados a seguir.

### 4.1 Cinética de adsorção

Foram realizados testes de cinética de adsorção em leito diferencial para comparar com valores obtidos em trabalhos anteriores, visto que, o sisal usado foi o mesmo utilizado por Oliveira (2017). As curvas cinéticas para os experimentos realizados em 2017 e 2019 estão apresentadas nas Figuras 6 (a) e (b).

**Figura 6** – Curvas cinéticas para adsorção de gasolina em sisal (*Agave sisalana*) obtida por: (a) Autor (2019); (b) Oliveira (2017).



Fonte: Autor (2019), OLIVEIRA (2017).

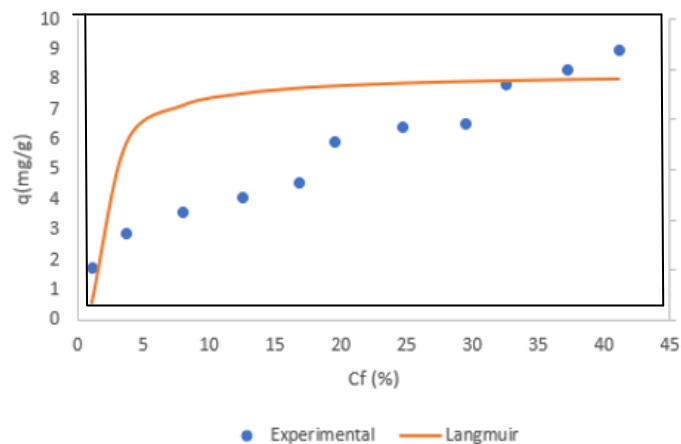
O resultado para a cinética mostrou que, mesmo para relações entre quantidade de gasolina por grama de biomassa diferentes, houve pequena variação relacionada a quantidade de gasolina adsorvida e ambas as curvas apresentam cinética rápida chegando a valores altos de adsorção já nos primeiros minutos.



## 4.2 Equilíbrio de Adsorção

A isoterma de equilíbrio obtida, ilustrada na Figura 7, não apresentou um bom ajuste pelo modelo de Langmuir, o que deverá ser averiguado, realizando outros experimentos nas mesmas condições para verificar os possíveis desvios operacionais.

**Figura 7** – Isoterma de adsorção par adsorção de gasolina em sisal (*Agave sisalana*)



Fonte: Autor (2019).

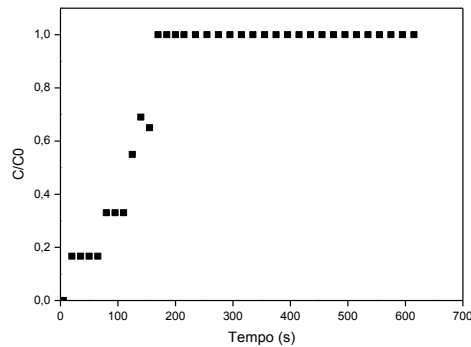
## 4.3 Experimentos em leito fixo

Os resultados para o sistema de coluna de leito fixo com a biomassa sisal como bioadsorvente demonstraram bom desempenho visto que, para as curvas com vazão igual a 0,2 mL/s e concentração do contaminante igual a 10 e 15%, durante 500 segundos de alimentação, o leito ainda não havia sido saturado, apresentando valores insignificantes de gasolina na saída da coluna. Perfazendo um total de 10 mL de gasolina adsorvida ao longo do tempo.

Os resultados obtidos para as vazões de 0,3 e 0,5 mL/s apresentaram a partir de um dado momento, concentração na saída do leito igual à concentração da entrada, significando assim a saturação do leito. Mesmo assim, para os casos da concentração de 20% de gasolina na entrada do leito e vazão de 0,3mL/s, e concentração de entrada igual a 15% com a vazão igual a 0,5 mL/s ficaram adsorvidos no leito durante o tempo de contato correspondente a cada experimento, 15 mL de gasolina.

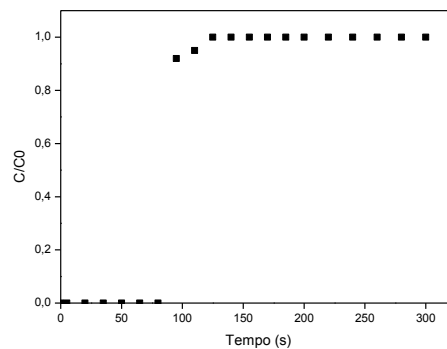
Os resultados obtidos a partir do sistema de adsorção de gasolina em coluna de leito fixo de sisal (*Agave sisalana*) para concentrações 0,3 e 0,5%, estão apresentados nas Figuras 8 e 9. Devido a problemas operacionais, não foi possível avaliar outras condições de variação de vazão.

**Figura 8** - Curva de ruptura para adsorção de gasolina em leito fixo de sisal (*agave sisalana*):  $C_0=20\%$ ;  $Q=0,3$  mL/s



Fonte: Autor (2019).

**Figura 9** - Curva de ruptura para adsorção de gasolina em leito fixo de sisal (*agave sisalana*):  $C_0=15\%$ ;  $Q=0,5$  mL/s.



Fonte: Autor (2019).

## 5 CONCLUSÕES

Os experimentos envolvendo a biomassa obtida a partir do sisal (*agave sisalana*) como bioadsorvente em coluna de leito fixo confirmaram o caráter adsorptivo da referida biomassa, já evidenciado pelas curvas cinéticas e de equilíbrio e também de sua utilização em leito diferencial realizados em trabalhos anteriores já citados.

O sistema de leito fixo apresentou bom desempenho, sendo capaz de reter todo o contaminante para a vazão de 0,2 mL/s em todos os tempos estudados e também, para vazões de 0,3 e 0,5 mL/s foi capaz de reter até 15 mL do contaminante durante os tempos de contato estudados.

Com isso, fica evidenciada a capacidade de adsorção da biomassa estudada e também o bom desempenho do sistema de leito fixo nas condições estudadas. Ficando como sugestão a ampliação de escala para confirmar o bom desempenho do sistema de adsorção em leito fixo utilizando sisal (*agave sisalana*) como material adsorvente.

## REFERÊNCIAS

BORBA, C. E., GUIARDELLO, R., SILVA, E.A., VEIT, M.T. e TAVARES. C.R.G. **Removal of Nickel (II) Ions from Aqueous Solution by Biosorption in a Fixed Bed Column: Experimental and Theoretical Breakthrough Curves.** Biochemical Engineering Journal, Vol.30, p.184-191, 2006.

BRUNO, M. **Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água.** 102 f. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2008.

COSTA, E. C.; BARBOSA, C. D. A. E. S.; MACHADO, J. A.; GARCIA, C. A. B. Estudo comparativo de adsorção do corante preto *sulphcolor* utilizando o carvão ativo convencional com o bagaço da cana-de-açúcar *in natura* e tratada quimicamente. **Scientia Plena**, v. 6, n. 12, 2010.

DA LUZ, Adriana Dervanoski. **APLICAÇÃO DE COLUNA DE ADSORÇÃO EM LEITO FIXO PARA REMOÇÃO DE COMPOSTOS BTX MULTICOMPONENTES PRESENTES EM EFLUENTES PETROQUÍMICOS** [tese] / Adriana Dervanoski daLuz ; orientadora, Selene M. A. Guelli Ulson de Souza ; co-orientador, Antônio Augusto Ulson de Souza. –Florianópolis, SC, 2012.

DABROWSKI, A. **Adsorption-from theory to practice.** *Advances in Colloid and Interface Science*, v.9, p.135-224, 2001.

DOMINGUES, V.M.F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas.** 224 f. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005

GOMIDE, R., **Operações Unitárias - Volume 3** : Separações Mecânicas, São Paulo, 1980.

GURGEL, A. M.; VERAS MEDEIROS, A. C. L.; ALVES, P. C.; SILVA, J. M.; DANTAS GURGEL, I. G.; AUGUSTO, L. G. S. Framework dos cenários de risco no contexto da implantação de uma refinaria de petróleo em Pernambuco. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, pp. 2027-2038, 2009.

Hamilton, B. 1995. Automotive gasoline. Disponível em: <http://www.faqs.org>. Acessado em: 15/06/2019.

IUPAC Recommendations. *Pure and Applied Chemistry*, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

LIMA, L. M. R. **Avaliação de contaminantes orgânicos presentes em efluentes aquosos mediante leito fixo de biomassa em escala ampliada.** Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande, PB, 109 p., 2010.

OLIVEIRA, E. D. C, **REMOÇÃO DE GASOLINA EM CORPOS D'ÁGUA UTILIZANDO SISAL (Agave sisalana) COMO ADSORVENTE EM SISTEMA DE**

**ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

RUTHVEN, D. M., Principles of Adsorption and Adsorption Processes. New York: John Wiley & Sons, 1984.433p

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. Colloid and Interface Science, v. 279, p. 307-313, 2004.

SION, A.; PELUCI, G.; DUTRA, M. C. Responsabilidade e consequências dos acidentes ambientais por vazamento de óleo. **Revista Petróleo & Energia**, 27<sup>a</sup> ed., 2014.

VALENCIA, C.A.V. Aplicação da adsorção em carvão ativado e outros materiais carbonosos no tratamento de águas contaminadas por pesticidas de uso agrícola. 116 f. Tese de Mestrado, PUC-RIO, 2007.

YANG, R.T. Adsorbentes: Fundamentals and Applications. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus primeiramente e acima de tudo, por estar sempre comigo nos melhores momentos, como também, nos momentos mais difíceis.

A minha família pela compreensão e paciência nos meus momentos de dificuldades, por acreditarem em mim e nos meus esforços e por todo o esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui.

A Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva minha orientadora, por todos os conhecimentos passados durante a iniciação científica, pelos grandes conselhos e por além de ser uma orientadora, ser uma amiga no qual pode me mostrar o melhor caminho a percorrer.

À banca examinadora, Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima e Profa. Dra. Sara Regina, pelas correções, conselhos e valiosas contribuições na finalização deste trabalho.

As grandes amigas, em especial um amigo ao qual considero um grande irmão Dyego Bruno Siqueira Albuquerque, o qual sempre me incentivou e esteve sempre comigo nos momentos de alegria e momentos de dificuldades e tristezas, o meu muito obrigado.

Aos amigos Thamires Lucena e Elias Júnior pela força, pelo incentivo em continuar e pela sua amizade.

Ao amigo Severino Estevam pela grande amizade verdadeira, por incentivar a continuar e me ajudar nas horas mais difíceis dessa fase a minha total gratidão.

Aos amigos do grupo "A ORIGEM", onde se encontram Barbara, Alex, Vicentina, Taíse, Wennyta e Silvia, agradeço imensamente suas contribuições e onde encontro o verdadeiro sinônimo de amizade e amor de irmãos.

Às amigas construídas durante a graduação, em especial ao grupo do "PROJAC", do qual fazem parte Raquel Kethy, Emanuely Martins, Taís Ferreira, Nayara Eneias, Edson Brito, Monaliza Layse e Bruna Leite, no qual compartilhamos momentos inesquecíveis de alegria, tristeza e aprendizado.

As amizades verdadeiras construídas durante esse tempo, em especial a Kelvin Almeida, Olávio Vinicius, Raphael Almeida, Tomás Magno e Igor Marinho. Obrigado por estarem sempre comigo, vocês se tornaram minha família fora de casa, onde eu posso contar sempre e onde passamos por grandes momentos de sorrisos, conselhos, diversão e muita mais muita alegria. Levarei todos vocês sempre comigo.

