



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS BAGÉ
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SECAGEM DE
BIOMASSA UTILIZADA COMO ADSORVENTE PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Autor: ERIC DA CRUZ SEVERO

**Bagé
2012**

ERIC DA CRUZ SEVERO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SECAGEM DE
BIOMASSA UTILIZADA COMO ADSORVENTE PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química, da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Químico.

Orientadora: Prof. Dra. Luciana Machado Rodrigues

Co-orientador: Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

**Bagé
2012**

ERIC DA CRUZ SEVERO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SECAGEM DE
BIOMASSA UTILIZADA COMO ADSORVENTE PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química, da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Químico.

Trabalho de Diplomação defendido e aprovado em: Bagé, 17 de janeiro de 2012.

Banca examinadora:

Prof^ª. Dra. LUCIANA MACHADO RODRIGUES
Orientadora
Engenharia Química – UNIPAMPA

Prof. Dr. ANDRÉ RICARDO FELKL DE ALMEIDA
Co-orientador
Engenharia Química – UNIPAMPA

Prof^ª. Dra. ANA ROSA COSTA MUNIZ
Engenharia Química – UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo o carinho e amor dado, pelos momentos felizes e de dificuldade, aos meus pais Marione e Maria Eunice que além do carinho e amor dado, com certeza me ajudaram a chegar aonde cheguei. Também gostaria de agradecer a minha avó Iara que sempre esteve ao meu lado em momentos difíceis, a vocês três dedico tudo que vir de bom em minha vida.

Aos meus amigos, por todo o apoio, amizade, motivação e paciência. Gostaria de agradecer especialmente aos amigos Akel Kanaan e Isaac Nunes que caminharam junto comigo neste curso e além da amizade com certeza me ajudaram muito na minha trajetória acadêmica, a vocês dois também dedico este trabalho. Não poderia me esquecer dos amigos Gabriel Porto, Paloma Rosa, Juliano Riel e Nicholas Canabarro, amigos que fiz no curso de Engenharia Química e que sempre estiveram vivenciando junto comigo os momentos especiais no curso.

À minha querida orientadora Prof^ª. Dra. Luciana Machado Rodrigues, a quem tenho grande estima, agradeço por todos os momentos de ensinamentos acadêmicos e lições de vida que levarei para a minha vida profissional.

Ao meu Co-Orientador Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida, a quem respeito muito, agradeço por todos os conselhos, ensinamentos, a “pensar como engenheiro” e as lições que levarei para a minha vida profissional.

Aos professores da Engenharia Química – Unipampa: Alexandre Denes Arruda, Ana Rosa Costa Muniz, Gabriela Rosa, Felipe Amorim Berutti, Marcílio Machado Moraes e Pedro Juarez Melo.

A Universidade Federal do Pampa por todo o suporte educacional oferecido.

A todos os colegas que de alguma forma influenciaram minha vida dentro da UNIPAMPA.

MUITO OBRIGADO!

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar.”

Bertrand Russell.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o trabalho de conclusão de curso de Engenharia Química, no qual se estudou a influência do processo da secagem para melhorar a eficiência da biomassa vegetal utilizada como adsorvente alternativo para o tratamento de efluentes à base de corantes, de maneira a aperfeiçoar o processo para uso em escala industrial. Nas indústrias têxteis, diariamente são utilizados diversos tipos de corantes e muita quantidade de água para diluição. Todo o dia são descartados diversos tipos de efluentes industriais em rios, aterros sanitários, lagos e etc. Devido à grande poluição ambiental/visual causada e a estudos que indicam que tais poluentes possuem propriedades cancerígenas ao homem, cada dia mais se busca novas alternativas de tratar esses efluentes visando remover todos os corantes do mesmo. Uma das técnicas mais utilizadas para remoção de corantes em efluentes industriais é a adsorção. Porém, o alto custo do uso de adsorventes presentes no mercado impossibilita que o processo tenha um custo rentável. A comunidade científica traz alternativas mais baratas e que podem ser empregadas em diversas empresas: de grande a pequeno porte. Esse trabalho estudou o processo de secagem e preparação da biomassa vegetal. Para antes do processo de remoção do corante, a biomassa foi moída e seca em um secador de bandeja com escoamento em paralelo sabendo-se que esta etapa é fundamental no processo de adsorção das partículas, pois sua porosidade será modificada. O processo de tratamento do efluente à base de corante foi constituído pelos processos de agitação, decantação, centrifugação e filtração para a total remoção do corante. Foi estimada a eficiência deste processo relacionando os valores de absorbância encontrados no espectrofotômetro UV/Vis. As semente secas, foram avaliadas a granulometria das partículas sobre a remoção dos corantes, ensaio de prova e picnometria. As eficiências encontradas para o processo de tratamento de efluentes foram entre 58% e 94%. Com este trabalho, buscou - se estabelecer uma alternativa econômica e ambientalmente correta para indústrias e estações de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: secagem, adsorção, biomassa, corantes, tratamento de efluentes.

ABSTRACT

This document aims to present a conclusion work of Chemical Engineering which one has been studied the influence of the drying process to improve the efficiency of plant biomass used as alternative adsorbent for the treatment of dye effluent to help the process for use in an industrial scale. Daily the manufacture of textiles uses several types of dyes and large amounts of water for dilution. All days are dropped many types of industrial effluents into rivers, landfills, lakes and so on. Due to the large environmental and visual pollution, there are a lot of studies indicating that these pollutants are carcinogenic to man, increasingly are seeking new alternatives to treat these effluents in order to remove all of the same dyes. One of the most widely used techniques for removal of dyes in industrial wastewater is adsorption but the high cost of the use of these adsorbents in the market turns it impossible. The scientific community provides a cheaper alternative that can be employed in a huge companies and also in a small companies. This work studied the drying process and preparation of plant biomass. Before the stain removal process the biomass was ground and dried in a tray dryer with parallel flow in the knowledge that this step is crucial in the process of adsorption of particles because its porosity will be modified. The effluent treatment process-based dye was made by stirring, decantation, centrifugation or filtration for complete dye removal. The estimated efficiency of this process relating absorbance values found in the spectrophotometer UV / Vis. The dried seeds were characterized by particle size analysis, testing of evidence and pycnometry. The efficiencies found for the effluent treatment process were between 58% and 94%. This work aims to establish a friendly and economical environmentally alternative for industries and wastewater treatment plants.

Keywords: Drying, Adsorption, Biomass, Dye, Effluent Treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Perfil de Secagem em função da Umidade	4
Figura 4.1 - Biomassas utilizadas para o tratamento de efluentes	14
Figura 4.2 - Secador de Bandejas com Escoamento Perpendicular	15
Figura 4.3 - Bandeja utilizada para a Secagem da Amostra	16
Figura 4.4 - Agitador Mecânico de Peneiras	16
Figura 4.5 - Agitadores Mecânicos por Pás	17
Figura 4.6 - MEV da amostra de semente de mamão Formosa em diferentes aumentos	18
Figura 4.7 - Fluxograma do Processo de Secagem	20
Figura 4.8 - Tratamento do efluente – etapa de agitação	22
Figura 4.9 - Tratamento do efluente – etapa de filtração	23
Figura 5.1 - Adimensional de Secagem em Função do Tempo de Secagem da Amostra (comparação entre a amostra seca In Natura e a amostra moída In Natura e depois seca)	24
Figura 5.2 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem (comparação entre as amostras secas In Natura).....	26
Figura 5.3 - Amostras do efluente após o tratamento	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Propriedades da Biomassa utilizada no tratamento de efluentes.....	27
---	----

NOMENCLATURA

X	Umidade Livre	[g H ₂ O/g s.s.]
X_t	Conteúdo Total de Umidade	[g H ₂ O/g s.s.]
X^*	Umidade de Equilíbrio	[g H ₂ O/g s.s.]
m	Massa total de sólido úmido	[g]
L_s	Massa total de sólido seco	[g]
R	Taxa de Secagem	[kg de H ₂ O/h m ²]
A	Área Superficial exposta ao secador	[m ²]
D_L	Coefficiente de Difusividade	[m ² /s]
x	Conteúdo Médio de Umidade Livre	[g H ₂ O/g s.s.]
x_o	Umidade Inicial Livre	[g H ₂ O/g s.s.]
L_o	Comprimento Inicial	[m]
u_b	Umidade presente após a secagem	[g H ₂ O/g s.s.]
q_E	Quantidade de adsorvato adsorvido no início	[mg g ⁻¹]
Q_{max}	Capacidade Máxima de adsorção do adsorvente	[mg g ⁻¹]
C_E	Concentração Inicial da Solução	[mg g ⁻¹]
K_L	Constante de Langmuir	[L mg ⁻¹]
K_F	Constante de Freundlich	[mg g ⁻¹ (mg L ⁻¹) ^{-1/η_f}]
$η_f$	Expoente de Freundlich	-
D_p	Diâmetro da Partícula	[mm]
t	Tempo	[min]
u	Velocidade de escoamento do Ar	[m/s]
$ε$	Porosidade da Partícula	-
h	Altura da Bandeja	[mm]
Abs	Absorbância	-
C_e	Concentração de soluto na solução aquosa após o equilíbrio atingido	[mg/L]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo Geral	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Secagem	3
3.1.1. Comportamento Geral da Secagem	3
3.1.2. Equações para o cálculo da taxa e tempo de secagem	5
3.2. Adsorção	6
3.2.1. Isotermas de Adsorção	7
3.3. Efluentes Industriais	9
3.3.1. Efluentes Produzidos na Indústria Química	10
3.3.2. Efluentes da Indústria Têxtil	12
3.4. Utilização da Biomassa para o Tratamento de Efluentes	13
4. MATERIAS E MÉTODOS	14
4.1. Materiais	14
4.1.1. Biomassa	14
4.1.2. Efluente à Base de Corante	15
4.1.3. Processo de Preparação da Biomassa	15
4.1.4. Processo de Secagem da Biomassa	15
4.1.5. Caracterização da Biomassa Seca	16
4.1.6. Processo de Tratamento de Efluentes	17
4.2. Métodos	18
4.2.1. Caracterização e Preparação da Biomassa <i>In Natura</i>	18
4.2.2. Preparação das Partículas de Biomassa para o Processo de Secagem	19
4.2.3. Processo de Secagem da Biomassa	19
4.2.4. Caracterização da Biomassa Seca	21
4.2.5. Preparação do Efluente à Base de Corante	21
4.2.6. Processo de Tratamento de Efluentes	22
4.2.7. Determinação da Eficiência do Tratamento	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1. Processo de Secagem	24
5.2. Eficiência do Processo de Tratamento de Efluentes	27

6. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria, assim como o surgimento de novas tecnologias diariamente, apesar de trazer inúmeros benefícios à humanidade, também trouxe a poluição ambiental, levando a sociedade a preocupar-se mais com os problemas causados ao meio ambiente.

Atualmente, a indústria têxtil no Brasil é composta por diversas empresas que atuam em diversos setores (vestuário, calçadista, curtimento, etc.) dentro do mercado nacional. A grande demanda desse serviço em um país como o Brasil, faz com que o setor atraia cada vez mais investidores.

A indústria é responsável por uma alta emissão de poluentes. Devido às leis de proteção ambiental e a ação de órgãos governamentais contra a dispersão desses poluentes em lagos, rios ou aterros, cada vez mais empresas são multadas e recebem avisos por agredir o meio ambiente. Para evitar o pagamento de multas exorbitantes e evitar a poluição ambiental, as empresas estão sempre em busca de novas alternativas de tratamento do efluente.

No caso, da indústria têxtil, necessita-se de grande quantidade de corantes para o tingimento de roupas, couros, calçados e para isso também é necessário um volume considerável de água. Esse efluente quando lançado ao meio ambiente causa uma grande poluição aos lençóis freáticos, fauna, flora, toxicidade ao homem e também, poluição visual.

A adsorção tem se tornado uma alternativa eficaz para a remoção de corantes, sendo o carvão ativado o mais utilizado. Porém, o mesmo tem um alto custo para a indústria e para o meio ambiente. A biomassa vegetal pode ser utilizada como adsorvente, e tem sido a alternativa mais viável para o tratamento de efluentes de diversas áreas, inclusive na remoção de corantes, apresentando baixo custo e nenhuma toxicidade.

A secagem é uma operação unitária que tem como objetivo remover termicamente a umidade de certo sólido, no caso a biomassa, com essa secagem deseja-se o melhor ponto de desidratação e porosidade para uso no processo de remoção de efluentes.

Tais adsorventes têm sido investigados para o tratamento de efluentes industriais com diferentes graus de eficiência. PAVAN *et al.* (2008), RAYMUNDO *et al.* (2010), IMMICH (2006), HWANG CHEN e MING CHEN (2009), entre outros autores, utilizaram biomassas vegetais para a remoção de efluentes com sucesso.

Com o estudo do fenômeno da secagem da partícula da biomassa busca-se um melhor entendimento da influência da etapa da preparação da amostra a ser utilizada como adsorvente, e com isso, aumentar a sua eficiência no tratamento do efluente.

2. OBJETIVOS

Neste capítulo serão expostos os objetivos deste trabalho de conclusão.

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão será o estudo da influência da secagem da semente de mamão Formosa para uso na remoção de corantes em efluentes industriais.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudo da secagem aplicado à semente de mamão Formosa.
- Estudo da capacidade de adsorção de corante pela semente de mamão.
- Avaliação da contribuição desta biomassa no tratamento de efluentes originado pela Indústria Têxtil.
- Viabilizar um processo alternativo para o tratamento de efluentes industriais que não agrida o meio ambiente e que seja viável.
- Atribuição de uma utilização nobre a um resíduo doméstico ou da agroindústria (semente de mamão).
- Aprimoramento dos conhecimentos técnicos e práticos do acadêmico do Curso de Engenharia Química.
- Desenvolvimento da capacidade de exercer atividades de Engenharia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica que foi utilizada como embasamento teórico para realização deste trabalho.

3.1. Secagem

A secagem é uma operação unitária que visa reduzir o teor de líquido de sólidos, mantendo ao máximo as suas características.

De acordo com Geankoplis (1998), a secagem é a retirada de pequenas quantidades de água em um período relativamente pequeno de certo sólido, enquanto para remover grandes quantidades de água ou outro solvente tem-se a evaporação. A água ou o líquido em estudo é removido na forma de vapor com relação ao seu ponto de ebulição. Na secagem, a água quase sempre é removida como vapor de água. A água também pode ser removida de sólidos mecanicamente por prensagem, centrifugação ou vaporização.

Para Seader *et al.* (2006) a secagem envolve a remoção da umidade de sólidos, soluções e pastas. A alimentação de um secador pode ser um líquido, um soluto em uma solução. O termo secagem também é aplicado a uma mistura de gases em que um vapor condensável é separado de um vapor não condensável por arrefecimento. De maneira geral, é mais rentável remover líquido por processos mecânicos do que por processos térmicos de um sistema sendo, portanto, aconselhável reduzir o teor de líquido do sólido a ser secado sempre que possível antes de alimentar o secador (McCABE *et al.*, 1998).

Os métodos e processos de secagem são classificados de diferentes maneiras, são divididos em processos de batelada, quando o material é colocado no secador e o processo é verificado por um período; ou contínuo, se o material é adicionado sem interrupção para o secador e matéria seca é obtida com operação contínua. Os processos de secagem também são classificados em três situações de acordo com as condições físicas utilizadas para adicionar calor no sistema: (1) na primeira situação, o calor é adicionado e entra em contato direto com ar quente à pressão atmosférica e finalmente tem-se a formação de vapor d'água através do mesmo ar, (2) processo de secagem à vácuo, a evaporação da água ocorre mais rapidamente em baixas pressões e, indiretamente por contato com um metal ou por meio de radiações, (3) no gelo, a água é sublimada diretamente a partir do material congelado (GEANKOPLIS, 1998).

3.1.1. Comportamento Geral da Secagem

Na secagem de um sólido úmido, mediante a condições iniciais fixas, manifesta-se sempre um certo tipo de comportamento. Logo após o contato da amostra com o meio secante, a temperatura do sólido se ajusta automaticamente até atingir um regime permanente. O perfil de temperatura no sólido pode aumentar ou diminuir para atingir o regime. Neste regime, uma medida de temperatura mostra que a temperatura da superfície do sólido molhado é a temperatura de bulbo úmido. Para que a secagem permaneça constante é necessário que a temperatura do sólido tenha atingido a mesma temperatura de bulbo úmido do gás. Essa condição permanente da secagem chega ao final, quando o sólido atinge seu teor de umidade crítico. O período de taxa decrescente de secagem pode ser bem mais dilatado que o período de taxa constante, embora a remoção de umidade seja muito menor. O período final de secagem acontece quando o teor de umidade de equilíbrio é atingido, que é o menor teor de umidade atingido em todo o processo de secagem. (FOUST *et al.*, 1982).

Foust *et al.*, dividem os estágios de secagem conforme seu comportamento. A Figura 3.1 abaixo mostra o perfil de um ensaio de secagem.

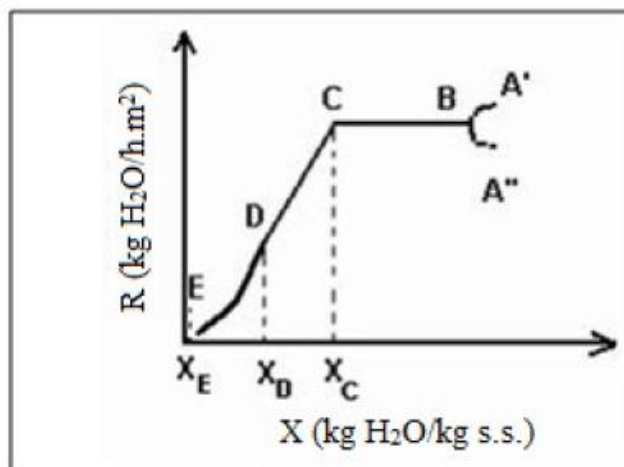


Figura 3.1 – Perfil de Secagem em função da Umidade (STRUMILLO e KUDRA, 1986)

O processo de secagem pode ser dividido da seguinte forma:

- **Região do Gráfico de A'/ A'' até B** – Relaciona o período que o regime ainda não é permanente, nesse intervalo a temperatura do sólido ainda não atingiu seu estágio permanente (FOUST *et al.*, 1982).
- **Região do Gráfico de B até C** - Durante este período, de taxa constante, toda a superfície do sólido está saturada de água. Nesta etapa, a secagem se aproxima da

evaporação, pois a massa de líquido evapora sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem (FOUST *et al.*, 1982). Se o sólido for poroso, a maioria da água evaporada no período de taxa constante é proveniente do interior do sólido. Este período só será contínuo desde que a água seja submersa à superfície tão rápido quanto a evaporação acontece. (GEANKOPLIS, 1998). O regime permanente continua e subtrai-se a massa perdida pelo líquido que provém do interior do sólido. A velocidade do deslocamento do líquido varia com o material do sólido. Nos sólidos de estruturas fibrosas (amorfas), o movimento do líquido acontece por difusão. No ponto C, o teor da umidade é necessário para suprir, a totalidade da superfície (FOUST *et al.*, 1982).

- **Região do Gráfico entre o intervalo C e D** - Nesta etapa inicia-se o primeiro ponto de taxa decrescente, a superfície fica mais pobre em líquido, a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade mássica transferida da superfície. No ponto D, não existe saturação de líquido. A secagem cessa quando o teor de umidade de equilíbrio X_E é atingido. Este teor será atingido quando a pressão de vapor sobre o sólido se coincide com a pressão parcial do vapor no gás secante afluyente (FOUST *et al.*, 1982).

3.1.2. Equações para o cálculo da taxa e tempo de secagem

A água livre é a diferença entre o conteúdo total de água do sólido e o conteúdo de água de equilíbrio. Portanto, se X_t é o conteúdo total de umidade e X^* é o conteúdo de umidade de equilíbrio, a umidade livre X é dada pela Equação 3.1 (McCABE *et al.*, 1998).

$$X = X_t - X^* \quad (3.1)$$

Sabe-se que X_t é expresso pela Equação 3.2:

$$X_t = \frac{m - L_s}{L_s} \quad (3.2)$$

onde m é a massa total de sólido úmido e L_s é a massa de sólido seco.

A taxa de secagem R pode ser calculada através da Equação 3.3.

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (3.3)$$

onde R é expresso em kg H₂O/h m², L_s é a massa de sólido seco em kg e A é a área superficial exposta ao secador em m².

Foust *et al.*, (1982) determinam a velocidade do movimento da umidade que devido a umidade mover-se em virtude da difusão molecular, é expressa pela Equação 3.4 que representa a Lei de Fick.

$$\frac{dX}{dt} = -D_L \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (3.4)$$

onde D_L é o coeficiente de difusividade efetiva do líquido aplicável ao movimento através do sólido em m²/s ou ft²/h e x é a distância no sólido do centro para a superfície em m.

A integração da Equação 3.4 requer que sejam estabelecidas condições de contorno, para melhores dados foi considerado D_L como constante. Também admite-se que no estado inicial a umidade esteja distribuída uniformemente pelo sólido e, para longos tempos de secagem, a solução da integral está expressa na Equação 3.5.

$$\frac{x - X^*}{x_o - X^*} = \frac{8}{\pi^2} \times e^{-D_L t \pi^2 / 4L_o^2} \quad (3.5)$$

onde x é igual ao conteúdo médio de umidade livre com o tempo t em h, x_o é o conteúdo inicial de umidade livre no tempo zero, X^* é o conteúdo de umidade livre de equilíbrio e L_o é o comprimento inicial em m.

3.2. Adsorção

Para Castellan (1986), quando se mistura um sólido fino a uma solução diluída de um corante, observa-se que a intensidade da coloração decresce ao decorrer do tempo. Quando um sólido é exposto a um gás a baixa pressão, esta pressão decresce. Nessas situações o corante ou o gás são adsorvidos sobre a superfície do sólido. Para que este fenômeno aconteça, fatores como temperatura, natureza da substância adsorvida (o adsorvato), natureza e estado de agregação do adsorvente (sólido), concentração do líquido em que o sólido está submerso e pressão do gás em estudo deve ser levado em conta. Conforme a referência citada define-se que a adsorção é o uso de um sólido para reter substâncias contidas no interior de líquidos ou gases.

Segundo Atkins & de Paula (2006), a adsorção é definida em duas etapas: adsorção física e adsorção química, que diferem pelo método de se ligar à superfície sólida.

Adsorção Física (fisissorção) – Neste caso a interação sólido – efluente é de Van der Waals ou dipolo – dipolo entre o adsorvato e adsorvente. Essas interações são de longo alcance, mas fracas, e a energia liberada quando uma partícula é adsorvida é da mesma ordem de grandeza que a entalpia de condensação. É um fenômeno reversível onde se observa normalmente a deposição de mais de uma camada de adsorbato sobre a superfície adsorvente (ATKINS & DE PAULA, 2006).

Adsorção Química (quimissorção) - ocorre efetiva troca de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida, ocasionando a formação de uma única camada sobre a superfície sólida. É um fenômeno irreversível e acontece a liberação de uma quantidade de energia considerável (da ordem de uma reação química). Uma molécula quimicamente adsorvida pode ser decomposta em virtude de forças de valência de átomos da superfície (ATKINS & DE PAULA, 2006).

Foust *et al.*(1982) definem aplicações para o processo de adsorção, tais aplicações incluem o descoloramento de materiais alimentares, como óleos vegetais e concentrados açucarados a secagem de gasolina e a purificação de rejeitos líquidos para o controle da poluição das águas.

3.2.1. Isotermas de Adsorção

A adsorção pode ser avaliada quantitativamente através das Isotermas de Adsorção.

As isotermas mostram a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura. O pH, a temperatura e o tipo de adsorvente são parâmetros que influenciam na forma da isoterma (MOORE, 1972).

A primeira teoria quantitativa da adsorção de gases foi apresentada em 1916 por Irving Langmuir. A isoterma de Langmuir está formulada na suposição de que adsorvatos são quimicamente adsorvidos por um número fixo de sítios; cada sítio retém somente uma espécie de adsorbato; todos os sítios são energeticamente equivalentes e não há interação entre as espécies adsorvidas (CARDOSO, 2010).

A Equação 3.6 apresenta a Isoterma de Langmuir.

$$q_E = \frac{Q_{MAX} \times K_L \times C_E}{1 + K_L \times C_E} \quad (3.6)$$

onde q_E é a quantidade de adsorbato adsorvido no início, C_E é a concentração do adsorbato na solução após o sistema atingir o equilíbrio (mg L^{-1}), K_L é a constante de adsorção de Langmuir (L mg^{-1}) e Q_{MAX} é a capacidade máxima de adsorção do material.

O modelo da isoterma de Freundlich determina que a concentração do adsorbato na superfície aumente com a concentração do adsorbato. Na teoria, tais dados são aplicados somente a sistemas heterogêneos (CARDOSO, 2010). O modelo da Equação 3.7 a seguir segue um comportamento exponencial.

$$q_E = K_F \times C_E^{1/\eta_f} \quad (3.7)$$

onde K_F a constante de Freundlich que é relacionada com a capacidade de adsorção ($\text{mg g}^{-1} [\text{mg L}^{-1}]^{-1/\eta_f}$) e η_f é o expoente de Freundlich (adimensional).

3.3. Efluentes Industriais

Efluentes são líquidos ou gases lançados ao meio ambiente por indústrias ou residências. Os efluentes são classificados em: efluentes industriais e efluentes domésticos.

Os efluentes industriais são caracterizados por possuir uma alta taxa de matéria orgânica presente em sua formulação, além disso, sua formulação é rica em agentes químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente (MOTA, 2006).

Os efluentes domésticos são caracterizados por possuir aproximadamente 99,9% de água e 0,01% de matéria orgânica e inorgânica. A composição deste tipo de efluente varia de acordo com o uso e com o clima, um fator importante que causa a modificação da composição deste efluente é a classe sócio-econômica em que a população está submetida. Estes efluentes são ricos em microrganismos patogênicos originários de dejetos humanos (MOTA, 2006).

3.3.1. Efluentes Industriais Produzidos na Indústria Química

Este tópico busca relacionar algumas industriais químicas, seus respectivos efluentes e a forma de tratamento dos mesmos.

- **Indústria de Tintas** - As indústrias de tintas podem sintetizar componentes tais como as bases oleosas (sínteses de esmaltes acrílicos, fenólicos, etc.), ou simplesmente misturarem os componentes utilizando moinhos, balanças, misturadores. Quando as mesmas são de simples mistura os efluentes destas provém da lavagem de equipamento e higiene pessoal. Quando a indústria for responsável pela síntese das bases das tintas é necessário o uso de água de condensação. Este processo é extremamente tóxico e produz muitos resíduos com pigmentos orgânicos. Para o tratamento de efluentes provindos da indústria de tintas, são necessários processos físico-químicos que complementados com processos biológicos anaeróbios tem como objetivos reduzir a carga orgânica, diminuir a toxicidade e concentração de metais pesados (GIORDANO, 1999);
- **indústrias petroquímicas** - Os efluentes petroquímicos são compostos derivados do petróleo provenientes do processo de refino e beneficiamento. Existe também a presença de poluentes originados no próprio petróleo (fenóis, metais pesados, hidrocarbonetos, etc.), ou originados no transporte (sais das águas de lastro). Os

processos de tratamento objetivam reduzir a carga orgânica, toxicidade, a carga oleosa de emulsões, a presença de compostos nitrogenados, etc (GIORDANO, 1999);

- **indústrias de reciclagem de papéis** - Estes efluentes são provenientes da produção da massa de papel e sua reciclagem (águas de lavagens das máquinas). Os efluentes podem ser completamente reciclados (GIORDANO, 1999);
- **tratamento industrial por galvanoplastia** - Os efluentes são provenientes da lavagem de peças após a imersão nos banhos metálicos, os quais ocasionam o arraste de partículas metálicas gerando os efluentes. Desta forma todas as substâncias presentes nos banhos estarão presentes nos efluentes em concentrações diferenciadas. Os efluentes são tóxicos, necessitando-se remover metais pesados e cianetos e corrigir o valor de pH (GIORDANO, 1999).

3.3.2. Efluentes da Indústria Têxtil

A indústria têxtil gera efluentes de formulação heterogênea. Esses resíduos possuem uma grande carga de material tóxico, o que torna seu tratamento mais difícil. Esses efluentes são ricos em corantes, uma quantidade significativa de sólidos suspensos, faixa de pH não constante, temperatura elevada, considerável quantidade de metais pesados (ex. Cr, Ni ou Cu), compostos orgânicos clorados e surfactantes. (CISNEROS *et al.*, 2002).

Segundo Bhaskaran (1973), o impacto ambiental causado por esses efluentes constitui um fator potencialmente poluidor. Além disso, as plantas industriais têxteis são as maiores consumidoras de água, para produzir 0,45 Kg de tecido de algodão necessita-se de 75 a 380 litros de água que em sua maioria são descartados como efluente. O descarte irregular e sem tratamento desses efluentes pode modificar a coloração do corpo hídrico e também formar espumas sob a superfície do mesmo.

“Os corantes comerciais básicos, como trifenilmetano, fenacina e triacina, causam menor deterioração ambiental pela sua maior foto-degradação ou perda de cor em solução que os corantes básicos modernos como os Azo, antraquinóides e outros que, contrariamente, perdem mais facilmente a cor sobre a fibra que em solução” (CEPIS, 1995, p 52).

Uma infinidade gigantesca de corantes são utilizados em diversas indústrias, segundo Guarantani *et al* (2000) os corantes podem ser classificados, conforme sua estrutura química e sua ligação com a estrutura têxtil, eles são:

- a) **Corantes Reativos** – São compostos que contém um grupo eletrolítico capaz de formar ligação covalente com hidroxilas, fibras celulósicas, grupos amino entre outros. São numerosos os corantes reativos, porém os principais contêm a função azo e antraquinona como grupos reativos. Este grupo de corante é altamente solúvel em água e possui uma maior estabilidade de cor em tecidos tingidos quando comparados com outros corantes;
- b) **Corantes Diretos** – caracterizam-se por compostos solúveis em água que são capazes de tingir fibras celulósicas, através de interações de Van der Waals. A afinidade do corante aumenta com o uso de eletrólito, pela planaridade na configuração da molécula do corante ou dupla ligação conjugada, tais fatores fazem com que a adsorção do corante sobre a fibra aumente. A grande vantagem dessa classe é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüentemente a diminuição do teor de corante nos efluentes;
- c) **Corantes Azóicos** - são compostos coloridos, insolúveis em água, que se sintetizam sobre a fibra durante o tingimento. A adição de um sal de diazônio provoca uma relação com o agente de acoplamento, já fixado na fibra produz um corante insolúvel em água. O fato de usar um sistema de produção direto sobre a fibra permite um alto padrão de fixação e alta resistência contra luz e umidade. Quando em decomposição formam produtos com potencial cancerígeno;
- d) **Corantes Ácidos** – correspondem a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos, tais grupos tornam o corante solúvel em água e é de grande importância a ser aplicado a fibras protéicas (lã, seda). Esses corantes têm por característica principal uma estrutura baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação;

- e) **Corante à cuba** – é uma importante classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides. Em sua aplicação, os mesmos são quase insolúveis em água, portanto no processo de tingimento eles são reduzidos com ditionito, em solução alcalina transformando-se em um composto solúvel. A maior aplicação deste tipo de corante tem sido a tintura de algodão, embora devido as suas propriedades de fixação eles possam ser aplicados em outros materiais. Porém, como a produção de hidrossulfito de sódio pode causar problemas ao meio ambiente, o custo desta classe de corantes é muito elevado;
- f) **Corantes de Enxofre** – é uma classe caracterizada por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos, os quais são altamente insolúveis em água. Esses compostos têm sido utilizados principalmente na tintura de fibras celulósicas, colorindo nas cores pretas, verde oliva, azul marinho, etc. Porém, estes corantes apresentam resíduos altamente tóxicos;
- g) **Corantes Dispersivos** – é uma classe de corantes que são insolúveis em água, aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas. Durante o processo de tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma insolúvel é lentamente precipitada em forma dispersa sobre o acetato de celulose. No processo de tingimento tem-se o uso de agentes dispersantes que estabilizam a suspensão do corante. Esta classe tem sido utilizada principalmente para tinturas de fibras sintéticas;
- h) **Corantes pré-metalizados** – são úteis para tintura de fibras protéicas e poliamida. Caracterizam-se pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de íons metálicos complexos. Neste tipo de tintura é explorada a capacidade de interação metal – agrupamentos. Porém, este corante possui um alto nível de cromo em seus rejeitos, fazendo com que não seja recomendado, pela grande toxidez e nível de poluição gerado.

3.4. Utilização da Biomassa para o Tratamento de Efluentes

A utilização da biomassa para o tratamento de efluentes tem sido estudada intensamente pela comunidade científica. Devido às fortes barreiras de proteção ambiental,

cada vez mais se tem o interesse por esse tipo de tecnologia. A seguir serão apresentados alguns dos diversos trabalhos sobre a utilização de biomassa para o tratamento de efluentes.

Barcellos *et al.* (2009) estudaram a remoção de corantes reativos com cinza de casca de arroz. Os autores empregaram técnicas eficientes e biomassa de baixo custo. Os parâmetros de concentração do corante, concentração da biomassa, eficiência do processo, foram abordados neste trabalho.

Belisário *et al.* (2009) investigou a remoção de fármacos que entram em contato com corpos hídricos. Tais compostos modificam severamente o meio ambiente, causando um grave problema ambiental e também prejudicial ao homem. Foram utilizados resíduos agrícolas e industriais como bioadsorventes, os quais se apresentaram como uma alternativa eficiente e economicamente viável.

Pavan *et al.*(2007) estudaram a habilidade da casca de Ponkan para a remoção de efluentes ricos em íons de Pb (II) onde o tempo de contato, concentração do efluente e a adsorção desta biomassa em contato com efluente foram estudados. As análises demonstraram que o Ponkan consegue uma alta taxa de adsorção de efluente em um tempo relativamente baixo (60 min). A casca de Ponkan foi considerada eficiente para a remoção de íon de Pb e um tratamento alternativo viável devido a seu baixo custo (resíduo agroindustrial).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo encontra – se a descrição dos materiais e a descrição da metodologia empregada neste trabalho de conclusão.

4.1. Materiais

4.1.1. Biomassa

A biomassa utilizada neste experimento foi a semente de mamão Formosa. Esta biomassa foi obtida através de rejeitos domésticos e utilizada para este trabalho. A Figura 4.1 a seguir apresenta as biomassas deste experimento.



Figura 4.1 – Biomassas utilizadas para o tratamento de efluentes. a) Semente *In Natura*; b) Semente moída *In Natura*; c) Semente seca; d) Semente Seca e moída.

4.1.2. Efluente à Base de Corante

O efluente utilizado foi um efluente simulado à base de água destilada e de um corante sintético, no caso, o azul de metileno. O corante estudado é do tipo azo corante.

4.1.3. Processo de Preparação da Biomassa

Para o processo de preparação da biomassa foi necessário o uso de vidrarias em geral (béqueres) água destilada e moinho de hélice da IKA®.

4.1.4. Processo de Secagem da Biomassa

O processo de secagem da biomassa foi feito em um secador de túnel com convecção forçada e escoamento em paralelo do ar produzido pela Eco Educacional, pertencente ao laboratório do Curso de Engenharia Química desta Universidade.

Para o processo de secagem foram utilizadas bandejas com altura de 10 mm e 5 mm com fundo telado. A Figura 4.2 apresenta o secador de túnel com escoamento do ar em paralelo.



Figura 4.2 – Secador de Bandejas com Escoamento em Paralelo. 1) Sistema de Controle do Secador 2) Balança 3) Resistências elétricas 4) Soprador Centrífugo 5) Anemômetro.

Através do item (1) foi feito o controle de temperatura e velocidade do ar dentro do secador, também tinha um indicador de temperatura que indicava as temperatura de bulbo seco e úmido do secador. A pesagem da amostra que estava no interior do secador era feita através do item (2). O ar que entrava era provindo do item (4) e este ar era aquecido era aquecido através das resistências elétricas, item (3), contidas no interior do secador. Para verificação da velocidade do ar foi utilizado um anemômetro, item (5).

A seguir a Figura 4.3 apresenta a bandeja utilizada no interior do Secador de Bandejas.

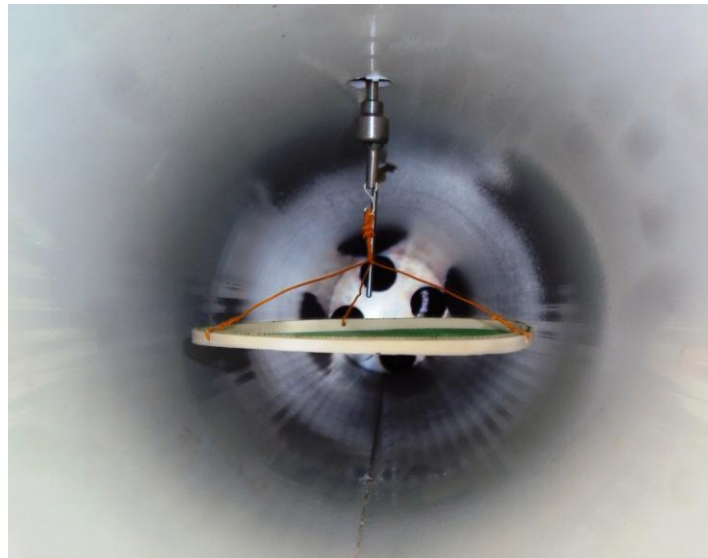


Figura 4.3 – Bandeja utilizada para a Secagem da Amostra

4.1.5. Caracterização da Biomassa Seca

As partículas de biomassa secas foram caracterizadas através de um agitador mecânico de peneiras da marca Bertel. Foi utilizado o picnômetro para o ensaio de picnometria, uma proveta de 50 ml e uma balança para realização do ensaio de proveta. A Figura 4.4 a seguir apresenta o agitador de peneiras utilizado para a caracterização de partículas neste experimento.



Figura 4.4 – Agitador Mecânico de Peneiras

4.1.6. Processo de Tratamento de Efluentes

Nessa etapa foram utilizados béqueres de 1 L cada, equipamentos para agitação IKA[®], modelo RW20 digital, centrífuga Quimis[®], funil, béquer, papel filtro e espectrofotômetro de absorção na região do UV/Vis localizado na Central de Laboratórios desta Universidade. A Figura 4.5 a seguir demonstra os agitadores que foram utilizados para o processo de tratamento de efluentes.

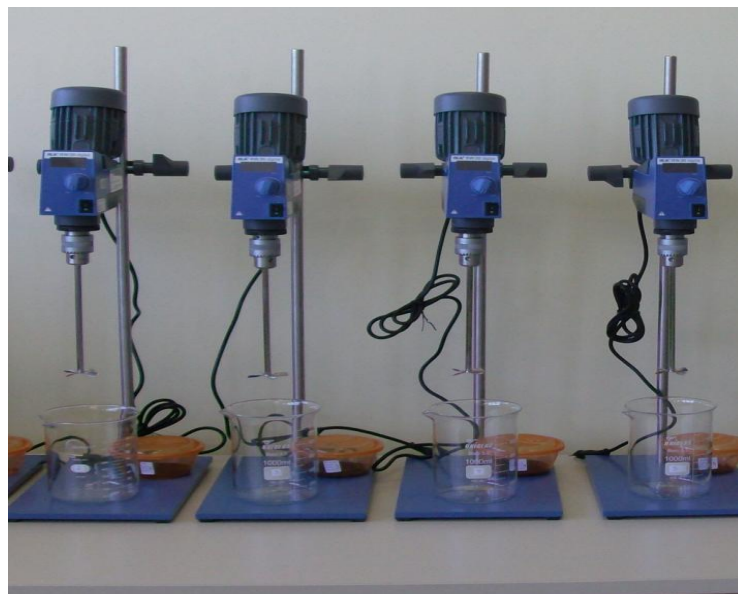


Figura 4.5 – Agitadores Mecânicos por Pás.

4.2. Métodos

4.2.1. Caracterização e Preparação da Biomassa *In Natura*

É importante ressaltar que este experimento é um seguimento do Trabalho de Conclusão de Curso da aluna Jacyara Moreira Martins. Enquanto ela realizou o tratamento de efluente a base de azul de metileno com a semente do mamão Formosa seca em estufa, agora, foi focado o estudo da influência de um diferente método de secagem da mesma biomassa. Sendo então, verificada a eficiência da utilização de biomassa seca por secador de bandejas com escoamento do ar em paralelo para o tratamento do efluente à base do azul de metileno.

No primeiro trabalho, a biomassa foi caracterização pelas técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de partículas pelo método BET (Brunauer-Emmett-Teller).

Foram realizadas análises em parceria com o Centro de Microscopia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para a investigação sobre a morfologia e rugosidade da amostra seca a 60°C em estufa com circulação de ar por 48 horas e moída.

Observa-se a presença de rugosidade nas amostras do pó da semente de mamão Formosa, o que provavelmente, auxilia o processo de adsorção do corante. A análise feita por MEV é ilustrada na Figura 4.6.

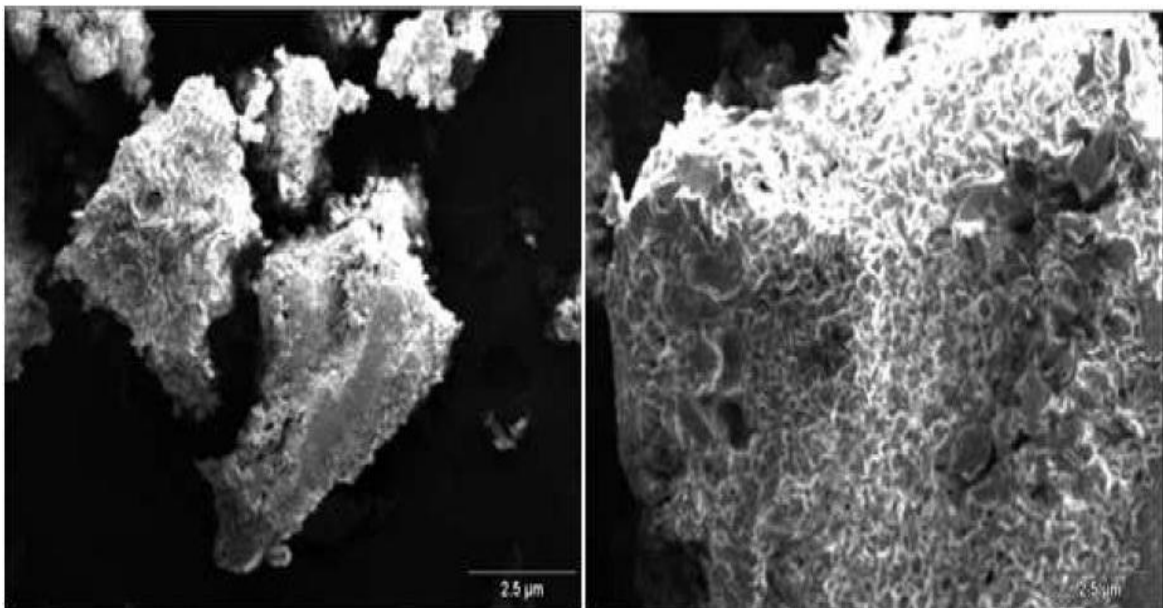


Figura 4.6 - MEV da amostra de semente de mamão Formosa em diferentes aumentos:

a) 100x e b) 500x.

As partículas da biomassa seca a 60°C em estufa com circulação de ar por 48 horas e pulverizada foram analisadas em analisador de partículas pelo método de curvas de adsorção BET. A biomassa apresentou um valor de área superficial equivalente a 9,364 m²/g.

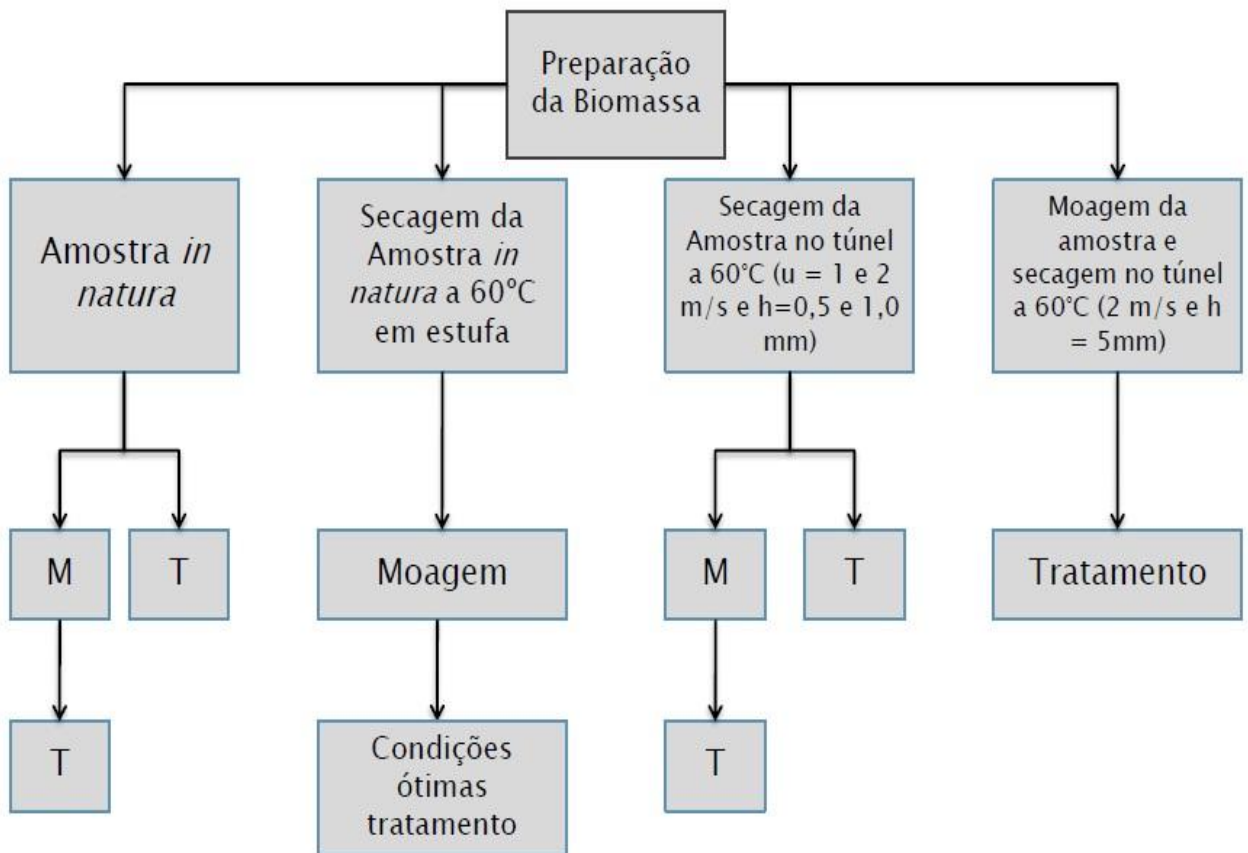
4.2.2. Preparação das Partículas de Biomassa e Processo de Secagem

A biomassa foi totalmente separada da polpa da fruta e lavada várias vezes em água destilada. Parte da amostra foi moída durante 3 min no moinho. As amostras submetidas ao processo de secagem foram dispostas nas bandejas de secagem de maneira a atingir a exata altura da bandeja. Foi aguardado um tempo de 30 min para o escoamento do excesso de água destilada e após, a bandeja foi inserida no secador para o processo de secagem.

4.2.3. Processo de Secagem da Biomassa

O processo de secagem da biomassa em secador com escoamento de ar em paralelo, utilizando bandeja de fundo telado, foi realizado à mesma temperatura do trabalho de (MOREIRA, 2011), 60°C. A secagem foi monitorada em intervalos de tempo de 10 em 10 minutos, anotadas as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do secador e do ambiente e também a massa da bandeja contendo a biomassa. Os dados obtidos na secagem em paralelo foram comparados com os dados encontrados na secagem em estufa com circulação de ar e com bandeja de fundo cego, a 60°C, do Trabalho de Conclusão de Curso iniciado por (MOREIRA, 2011).

As amostras foram preparadas de acordo com as condições previstas de secagem que envolvem a escolha do tipo de secagem (no caso a secagem com escoamento do ar em paralelo), a variação da velocidade do ar (entre 1 e 2 m/s) e a variação da altura da bandeja (10 e 5 mm). O fluxograma da Figura 4.7 apresenta detalhadamente o processo de secagem realizado neste experimento.



OBS: M = Moagem; T = Tratamento de Efluentes

Figura 4.7 – Fluxograma do Processo de Secagem

4.2.4. Caracterização da Biomassa Seca

Depois de a biomassa atingir o ponto de equilíbrio na secagem a mesma foi caracterizada utilizando-se das seguintes técnicas.

- **Peneiramento** – determinação do diâmetro da partícula (D_p) por distribuição granulométrica em peneiras;
- **picnometria** – Com o auxílio desta técnica de caracterização foi possível determinar a massa específica da amostra. Primeiramente foi calibrado o picnômetro com água destilada, logo após foi feita a caracterização por

picnometria para encontrar a massa específica da amostra, o solvente utilizado para tal ensaio foi o hexano;

- **ensaio de proveta** – Com o auxílio desta técnica de caracterização foi possível determinar a massa específica aparente da amostra.

Através da picnometria e do ensaio de proveta, que ajudaram a determinar a massa específica da amostra e a massa específica aparente, foi possível encontrar a porosidade do leito de partículas.

4.2.5. Preparação do Efluente à Base de Corante

A solução simulada do efluente da indústria têxtil foi preparada por diluição do corante azul de metileno em água destilada a uma concentração de 50 mg/L, previamente determinada por (MOREIRA, 2011). Estes foram:

- Construção de curva de calibração, relacionando a concentração de corante em função da sua absorbância, obtida por espectrofotometria na região do UV-Vis.

A Equação da reta (4.1) que descreve o comportamento da curva de calibração está descrita abaixo:

$$Abs = 0,17956Ce + 0,53618 \quad (4.1)$$

onde Abs é a absorbância do corante medida no espectrofotômetro e Ce é a concentração de equilíbrio do corante na fase fluida (mg/L).

- Dosagem ideal de semente de mamão Formosa para atingir o maior percentual de remoção do corante azul de metileno foi de 2 g, considerando uma solução de 500 mL de efluente a uma concentração de 50 mg/L;
- Tempo de contato ideal necessário para atingir a máxima remoção de corante, utilizando a semente de mamão Formosa foi de 20 min, com agitação entre 200 a 250 rpm.

4.2.6. Processo de Tratamento de Efluentes

O tratamento de efluentes foi feito de acordo com as condições ótimas de processo estabelecidas no item anterior. As sementes de mamão secas nas diferentes metodologias do processo de secagem foram misturadas com a solução a ser tratada à base de corante, em agitadores mecânicos por pás, em tempo pré-determinado (20 min). Em seguida, foi procedida a separação biomassa – solução por decantação, filtração e centrifugação (30 min).

Nas Figuras 4.8 e 4.9 a seguir será apresentadas ilustrações de como foi procedido o processo de tratamento de efluentes para este experimento.



Figura 4.8 – Tratamento do efluente – etapa de agitação.



Figura 4.9 – Tratamento do efluente – etapa de filtração.

4.2.7. Determinação da Eficiência do Tratamento

A eficiência do processo de tratamento do efluente pelas amostras de biomassa preparadas de diferentes maneiras foi realizada por medidas de absorvância por espectrofotometria na região do UV-Vis. Por meio das leituras de absorvância e de acordo com a equação 4.1, foi determinada a concentração de corante remanescente em solução e, conseqüentemente, a eficiência do tratamento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos de acordo com a metodologia experimental empregada no trabalho.

5.1. Processo de Secagem

A seguir será demonstrado o estudo feito para o processo de secagem e a comparação entre a secagem da semente moída e não moída para este processo. A Figura 5.1 apresenta o adimensional de umidade em relação ao tempo de secagem, referente às secagens da semente moídas In Natura seguidas de processo de secagem e da semente In Natura sem moagem seguida do processo de secagem.

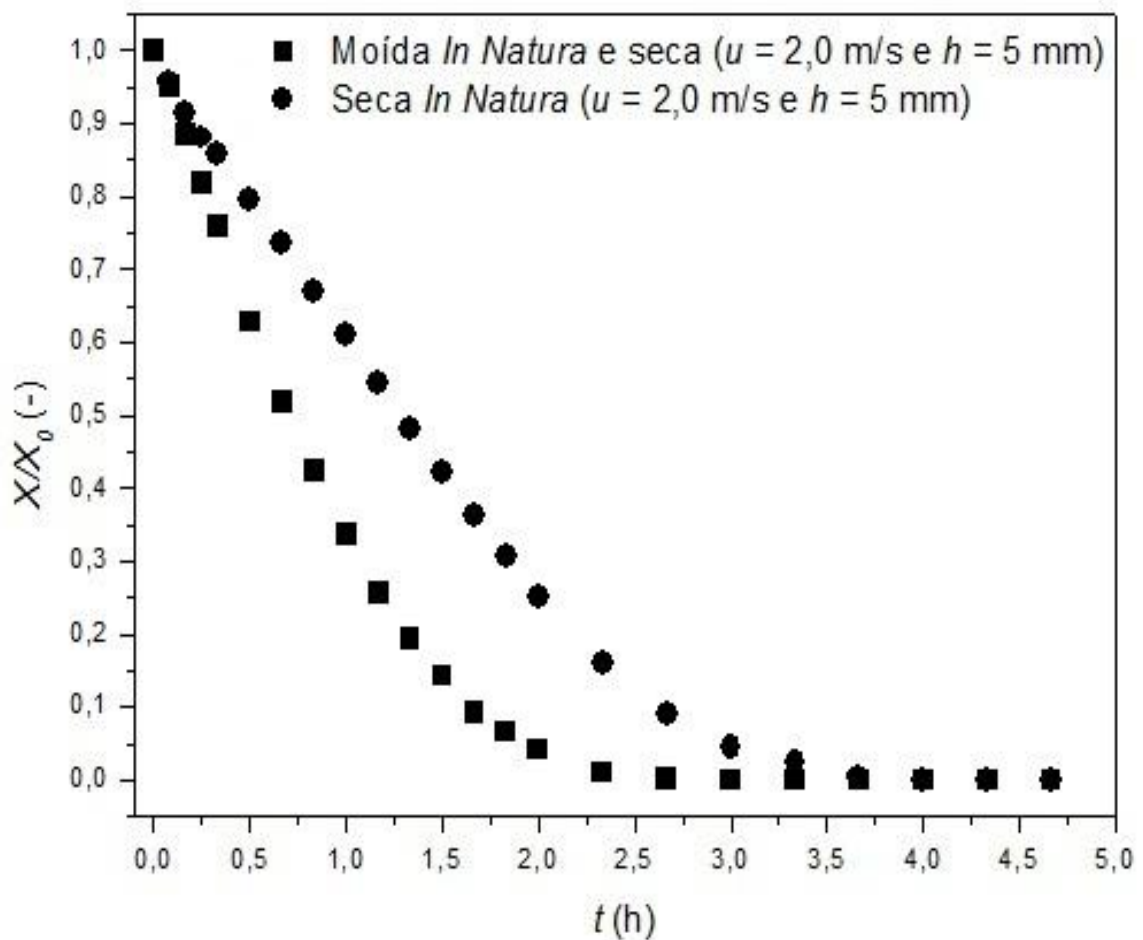


Figura 5.1 – Adimensional de Secagem em Função do Tempo de Secagem da Amostra (comparação entre a amostra seca *In Natura* e a amostra moída In Natura e depois seca).

Pode se observar na Figura 5.1 que a semente moída *In Natura* e Seca secou mais rápido do que a semente *In Natura* sem moagem. Isso acontece porque a semente moída possui um diâmetro de partícula inferior a semente não moída. A resistência ao processo de transferência de calor e massa se dá diretamente com o tamanho do particulado a ser secado, pois quanto maior o tamanho da partícula, maior será a sua resistência aos processos de transferência de calor e massa e vice – versa. Isto é comprovado na análise do gráfico da Figura 5.1, pois em 2 horas de secagem a semente moída estava com um teor de 5% de umidade enquanto a semente não moída estava com 25% de umidade.

Outro ponto importante a ser analisado no gráfico da Figura 5.1 é a taxa constante de perda de umidade do particulado, nesta etapa a secagem decorreu praticamente por evaporação da água presente no interior da semente, fato que foi analisado por Geankoplis (1998). Segundo o autor, no caso de sólidos porosos, a maioria da água evaporada no período de taxa constante é proveniente do interior do sólido. Este período só será contínuo desde que a água seja submersa à superfície tão rápido quanto à evaporação acontece.

No período de taxa decrescente das amostras, as mesmas irão perder umidade por difusão ou capilaridade. Nesta etapa a superfície fica mais pobre em líquido, a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade mássica transferida da superfície. E por último a amostra atinge o ponto de equilíbrio, neste ponto a umidade da amostra entra em equilíbrio termodinâmico com a umidade do ar em circulação no secador, a partir deste ponto a secagem cessa. (GEANKOPLIS, 1998).

Para um maior conhecimento do processo de secagem da semente de mamão Formosa foram feitas diferentes secagens modificando os parâmetros do processo (altura da bandeja e velocidade de escoamento do ar). A Figura 5.2 apresenta as curvas do adimensional de umidade em função do tempo para as amostras secas em bandejas de 5 e 10 mm e com velocidade do ar de 1 a 2 m/s.

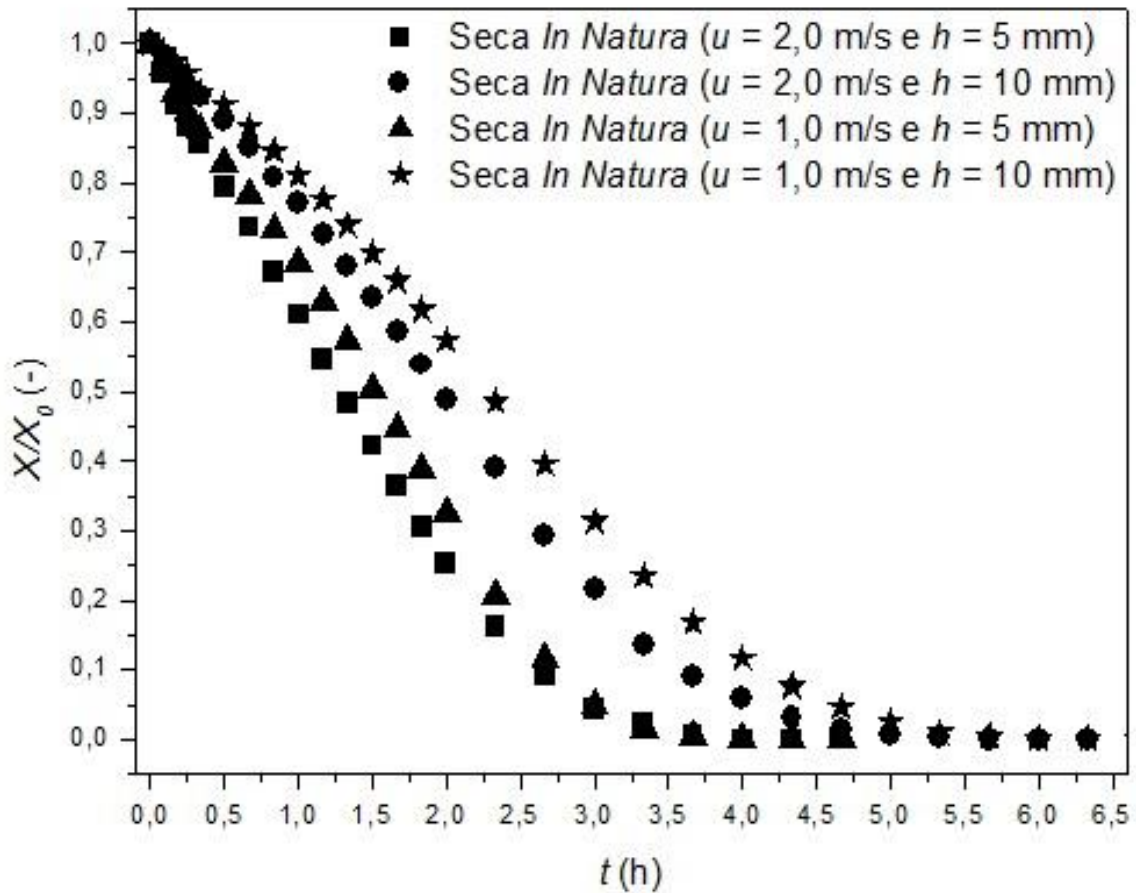


Figura 5.2 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem (comparação entre as amostras secas In Natura).

Pode – se observar na Figura 5.2 que as sementes secas em bandejas de 5 mm tiveram um tempo de secagem mais eficiente do que as sementes em bandejas de 10 mm (aproximadamente 1,5 hora mais rápido). Isso acontece devido ao fato de ter uma menor massa de semente na bandeja de 5 mm, o que facilita a transferência de calor e massa e também facilita o transporte de água através da bandeja por. As sementes secas em bandeja de 10 mm demoraram mais para secar em comparação as amostras de 5 mm, devido ao fato de haver uma maior massa de semente na bandeja, que causa uma maior dificuldade ao fenômeno de difusão e por conseqüência disso uma demora maior no processo de secagem.

5.2. Eficiência do Processo de Tratamento de Efluentes

A Tabela 5.1 mostra uma relação entre os valores encontrados na caracterização das partículas e a eficiência gerada em cada processo de tratamento de efluentes.

Tabela 5.1 – Propriedades da Biomassa utilizada no tratamento de efluentes.

Biomassa	U_{bu} (%)	D_p (mm)	ε (-)	Eficiência (%)
<i>In Natura</i>	83,29 ± 1,09	-	-	58,76
<i>Seca In Natura</i> ($u = 1,0$ m/s e $h = 5$ mm)	6,48 ± 0,16	4,47 ± 1,12	0,5052	58,53
<i>Seca In Natura</i> ($u = 2,0$ m/s e $h = 5$ mm)	5,53 ± 0,09		0,5813	50,56
<i>Seca In Natura</i> ($u = 1,0$ m/s e $h = 10$ mm)	5,59 ± 0,09		0,5569	61,91
<i>Seca In Natura</i> ($u = 2,0$ m/s e $h = 10$ mm)	4,49 ± 0,05		0,5498	64,05
<i>In Natura e moída</i>	83,29 ± 1,09		-	-
<i>Seca In Natura em estufa e moída</i>	-		-	70,00
<i>Seca In Natura e moída</i> ($u = 1,0$ m/s e $h = 5$ mm)	6,48 ± 0,16	0,64 ± 0,21	0,68144	85,77
<i>Seca In Natura e moída</i> ($u = 2,0$ m/s e $h = 5$ mm)	5,53 ± 0,09		0,72626	90,84
<i>Seca In Natura e moída</i> ($u = 1,0$ m/s e $h = 10$ mm)	4,49 ± 0,05		0,67903	89,49
<i>Seca In Natura e moída</i> ($u = 2,0$ m/s e $h = 10$ mm)	5,59 ± 0,09		0,70032	90,05
<i>Moída In Natura e seca</i> ($u = 2,0$ m/s e $h = 5$ mm)	9,94 ± 0,15		1,42 ± 0,57	0,7916

As amostras *In Natura* e a amostra Seca *In Natura* em estufa e moída não passaram pelo processo de secagem e foram direto para o tratamento de efluentes em seu estado bruto.

Com os dados da Tabela 5.1 pode – se identificar a eficiência de cada amostra no processo de tratamento de efluentes. A amostra não moída com secagem em altura de bandeja de 5 mm e velocidade do ar de 1 m/s mostrou uma maior eficiência sobre a amostra seca em bandeja de 5 mm e velocidade do ar de 2 m/s provavelmente pelo fato de se “forçar” uma secagem mais rápida e provavelmente a semente teve um encolhimento irregular que influenciou negativamente para o processo de adsorção, com a análise desses valores observou que a secagem pode ter influências positivas e negativas na eficiência final do processo.

Para as amostras sem moagem secas em bandeja de 10 mm aconteceu ao contrário, pois a amostra com velocidade do ar de 2 m/s obteve uma maior eficiência sobre a amostra seca sob velocidade do ar de 1 m/s, neste caso provavelmente o fator que influenciou a eficiência do processo foi a altura da bandeja, por a bandeja ser maior, o processo de secagem ocorreu de uma forma mais lenta e a amostra pode encolher de uma forma mais regular e uniforme.

As amostras secas *In Natura* sem o processo de moagem mostraram uma eficiência em torno de 58 a 64%, uma eficiência considerada baixa comparada as amostras moídas após o processo de secagem e também devido ao diâmetro da partícula ser maior, ter uma menor área superficial o que implica em um número menor de sítios de adsorção. Outro fator que implicou a baixa eficiência do tratamento foi a porosidade das partículas que para as amostras secas sem o processo de moagem ficaram em torno de 0,5052 e 0,5498.

As amostras secas *In Natura* e moídas após o processo de secagem modificando os parâmetros de secagem obtiveram uma eficiência entre 85% a 90%, eficiências consideradas altas comparadas com as sementes não moídas, devido ao diâmetro da partícula estar numa faixa menor, ter uma maior área superficial devido ao processo de moagem e como consequência disso um maior número de sítios de adsorção.

As amostras que obtiveram maiores eficiências foram as secas com velocidade do ar de 2 m/s e com altura de bandeja de 5 e 10 mm respectivamente. As amostras moídas seguidas do processo de secagem obtiveram um valor de porosidade entre 0,68144 e 0,70032 e por consequência disso uma maior adsorção do efluente sintetizado em laboratório.

Por último temos a amostra moída e seca após a moagem que obteve uma eficiência de 94% e um valor de porosidade de 0,7916. Nesta amostra podemos ver a influência do processo de secagem que influenciou positivamente na eficiência desta amostra. Isso devido

ao diâmetro de partícula que ficou em torno de 1,42 mm. Com isso, pode se dizer que o diâmetro de partícula tem grande influência no processo de secagem, pois as amostras secas sem o processo de moagem ($D_p = 4,47$) e as amostras secas e moídas após a secagem ($D_p = 0,64$) obtiveram eficiências menores e que o D_p de partícula ótimo para este processo fica em torno de 1,42 mm.

A diminuição da capacidade de remoção com a diminuição do tamanho de partícula do biossorvente ($D_p = 0,64$) se dá provavelmente pela aglomeração das partículas, diminuindo a superfície de contato entre biomassa e solução.

Este estudo teve como principal objetivo a melhoria do processo de adsorção do efluente azul de metileno estudado inicialmente por (MOREIRA, 2011), com as modificações dos parâmetros de secagem e o tipo de secagem pode se ter um acréscimo na eficiência de 24%, o que possibilita que o processo pode ser aplicado em escala industrial com eficiência quase completa.

A Figura 5.3 apresenta o efluente original e os efluentes tratados pelas diversas amostras secas.



Figura 5.3 – Amostras do efluente após o tratamento.

Pode - se observar na figura acima a eficiência do processo de tratamento de efluentes. O primeiro tubo de ensaio é do efluente sintetizado em laboratório sem nenhum tratamento, seguido dos outros tubos de ensaio por ordem de eficiência no processo e por último a amostra que teve eficiência de 94%.

6. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos pode – se concluir que a semente de mamão Formosa é um adsorvente de grande eficiência para o processo de tratamento de efluentes a base de corantes Com imagem obtida por MEV, percebeu-se que a semente de mamão Formosa possui propriedades adsorventes que favorecem a adsorção, pela sua morfologia rugosa.

O processo de secagem é de suma importância para o tratamento de efluentes devido à diminuição da umidade da amostra que provavelmente causa um encolhimento da mesma e o aumento da rugosidade, que por consequência aumentou a eficiência do processo de adsorção.

Com a preparação da biomassa por processo de secagem pode-se aumentar a eficiência em remoção de corantes com velocidade de escoamento do ar de 2 m/s, altura de bandeja de 5 mm, com moagem seguida de secagem.

A biomassa moída foi mais eficiente do que a semente inteira, devido a sua maior área superficial. Sendo que o diâmetro de partícula também foi um fator determinante para o tratamento de efluentes, sendo que a amostra com diâmetro de 1,42 mm obteve a melhor eficiência dentre todos os processos.

Com base na comparação entre os dados obtidos na secagem em estufa e a secagem em escoamento paralelo, pode se afirmar que a secagem em escoamento paralelo foi mais eficiente do que a secagem em estufa, com circulação de ar difusa.

As condições ótimas encontradas para o biossorvente estudado, bem como a capacidade de adsorção obtida, mostram que o emprego deste biossorvente na indústria é bastante viável, por se tratar de baixa dosagem de material adsorvente e curto tempo de contato necessário para obter a máxima remoção de corante possível.

Devido ao baixo custo da semente de mamão Formosa e por se tratar de um rejeito agroindustrial torna – se importante uma futura análise de viabilidade econômica comparando com o método convencional de tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINS, P; DE PAULA, J; *Físico – Química*. 8ª Edição, LTC, 2008.
- BHASKANRAN, T. R. Guidelines for the control of industrial waste 9: Cotton textile wastes. Geneva, WHO, 1973.
- BARCELLOS, I; GIOVANELLA, R; CHIARELLO, L; BLOSFELD, A; *Remoção de cor de soluções de corantes reativos com cinza de casca de arroz*. Universidade Regional de Blumenau. Dynamis Revista Tecno – Científica (2009) n.2 vol 15, 1-6.
- BELISÁRIO, M; BORGES, P; GALAZZI, R; DEL PIERO, P; ZORLAL, P; RIBEIRO, A; RIBEIRO, J. *O emprego de resíduos naturais no tratamento de efluentes contaminados com fármacos poluentes*. Revista Científica Internacional. Ano 2 – Nº 10 Novembro/Dezembro – 2009.
- CARDOSO, N, F; *Remoção do Corante Azul de Metileno de Efluentes Aquosos Utilizando Casca de Pinhão in Natura e Carbonizada como Adsorvente*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Porto Alegre, RS, 2010, 22p. (Dissertação de Mestrado).
- CASTELLAN, G; *Fundamentos de Físico – Química*. 1ª Edição, LTC, 1986.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE: CEPIS. *Informe técnico sobre minimización de residuos em la industria textil*. Lima: Ops/Cepis/Pub/ v. 96. n. 14. 52 p. 1995.
- CISNEROS, R. L.; ESPINOZA, A. G.; LITTER, M.I.; *Chemosphere*, 48, 393, 2002.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B.; *Princípios das Operações Unitárias*. Rio de Janeiro: LTC, 1982.
- GEANKOPLIS, C. J. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. 3ª Edición, México: CECSA, 1998.
- GIORDANO, GHANDI. *Apostila: Tratamento e Controle de Efluentes Industriais*. UERJ, 1999. 81pp.
- GUARANTANI, Cláudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice., *Corantes têxteis*, Química Nova, v.23, 2000.
- HWANG CHEN, A.; MING CHEN, S. *Biosorption of azo dyes from aqueous solution by glutaraldehyde-crosslinked chitosans*. Journal of Hazardous Materials 172 (2009) 1111 – 1121.
- IMMICH, A. P. S. *Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente*. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, SC, 2006, 119p. (Dissertação de Mestrado).

- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. *Operaciones Unitarias en Ingenieria Química*. 4ª Edición, Madrid: McGraw-Hill, 1998.
- MOORE, W.J; *Físico – Química*. Tradução da 4ª Edição Americana, Edgard Blücher, 1976.
- MOREIRA, J.M; *Estudo de Biomassa Vegetal empregada como Adsorvente no tratamento de efluentes à base de corantes*. Universidade Federal do Pampa, RS, 2011, 42p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- MOTA, S; *Introdução à Engenharia Ambiental*. 4ª Edição, ABES, 2006.
- PAVAN, F. A.; MAZZOCATO, A. C.; GUSHIKEM, Y. *Removal of methylene blue dye from aqueous solutions by adsorption using yellow passion fruit peel as adsorbent*. *Bioresource Technology* 99 (2008) 3162 – 3165.
- PAVAN, F. A.; MAZZOCATO, A. C.; JACQUES R.A.; DIAS, S.P; *Ponkan peel: A potential biosorbent for removal of Pb(II) ions from aqueous solution*. *Biochemical Engineering Journal* 40 (2008) 357–362
- RAYMUNDO, A. S.; ZANAROTTO, R.; BELISÁRIO, M.; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, J. N.; RIBEIRO, A. V. F. N. *Evaluation of Sugar-Cane Bagasse as Bioadsorbent in the Textile Wastewater Treatment Contaminated with Carcinogenic Congo Red Dye*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v.53, n.4, (2010) 931 – 938.
- SEADER, J.D.; HENLEY, E.J. *Separation Process Principles*. 2ª Edition, United States: WILEY, 2006.
- STRUMILLO, C.Z.; KUDRA, T. *Drying: Principles, Applications and Design*. In: HUGHES, R. *Topics in Chemical Engineering*. v.3, UK: Gordon and Breach Science Publisher, 1986.