



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

TAMARA ALINE RAMOS MACIEL

**AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO
PRODUZIDO A PARTIR DA PLANTA JUREMA PRETA (*Mimosa tenuiflora*
(Willd.) Poiret)**

SUMÉ – PB

2016

TAMARA ALINE RAMOS MACIEL

**AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO
PRODUZIDO A PARTIR DA PLANTA JUREMA PRETA (*Mimosa tenuiflora*
(Willd.) Poiret)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal De Campina Grande, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

Orientador: Prof. Dr. Aldre Jorge Morais Barros

**SUMÉ – PB
2016**

M152aMaciel, Tamara Aline Ramos.

Avaliação da adsorção com carvão ativado produzido a partir da planta jurema preta (*Mimosa tenuiflora* – Willd.) Poiret. / Tamara Aline Ramos Maciel. - Sumé - PB: [s.n], 2016.

54 f.

Orientador: Prof. Dr. Aldre Jorge Morais Barros.

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

1. Tecnologia química. 2. Carvão. 3. Jurema – *Mimosa tenuiflora*. I. Título.

UFCG/BS

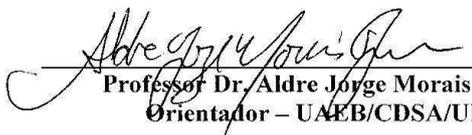
CDU: 662.66 (043.1)

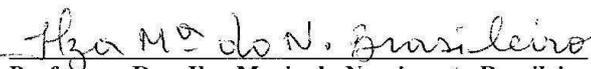
TAMARA ALINE RAMOS MACIEL

**AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO
PRODUZIDO A PARTIR DA PLANTA JUREMA PRETA (*Mimosa tenuiflora*
(Willd.) Poiret)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal De Campina Grande, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

BANCA EXAMINADORA:


Professor Dr. Aldre Jorge Morais Barros.
Orientador – UAEB/CDSA/UFCG


Professora Dra. Ilza Maria do Nascimento Brasileiro
Examinador I – UATEC/CDSA/UFCG


Professor Dr. Ranoel José de Sousa Gonçalves
Examinador II – UATEC/CDSA/UFCG

Trabalho aprovado em: 02 de junho de 2016.

SUMÉ - PB

Em primeiríssimo lugar a Deus por ter me dado forças pra continuar esta batalha, à minha mãe e avó Maria por ter me ensinado todos os valores da vida, minha eterna gratidão.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha madrinha Terezinha por todo apoio e acolhimento, muito obrigada.
Ao meu padrinho Ademário pelos ensinamentos, conselhos e a toda ajuda que me deu, meus sinceros agradecimentos.

À minha mãe Cristina, mesmo que tenha vivido muitos anos longe, mas está de volta para dar apoio e assistência, muito obrigada.

Às minhas tias e tios, em especial Rosa, Geandro, Zeza, Janete, Fernando e Edgley por terem ficado sempre ao meu lado.

Aos meus primos Rafael, Nana, Sérgio, por acreditarem em mim e por todo apoio. A meu querido Genildo pelos conselhos, carinhos, amizade, amor e por nunca ter me deixado nos momentos mais difíceis, meu eterno agradecimento.

Aos meus príncipes Eduardo e João Lucas por me proporcionarem alegrias e por fazerem parte da minha vida.

À Zefinha Ferreira e Helena por todos esses anos de convivência e de compreensão.

Ao meu orientador Aldre Jorge Morais que me ajudou, ensinou e proporcionou o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por tudo!

À minha querida amiga Carla Araújo, obrigada por tudo, sempre me acompanhou, me incentivou e me ajudou em todos os momentos da minha vida acadêmica na realização desse trabalho. Agradeço de coração.

Às minhas amigas de todas as horas, Julya, Estelhinha, Nah, Ionara obrigada por toda força, ajuda e pelas palavras de conforto nos momentos difíceis e por sempre me apoiarem e torcerem por mim.

Aos meus colegas de curso, Célia Gonçalves, Arlene Silva, LaisaRodrigues,OziresTalysson, Sendy, Alan Roger e tantos outros, obrigada.

Ao meu colega de laboratório Adeilton Padre pelos bons momentos que passamos juntos e pelos ensinamentos que me proporcionou.

Aos professores Ranoel Gonçalves e Ilza Brasileiro por terem aceitado com tanto carinho de estarem presentes nesta última etapa desses longos cinco (5) anos de graduação.

Ao professor Gilmar Trindade pela oportunidade de fazer parte do LQB e por todas as contribuições.

Enfim, obrigada a todos que contribuíram nessa etapa tão importante da minha vida!

RESUMO

Adsorção é um fenômeno de superfície onde ocorre a transferência de massa em que substâncias presentes na fase líquida são adsorvidas ou acumuladas na fase sólida, e assim removidas da fase líquida. O presente trabalho tem por objetivo a realização de ensaios de adsorção para avaliar o carvão ativado produzido a partir da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), tratado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e carbonizados em tempos e temperaturas distintas. Para a avaliação das amostras (A, B e C) foram realizados testes de adsorção com o corante azul de metileno na concentração de 10 mg.L⁻¹, em função da variável tempo. Amostras de 0,2g do carvão juntamente 30 mL do corante foram agitados isotermicamente a uma velocidade de 150 rpm no período de 24 h. Após este período, foram determinadas as absorbâncias de cada amostra em um espectrofotômetro na região do visível (660 nm). Os valores obtidos mostraram que todas as amostras apresentaram um índice de remoção satisfatórios, porém a amostra A obteve um valor superior cerca de 99,06% de remoção, indicando que a temperatura de 400° carbonizada durante 180 min foi a mais eficiente, dessa forma esta amostra deve ser utilizada para estudos posteriores. Nas análises do tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato, realizado nas três amostra e em triplicata, foi possível observar que nos primeiros 5 minutos de contato ocorreu uma eficiência de remoção bem significativas para as três amostras, porém a amostra A removeu de imediato 94,46 % do adsorvato, cerca de 10 % a mais que as amostras B e C. Ao aplicar o modelo de Langmuir foi possível observar que os resultados foram favoráveis em todas as amostras, em que os coeficientes de correlação (R²) destas estão próximos a 1, que é o ideal. Quando foi utilizado o modelo de Freundlich, ficou bem evidente que alguns pontos ficaram bem afastados da regressão linear, porém os valores de R² são significativos. Dessa forma é possível concluir que o carvão ativado produzido a partir da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) é adequado para a adsorção do corante azul de metileno.

Palavras-chave: Azul de metileno, química de superfície, adsorvato, adsorvente.

ABSTRACT

Adsorption is a surface phenomenon where mass transfer occurs in which substances in liquid phase are adsorbed or accumulated in the solid phase, and thus removed from the liquid phase. This work aims at performing adsorption experiments to evaluate the activated carbon produced from black Jurema (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), chemically treated with sodium hydroxide (NaOH) and carbonized at times and temperatures. For the evaluation of samples (A, B and C) Adsorption tests were performed with methylene blue dye at a concentration of 10 mg.L^{-1} , depending on the time variable. Samples of 0.2 g of coal along 30ml dye isothermally were stirred at a speed of 150 rpm at 24 hour period. After this period, the absorbance was determined for each sample in a spectrophotometer in the visible region (660 nm). The values obtained showed that all the samples showed an unsatisfactory removal rate, but the sample A obtained a value greater than about 99.06 % removal, indicating that the temperature 400th carbonized during 180 min was the most efficient, thus this sample must be used for further studies. In the analysis of the contact time between the adsorbent and the adsorbate, held in the three sample and in triplicate, it was observed that in the first 5 minutes of contact was a very significant removal efficiency for the three samples, but the sample A removed immediately 94,46 % of the adsorbate, about 10 % love the samples B and C. By applying the Langmuir was observed that the results were favorable in all the samples, wherein the correlation coefficients (R^2) are those close to 1, which is ideal. When we used the model of Freundlich, it was evident that some points were well away from the linear regression, implying a R^2 they are significant. Thus it can be concluded that the activated carbon produced from black Jurema (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) is suitable for the adsorption of methylene blue dye.

Keywords: Methylene blue, surface chemistry, adsorbate, adsorbent.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Jurema preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poiret)	19
Figura 2 – Esquema da microestrutura de um carvão ativado	21
Figura 3 – Isotermas de adsorção	28
Figura 4 – Isotermas pela classificação BET (Brunauer, EmmetandTeller)	29
Figura 5 – Estrutura do corante azul de metileno	32
Figura 6 – Fluxograma dos experimentos a serem realizados	33
Figura 7 – Amostras do carvão ativado utilizado nos experimentos	34
Figura 8 – Curva de calibração de azul de metileno	37
Figura 9 – Eficiência do corante azul de metileno para as três amostras analisadas	38
Figura 10 – Relação entre a quantidade de corante AM adsorvida e o tempo de contato entre o CA da jurema preta e a solução (Amostra A)	40
Figura 11 – Relação entre a quantidade de corante AM adsorvida e o tempo de contato entre o CA da jurema preta e a solução (Amostra B)	42
Figura 12 – Relação entre a quantidade de corante AM adsorvida e o tempo de contato entre o CA da jurema preta e a solução (Amostra C)	44
Figura 13 – Linearização da Isoterma de Langmuir para a adsorção do corante azul de metileno da Amostra A	45

Figura 14 – Linearização da Isoterma de Langmuir para a adsorção do corante azul de metileno da Amostra B	46
Figura 15 – Linearização da Isoterma de Langmuir para a adsorção do corante azul de metileno da Amostra C	46
Figura 16 – Isoterma de adsorção do corante azul de metileno da Amostra A	47
Figura 17 – Isoterma de adsorção do corante azul de metileno da Amostra B	48
Figura 18 – Isoterma de adsorção corante azul de metileno da Amostra C	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens, desvantagens e principais usos do CAG e CAP	22
Tabela 2 - Diferenças básicas entre a adsorção física e química	26
Tabela 3 - Carvões ativados utilizados no experimento	34
Tabela 4 - Modelos utilizados para os testes de adsorção dos carvões ativos	36
Tabela 5 - Valores referentes à eficiência de remoção do azul de metileno	38
Tabela 6 - Valores da adsorção do corante azul de metileno em função do tempo, utilizando o carvão ativado da jurema preta (amostra A), previamente tratado quimicamente com NaOH	39
Tabela 7 - Valores da adsorção do corante AM em função do tempo, utilizando o CA da jurema preta (amostra B), previamente tratado quimicamente com NaOH	41
Tabela 8 - Valores da adsorção do corante azul de metileno em função do tempo, utilizando o carvão ativado da jurema preta (amostra C), previamente tratado quimicamente com NaOH	43
Tabela 9 - Parâmetros das isotermas de Freundlich e Langmuir	49

ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Azul de Metileno
BET	Método de Brunauer, Emmetand Teller
CA	Carvão Ativado
CAG	Carvão Ativado Granular
CAP	Carvão Ativado em Pó
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
Cl₂	Gás cloro
CH₄	Gás metano
CO₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
H₂	Hidrogênio
H₂O	Água
H₃PO₄	Ácido fosfórico
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
LQB	Laboratório de Química e Biomassas
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
pH	Potencial hidrogeniônico
rpm	Rotações por minuto
UAEQ	Unidade Acadêmica de Engenharia Química
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UV-vis	Ultravioleta visível
ZnCl₂	Cloreto de zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 JUREMA PRETA (<i>Mimosa tenuiflora</i> (willd.) Poiret).....	19
3.2 CARVÃO ATIVADO	20
3.2.1 Carbonização	23
3.2.2 Métodos de ativação	23
3.3 ADSORÇÃO	24
3.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO	27
3.5 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	28
3.5.1 Modelo de Langmuir	30
3.5.2 Modelo de Freundlich	30
3.6 AZUL DE METILENO.....	31
4 METODOLOGIA	33
4.1 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA.....	33
4.2 TESTES DE ADSORÇÃO.....	35
4.2.1 Adsorção por azul de metileno	35
4.2.2 Efeito do tempo de adsorção	35
4.3 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 CURVA DE CALIBRAÇÃO	37
5.2 ADSORÇÃO POR AZUL DE METILENO	37
5.3 EFEITO DO TEMPO DE ADSORÇÃO.....	39
5.4 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	44

5.4.1 Modelo de Langmuir	44
5.4.2 Modelo de Freundlich	47
6 CONCLUSÕES	50
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, a poluição química de natureza orgânica ou inorgânica, decorrente dos despejos residenciais e/ou industriais, é considerado um dos problemas mais graves que afetam o meio ambiente (OLIVEIRA, 2011), onde os despejos provenientes do setor residenciais são relativamente menores que os industriais. Dentre inúmeros tipos de tratamentos existentes para a remoção de contaminantes dos efluentes, temos: filtração lenta, separação por membranas, onde podemos destacar a adsorção por carvão ativado.

Esta técnica é considerada uma das mais eficientes para tratamento de água, onde algumas vantagens incluem a alta eficiência na remoção de contaminantes presentes no meio aquoso, recuperação de produtos químicos, em processos de purificação, compostos orgânicos e metais. A adsorção pode ser designada como um fenômeno de superfície, no qual o soluto é removido de uma fase e acumulado na superfície de outra fase. Nesse sentido o material que vai ser adsorvido é conhecido como adsorvato e o meio onde este vai ser acumulado é chamado de adsorvente.

Os materiais adsorventes comerciais estão normalmente atrelados a elevados custos de produção e comercialização, a exemplo o carvão ativado. Devido aos elevados custos de aplicação do carvão ativado (CA) em processos de purificação ou tratamentos industriais, se faz necessário buscar algumas alternativas, como a utilização de biomassa para a produção de adsorventes de baixo custo e com a mesma eficiência de um CA comercial, com isso torna-se um crescente potencial na área de desenvolvimento científico e de aplicação comercial para diversas áreas (NUNES, 2009).

Carvão ativado é o nome comercial de um grupo de carvões que se caracterizam por possuir uma estrutura porosa e superfície interna elevada. São considerados carbonáceos que passaram por um processo que aumenta a porosidade interna. Quando o carvão é ativado, pode-se verificar uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim por diante (CLAUDINO, 2003).

Segundo Borges *et al* (2003), a produção do carvão ativado no Brasil é considerado insuficiente em relação as reais necessidades, onde a importação deste produto se faz necessário, devido aos mercados consumidores. A exemplo temos as empresas de fármacos até de transportes de gases, tratamento de água potável para a população, entre outras inúmeras formas de utilização.

A jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) é uma planta nativa da região semiárida brasileira, bastante conhecida pelo seu valor energético e de propriedade medicinal.

Também é utilizada como alimento para alguns animais, tais como os caprinos, ovinos e bovinos. Com isso, a escolha dessa planta foi feita em virtude de sua quantidade encontrada na natureza (região semiárida) e pelo seu potencial energético.

O presente trabalho busca avaliar a utilização da jurema preta como material adsorvente na remoção do corante azul de metileno na concentração de $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Para isso foram investigadas a adsorção do corante, o efeito do tempo de contato entre adsorvente e adsorbato, e as isothermas de adsorção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o carvão ativado produzido a partir da planta jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.)Poiré) como material adsorvente na remoção do corante azul de metileno.

2.2 Objetivos específicos

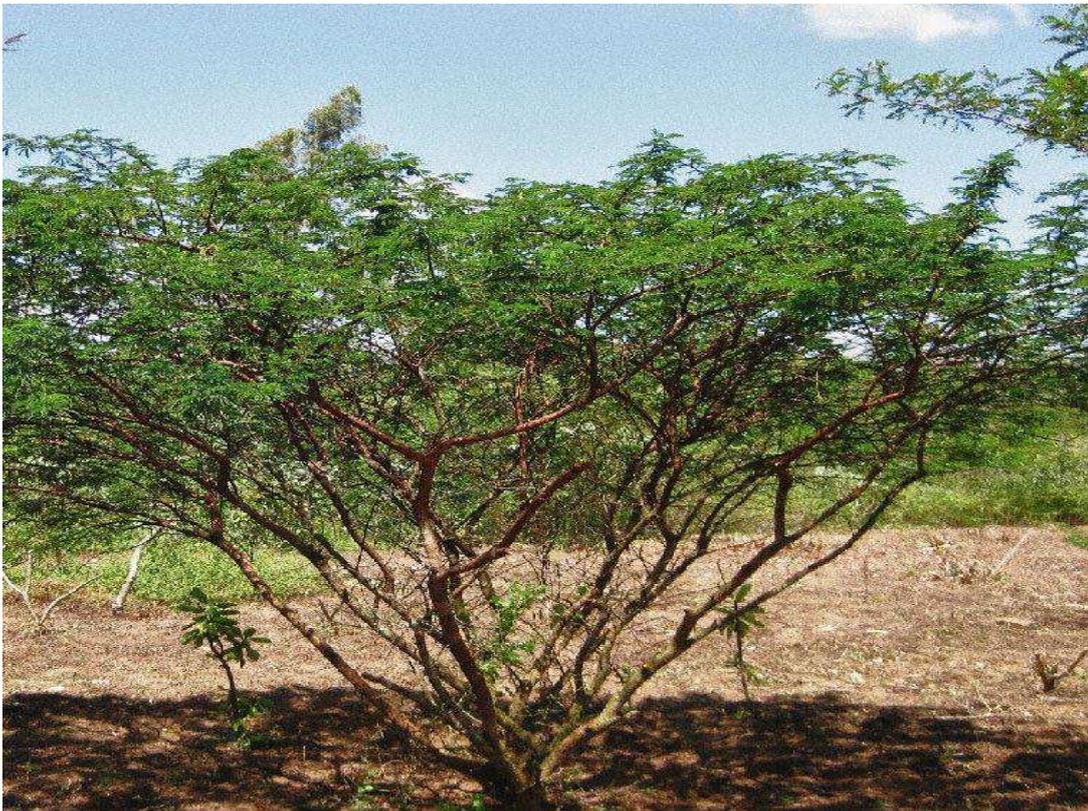
- ✓ Determinar o efeito do tempo de contato entre o adsorvente e o adsorbato;
- ✓ Determinar as isotermas de equilíbrio para a adsorção do corante;
- ✓ Determinar as curvas cinéticas do corante ajustando os modelos teóricos aos resultados experimentais;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 JUREMA PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret)

A jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) nativa da região semiárida brasileira, pertence à família Leguminosae, bastante apreciada como alimento por ovinos, caprinos e bovinos, principalmente na estação seca quando não há pastagens para sua alimentação (Figura 1). Pelo seu valor energético e propriedade medicinal, como no tratamento de ferimentos, acne e queimaduras na pele, é também utilizada como madeira e carvão (MAIA, 2004).

Figura 1 - Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret).



Fonte: <http://psychotropicon.info>, 2016.

É considerada uma planta arbustiva encontrada em larga escala na Caatinga, é distribuída nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (OLIVEIRA *et al.*, 1999). Apresenta sistema radicular profundo, que permite o seu desenvolvimento em solos degradados, notadamente, na ocupação inicial e secundária

das áreas degradadas ou em processo de degradação. Possui tronco com casca de cor castanho escuro e ramos de cor castanho avermelhada.

A floração ocorre entre novembro e dezembro, e, entre maio e junho, pode acontecer uma florada de menor intensidade. Suas inflorescências são reunidas em espigas, formadas por flores brancas, pequenas, e suavemente perfumadas, ocorrem em períodos de relativa escassez de água, evidenciando a importância ecológica da jurema preta para os insetos e demais componentes da fauna da caatinga (ARAÚJO *et al.*,2000). A produção de frutos ocorre especialmente entre os meses de julho e janeiro, onde segue o mesmo padrão da floração, sua coleta é possível durante muitos meses do ano (BAKKE, 2005).

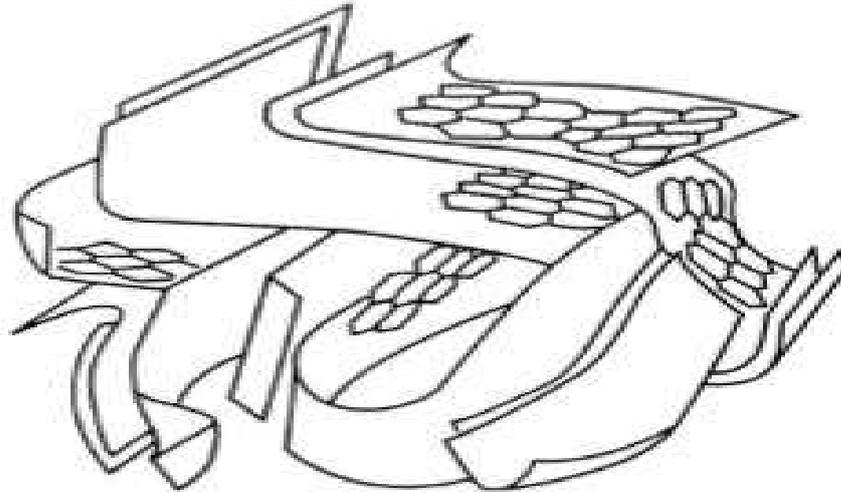
3.2 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um material carbonáceo de estrutura porosa, apresentando uma pequena presença de heteroátomos, principalmente oxigênio, ligada aos átomos de carbono. Apresentam uma forma microcristalina, não grafítica, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna (Figura 2).Depois da carbonização e ativação do material precursor, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores, dessa forma são responsáveis pelas interações físicas e químicas específicas do adsorvato. O processo de ativação também remove os carbonos com estrutura desorganizada e expõe os anéis aromáticos à ação dos agentes ativadores, fato que favorece o desenvolvimento da estrutura dos microporos.

Pode ser observada uma elevada área superficial específica, onde representa um dos grupos de adsorventes mais importantes do ponto de vista industrial, principalmente na indústria química e de outros setores em todo o mundo,devido aum amplo espectro de adsorvatos (íons metálicos, corantes, fenóis e derivados fenólicos, e outros), pois estes carvões ativados são bastante versáteis(RODRIGUEZ-REINOSO e MOLINA-SABIO, 1998; CLAUDINO, 2003; MORENO *et al.*, 2005; BASAL e GOYAL, 2005; BOURKE *et al.*, 2007).

Devido às propriedades de adsorção, estes materiais têm sidobastante utilizados na purificação e eliminação de componentes tóxicos em fases líquidas e gasosas, e em reações de catálise (HAYASHI *et al.*,2002a; ISMADJI *et al.*,2005).

Figura 2 - Esquema da microestrutura de um carvão ativado.



Fonte: RODRIGUEZ-REINOSO e MOLINA-SABIO (2004).

Carvões ativados podem ser fabricados a partir de uma grande variedade de matérias primas, é necessário apenas que tenham um alto teor carbonáceo, a exemplo sementes, endocarpo de coco, ossos de animais, entre outros, não possuir odor nem sabor e praticamente insolúvel em todos os solventes (MARSH e REINOSO, 2006).

Os carvões ativados podem ser basicamente de duas formas, em pó ou na forma granular, o carvão ativado granular (CAG), é considerado como o melhor adsorvente para a eliminação de compostos, tais como: os subprodutos derivados da desinfecção, que incluem os trihalometanos e outros compostos clorados, compostos aromáticos, pesticidas, herbicidas, detergentes e matéria orgânica natural que é a causadora da cor, odor e sabor de muitas das águas naturais. O carvão ativado em pó (CAP) é utilizado com o mesmo objetivo que o CAG, a diferença está no tamanho, (aproximadamente 44 μm do pó frente a 0,6-4 mm do granular) o qual permite velocidades de adsorção mais rápidas.

Dessa forma os dois tipos de carvão ativado são utilizados no tratamento de água e efluentes, especialmente, na remoção de moléculas de alto peso molecular. No entanto, muitas vezes surgem dificuldades no processo de adsorção devido à baixa difusão das partículas nos poros, principalmente no caso de adsorventes granulares (PHAN *et al.* 2006). Na tabela a seguir podem ser observadas algumas vantagens, desvantagens e principais usos do CAG e CAP no tratamento de água.

Tabela 1- Vantagens, desvantagens e principais usos do CAG e CAP.

	CAG	CAP
Vantagens	Facilmente regenerado. Menor taxa de uso de carvão por volume de água tratada quando comparado ao CAP.	Facilmente adicionado em instalações de coagulação existente para controle sazonal de compostos orgânicos.
Desvantagens	Necessidade de tubulação para distribuir o fluxo e substituir carvão saturado. Compostos anteriormente adsorvidos podem desorver e em alguns casos aparecer no efluente em concentrações maiores às presentes no afluente.	Taxa de utilização muito maior de carvão por volume de água tratada em relação à CAG.
Principais usos	Barreira contra picos ocasionais de produtos orgânicos tóxicos em águas superficiais e controle de compostos causadores de gosto e odor. Controle dos compostos orgânicos tóxicos presentes nas águas subterrâneas.	Controle sazonal de compostos causadores de gosto e odor e herbicidas e pesticidas adsorvido fortemente em baixas concentrações ($<10\mu\text{g.L}^{-1}$).

Fonte: MWH, 2005.

Podemos destacar que o carvão ativado em pó é geralmente usado como aditivos em batelada, na separação e concentração de produtos em áreas bastante distintas, tais como alimentação, produtos farmacêuticos, químicos, petróleo, energia nuclear, e indústrias automotivas (CASTILLA, 2004; BANSAL e GOYAL, 2005). Porém, muitas vezes aparecem dificuldades no processo de adsorção devido à baixa difusão das partículas nos poros, sobretudo no caso de adsorventes granulares (PHAN *et al*, 2006).

Apesar de apresentar muitas vantagens e ser um dos melhores adsorventes, o carvão ativado tem suas desvantagens como o alto custo, devido às perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, ineficácia de certos tipos de sorbatos (devido principalmente à regeneração não linear dos carbonos saturados que, em geral provêm na perda da capacidade

de adsorção) (SAVOVA *et al.*, 2001; DALLAGO *et al.*, 2005; CRINI, 2006; DIAS *et al.*, 2007).

3.2.1 Carbonização

A carbonização consiste basicamente na pirólise (queima) do material precursor, em atmosfera inerte, através de altas temperaturas, geralmente em torno de 400°C. Esta etapa é considerada a preparação inicial do material a ser ativado posteriormente, onde componentes voláteis e gases leves (CO, H₂, CO₂ e CH₄) são removidos, produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior (CLAUDINO, 2003).

Durante a carbonização, diferentes biopolímeros do material precursor escapam como produtos voláteis tais como, o nitrogênio, oxigênio e hidrogênio presentes na celulose. O carvão obtido depois da carbonização é essencialmente microporoso, mas essa microporosidade pode tornar-se preenchida ou parcialmente bloqueada pelos produtos de decomposição, contudo para aumentar o volume dos microporos torna-se necessário fazer a ativação (CLARK, 2010).

3.2.2 Métodos de ativação

A ativação é necessária para submeter o material carbonizado a reações secundárias, com finalidade de transformar este produto em um adsorvente de alta porosidade com elevada área superficial. Este processo de ativação promove a remoção dos carbonos com estrutura desorganizada e expõe os anéis aromáticos à ação dos agentes ativadores, evento este que favorece o desenvolvimento da estrutura dos microporos. O processo de ativação pode ser realizado através da ativação física ou ativação química (BANSAL e GOYAL, 2005).

O processo de ativação física consiste na reação do carvão com gases contendo oxigênio combinado, geralmente H₂O e CO₂ ou a mistura de ambos, esses gases se comportam como agentes oxidantes moderados na faixa de temperatura de 800°C a 1000°C e os poros são, então, criados (CLAUDINO, 2003). Este processo pode ser dividido em duas etapas, a primeira consiste na pirólise, na qual, são removidos produtos voláteis e a umidade presente. Na segunda etapa, é a ativação propriamente dita, onde é incorporado ao material precursor, porosidade e conseqüentemente a elevação da área superficial específica (COSTA, 2007).

No processo de ativação química o precursor é impregnado com um agente ativador, podendo este ser o ácido fosfórico (H_3PO_4), cloreto de zinco (ZnCl_2), ácido sulfúrico (H_2SO_4), hidróxido de sódio (NaOH), entre outros. Onde estes agentes têm em comum a capacidade desidratante, a qual vai influenciar na decomposição por pirólise, inibindo a formação de betuminosos no interior dos poros (SCHETTINO JR, 2004). Neste processo serão liberados compostos voláteis, H_2 , CO_2 , CO , CH_4 , Cl_2 entre outros, o qual vai depender do agente ativante utilizado. Isso faz com que alguns poros sejam formados na estrutura do material. A parte que não foi volatilizada do agente ativante é removida por meio de solução ácida ou básica, expondo a estrutura porosa do carvão ativado (CLAUDINO, 2003).

Na ativação química pode-se apresentar algumas vantagens em relação a ativação física uma vez que tanto a carbonização quanto as etapas de ativação ocorrem simultaneamente e geralmente a temperaturas mais baixas que na ativação física (CLARK, 2010). Outras vantagens neste tipo de ativação estão relacionadas ao baixo custo energético, temperaturas próximas a 600°C , e à alta eficiência do processo (COSTA, 2007).

3.3 ADSORÇÃO

Adsorção é um fenômeno de adesão de moléculas de um fluido (o adsorvido) a uma superfície sólida (o adsorvente). O material adsorvido é denominado adsorvato, e o meio onde se faz o acúmulo deste é denominado de adsorvente (PERUZZO, 2003). Podemos dizer que a adsorção é um processo físico-químico de transferência de um ou mais constituintes (adsorvatos) de uma fase líquida para a superfície de uma fase sólida (adsorvente). O efeito de adsorção depende da temperatura, da natureza da substância adsorvida (adsorvato), do estado de agregação do adsorvente (sólido) da pressão e da área da superfície - os sólidos porosos como o carvão ativado são ótimos adsorventes.

Devido à concentração do adsorvato na superfície do adsorvente, o favorecimento de aumento da área superficial geralmente resulta numa maior eficiência da adsorção. Dessa forma, comumente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BORBA, 2006).

A adsorção pode ser representada pela seguinte equação:



Onde: A é o adsorvato; B é o adsorvente; AB o composto adsorvido.

O fenômeno de adsorção ocorre porque átomos da superfície têm uma posição incomum em relação aos átomos do interior do sólido. Durante o processo, as moléculas encontradas na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas, tais quais ligações de hidrogênio, ligações covalentes, interações dipolo-dipolo, forças de van der Waals, ligações eletrostáticas, entre outras (CAMARGO *et al.* 2005). Essas forças são diferenciadas pela energia de adsorção envolvida, na qual uma molécula específica será adsorvida em relação a outras do sistema. Dessa forma, a adsorção é um fenômeno que depende da área superficial e do volume dos poros. A estrutura dos poros restringe as dimensões das moléculas que podem ser adsorvidas e a área superficial disponível restringe a quantidade de material que pode ser adsorvido (ALVES, 2005).

Segundo Homem (2001), existe uma relação entre as forças exercidas pela superfície sobre essas moléculas e as forças de campo das outras moléculas vizinhas, devido ao tempo de contato entre a molécula e a superfície do adsorvente, o qual depende diretamente da energia que a molécula é segura.

A adsorção pode ser de dois tipos principais, física e química. A adsorção física ou fisissorção é não-específica, rápida e reversível. O adsorvato encontra-se ligado a superfície por forças de van der Waals (forças dipolo-dipolo e forças de polarização, envolvendo dipolos induzidos) além de outras forças, tais quais forças eletrostáticas e ligações de hidrogênio. A adsorção física é menos específica para compostos adsorvíveis em sítios superficiais, tem forças menos intensas, menores energias de ligação, opera em longas distâncias (múltiplas camadas) e é reversível, quando comparada com a adsorção química. Onde este tipo de adsorção é o mais comum pelo qual as substâncias orgânicas são removidas em processos de tratamento de água. A adsorção química é específica e envolve a formação de um composto bidimensional (NIEDERSBERG, 2012).

Na adsorção química ou quimissorção a interação entre o adsorvente e o adsorvato é mais forte, da ordem de uma ligação química. Neste caso é necessário que exista uma afinidade entre elementos para formar a ligação. Além disso, ocorre a formação de apenas uma camada na parede do sólido, ou seja, não podem acumular mais do que uma molécula por camada, por causa da especificidade da ligação (SCHETTINO JUNIOR, 2004).

Para que as moléculas sejam facilmente adsorvidas se faz necessário possuir uma carga elétrica superficial neutra. O encontro entre o carvão ativado e as moléculas que necessitam ser adsorvidas depende de dois fatores básicos para ocorrer, do tempo de contato e da agitação, dessa forma, dependendo das concentrações de ambos e da eficiência de adsorção do

adsorvente, um tempo de contato maior ou menor deve ser necessário para atingir o equilíbrio.

Segundo Fernandes (2008), a adsorção pode ser determinada pela sua área superficial específica, presença, tamanho e distribuição de poros, teor de cinzas, densidade e natureza dos grupos funcionais presentes na superfície.

Na tabela a seguir podem ser observadas algumas diferenças básicas entre a fisissorção e a quimissorção.

Tabela 2 -Diferenças básicas entre a adsorção física e química.

Adsorção Física	Adsorção Química
Causada por forças eletrostáticas, como de van der Walls	Causada por compartilhamento de elétrons
Não há transferência de elétrons	Ocorre a transferência de elétrons
Formação de várias camadas abaixo da temperatura crítica	Ocorre apenas formação de monocamadas
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento a temperatura acima a de adsorção
Adsorvente quase não é afetado	O adsorvente é altamente modificado na superfície
Lenta ou rápida	Ocorre instantaneamente
Acontece somente abaixo da temperatura crítica	Acontece também a altas temperaturas

Fonte: NIEDERSBERG, 2012.

A adsorção é um dos processos mais utilizados para purificação de substâncias, remoção de odor, cor e impurezas, tratamentos de água, esgotos residuais, porém, na maioria das vezes, ela é reversível (COUTO, 2009).

Segundo Leal (2013), o tamanho da partícula adsorvente e o tamanho molecular são importantes na taxa de adsorção, pois o tamanho do adsorvente é que determina o tempo requerido para o transporte dentro dos poros, ou seja, os locais em que ocorre adsorção. As moléculas são facilmente adsorvidas quando a carga elétrica superficial é neutra. Porém quando são ionizadas, devido a variação no pH da solução, estas moléculas possuem maior

afinidade com a água, dificultando a adsorção. As condições operacionais influenciam bastante na adsorção, como o tempo de contato e a agitação que proporcionam a interação entre o carvão ativado e as moléculas que devem ser adsorvidas, dessa forma, dependendo das concentrações de ambos e da eficiência de adsorção do adsorvente, com isso um tempo de contato maior ou menor será necessário para atingir o equilíbrio.

A polaridade relativa também é um dos fatores operacionais, sendo este inerente à própria natureza. As polaridades do adsorvente e do adsorbato devem ser próximas, a exemplo, o carvão ativado cuja superfície é fraca polarmente, tem preferência por solutos com baixa polaridade. Com isso, a adsorção de solutos de baixa polaridade, ao invés de água (solvente polar), é preferível (GEANKOPLIS, 1993).

3.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção expõe a velocidade de remoção do soluto, sendo dependente das características físicas e químicas do adsorbato, do adsorvente e do sistema experimental. A velocidade com que estas moléculas aderem à superfície do sólido depende exclusivamente de:

- Características físico-químicas do adsorbato como: massa molar, natureza do adsorbato, solubilidade etc.;
- Características físico-químicas do adsorvente como: natureza do adsorvente, estruturas e tamanhos dos poros;
- Características físico-químicas da solução como: pH, temperatura e concentração.

A cinética de adsorção está relacionada com a velocidade descrita em quatro etapas sucessivas descritas abaixo (VALENCIA, 2007).

1ª etapa: Transporte no seio da solução, da superfície adsorvente, existe um filme fixo de líquido que transporta o adsorbato (substância a ser adsorvida) para o adsorvente;

2ª etapa: Transporte por difusão através da camada limite, que corresponde ao transporte do adsorbato por difusão através da camada limite até a entrada dos poros do adsorvente (difusão externa);

3ª etapa: Transporte através dos poros, envolve o transporte do adsorbato através dos poros da partícula por uma combinação de difusão molecular através do líquido contido no interior dos poros e difusão ao longo da superfície do adsorvente (difusão interna);

4ª etapa: Adsorção que vai ser a ligação do adsorbato através de forças de interação, em sítios disponíveis na superfície sólida dentro dos poros do material adsorvente.

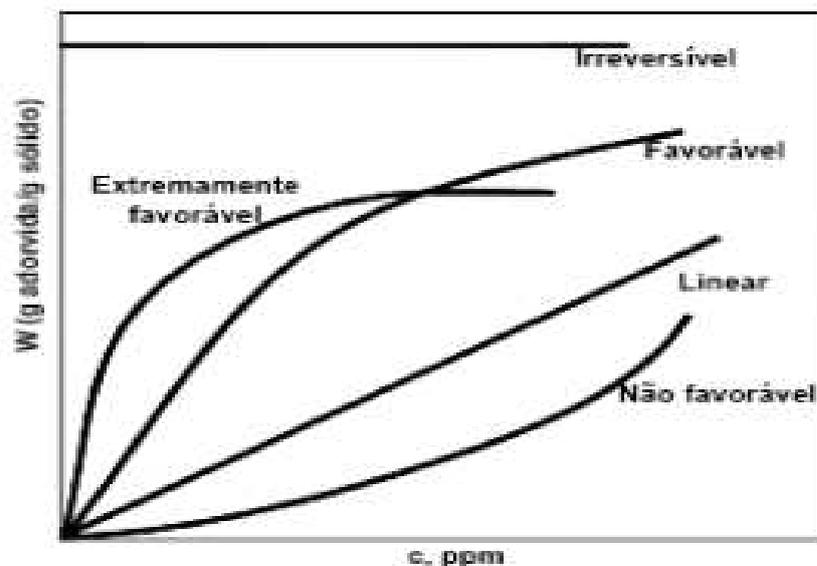
Com isso pode-se afirmar que a cinética de adsorção é importante, uma vez que controla a eficiência do processo.

3.5 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção em fase líquida são representadas por curvas de concentração do soluto na fase sólida, em função da concentração do soluto na fase fluida, em uma determinada temperatura. As isotermas medem a eficiência da adsorção, também consideradas a maneira mais conveniente para especificar o equilíbrio de adsorção e o seu tratamento teórico. Dessa forma, as isotermas fornecem a primeira informação experimental, que será importante para escolher entre diferentes carvões, o mais apropriado para uma aplicação específica (COUTO, 2009).

A forma das isotermas também é a primeira ferramenta experimental para conhecer o tipo de interação entre o adsorbato e o adsorvente. As isotermas podem apresentar-se de várias formas, fornecendo informações importantes sobre o mecanismo de adsorção, com isso algumas formas mais comuns estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Isotermas de adsorção.

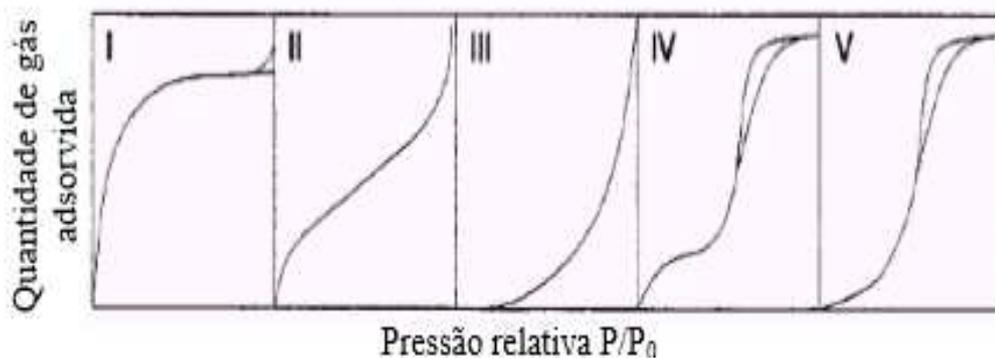


Fonte: CUSSLER, 1997.

A isoterma linear passa pela origem e a quantidade adsorvida é proporcional à concentração do adsorbato do fluido. Isotermas convexas são favoráveis, pois grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com baixas concentrações do adsorbato (CUSSLER, 1997).

O modelo BET, proposto por Brunauer, EmmetandTeller, representa uma complementação ao modelo de Langmuir, assumindo a possibilidade de que uma camada é capaz de produzir sítios de adsorção gerando a deposição de uma camada sobre a outra. Na Figura 4 está representada a classificação das isotermas classificadas por Brunauer, EmmetandTeller, citada por Couto (2009), as quais são divididas em cinco tipos distintos.

Figura 4 - Isotermas pela classificação BET (Brunauer, EmmetandTeller).



Fonte: COUTO, 2009.

A isoterma do tipo I está relacionada à adsorção em microporos. Também conhecida como a do tipo Langmuir e é característica de adsorventes com poros extremamente pequenos (0,8 nm a 1,8 nm). A isoterma do tipo II está relacionada à adsorção em sistemas não porosos e corresponde à formação de multicamadas. As isotermas do tipo III e V estão relacionadas a interações muito fracas em sistemas contendo macro e mesoporos, porém a isoterma do tipo III é relativamente rara, em virtude de forças de adsorção pouco intensas. Nas isotermas do tipo IV a dessorção não coincide com a adsorção (histerese), consequência da presença de finos capilares.

3.5.1 Modelo de Langmuir

Este modelo foi proposto por Langmuir (Langmuir, 1918) e foi a primeira isoterma a assumir que ocorre a formação de uma monocamada sobre o adsorvente. É o modelo mais amplamente utilizado. De acordo com Chaves (2009), essa isoterma foi desenvolvida assumindo-se que: a adsorção ocorre em monocamada, todos os sítios possuem a mesma energia adsortiva, a adsorção é reversível, não há interação entre as moléculas adsorvidas e os sítios vizinhos (a adsorção é independente). A isoterma de Langmuir é definida pela seguinte equação (1).

$$q_e = \frac{K_L Q_0 C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

Onde:

Q_0 representa a adsorção máxima (mg g^{-1});

q_e a quantidade adsorvida no equilíbrio (mg g^{-1});

C_e a concentração do adsorbato no equilíbrio (mg L^{-1});

k_L é constante do modelo (L mg^{-1}) equivalente à constante de equilíbrio químico em reações.

Schneider (2008), relata algumas hipóteses para este modelo, tais como: todas as moléculas adsorvem sobre sítios definidos do adsorvente; cada sítio pode ser ocupado por apenas uma molécula; a energia de adsorção de cada sítio é igual; quando moléculas ocupam sítios vizinhos a outras moléculas adsorvidas, não há interações entre as moléculas adsorvidas.

3.5.2 Modelo de Freundlich

A isoterma de Freundlich é uma equação empírica que considera a existência de uma estrutura de multicamadas, e não prevê a saturação da superfície. O modelo considera o sólido heterogêneo e distribuição exponencial para caracterizar os vários tipos de sítios de adsorção, os quais possuem diferentes energias adsortivas (NUNES, 2009).

Em muitos casos, o modelo de Freundlich, fornece uma representação de equilíbrio de adsorção de um único soluto melhor que a isoterma de Langmuir (FERNANDES, 2005). O

presente modelo aplica-se bem em dados experimentais de faixa de concentração limitada. A Equação 3 representa o modelo de Freundlich.

$$Q_e = KC_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Onde:

Q_e é a quantidade adsorvida na fase sólida (mg.g^{-1} de adsorvente);

C_{eq} é a concentração de equilíbrio (mg.L^{-1}); K e n são constantes.

As constantes estão relacionadas à distribuição dos sítios ativos e a capacidade de adsorção do adsorvente, tais constantes dependem de vários fatores experimentais tais como temperatura, área superficial do adsorvente e do sistema particular a ser estudado. O expoente “ n ” fornece uma indicação se a isoterma é favorável ou desfavorável, sendo valores de “ n ” no intervalo de 1 a 10 representativos de condições de adsorção favorável (LATINI, 2006).

3.6 AZUL DE METILENO

Os corantes geralmente têm origem sintética e estrutura molecular aromática complexa, que os fazem mais estáveis e de difíceis biodegradação. Corantes considerados básicos são solúveis em água, produzem cátions coloridos em solução, dessa forma, referem-se a eles como corantes catiônicos.

O azul de metileno (AM) é um corante básico e pertence à classe das fenotiazinas, apresenta fórmula molecular igual a $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ e massa molar de $373,90 \text{ g.mol}^{-1}$. É considerado orgânico, aromático, heterocíclico, solúvel em água ou álcool, pouco tóxico, utilizado como composto modelo em reações de oxidação por apresentar forte absorção na região do UV-visível ($\lambda_{\text{max}} = 665 \text{ nm}$), e propriedades semelhantes às dos corantes têxteis, sendo de difícil degradação (COUTO, 2009).

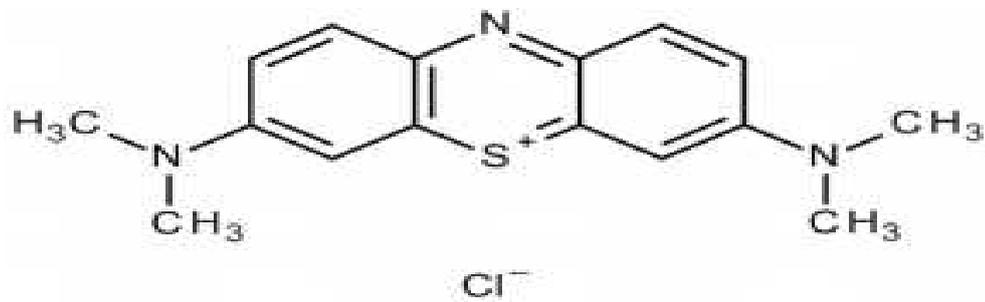
Uma aplicação bastante utilizada deste corante é como corante bacteriológico, no processo de coloração de bactérias como os bacilos da hanseníase e da tuberculose (GILIOLI, 2015). Utilizado como corante para o tingir roupas. A Figura 5 abaixo representa a estrutura do corante azul de metileno.

De acordo com Fungaroe Bruno (2012), citada por Dias (2013), o corante AM é uma substância fortemente venenosa e prejudicial à saúde humana podendo causar dificuldade na

respiração (caso seja inalado), quando ingerido produz uma sensação de queima, vômito, náusea, diarreia e gastrite.

Podemos citar alguns estudos que utilizaram o azul de metileno como adsorbato, usando o carvão ativado como adsorvente, como também as mais diferentes biomassas. Perante a grande utilização comercialmente e industrialmente deste corante, o AM é tido como corante modelo para estudos de adsorção, no tratamento de efluentes (AYGUN, 2003; YENISOY-KARAKAS, 2004).

Figura 5 - Estrutura do corante azul de metileno.



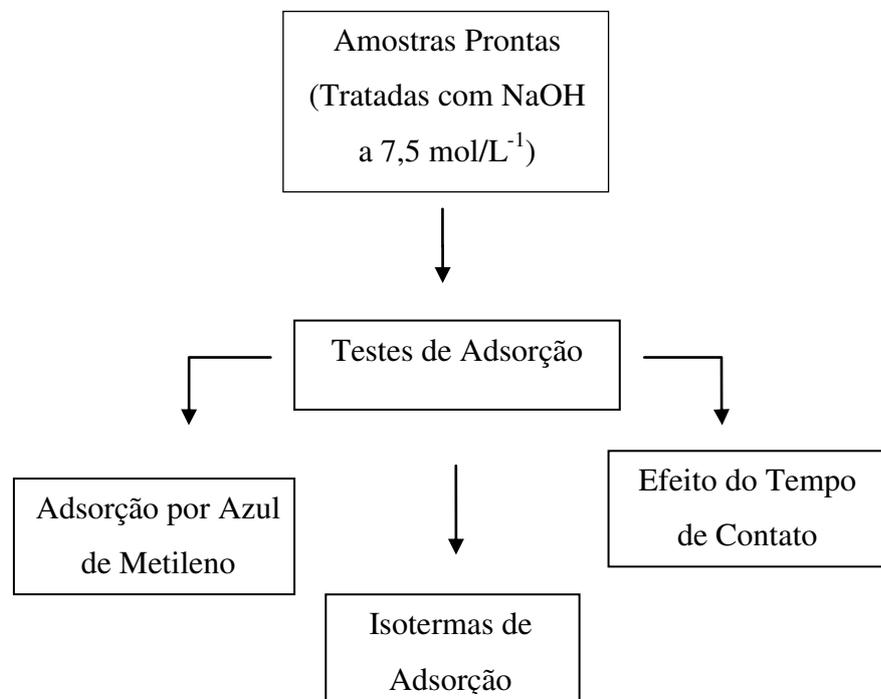
Fonte: GILIOLI, 2015.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Química e Biomassas - LQB, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química – UAEQ, localizada na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no Centro de Ciências e Tecnologia – CCT, na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, Brasil.

O experimento ocorreu conforme o fluxograma apresentado abaixo e descritos no decorrer da metodologia.

Figura 6 - Fluxograma dos experimentos a serem realizados.



4.1 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA

Neste trabalho foram utilizadas amostras de carvão ativado (Figura7) produzido a partir da madeira da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.)Poiret) com tratamento químico de hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de 1:1 a 7,5 mol.L, essas amostras foram produzidas pelo Mestrando Adeilton Padre de Paz em parceria com Tamara Aline Ramos Maciel.

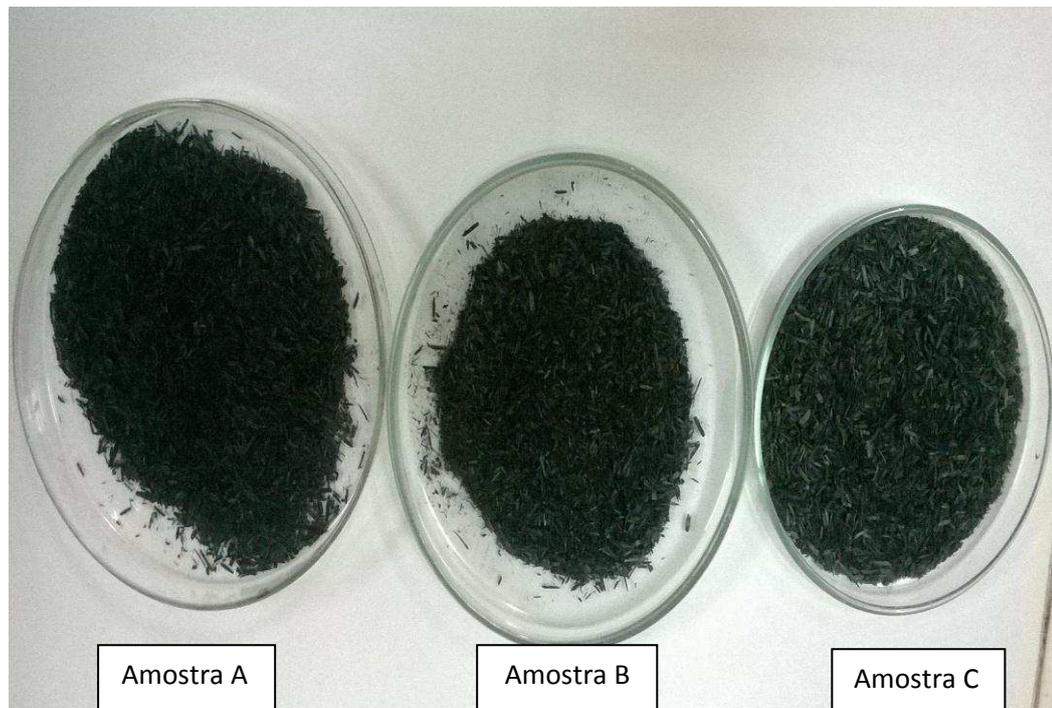
Estas amostras passaram por diferentes processos de queima, a exemplo, as temperaturas e tempos são distintos. Na Tabela 3 abaixo pode ser observado às descrições dos carvões ativados utilizados neste trabalho. Para obter esses carvões foram utilizadas cerca de 400 g de jurema preta tritura e peneirada em malha 14, as amostras foram tratadas com hidróxido de sódio a 7,5 molar em uma proporção de 1:1. Permaneceram em repouso por 24 h e depois foram levadas para a estufa por igual período, após este processo o material foi colocado em reatores e pirolisado em mufla por diferentes temperaturas e tempos. Quando o material foi retirado esperou esfriar para então ser lavado para que o pH fique em torno do neutro, para então ser utilizado como adsorvente.

Tabela 3 -Carvões ativados utilizados no experimento.

AMOSTRA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	MASSA CARVÃO ATIVADO (g)
A	400	180	102,96
B	550	120	96,62
C	700	60	101,40

Fonte: A autora.

Figura 7 - Amostras do carvão ativado utilizado nos experimentos.



Fonte: A autora, 2016.

4.2 TESTES DE ADSORÇÃO

Para realização dos testes de adsorção foram utilizadas soluções aquosas do corante orgânico catiônico azul de metileno (AM), comumente utilizado como molécula modelo, fórmula química = $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$, $\lambda_{max} = 660nm$.

Para transformar os dados de absorvância em concentração de AM, foi necessário construir uma curva padrão de AM. Onde foram preparadas soluções de diferentes concentrações do corante e, em seguida, foram medidas suas respectivas absorvâncias no espectrofotômetro, gerando uma curva com ajuste linear.

4.2.1 Adsorção por azul de metileno

Pesou-se 0,2 g do carvão ativo que serão colocados num conjunto de tubos de polietileno (50 mL) contendo 30 mL de 10 mg/L de concentração azul de metileno. Os frascos foram agitados isotermicamente a 25°C a uma velocidade de agitação de 150 rpm durante 24 horas. Após atingir o equilíbrio, a concentração do azul de metileno que permanece na solução será determinada usando espectroscopia UV/Vis, num comprimento de onda $\lambda = 660$ nm. A remoção de azul de metileno (%) pode ser calculada com a equação a baixo:

$$\% \text{ Remoção} = \frac{\text{concentração inicial} - \text{concentração final}}{\text{concentração inicial}} \times 100 \quad (4)$$

4.2.2 Efeito do tempo de adsorção

O presente experimento foi realizado para determinar o comportamento do processo de adsorção em decorrência do tempo de contato. Aproximadamente 0,2 g de carvão foram colocados em contato com 30 mL de solução de azul de metileno, na concentração de 10 mg L⁻¹, por diferentes tempos de contato (5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min, 300 min, 720 min e 1440 min). O procedimento foi realizado em triplicata, onde os frascos contendo as amostras foram agitados isotermicamente com velocidade de 150rpm, e temperatura de 30 °C. A concentração de AM resultante, após a adsorção, foi determinada por espectroscopia na

região do visível (660 nm). A quantidade de azul de metileno adsorvida por unidade de massa do adsorvente q_{eq} (mg g^{-1}) foi calculada utilizando a Equação 5.

$$q_{eq} = \frac{(C_i - C_f) V}{m} \quad (5)$$

Em que, q_{eq} é a capacidade de biossorção do adsorvato pelo adsorvente (mg.g^{-1})
 C_i é a concentração inicial do adsorvato e C_f é a concentração final do adsorvato.

4.3 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Para os testes de adsorção, foram utilizados os modelos de Freundlich, Langmuir, conforme a tabela 2, o Excel 2010 e o OriginPro 8.

Tabela 4 - Modelos utilizados para os testes de adsorção dos carvões ativos.

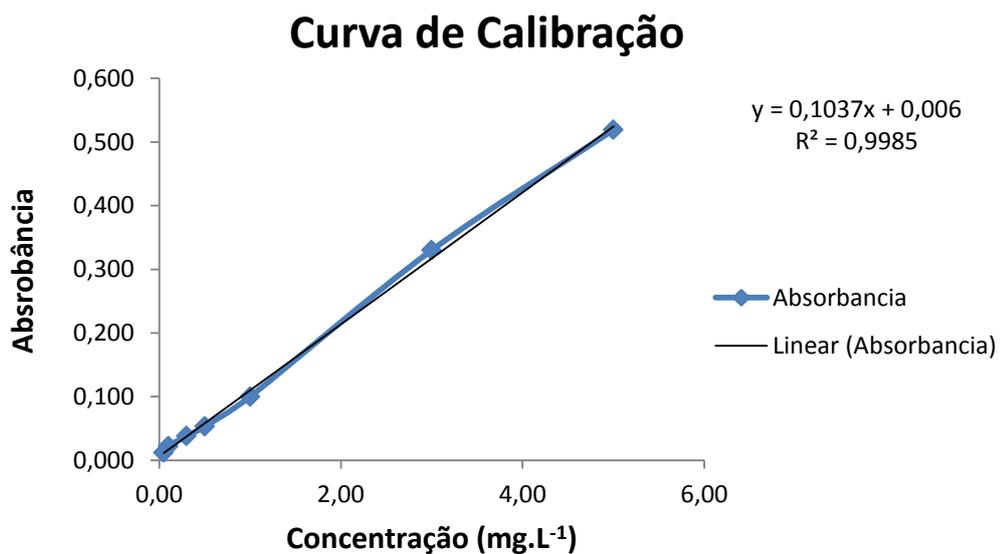
Modelos	Equação	Termos
Freundlich	$Q_e = K_F C_{eq}^{\frac{1}{n}}$	<p>q = quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg.g^{-1});</p> <p>K_F = a constante de Freundlich;</p> <p>n = um parâmetro empírico;</p> <p>C_{eq} = concentração no equilíbrio do soluto em solução (mg.L^{-1});</p>
Langmuir	$q = \frac{q_{max} K_L C}{1 + K_L C}$	<p>q = quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg.g^{-1});</p> <p>C = concentração no equilíbrio do soluto em solução (mg.L^{-1});</p> <p>q_{max} = parâmetro que representa a capacidade de adsorção na monocamada (mg.g^{-1});</p> <p>K_L = parâmetro relacionado com a energia de adsorção e dependente da temperatura.</p>

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CURVA DE CALIBRAÇÃO

A curva de calibração mostra a resposta de um método analítico para quantidades conhecidas de um constituinte. Skoog *et al.* (2006), diz que de acordo com a Lei de Lambert-Beer, um gráfico da absorbância versus concentração possui relação crescente e linear para concentrações diluídas do soluto. A curva padrão apresenta um ajuste linear de $R^2 = 0,998$ com concentrações variando de 5mg L^{-1} a $0,05\text{ mg L}^{-1}$. A Figura 8 abaixo apresenta a curva padrão de calibração.

Figura 8 - Curva de calibração de azul de metileno.



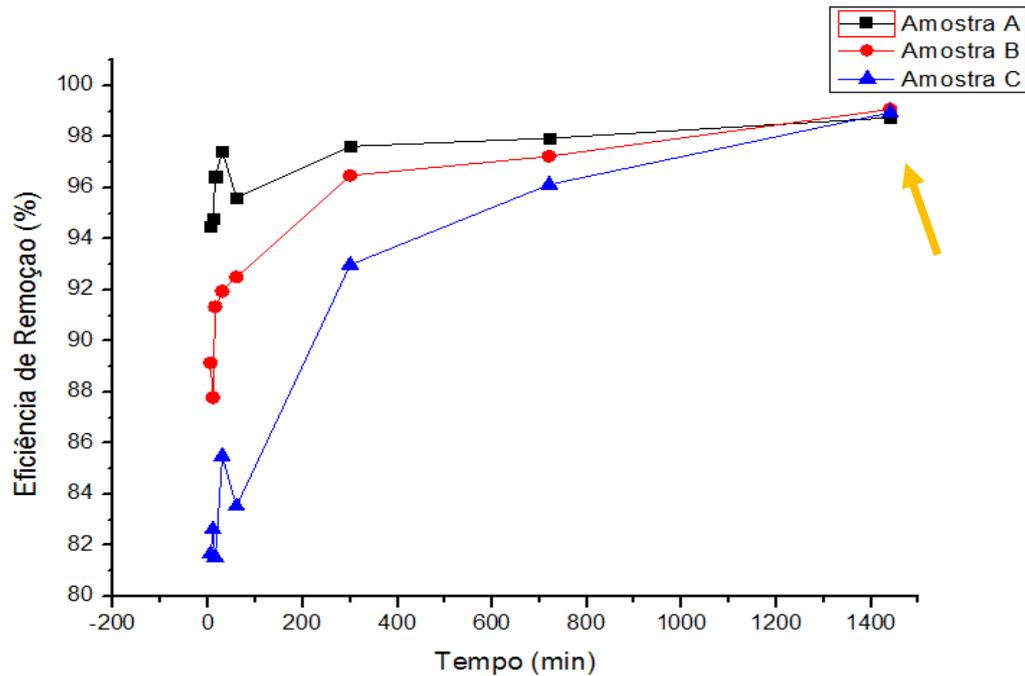
A equação da reta ($y = 0,103x + 0,006$) foi utilizada para converter os dados de absorbância obtidos por Espectrofotometria de UV-Vis em concentração de AM mostrados nas curvas de adsorção e em função do tempo de contato.

5.2 ADSORÇÃO POR AZUL DE METILENO

No presente experimento, podemos observar os valores obtidos na remoção do corante após 24 horas de contato na Tabela 5, em 3 amostras analisadas diferentes com parâmetros na produção.

Tabela 5 - Valores referentes à eficiência de remoção do azul de metileno.

AMOSTRAS	% REMOÇÃO
A (400 °C, 180 min, 102,96 g)	99,06
B (550 °C, 120 min, 96,62 g)	98,74
C (700 °C, 60 min, 101,40 g)	98,93

Figura 9 - Eficiência de remoção do corante azul de metileno para as três amostras analisadas.

Quando as amostras foram analisadas, pode-se observar (Figura 9) que em 300 minutos até 700 min a remoção do corante azul de metileno das amostras apresentaram uma pequena diferença para a Amostra A foi de 3 % quando observado em relação a Amostra B, a qual apresentou 1 % quando comparada com a Amostra C que foi de 0,5 %. No período de 1440 minutos essa eficiência ficou próxima a 100%. Com isso torna-se evidente que o presente estudo foi satisfatório, é provável que a adsorção do corante tenha ocorrido primeiramente na superfície e, depois, por meio da difusão para dentro dos sítios presentes no material adsorvente.

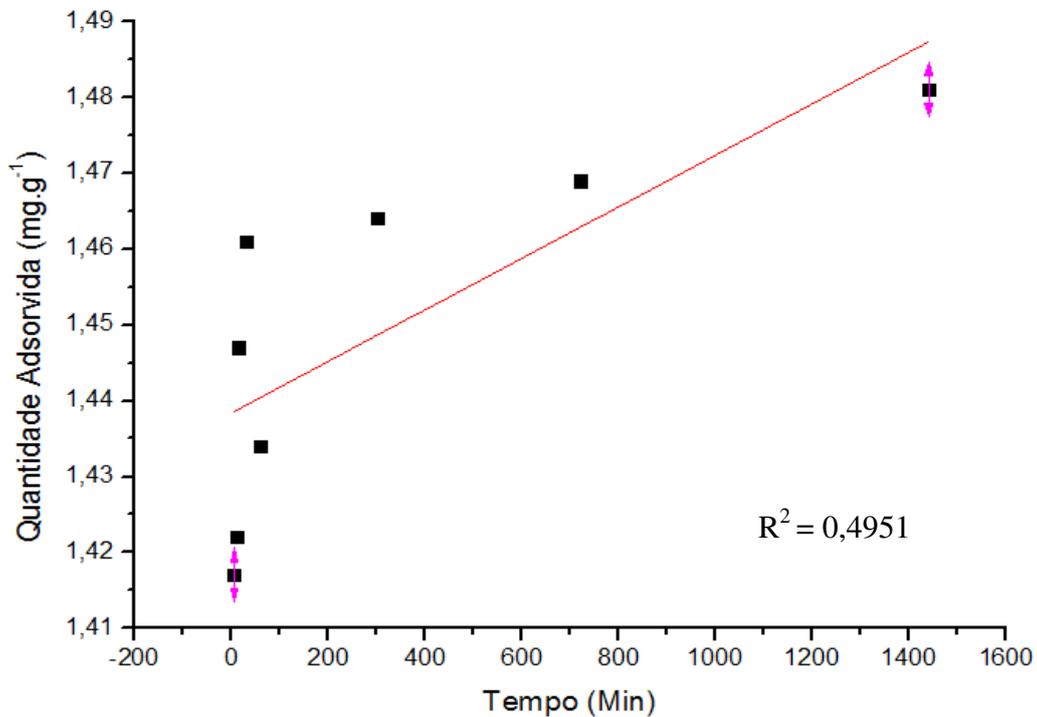
5.3 EFEITO DO TEMPO DE ADSORÇÃO

Na Tabela 6 abaixo, encontram-se os dados referentes ao processo de adsorção do azul de metileno em função do tempo, utilizando o carvão ativado produzido a partir da jurema preta (Amostra A), com tratamento químico (NaOH a $7,5 \text{ mol L}^{-1}$).

Tabela 6 - Valores da adsorção do corante azul de metileno em função do tempo, utilizando o carvão ativado da jurema preta (Amostra A), previamente tratado quimicamente com NaOH.

Tempo (min)	Concentração final média (mg.L^{-1})	Concentração adsorvida média (mg.L^{-1})	Quantidade adsorvida - q_e (mg.g^{-1})	Eficiência de remoção (%)
5	0,554	9,446	1,417	94,46
10	0,521	9,479	1,422	94,79
15	0,353	9,647	1,447	96,43
30	0,259	9,741	1,461	97,41
60	0,440	9,560	1,434	95,60
300	0,239	9,761	1,464	97,61
720	0,207	9,793	1,469	97,93
1440	0,126	9,874	1,481	98,74

Figura 10 - Relação entre a quantidade de corante AM adsorvida e o tempo de contato entre o CA da jurema preta e a solução (Amostra A).



Na Tabela 6, pode-se observar que o tempo de contato de 5 minutos à 15 minutos apresentaram uma boa remoção, não ocorreu diferenças significativas entre os tempos. No período de 30 min a eficiência de remoção foi de 97,41%, onde podemos afirmar que neste período a eficiência de remoção foibastante significativa, pois removeu praticamente todo o corante presente na amostra, tornando-se assim o melhor tempo para tal finalidade. Entre 12 h e 24 h a remoção em relação ao tempo, do corante foi de 97,93% e 98,74%, respectivamente. Com isso podemos sugerir que a eficiência de remoção deve-se provavelmente a ação do NaOH, que aumenta a quantidade de poros, devido à retirada de componentes orgânicos que possam estar obstruindo os sítios ativos do material (ROCHA *et al.* 2006).

Na Tabela 7 pode-se observar os valores obtidos nos diferentes tempos de contato entre o adsorvente e o corante azul de metileno para o carvão ativado (Amostra B). Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois à medida que o tempo de contato aumenta, a adsorção consequentemente aumenta, ou seja, são diretamente proporcionais.

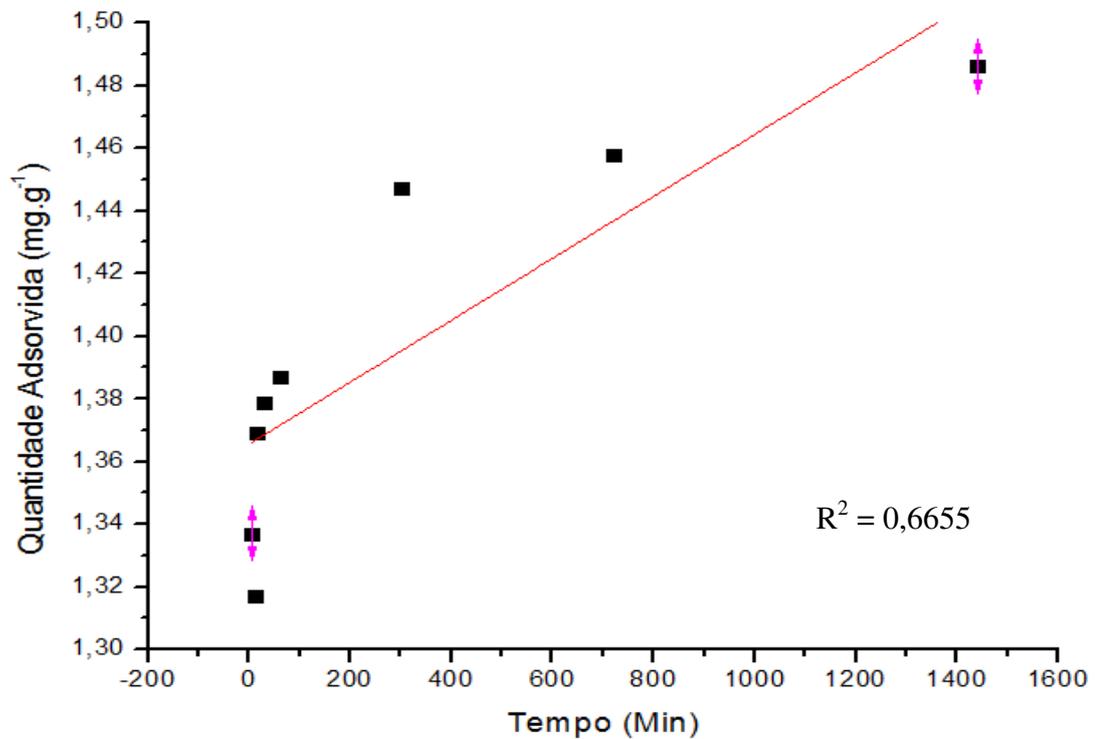
Neste ensaio foi possível observar um aumento na adsorção do corante azul de metileno em função do tempo de contato (Tabela 7). Como já havia sido descrito por Brumetal. (2008) e Mestreet *al.* (2011), citada por Niedersberg, (2012).Nos primeiros 5

minutos ocorreu uma diminuição significativa na concentração do corante azul de metileno, apresentando um índice de remoção de 89,13%. No período de 60 minutos este índice chegou a 92,49%. Após 5 horas de contato do carvão ativado com a solução de azul de metileno (Figura 11), observou-se uma eficiência de remoção de 96,47%, atingindo o equilíbrio na eficiência de remoção.

Tabela 7 - Valores da adsorção do corante AM em função do tempo, utilizando o CA da jurema preta (Amostra B), previamente tratado quimicamente com NaOH.

Tempo (min)	Concentração final média (mg.L⁻¹)	Concentração adsorvida média (mg.L⁻¹)	Quantidade adsorvida - q_e (mg.g⁻¹)	Eficiência de remoção (%)
5	1,087	8,913	1,337	89,13
10	1,223	8,777	1,317	87,77
15	0,867	9,133	1,369	91,33
30	0,806	9,194	1,379	91,94
60	0,751	9,249	1,387	92,49
300	0,353	9,647	1,447	96,47
720	0,278	9,722	1,458	97,22
1440	0,094	9,906	1,486	99,06

Figura 11 - Relação entre a quantidade de corante AM adsorvida e o tempo de contato entre o CA da jurema preta e a solução (Amostra B).

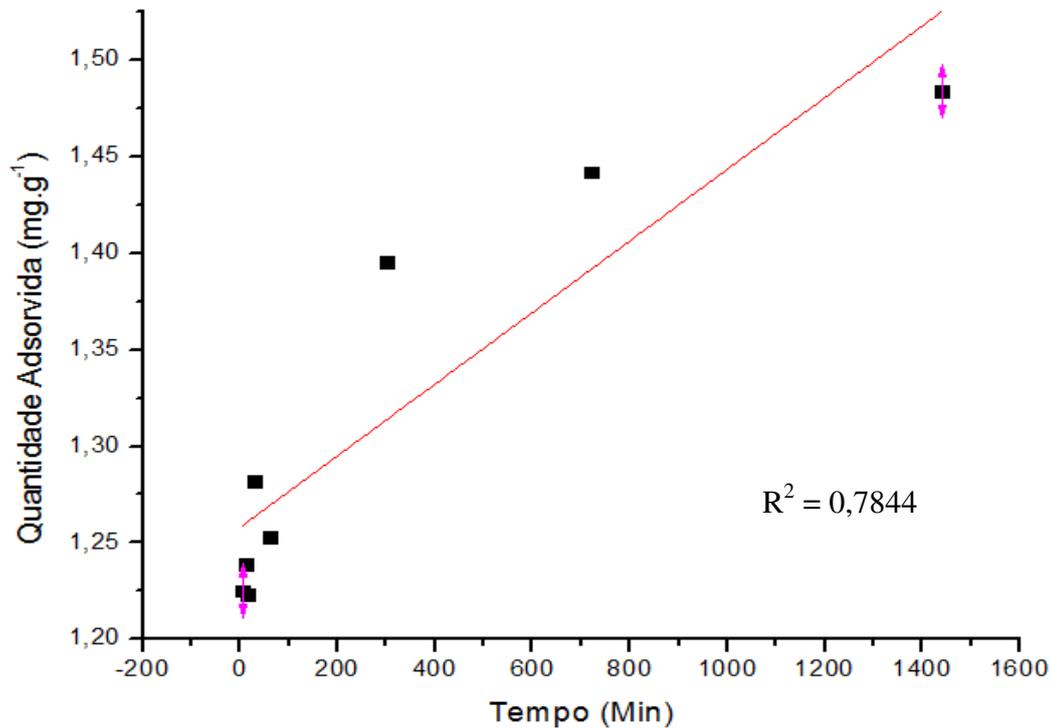


Para a Amostra C do carvão ativado, presente na Tabela 8, o comportamento da adsorção foi praticamente semelhante ao da Amostra B, ou seja, com maior tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato ocorreu uma remoção gradativa.

Tabela 8 - Valores da adsorção do corante azul de metileno em função do tempo, utilizando o carvão ativado da jurema preta (Amostra C), previamente tratado quimicamente com NaOH.

Tempo (min)	Concentração final média (mg.L⁻¹)	Concentração adsorvida média (mg.L⁻¹)	Quantidade adsorvida - q_e (mg.g⁻¹)	Eficiência de remoção (%)
5	1,835	8,165	1,225	81,65
10	1,738	8,262	1,239	82,62
15	1,848	8,152	1,223	81,52
30	1,453	8,547	1,282	85,47
60	1,647	8,353	1,253	83,53
300	0,702	9,298	1,395	92,98
720	0,388	9,612	1,442	96,12
1440	0,107	9,893	1,484	98,93

Figura 12 - Relação entre a quantidade de corante AM adsorvida e o tempo de contato entre o carvão da jurema preta e a solução (Amostra C).



O resultado obtido para a quantidade adsorvida do AM no carvão ativado (Amostra C) mostra que no decorrer do tempo a concentração do AM presente na solução diminui gradativamente (Figura 12). O tempo de equilíbrio foi atingido no período de 5 h, sendo que após este tempo quase todo o AM foi praticamente adsorvido. Dessa forma a concentração tende a diminuir cada vez mais à medida que o tempo passa, até atingir 100% de adsorção.

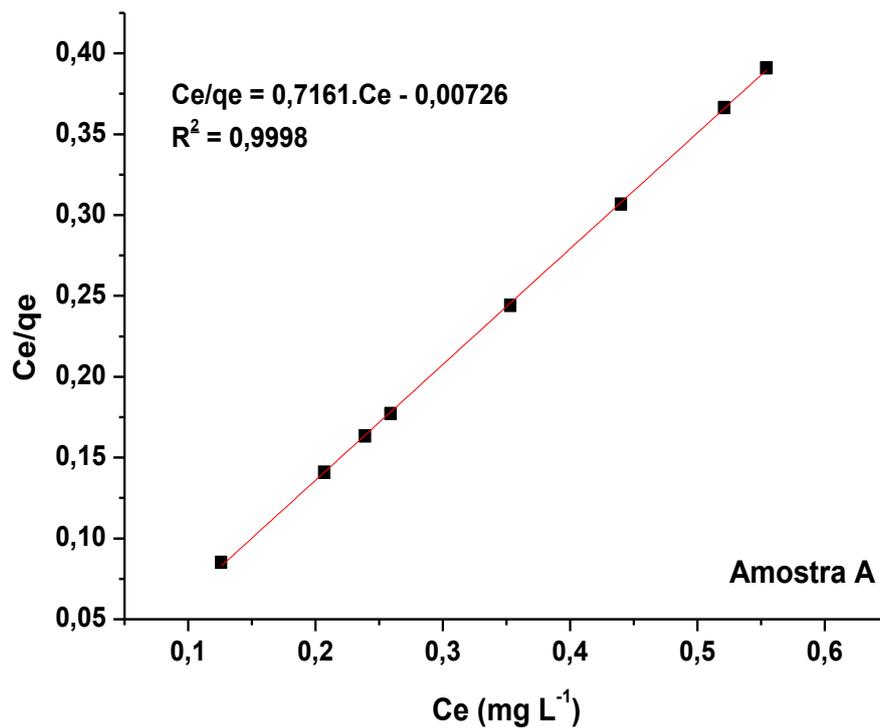
5.4 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

5.4.1 Modelo de Langmuir

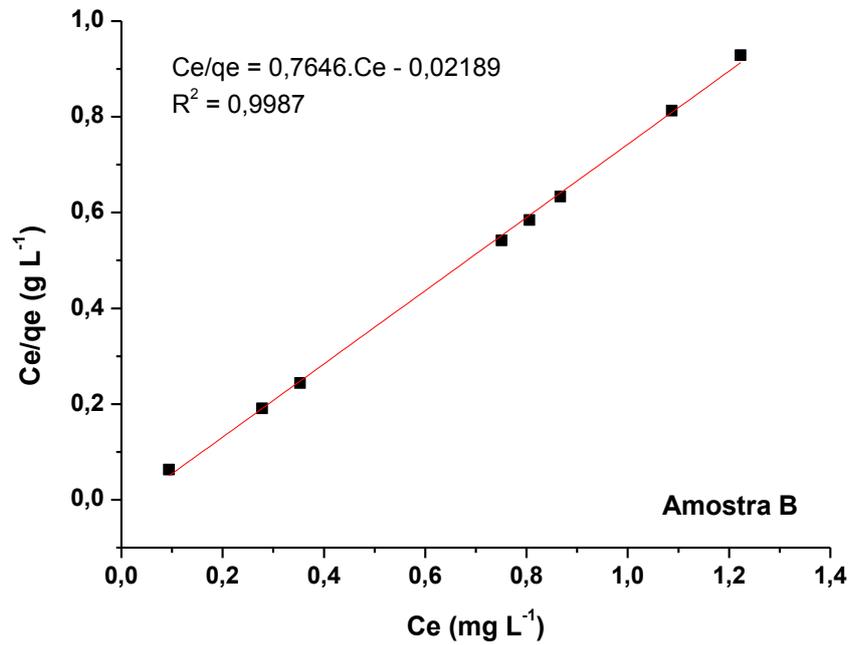
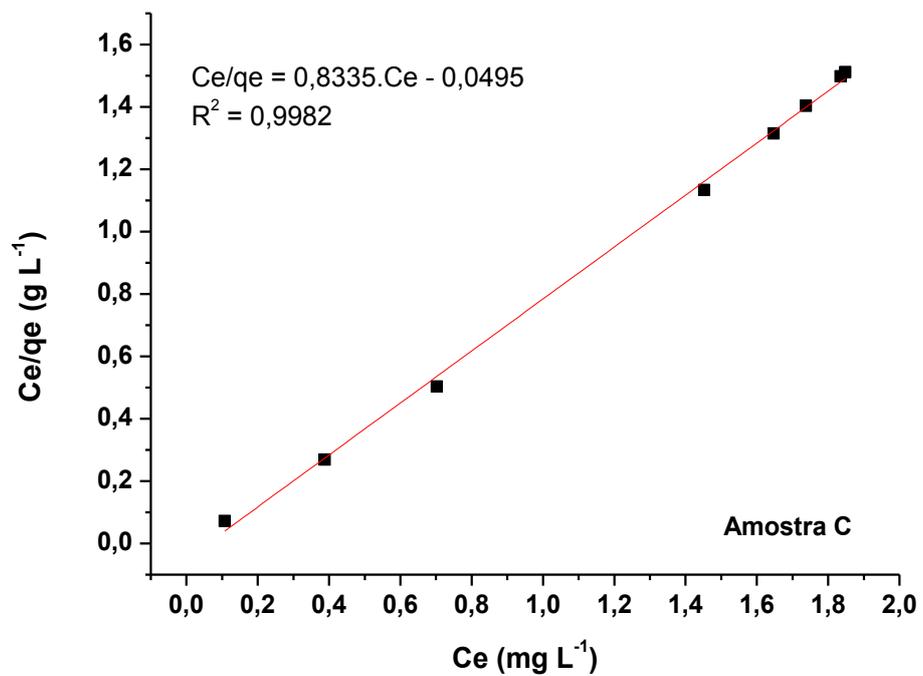
Nas Figuras 13,14 e 15 estão sendo representados os resultados da concentração no equilíbrio do soluto em solução pela relação entre a concentração em função da quantidade de soluto adsorvido. Observa-se que os resultados foram favoráveis em todas as amostras, onde o coeficiente de correlação (R^2) da Amostra A está próximo do máximo, porém as Amostras B e

C apresentam um coeficiente de correlação (R^2) de 0,9987 e 0,9982, respectivamente. Essas isotermas podem ser classificadas como do tipo linear que passa pela origem e a quantidade adsorvida é proporcional à concentração do adsorbato do fluido.

Figura 13 - Linearização da Isoterma de Langmuir para a adsorção do corante azul de metileno da Amostra A.



Segundo Tagliaferro *et al.* (2011), a teoria de Langmuir parte de um pressuposto onde os sítios de adsorção estão distribuídos de forma homogênea na superfície, e, que cada um pode ser ocupado por apenas uma espécie química, sendo então um modelo de monocamada.

Figura 14 - Linearização da Isoterma de Langmuir para a adsorção do corante azul de metileno da Amostra B.**Figura 15** - Linearização da Isoterma de Langmuir para a adsorção do corante azul de metileno da Amostra C.

5.4.2 Modelo de Freundlich

As Figuras 16,17 e 18 ilustram a capacidade de adsorção do soluto por unidade de massa do adsorvente em relação à concentração de equilíbrio do soluto na solução. Com isso, os gráficos plotados de $\ln Q_e$ em função de $\ln C_e$ são retas com interseção igual a $\ln K_F$ e inclinação igual a $1/n$. Interpretando a Figura 16, observa-se que, todos os pontos estão próximos a reta com isso a margem de erro torna-se é praticamente nulo.

Figura 16- Isoterma de adsorção do azul de metileno da Amostra A.

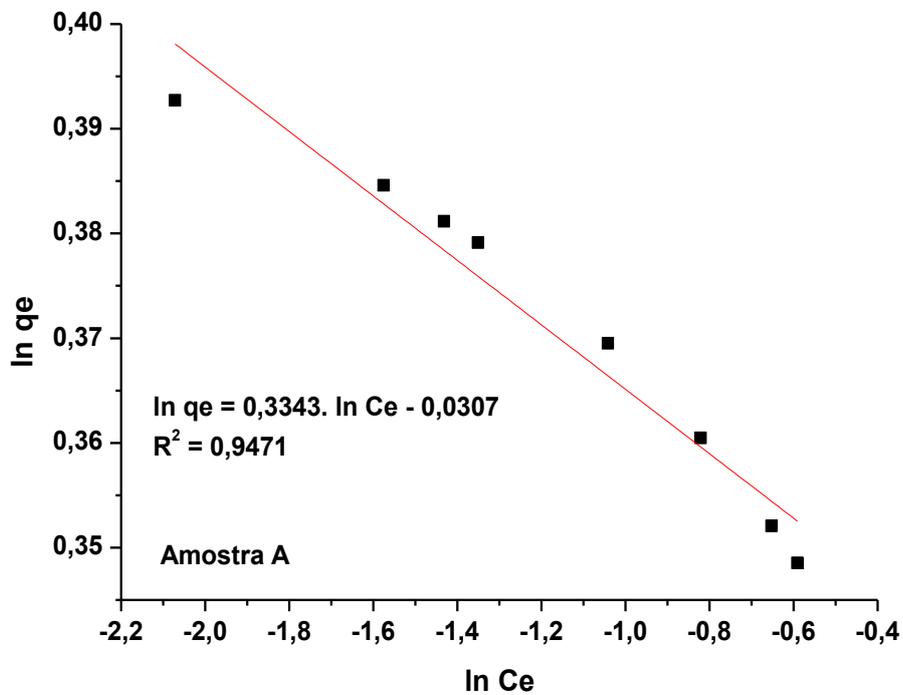
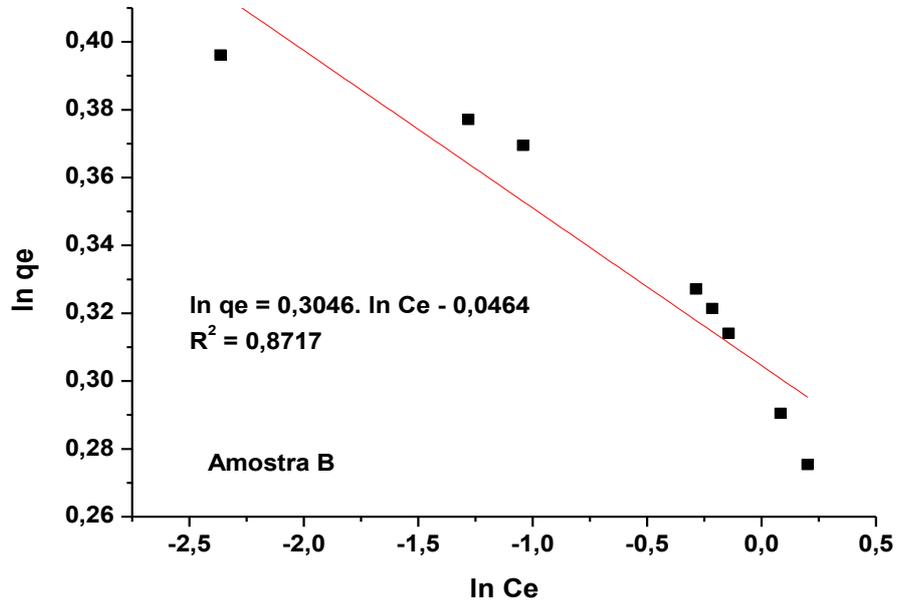
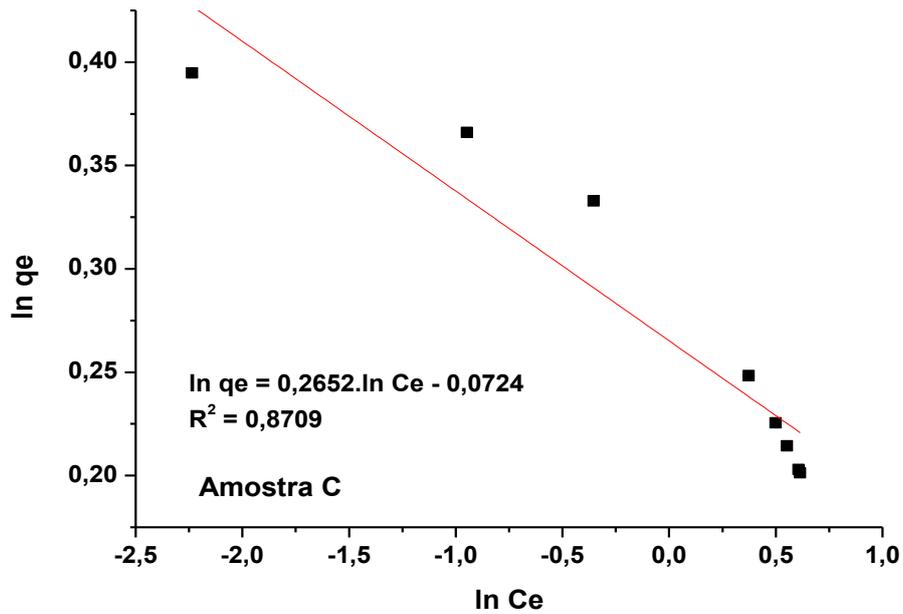


Figura 17- Isoterma de adsorção do azul de metileno da Amostra B.**Figura 18-** Isoterma de adsorção do azul de metileno da Amostra C.

Na Tabela 9 podemos observar que a capacidade de adsorção (K_F) sugere uma alta adsorção o qual indica a grande capacidade do carvão em retirar o corante presente na amostra. Para a intensidade de adsorção (n), observa-se que todos os valores foram favoráveis para a adsorção do corante azul de metileno, onde este valores devem estar compreendidos entre $1 < n < 10$ para ser favoráveis. Os parâmetros de Langmuir apresentam uma capacidade máxima de adsorção (q_{max}) é relativamente baixo e com alta energia de ligação entre si. Na energia de ligação (K_L) demonstra que maior parte sítios de adsorção é de alta afinidade pelo elemento, o que aumenta a fixação no CA.

Tabela 9- Parâmetros das isotermas de Freundlich e Langmuir.

Amostra	K_F	n	q_{max}	K_L
A	0,9697	2,9913	0,0520	1,3964
B	0,9546	3,2830	0,0221	1,3078
C	0,9302	3,7707	0,0412	1,1997

Fazendo uma comparação entre os modelos utilizados para as isotermas, é possível implicar que a isoterma de Langmuir é a que melhor representa o equilíbrio de adsorção para o azul de metileno.

Segundo Dengetal (2011), e citada por Niedersberg (2012), fizeram a análise do carvão ativado produzido a partir do talo do algodão na adsorção do corante azul de metileno. Onde no estudo, os autores indicam a isoterma de Freundlich como a que melhor representa o equilíbrio de adsorção para o azul de metileno.

6 CONCLUSÕES

O estudo mostrou que o carvão tratado quimicamente com NaOH, antes da carbonização apresentou uma alta afinidade com o adsorvato para as três amostras analisadas no período de 24 horas de agitação entre o adsorvente e o adsorvato, sendo que a amostra B apresentou uma eficiência de remoção superior as demais amostras, cerca de 99,06%. As amostras subseqüentes A e C apresentaram uma eficiência de remoção igual a 98,74 % e 98,93 %, respectivamente.

Nesta análise da concentração inicial de 10 mg.L⁻¹ da solução de azul de metileno, observou-se que, no tempo de 24 h não houve a saturação do carvão, de forma que esta ainda suportaria a aplicação de concentrações maiores para chegar a saturação no tempo de 24 h.

Com relação ao tempo de contato, os testes foram realizados em triplicata e com as três amostras citadas no presente trabalho, com isso é possível implicar que o adsorvato (amostra A) apresentou uma remoção de 94,46% nos primeiros 5 minutos de contato com o AM, e à medida que o tempo foi aumentando esta remoção também aumentou de forma gradativa, onde no tempo de 12 h apresentou uma remoção de 97,93%, tornando-se assim eficiente.

Na utilização do adsorvente da Amostra B é possível observar que a eficiência de remoção nos primeiros 5 minutos foi bem inferior ao da amostra A, cerca de 89,13%. Depois deste tempo a remoção foi aumentando de forma lenta e em certos momentos permaneceu estável. Quando atingiu 5 h de contato a remoção atingiu 96,47%, chegando a 99,06% em 24 h de contato.

Ao testar o adsorvente da amostra C, pode-se concluir que no início do tempo de contato, cerca de 10 minutos o índice de remoção foi de 82,62% do corante azul de metileno. Em um período de 12 h, a remoção alcançou um valor de 96,12%, porém após este período, não houve mais um aumento expressivo na adsorção do corante.

Através dos testes de adsorção realizados, é possível concluir que a biomassa da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), tem grande potencial para ser utilizado como material precursor na preparação de carvão ativado, utilizando ativação química com NaOH. A sua utilização na produção de carvão se torna vantajosa, econômica, já que, existe hoje um déficit de matéria-prima na indústria do carvão ativado, e grande demanda pelo produto.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização de testes para a remoção de outros corantes;
- Realização de testes para remoção de efluentes de indústrias ou no tratamento de águas residuárias;
- Aplicar os dados obtidos a partir desta pesquisa em escalas piloto ou real.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. W. **Extração de Corantes de Urucum por Processos Adsorptivos utilizando Argilas Comerciais e Coloidal Gas Aphrons**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 173p. Tese de Doutorado. 2005.
- ARAÚJO, L. V. C.; LEITE, J. A. N.; ARRIEL, E. F.; BAKKE, O. A. **Aspectos fenológicos de uma população de jurema preta (Mimosa hostilis, Benth.)**. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTA VI, 2000. Porto Seguro, Anais... Porto Seguro: 2000. p. 18-19.
- AYGUN, A.; YENISOY-KARAKAS, S.; DUMAN, I. **Microporous Mesoporous Mat.**, n. 66, p.189, 2003.
- BAKKE, I. A. **Potencial de acumulação de fitomassa e composição bromatológica da jurema preta (Mimosa tenuiflora (Willd.) Poiret.) na região semi-árida da Paraíba**. 2005. 106 p. Tese (Doutorado em Ecologia Vegetal e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- BANSAL, R.C. and GOYAL, M. **Activated Carbon Adsorption**, Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.
- BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2006
- BOURKE, J., MANLEY-HARRIS, M., FUSHIMI, C., DOWAKI, K., NUNOURA, T. AND ANTAL, M.J., JR. Do all carbonized charcoals have the same chemical structure? 2. A model of the chemical structure of carbonized charcoal, **Ind. Eng. Chem. Res.**, 46, 5954-5967, 2007.
- BRUM, S. S. et al. "Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café", **Revista Química Nova**. v. 31. p. 1048-1052. 2008.
- CAMARGO, J. R., GODOY JR, E. and EBINUMA, C. D. An evaporative and desiccant cooling system for air conditioning in humid climates. **J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.** vol. 27, no. 3, pp. 243-247, 2005.
- CASTILLA.M.C. **Eliminación de Contaminantes Orgánicos de las aguas mediante adsorción en materiales de carbón**, Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidade de Granada, España, 2004.
- CHAVES, J. A. P. **Adsorção de corantes têxteis sobre quitosana: condições, modelagem e otimização**. Dissertação em Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 96 p. 2009.
- CLAUDINO. A, **Preparação de Carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café**. Dissertação em Ciência dos Alimentos. Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte. 115 p. 2010.

COSTA, L. C. M. **Produção e modificação de Carvões Ativados para Aplicações Ambientais**. Tese de Doutorado, UFMG, 2007.

COUTO, G. M. **UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE Eucalyptus sp. NA PREPARAÇÃO DE CARVÕES ATIVADOS**. Dissertação de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. 106 p. Universidade Federal de Lavras - MG , 2009.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review, **Bioresource Technology**, 97, 1061-1085, 2006.

DALLAGO, R. M., SMANIOTTO, A., OLIVEIRA, L. C. A. **Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso** Oliveira. Departamento de Química, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões II e Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras. Setembro, 2005.

DENG, H. et al. "Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk", **Chemical Engineering Journal**. v. 172. p. 326-334. 2011.

DIAS, P. S. **Caracterização Dos Carvões Ativados Obtidos A Partir Da Casca Do Cupuaçu E Do Caroço Do Pequi E Avaliação Do Processo De Adsorção De Azul De Metileno Em Meio Aquoso**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 103p. Itapetinga, 2013.

DIAS, J.M., ALVIM-FERRAZ, M.C.M., ALMEIDA, M.F., RIVERA-UTRILLA, J. AND SÁNCHEZPOLO, M. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review, **Journal of Environmental Management**, 85, 833–846, 2007.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl₂ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto**. Dissertação em Química. Universidade Federal da Paraíba. 116 p. João Pessoa, 2008.

FUNGARO, D. A.; BRUNO, M. Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinza de carvão para remoção de azul de metileno em água. **Orbital**, v. 1, n. 1, p. 49-63, 2009. Disponível em: Acesso em: 04 fev. 2012.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport process and unit operations**. PTR Prentice Hall, 3rd ed., Prentice-Hall, 1993.

GILIOLI, A. **Uso da casca do fruto de *Cereus hildmannianus* no tratamento de águas residuárias**. Tese de Doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 38-41p. 2015.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L.; LATIFF, K. N. A. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. **Dyes Pigments**, London, v. 75, n. 1, p. 143-149, 2007.

HAYASHI, J.; HORIKAWA, T.; MUROYAMA, K.; GOMES, A. G. Activated carbon from chickpea husk by chemical activation with K_2CO_3 : preparation and characterization. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 55, p. 63-68, 2002^a.

HOMEM, E. M. **Remoção de chumbo, níquel e zinco em zeolita utilizando sistema de leito fluidizado**. Dissertação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. 112 p. 2001.

ISMADJI, S.; SUDARYANTO, Y.; HARTONO, S. B.; SETIAWAN, L. E. K.; AYUCITRA, A. Activated carbon from char obtained from vacuum pyrolysis of teak sawdust: pore structure development and characterization. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 1364-1369, 2005.

LANGMUIR, J. The adsorption of gases on planes of glass mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society, Easton**, v. 40, n. 9, p. 1361, Sept. 1918.

LATINI, A. A. F. **Produção de adsorvente a partir de resíduo do processamento de café solúvel visando a adsorção de aminoácidos em solução**. Proposta de Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, UFMG, 2006.

LEAL, W. P. **Remoção Do Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D) Por Adsorção Em Carvão Ativado Pulverizado Associado Ao Tratamento Convencional De Água Para Consumo Humano**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 154 p. Vitória –ES, 2013.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação, 2004.

MARSH, H.; REINOSO, F. R. **Activated Carbon**. Amsterdam, Elsevier, 2006. 554 p.

MESTRE, A. S. et al. “Activated carbons from sisal waste by chemical activation with K_2CO_3 : Kinetics of paracetamol and ibuprofen removal from aqueous solution”, **Bioresource Technology**. v. 102. p. 8253-8260. 2011.

MORENO, R. M., ALBUQUERQUE JUNIOR E.C., FRANCO, T. T. **Predição da porosidade e capacidade de adsorção em carvões ativados utilizando iodo e azul de metileno**. Departamento de Processos Químicos, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2005.

MWH. **Water Treatment: principles and design**. John Wiley & Sons, 2nd edition, USA, 2005. 1968p.

NIEDERSBERG, C. **Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (*Aleuritesfordii*), resíduo do processo de produção de óleo**. Dissertação em

Tecnologia Ambiental. Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental. Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul. 65 p. 2012.

OLIVEIRA, M.R. et al. Estudo das condições de cultivo da Algaroba e Jurema preta e determinação do poder calorífico. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v.14, p.93-104, 1999.

PERUZZO, L.C., **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 80p. Tese de Mestrado.

PHAN, N. H. et al. “Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications”, **Carbon**. v. 44. p. 2569-2577. 2006.

RODRIGUES_REINOSO.F; SÀBIO_MOLINA.M, Textural and chemical characterization of carbons microporous, **Advances in colloid and interface Science**, 76-77, 271-294, 1998

SAVOVA, D., APAK, E., EKINCI, E., YARDIM, F., PETROVA, N., BUDINOVA, T., RAZVIGOROVA, M. and Minkova, V. **Biomass conversion to carbon adsorbents and gas**, **Biomass and Bioenergy**, 21, 133–142, 2001.

SCHETTINO Junior, M.A. Ativação **Química do Carvão de Casca de Arroz Utilizando NaOH**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Física, na área de concentração de Física da Matéria Condensada. Vitória, 2004.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. 2008. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.

SENA, L. F. **Estudo Cinético da Capacidade de Biossorção de Metais Pesados em Resíduos Sólidos Orgânicos**. Universidade Federal de Campina Grande. Sumé – PB: [s. n], 2015.

Skoog; West; Holler; Crouch. **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8ª edição norte-americana. Editora Thompson, São Paulo – SP, 2006.

TAGLIAFERRO, G. V.; PEREIRA, P. H. F.; RODRIGUES, L. Á.; SILVA, M. L. C. P. Adsorção de chumbo, Cádmio e Prata em Óxido de Nióbio (V) Hidratado Preparado pelo Método da Precipitação em Solução Homogênea. **Química Nova**, v. 34, n. 01, p. 55, 2011.

YENISOY-KARAKAS, S. et al. Physical and chemical characteristics of polymer-based spherical activated carbon and its ability to adsorb organics. **Carbon**, Elsevier Science Publisher, Oxford, v. 42, n. 3, p. 477-484, 2004.