

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LAYANE MARTINS LUNARDI

**REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR ADSORÇÃO COM PÓ DE  
SERRAGEM DE PINUS sp.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

LAYANE MARTINS LUNARDI

**REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR ADSORÇÃO COM PÓ DE  
SERRAGEM DE PINUS sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Kreutz.

Co-orientadora: Profa. Dra. Karina Querne de Carvalho.

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 67

### REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR ADSORÇÃO COM PÓ DE SERRAGEM DE PINUS sp.

por

**Layane Martins Lunardi**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15:30 do dia 05 de agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Profª. Drª. Karina Querne de Carvalho**

(UTFPR)

Co-orientadora

**Prof. Dr. Fernando Passig**

(UTFPR)

**Profª. Drª. Sônia Barbosa de Lima**

(UTFPR)

**Profª. Drª. Cristiane Kreutz**

(UTFPR)

**Orientadora**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

Dedico este trabalho a Deus, à minha família aos meus orientadores e ao meu noivo, pela compreensão de minha ausência, pela paciência, amor e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por ser meu porto seguro, socorro bem presente no dia da angústia, minha rocha, fortaleza, fonte de sabedoria e amor, toda honra e toda glória são dadas ao único que é digno. Muitos foram os momentos de dificuldades, porém servir ao Senhor Jesus é ter a certeza da vitória, pois o meu Deus não falha.

A minha mãe Lenir, pela dedicação de uma vida inteira, pelo imenso amor, proteção, carinho e cuidado. Por ser mais que uma mãe, ser uma amiga, confidente e conselheira, por acreditar mais em mim do que eu mesma.

Ao meu pai Remir, pela confiança em mim depositada, por apoiar minhas escolhas e investir amor, tempo, paciência e recursos financeiros.

A minha irmã Lenize, por ser exemplo em minha vida, pelo amor, pela amizade, por torcer pelo meu sucesso e por ser meu orgulho.

Ao meu irmão Mateus, pelas palavras de carinho, motivação, autoestima e também, por ser meu orgulho.

Ao meu noivo Jorge Jr., por ser paciente, amoroso, carinhoso e perfeito. Por compreender as muitas vezes que me dediquei mais aos estudos do que ao nosso relacionamento.

Aos meus sogros Jorge e Cibele, por cuidarem de mim e me amarem como filha.

A minha pastora Márcia e aos membros da Igreja Metodista, pelas orações, motivação nos momentos de adversidades e, principalmente, por serem minha família em Campo Mourão.

Ao João Vitor Galhardi Neri, por ser meu melhor amigo durante a faculdade, pelos longos períodos de estudo, inúmeros trabalhos realizados, pelos choros, pelas risadas e até pelas brigas (que não foram poucas).

A todos meus amigos de classe, pelo companheirismo, amizade e carinho.

A minha admirada Professora Dra. Karina Querne de Carvalho, por ser minha orientadora de projeto científico, co-orientadora de trabalho de conclusão de curso, conselheira, mestre, amiga, companheira, ajudadora, e principalmente, por acreditar no meu potencial me auxiliando com toda dedicação do mundo.

Às queridas Professoras Dra. Morgana Suszek Gonçalves e Dra. Cristiane Kreutz, pela orientação, ajuda, carinho e apoio.

À todos os professores da Coordenação de Engenharia Civil e Ambiental pelo conhecimento transmitido para nós alunos.

Aos meus parceiros de laboratório Lívia Fernanda da Silva e Daniel Ikeno.

Aos técnicos do laboratório Kássia Ayumi Segawa do Amaral e Marcelo Nunes de Jesús.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de inovação científica.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – câmpus Campo Mourão pela infraestrutura oferecida.

## RESUMO

LUNARDI, M. L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção com pó de serragem de *Pinus sp.*** 2014. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar a capacidade de adsorção do pó de serragem *Pinus sp.* como alternativa no tratamento da água proveniente das indústrias têxteis. Para simular o efluente têxtil foram testados os corantes vermelho procion, vermelho RGB reativo, vermelho de metila e a bicromia vermelho de metila e azul de metileno (50%). Os ensaios de adsorção foram realizados variando-se a massa do pó de serragem (0,10g, 0,25g, 0,50g, 0,75g e 1,0g) e a temperatura (30°C, 40°C e 50°C). Com os resultados experimentais foram realizados ajustes com as isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich. A caracterização físico-química do pó de serragem indicou: caráter ácido (pH 4,1±0,06), número de iodo de 660±0,85 mg/g, densidade aparente de 6,15 g/cm<sup>3</sup> e teor de umidade de 11%. A eficiência de descoloração resultou em 92,04% para a bicromia e 58,87% para o vermelho de metila. Não foi observada remoção para o vermelho procion e o vermelho RGB reativo, provavelmente devido à natureza reativa destes corantes, pois para o vermelho de metila e o azul de metileno, o pó de serragem funcionou como ótimo adsorvente. Os resultados cinéticos, para bicromia vermelho de metila e azul de metileno, foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem de Lagergren. O modelo de pseudo-segunda ordem apresentou melhor ajuste dos dados experimentais na adsorção da mistura vermelho de metila com azul de metileno, com coeficiente de determinação de 0,9965 e resultados mais aproximados entre os valores da quantidade bioadsorvida no equilíbrio ( $q_e$ ) experimental e calculado. Os resultados obtidos no ensaio de isotermas mostram que para Langmuir a curva é favorável e para Freundlich a curva é Linear com a bicromia vermelho de metila e azul de metileno.

**Palavras-chave:** Adsorvente alternativo. Cinética de remoção. Isoterma de Langmuir. Isoterma de Freundlich.

## ABSTRACT

LUNARDI, M. L. **Removal of textile dyes by adsorption on sawdust of Pinus sp.** 2014. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

This work was developed in order to evaluate the adsorption capacity of sawdust Pinus sp. as an alternative in the treatment of water from textile industries. To simulate the textile effluent procion red dye, reactive red RGB, methyl red and red bicromia methyl and methylene blue (50%) were tested. The adsorption experiments were carried out varying the mass of sawdust (0.10 g, 0.25 g, 0.50 g, 0.75 g and 1.0 g) and temperature (30 ° C, 40 ° C and 50 ° C). With the experimental results with adjustments adsorption isotherms of Langmuir and Freundlich were performed. The physico-chemical characterization of sawdust indicated: acidic character (pH 4.1 ± 0.06), iodine number of 660 ± 0.85 mg / g, bulk density of 6.15 g / cm<sup>3</sup> and moisture content 11%. The efficiency of discoloration resulted in 92.04% to 58.87% and bicromia to methyl red. Not for the removal procion red and red RGB reactive, probably due to the reactive nature of these dyes was observed, as for the methyl red and methylene blue, the sawdust worked great as adsorbent. The kinetic results for red bicromia methyl and methylene blue, models were fitted to pseudo-first order and pseudo-second-order Lagergren. The model presented pseudo-second-order best fit the experimental data on the adsorption of methyl red mixture with methylene blue, with a correlation coefficient of 0.9965 and the experimental results of more approximate values biossorida amount at equilibrium (q<sub>e</sub>) and calculated. The test results show that for the Langmuir isotherm curve is positive and the curve is linear Freundlich with bicromia methyl red and methylene blue.

**Keywords:** Alternative adsorbent. Kinetics of removal. Langmuir isotherm. Freundlich isotherm.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> -Fluxograma simplificado do processo produtivo de uma indústria têxtil.....	<b>16</b>
<b>Figura 2</b> - Estrutura Molecular do vermelho de metila.....	<b>18</b>
<b>Figura 3</b> - Estrutura Molecular do vermelho procion H-E7B.....	<b>18</b>
<b>Figura 4</b> - Estrutura Molecular do azul de metileno.....	<b>19</b>
<b>Figura 5</b> - Processos de tratamento de efluentes têxteis.....	<b>19</b>
<b>Figura 6</b> -Classificação das isothermas segundo Giles et al (1960) .....	<b>23</b>
<b>Figura 7</b> - Mesa agitadora de banho metabólico.....	<b>29</b>
<b>Figura 8</b> -Centrífuga Sislab, modelo twister.....	<b>29</b>
<b>Figura 9</b> -Espectrofotômetro DR 5000 uv vis da Hach.....	<b>30</b>
<b>Figura 10</b> - Varredura realizada com vermelho de metila no espectrofotômetro.....	<b>33</b>
<b>Figura 11</b> -Varredura realizada com vermelho procion no espectrofotômetro.....	<b>34</b>
<b>Figura 12</b> - Varredura realizada com o vermelho remazol RGB no espectrofotômetro.....	<b>34</b>
<b>Figura 13</b> -Varredura realizada com a bicromia no espectrofotômetro .....	<b>35</b>
<b>Figura 14</b> –Cinética de bissorção para a bicromia.....	<b>41</b>
<b>Figura 15</b> - Isoterma de adsorção experimental.....	<b>43</b>
<b>Figura 16</b> –Isothermas de adsorção.....	<b>44</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - Estudos com materiais lenhosos para remoção de corantes em soluções aquosas.....	<b>21</b>
<b>TABELA 2</b> - Características dos Corantes.....	<b>27</b>
<b>TABELA 3</b> - Características físico-químicas do pó de serragem.....	<b>32</b>
<b>TABELA 4</b> –Comprimentos de onda.....	<b>35</b>
<b>TABELA 5</b> - Eficiência de remoção (%) do vermelho de metila.....	<b>36</b>
<b>TABELA 6</b> -Eficiência de remoção (%) do vermelho procion.....	<b>37</b>
<b>TABELA 7</b> - Eficiência de remoção (%) do vermelho remazol RGB reativo.....	<b>38</b>
<b>TABELA 8</b> - Eficiência de remoção (%) da bicromia.....	<b>40</b>
<b>TABELA 9</b> –Parâmetros cinéticos de biossorção.....	<b>42</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho$	Densidade aparente (g/mL ou g/cm <sup>3</sup> );
$m_1$	Massa da proveta (g);
$m_2$	Massa do adsorbente somada a massa da proveta (g);
V	Volume determinado após a compactação do material (ml ou cm <sup>3</sup> );
X/M	Número de iodo sem o fator de correção da normalidade do filtrado residual (mg/g);
A	Normalidade da solução de iodo 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução e por 12693 (N);
$V_a$	Volume total de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação (mL);
$\rho$	Massa da amostra de material adsorvente pulverizado (g);
$N_1$	Normalidade do filtrado residual (N);
$N_2$	Normalidade da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução (N);
$V_a$	Volume total da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação (mL);
TU	Teor de umidade (%);
B	Massa do recipiente (g);
C	Massa do recipiente com a amostra original (g);
D	Massa do recipiente com a amostra seca (g);
TC	Teor de cinzas (%);
mrs	Massa restante de sólidos após a mufla (g);
mis	Massa inicial de sólidos (g);
PP	Perda de peso (%);
B	Massa do cadinho (g);
C	Massa do cadinho com a amostra (g);
D	Massa do cadinho com amostra sem materiais voláteis (g);
VM	Material volátil contida na amostra (%);

E	Perda de peso (%);
F	Umidade (%);
$q_e$	Capacidade de adsorção (mg/g);
$q_t$	Equilíbrio em tempo qualquer t (min);
$k_1$	Constante cinética de pseudo-primeira ordem de adsorção (1/min);
$k_2$	Constante cinética de pseudo-segunda ordem de adsorção (1/min);
q	Quantidade de adsorvato por unidade de massa (g/mg.min);
$C_0$	Concentração inicial do adsorvato (g/L);
$C_e$	Concentração final do adsorvato ou concentração no equilíbrio (g/L);
V	Volume (L);
m	Massa do material adsorvente (g);
ADD	Água destilada e deionizada;
q	Quantidade de adsorvato (meta) retida no equilíbrio (mq/g);
$q_{max}$	Parâmetro de Langmuir relativo à capacidade de adsorção;
C	Concentração do íon na solução quando esta em equilíbrio;
Kads	Constante de Langmuir relativa à energia de adsorção (mg/g);
Kf	Coeficiente de adsorção de Freundlich;
n	Parâmetro adimensional, que indica a afinidade do solo pelo soluto;
MM	Massa molar;
$\lambda$	Comprimento de onda.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
3.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL .....	16
3.2 CORANTES .....	17
3.3 FORMAS DE TRATAMENTO.....	19
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
4.1 MATERIAL ADSORVENTE .....	24
4.2 SOLUÇÃO AQUOSA CONTENDO CORANTES .....	27
4.3 ENSAIOS DE ADSORÇÃO .....	28
4.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO.....	30
4.5 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO .....	30
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>32</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DE SERRAGEM .....	32
5.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VARREDURA .....	33
5.3 VERMELHO DE METILA.....	35
5.4 VERMELHO PROCION.....	37
5.5 VERMELHO REMAZOL RGB REATIVO .....	38
5.6 VERMELHO DE METILA + AZUL DE METILENO .....	39
5.7 CINÉTICA DE ADSORÇÃO.....	41
5.8 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO .....	42
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das indústrias no Brasil, muito se tem discutido sobre proteção ambiental. Uma empresa é bem vista pelo mercado, quando se preocupa com tais questões. Por isso as indústrias têm investido em novas técnicas de produção com menor geração de resíduos prejudiciais ao ambiente.

A indústria têxtil é um setor em ascensão e é evidente a poluição gerada pelos seus efluentes, já que cerca de 20t/ano de corantes são consumidos no Brasil e 20% são descartados como efluentes (DALLAGO; SMANIOTTO; DE OLIVEIRA, 2005).

A água é um elemento indispensável ao processo de produção, especialmente na etapa de beneficiamento com consumo de 120 a 180 L para cada metro de malha de algodão tingido (SILVA, 2007).

Estudos têm sido desenvolvidos afim de tratar os efluentes provenientes das indústrias têxteis, pois essas contribuições poluem visualmente a água, alteram os ciclos biológicos como a fotossíntese, além de terem compostos carcinogênicos e mutagênicos em sua composição (CÓRDOVA; DA SILVA, CÓRDOVA, 2010).

Devido à quantidade de corantes existentes e suas diferentes propriedades, existem várias formas de tratar efluentes têxteis que contemplam processos físicos, químicos, biológicos e a combinação destes. Os processos físicos consistem no uso de membranas seletivas, como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e diálise. Estes processos não são tão eficientes devido ao fato do problema persistir, pois as substâncias não são degradadas e sim transmitidas para outra fase. Portanto estes processos têm sido usados como etapa de pré-tratamento de efluentes têxteis (FURLAN, 2008).

Outros exemplos de processos, classificados como químicos, são flotação, filtração, oxidação, precipitação e irradiação. O processo de oxidação por ozonização é muito utilizado, pois mesmo em grandes quantidades, o ozônio remove rapidamente a cor (FURLAN, 2008). Trevisani (2012) utilizou ozonizador com geração de 1085,25 mg O<sub>3</sub>/h e vazão de ar de 8 L/min, para remoção de cor de efluente têxtil coletado em uma tinturaria, e obteve eficiência média de remoção da cor de 85%.

Os processos biológicos são bastante utilizados pelas indústrias têxteis por serem implantados em maior escala, com ênfase para o sistema de lodos ativados, que tem a demanda por área como desvantagem em sua implantação. Segundo Kunzet al. (2002), normalmente as indústrias têxteis utilizam o sistema composto por precipitação-coagulação seguida de lodos ativados com aproximadamente 80% de eficiência.

A adsorção difere de absorção, já que a primeira é um fenômeno que ocorre na superfície do adsorvente e a segunda é o acúmulo da substância absorvida em todo o volume do adsorvente (PINO, 2005). A adsorção pode ser dividida em física e química, porém é difícil diferenciar os tipos de adsorção, que em alguns casos, podem ocorrer ao mesmo tempo.

Existem inúmeros materiais adsorventes, sendo o carvão ativado o mais comumente utilizado. O carvão pode ser obtido a partir de elemento precursor carbonáceo, natural ou sintético (CAMBUIM, 2009). Este material é eficiente devido a sua superfície de contato variável de 600 a 1.200 m<sup>2</sup>/g (MUCCIACITO, 2006).

Em substituição ao carvão ativado, outros materiais têm sido usados como adsorventes alternativos, tais como bagaço de laranja que apresenta elevado tempo de saturação, baixo custo e fácil disponibilidade (TREVISAN et al., 2009), o pó da cana-de-açúcar, que além de ser facilmente encontrado no Brasil, é renovável e biodegradável (GARCIA; BARBOSA; COSTA, 2009), cavacos de madeira por apresentarem boa capacidade de remoção devido a sua dureza (KAMMRADT, 2004), a turfa, encontrada com facilidade em países como Reino Unido e Irlanda, pela capacidade de adsorver metais de transição e compostos orgânicos polares (ROBINSON et al., 2001), e outros materiais como argila natural, sabugo de milho, casca de arroz, também são vantajosos por apresentarem capacidade de remoção e baixo custo (ROBINSON et al., 2001).

O pó de serragem é considerado um material alternativo, pois não apresenta valor comercial e é um resíduo encontrado em larga escala. O pó de serragem da madeira apresentou eficiência de remoção de 78,8% para Antunes et al. (2010) e de 81,58% de azul de metileno para Ikeno (2013) com pó de serragem de *Pinus* sp.

A adsorção pode ser avaliada quantitativamente através das isotermas de adsorção que expressam a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração na fase fluida a uma determinada temperatura. As isotermas podem ser representadas por equações simples que relacionam a capacidade de adsorção com

a concentração final do adsorvato na solução. As mais usuais são de Langmuir e Freundlich, sendo que na isoterma de Langmuir é avaliada a máxima adsorção e admitida adsorção em monocamada; e na isoterma de Freundlich é indicado que a concentração do adsorvato na superfície do adsorvente aumenta à medida em que aumenta a concentração do adsorvato na solução.

Dentro desse contexto, o objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso foi avaliar a eficiência de remoção dos corantes sintéticos vermelho de metila, vermelho procion, vermelho remazol RGB reativo e bicromia de vermelho de metila e azul de metileno (50%) pelo processo de adsorção físico-química com pó de serragem de *Pinus sp.*

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso foi avaliar a eficiência de remoção dos corantes sintéticos vermelho de metila, vermelho procion, vermelho remazol RGB reativo e mistura de 50% de vermelho de metila com 50% de azul de metileno em soluções aquosas pela adsorção com pó de serragem de *Pinus sp.* como material adsorvente.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprimento do objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Determinação das características físico-químicas do pó de serragem do gênero *Pinus* sp.;
- Determinação dos comprimentos de onda dos corantes;
- Análise dos fatores intervenientes na adsorção dos corantes: massa do material adsorvente, tempo e temperatura;
- Obtenção de condições ótimas de adsorção para as variáveis massa, tempo e temperatura;
- Investigação da velocidade de adsorção pelo modelo cinético de pseudo-primeira ordem de Lagergren e pseudo-segunda ordem e;
- Estudo das isotermas de adsorção nas diferentes condições operacionais de acordo com os modelos de Langmuir e Freundlich.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL

O setor têxtil e de confecção brasileiro tem destaque no cenário mundial, por apresentar profissionalismo, criatividade, tecnologia e pela dimensão do seu parque têxtil. A Associação Brasileira da Indústria Têxtil (Abit) representa um potencial produtivo de 30 mil empresas no território brasileiro, com emprego de mais de 1,7 milhão de trabalhadores e faturamento anual de US\$ 53 bilhões. Dados de 2013 do Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI) mostram que o Brasil é o quinto maior produtor mundial têxtil, com 2 milhões de toneladas, responde por 2% do mercado mundial.

A configuração de uma cadeia produtiva têxtil é exemplificada na ilustração da Figura 1.

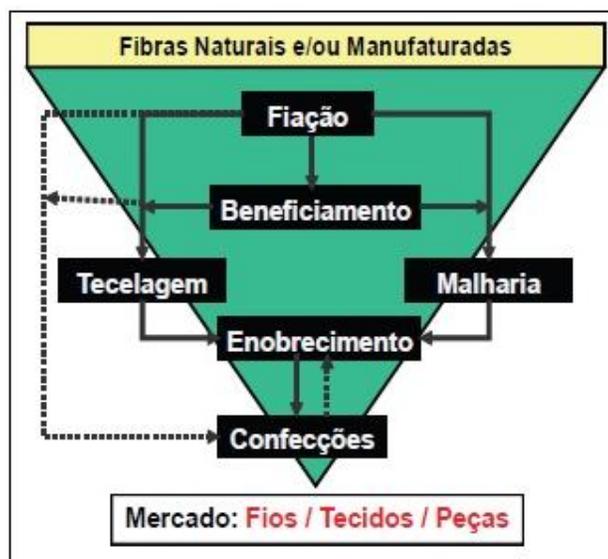


Figura 1 – Fluxograma simplificado do processo produtivo de uma indústria têxtil.

Fonte: Adaptado de Sindtêxtil (2009).

Na etapa de fiação é obtido o fio a partir das fibras têxteis. Após a fiação, o material pode ser encaminhado para a etapa do beneficiamento ou diretamente para

malharias e tecelagens. O ruído e o calor gerados pelas máquinas e o pó resultante do processo de fiação são problemas ambientais causados nesta etapa.

O beneficiamento envolve processos de alvejamento, tingimento, acabamento e estamparia do algodão. Esses processos envolvem inúmeras substâncias químicas prejudiciais ao ambiente.

Nas etapas de malharia e tecelagem, há a confecção do tecido propriamente dito. O enobrecimento é a fase de preparação, estamparia e acabamento. E por fim, a confecção que se diversifica devido a infinidade de tecnologias.

A água é um componente essencial para a atividade têxtil. Segundo Beltrame (2000) para produzir uma tonelada de produto têxtil são utilizadas cerca de 200 a 270 toneladas de água, sendo que 90% dos produtos químicos empregados no beneficiamento do tecido são eliminados de acordo com Silva Filho (1994).

A contaminação proveniente dos produtos químicos polui visualmente a água, altera os ciclos biológicos como a fotossíntese, além destes terem compostos carcinogênicos e mutagênicos em sua composição (CÓRDOVA; DA SILVA; CÓRDOVA, 2010).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução n. 430, de 2011, estabelece os padrões de qualidade de corpos hídricos, bem como de lançamentos de efluentes. Portanto há necessidade do tratamento dos efluentes gerados pelas indústrias têxteis para atender aos limites máximos e mínimos estabelecidos por esta resolução.

### 3.2 CORANTES

O tingimento de tecidos é uma prática iniciada há anos e até a metade do século XIX, os corantes eram normalmente extraídos de fontes naturais de origem vegetal ou animal (KAMMRADT, 2004).

Com o sucesso do setor têxtil no mundo, as indústrias têm investido em corantes com propriedades específicas. No Brasil, vários químicos têm investido nesse campo de pesquisa. Atualmente estão registrados mais de oito mil corantes sintéticos associados ao mercado têxtil (OLIVEIRA, 2007).

Acredita-se que aproximadamente 15% da produção mundial de corantes é perdida para o ambiente durante a síntese, processamento ou aplicação destes nos processos industriais (IMMICH, 2006).

O corante vermelho de metila ou vermelho de metilo, também chamado de C.I. *AcidRed2*, C.I. 13020, é um corante indicador de pH que se torna vermelho em soluções ácidas, azóico e apresenta-se como um pó cristalino vermelho escuro (Figura 2). Corantes azóicos caracterizam-se por apresentarem um ou mais agrupamentos  $-N=N-$  ligados a sistemas aromáticos. Possui número de CAS = 493-52-7 e massa molar igual a 269.31 g/mol (MERCK CHEMICALS, 2014).

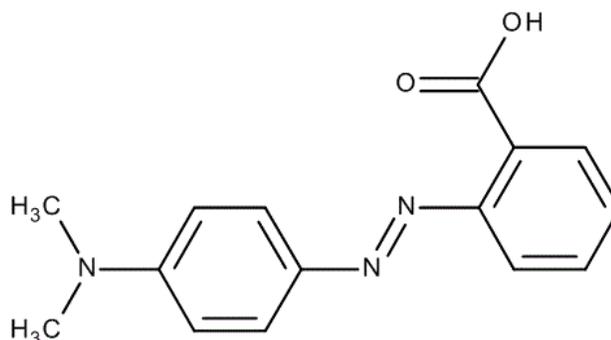


Figura 2: Estrutura Molecular do vermelho de metila.

Fonte: Merck Chemicals (2014).

O corante vermelho *procionH-E7B* pertence à classe dos corantes reativos e está entre os mais utilizados para tingimento de fibras de algodão (Figura 3). O “H” na denominação indica que o corante é uma aminoclorotriazina (monoclorotriazina) e “H-E” indica um corante bifuncional, classificado como bis(aminoclorotriazina) de acordo com Oliveira (2007).

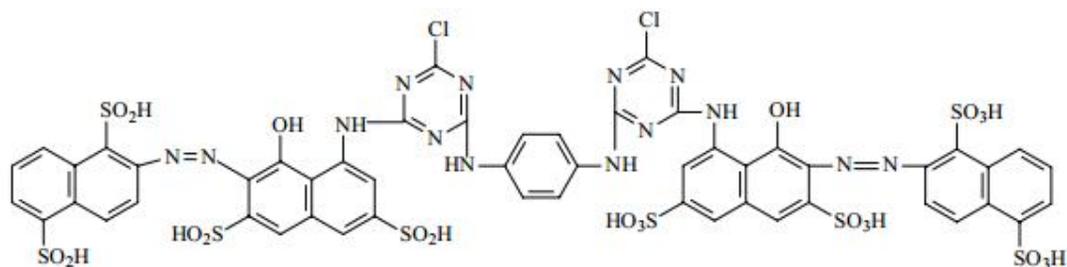
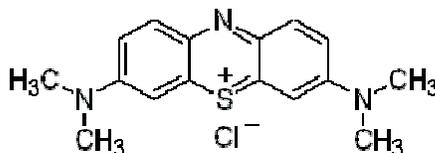


Figura 3: Estrutura Molecular do vermelhoprocionH-E7B.

Fonte: Almeida (2006).

O azul de metileno é um composto catiônico, aromático heterocíclico, sólido verde escuro, solúvel em água, produzindo solução azul e inodora. De acordo com a ficha técnica da Revista Oswaldo Cruz (2013), possui número de CAS = 61-73-4, massa molar de 373.91 g/mol e ponto de fusão entre 100 e 110 ° C(Figura 4).



**Figura 4: Estrutura Molecular do azul de metileno.**

**Fonte: Merck Chemicals (2014).**

### 3.3 FORMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Há uma infinidade de corantes de diversas naturezas, e hoje ainda não existe um método para descoloração completa de todos os efluentes têxteis. Porém, para diminuir parte dos impactos causados por esses corantes, técnicas e processos para tratamento de efluentes industriais têm sido desenvolvidos.

Na Figura 5 são apresentados os principais tipos de tratamentos utilizados pelas indústrias têxteis.

Tratamento	Tipo de processo	Operação Unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação/sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação/Sedimentação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Filtros biológicos Lagoas de estabilização
	Físico/Químico	Carvão Ativado
Terciário	Químico	Coagulação/Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose reversa Evaporação

**Figura 5: Processos de tratamento de efluentes têxteis.**

**Fonte: Peres e Abrahão (1998).**

Como visto na Figura 5, os tratamentos são classificados em primários, secundários e terciários. Os níveis primários e secundários são os mais utilizados nas estações de tratamento de efluentes da indústria brasileira; os tratamentos terciários e avançados são usados em menor escala por necessitarem de tecnologias mais aprimoradas que envolvem fins específicos como a reciclagem da água e/ou produtos (BELTRAME,2000).

Existem inúmeras maneiras para tratar o efluente têxtil, sendo que a escolha do tratamento irá depender das características do efluente, qualidade final requerida, custo, disponibilidade de área e tecnologia adequada (BELTRAME, 2000).

Dentre as técnicas primárias destaca-se a utilização de coagulação (processo químico) seguida de separação por flotação ou sedimentação (processos físicos) por ser eficiente na remoção de material particulado. Por outro lado, é ineficiente na remoção de cor (KUNZ et al., 2002).

Muitas indústrias utilizam o processo secundário e biológico com oxidação por lodos ativados, por ser mais facilmente implementado. No entanto, esse processo mostra-se ineficiente para remover diversos corantes (MAGDALENA, 2010) e por produzir maior volume de lodo (KUNZ et al., 2002) se comparado a processos anaeróbios.

Ainda no contexto do nível de tratamento secundário, é importante destacar o método de adsorção (processo físico-químico), o qual apresenta facilidade na execução e baixo custo de implementação. Para obter melhor custo-benefício, o material adsorvente utilizado neste método, deve ser encontrado em abundância e com menor custo de aquisição.

O material adsorvente mais utilizado atualmente é o carvão ativado, porém devido ao seu alto custo, aproximadamente R\$50,00/kg, materiais adsorventes alternativos ou não convencionais têm sido pesquisados, como folhas da árvore *Neem* (*Azadirachta indica*), nativa da Índia (IMMICH, 2006).

O passivo ambiental é um conjunto de obrigações que as empresas têm com a sociedade e com o ambiente. Como já foi dito, a indústria têxtil tem grande potencial poluidor, e utilizar resíduos descartados como alternativa de tratamento de efluentes é uma boa maneira de compensar os impactos causados ao ambiente.

O pó de serragem de *Pinus sp*, um resíduo da indústria madeireira, enquadra-se como material alternativo ou não convencional, encontrado em abundância a menor custo. Geralmente esses resíduos são considerados “indesejáveis”, ficando geralmente aglomerados em pátios onde são queimados ou até mesmo, descartados em corpos hídricos.

As espécies do gênero *Pinus* foram trazidas para o Brasil no século 19, a princípio com intuito ornamental. Na década de 50, o governo fomentou o investimento das indústrias de papel e celulose, com isso, o plantio de *Pinus* passou a ser intenso, com o intuito de suprir as necessidades de matéria-prima das indústrias em substituição à madeira de araucária.

Dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS, 2001) apontam que no ano 2000 a área de produção de *Pinus* no estado do Paraná era de 605.130 hectares, sendo o estado brasileiro que mais produz este gênero.

Na Tabela 1 são apresentados estudos com materiais lenhosos para remoção de corantes em soluções aquosas, suas respectivas concentrações, eficiências de remoção e referências.

**Tabela 1 – Estudos com materiais lenhosos para remoção de corantes em soluções aquosas.**

Adsorvente	Adsorbato	Concentração do Adsorbato (mg/L)	% de Remoção	Referência
Serragem Carbonizada de Bambu	Azul de metileno	200	93,1	Kannan, Sundaram 2001
<i>Dalbergiasisso</i> (serragem tratada com ácido sulfúrico)	Azul de metileno	250	82,2	Garget al., 2004
<i>Dalbergiasisso</i> (serragem tratada com formaldeído)	Azul de metileno	250	73,7	Garget al., 2004
Serragem de Madeira	<i>Direct Green 26</i>	500	78,8	Antunes et al., 2010
Pó de serragem <i>Pinus sp.</i>	Azul de metileno	150	81,8	Ikeno, 2013
Pó de serragem <i>Pinus sp.</i>	Verde de malaquita	9	94,6	Silva, 2014
MDF	Azul de metileno	150	97,7	Valcarenghi;Silva,

				2013
Maderite	Azul de metileno	150	98,2	Valcarenghi;Silva, 2013

**Fonte: Autoria própria.**

A natureza do corante, massa, tempo, temperatura, pH, pré-tratamento do adsorvente e entre outros, são fatores que interferem nos resultados de remoção. Ikeno (2013), por exemplo, constatou que ao aumentar a massa de pó de serragem de 0,1 g para 1,0 g a remoção aumentava de 29,9% para 81,8%. O mesmo autor utilizou formaldeído como pré-tratamento do pó de serragem e obteve 81,92% de remoção a 40 °C e 89,75 a 50 °C.

Valcarenghi e Silva (2013) variaram o pH (5,5, 6,5, 7,5, 8,5, 9,5 e 10,5) para identificar se esse era um fator relevante, os resultados apresentaram variações a medida que se variava o pH, o estudo apontou para um pH ótimo de 7,5 com remoção de 97,7% aos 150 min de ensaio.

De acordo com a Tabela 1, os autores concluíram que é viável o uso de materiais lenhosos como material adsorvente, por apresentarem menor custo de aquisição, fácil acesso e com potencial de remoção de parcela significativa de cor.

### 3.4 ISOTERMA DE ADSORÇÃO

A isoterma de adsorção é o conceito fundamental da adsorção, ela expressa a relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a concentração na fase fluída, em temperatura constante.

As isotermas podem ser representadas por equações simples, as quais relacionam a capacidade de adsorção com a concentração final do adsorvato na solução. As mais usuais são de Langmuir e Freundlich (SALVADOR, 2009). A isoterma de Langmuir faz uma avaliação da máxima adsorção e ela admite uma monocamada de adsorção.

Na isoterma de Freundlich é indicado que a concentração do adsorvato na superfície do adsorvente aumenta à medida que aumenta a concentração do adsorvato na solução.

Gileset al. (1960) classificaram as isotermas de acordo com sua curvatura inicial, o resultado desses estudo consta na Figura 6.

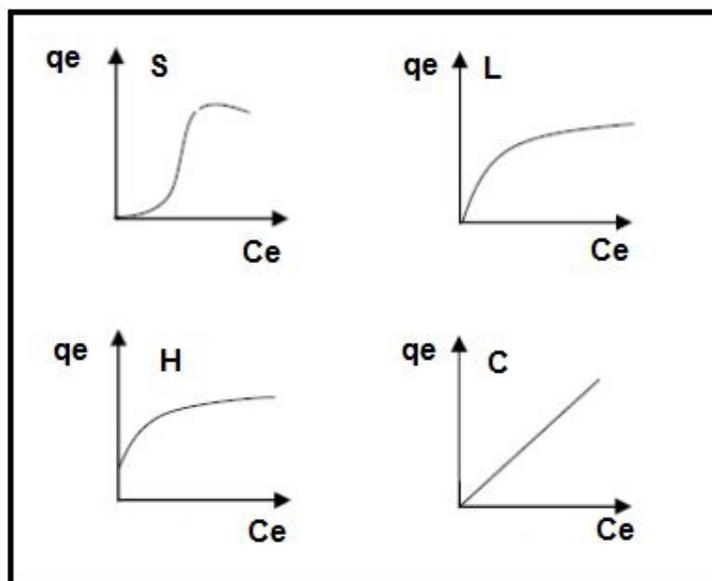


Figura 6: Classificação das Isotermas segundo Gileset al. (1960)Giles.

Fonte: Adaptada de Magdalena (2010).

A classe S indica que inicialmente a remoção é baixa, aumenta a medida que há maior quantidade de moléculas adsorvidas; a classe H é caracterizada por apresentar alta afinidade pelo soluto adsorvido; a curva L é caracterizada por apresentar diminuição dos sítios de adsorção quando a concentração da solução aumenta; e a classe C é caracterizada pelo aspecto constante (linear) do soluto entre a solução e o adsorvente. As isotermas de classe L e C são muito próximas, podendo, algumas vezes, serem consideradas do mesmo tipo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso.

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Saneamento (LABSAN) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Campo Mourão.

### 4.1 MATERIAL ADSORVENTE

O pó de serragem de *Pinus sp.* foi coletado em uma serraria local no município de Campo Mourão, estado do Paraná e passou por uma secagem durante 24 h a 100 °C.

Foi realizada caracterização físico-química do material adsorvente, com determinação do pH, densidade aparente, número de lodo e teor de umidade em triplicata.

O pH foi determinado através de procedimentos descritos na ASTM D 3838-80:1999 em triplicata. Cada amostra contendo 10 g de pó de serragem foi pesada em balança digital de precisão e colocada em contato com 100 mL de água destilada e deionizada (ADD). Esta suspensão foi aquecida a 90 °C e agitada por 15 min e posteriormente filtrada em papel filtro qualitativo. A solução foi resfriada até 50°C e determinado o pH em um pHmetro de bancada Del Lab DLA-pH, calibrado com soluções tampão de pH = 4,0 e pH = 7,0.

A densidade aparente do pó de serragem foi determinada através do método descrito na ABNT NBR 12076 :1991 em triplicata. Provetas graduadas de 100 mL foram inseridas na estufa Orion 250 durante 30 min para remoção do excesso de umidade. As amostras contendo 1,5 g de pó de serragem foram pesadas na balança analítica de precisão Celtac FA 2014N, colocadas em proveta até o volume de 100 mL e em seguida conduzidas a estufa Orion 250 a temperatura de 130 °C por 3 h. Após este período, as provetas foram colocadas no dessecador para alcançarem a temperatura ambiente e depois obtidas suas massas na balança analítica de precisão Celtac FA 2014N. Após 3 h, as amostras de pó de serragem

foram colocadas no dessecador até atingirem a temperatura ambiente para determinação das suas massas e em seguida foram pressionadas nas provetas para compactação e anotado o volume ocupado pelas massas em cada uma das provetas. A densidade aparente do pó de serragem *Pinus sp.* foi determinada pela Equação (1).

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

Em que:

$\rho$  = densidade aparente (g/mL);

$m_1$  = massa da proveta (g);

$m_2$  = massa do adsorvente somada a massa da proveta (g);

$V$  = volume determinado após a compactação do material (mL ou cm<sup>3</sup>).

A determinação do número de iodo foi feita pelo método descrito na ABNT NBR 12073:1991 em triplicata. Foi utilizada a balança analítica de precisão Celtac FA 2014N para pesar 10 g de pó de serragem para três amostras que foram levadas para estufa Orion 250 durante 3 h a 130 °C. Em seguida as amostras foram acondicionadas em dessecador até alcançarem a temperatura ambiente. Na sequência foram pesados 1,9 g dessas amostras e colocados em béqueres de 250 mL contendo ácido clorídrico na proporção de 1:5. Posteriormente os béqueres foram acondicionados em uma chapa pré-aquecida até o momento em que o ácido entrou em ebulição, e então foram retirados e resfriados até a temperatura ambiente. Após isso, foram inseridos 100 mL de solução de iodo 0,1 N nos béqueres, agitados durante 30 s e o conteúdo de cada béquer foi filtrado em papel de filtro qualitativo de 18,5 cm.

Foram rejeitados 30 mL do conteúdo filtrado e os 50 mL restantes foram utilizados para serem titulados com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N até alcançarem cor amarelada. Após essa etapa, foi adicionado 2 mL de solução indicadora de amido 0,5% em cada béquer até que a coloração azul ficasse incolor. O volume de tiosulfato de sódio foi anotado e os cálculos foram feitos através das Equações (2), (3) e (4).

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (2,2 B V_a)}{\rho} \quad (2)$$

Em que:

X/M = número de iodo sem o fator de correção da normalidade do filtrado residual (mg/g);

A = normalidade da solução de iodo 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução e por 12693 (N);

V<sub>a</sub> = Volume total de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação (mL);

ρ = massa da amostra de material adsorvente pulverizado (g).

Para a normalidade do filtrado residual foi utilizada a Equação (3).

$$N_1 = \frac{N_2 - V_a}{50} \quad (3)$$

Em que:

N<sub>1</sub> = normalidade do filtrado residual (N);

N<sub>2</sub> = normalidade da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução (N);

V<sub>a</sub> = volume total da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação (mL);

Para determinar o número de lodo foi utilizada a Equação (4).

$$I = \frac{X}{M} D \quad (4)$$

Em que:

D = fator de correção da normalidade do filtrado residual encontrado na tabela da norma ABNT NBR 12073:1991.

O teor de umidade foi determinado de acordo com ASTM D 2867-04 em triplicata. Para isso, foram pesados 2 g de pó de serragem após peneiramento em peneira n. 50 e 5 g de pó de serragem quando as amostras não passassem pela peneira. Béqueres de 50 mL, o pó de serragem e o conjunto béquer-material adsorvente foram pesados e suas respectivas massas, anotadas. Posteriormente os béqueres foram postos em estufa por 3h a temperatura de 150 °C. Após período de 3h, a triplicata foi retirada da estufa e resfriada em dessecador até atingir a temperatura ambiente e novamente anotadas as massas. O teor de umidade foi determinado utilizando a Equação (5).

$$TU = \frac{(C-D)}{(C-B)} 100 \quad (5)$$

Em que:

TU = teor de umidade (%);

B = massa do recipiente (g);

C = massa do recipiente com a amostra original (g);

D = massa do recipiente com a amostra seca (g).

#### 4.2 SOLUÇÃO AQUOSA CONTENDO CORANTES

Para o preparo de cada solução aquosa foram utilizados os corantes com concentração de 0,15g por litro de água destilada. Para obter precisão na determinação das massas, foi utilizada balança analítica de precisão Celtac FA 2014N. As características: fórmula química, massa molar e natureza dos corantes são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos Corantes

Corante	Fórmula química	MM	Natureza
Vermelho de metila	$C_{15}H_{15}N_3O_2$	269,29	Vermelho (pH<4,4)
VermelhoProcion	$C_{52}H_{34}S_8O_{26}N_{13}Cl_2$	1584,38	Vermelhoreativo
Vermelhoremazol	$C_{25}H_{15}N_7O_{16}S_5Na_4 Cl$	984,82	Vermelhoreativo
Azul de metileno	$C_{16}H_{18}N_3SCl$	319,0	Azul básico

Fonte: Autoria própria.

Foi determinado o comprimento de onda para cada corante em concentração de 0,15 g/L no espectrofotômetro DR 5000 uv-vis da Hach. Conhecido o comprimento de onda, foi realizada a curva de calibração com diferentes concentrações de cada corante para obtenção dos valores de absorvância de cada amostra em duplicata. Com esses valores foram plotados os gráficos da concentração em g/L (eixo x) pela absorvância em nm (eixo y) para obtenção da equação da reta (ajuste linear) e do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) na ferramenta computacional Excel.

#### 4.3 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Foram pesadas, na balança analítica de precisão Celtac FA 2014N, massas de pó de serragem de 0,10 g; 0,25 g; 0,5g; 0,75g e 1,0 g em erlenmeyers de 125 mL, juntamente com a solução de concentração 0,15 g/L em 100 mL de cada corante.

Os erlenmeyers foram colocados em uma mesa agitadora de banho metabólico Dubnoff (LABOR) (Figura 7) a 120 rpm durante duas horas e meia. As amostras foram retiradas em triplicata nos intervalos de tempo (15, 30, 60, 90, 120, 135 e 150 min) e em seguida, centrifugadas por 5 min a 2500 rpm na centrífuga Sislab, modelo twister (Figura 8), para separar a parte sólida do sobrenadante, possibilitar a realização da leitura da absorvância no espectrofotômetro e calcular as respectivas concentrações.



**Figura 7: Mesa agitadora de banho metabólico.**

**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 8: Centrífuga Sislab, modelo twister.**

**Fonte: Autoria própria.**

A leitura da absorvância foi realizada no espectrofotômetro DR 5000 uv-vis da Hach (Figura 9). Com as leituras das absorvâncias e a determinação das concentrações de cada corante em função do tempo foi possível calcular a eficiência de adsorção do pó de serragem para cada solução aquosa.



**Figura 9: Espectrofotômetro DR 5000 uv-vis da Hach.**

**Fonte: Aatoria própria.**

#### 4.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Com os resultados experimentais foi possível determinar as constantes cinéticas de adsorção de pseudo-primeira Lagergren e de pseudo-segunda ordem, importantes para descrever o comportamento do adsorvato com o adsorvente e a eficiência de adsorção.

A Equação 6, proposta por Lagergren, é uma das equações mais utilizadas para determinação da velocidade de adsorção de soluto em solução líquida.

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (6)$$

Em que:

$q_e$  = quantidades bioissorvidas no equilíbrio (mg/g);

$q_t$  = quantidades bioissorvidas no tempo  $t$  (mg/g) ;

$k_1$  = constante da taxa de bioissorção de pseudo-primeira-ordem (1/min).

A equação de pseudo-segunda ordem é determinada pela Equação 7.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (7)$$

Em que:

$q_e$  = quantidades biossorvidas no equilíbrio (mg/g);

$q_t$  = quantidades biossorvidas no tempo  $t$  (mg/g) ;

$k_2$  = constante da taxa de biossorção de pseudo-segunda-ordem (g/mg .min).

#### 4.5 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Para determinar a isoterma experimental de adsorção foram colocados 1,0 g de material adsorvente com 100 mL da solução aquosa por 120 min, a 50 °C na mesa agitadora de banho metabólico Dubnoff (LABOR) a 120 rpm, com concentrações da bicromia vermelho de metila e azul de metileno (50%) em 0 g/L; 0,03 g/L; 0,1 g/L; 0,15 g/L e 0,2 g/L.

Após o período de agitação, as amostras foram centrifugadas a 2500rpm por 5 min, para posterior determinação das concentrações de vermelho de metila e azul de metileno.

A isoterma de Langmuir foi determinada pela Equação (8).

$$q = \frac{q_{max}K_{ads} C}{1+K_{ads} C} \quad (8)$$

Em que

$q$  = quantidade de adsorvato (metal) retido no sólido no equilíbrio (mg/g);

$q_{max}$  = é o parâmetro de Langmuir relativo à capacidade de adsorção;

$C$  = é a concentração do íon na solução quando esta em equilíbrio;

$K_{ads}$  = é a constante de Langmuir relativa à energia de adsorção(mg/g).

A isoterma de Freundlichfoi determinada pela Equação (9).

$$q = K_f C^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

Em que:

$q$  = quantidade de adsorvato retido no sólido no equilíbrio (mg/g);

$C$  = quantidade de adsorvato (metal) retido no sólido no equilíbrio (mg/g);

$K_f$  = coeficiente de adsorção de Freundlich;

$n$  = parâmetro adimensional, que indica a afinidade do solo pelo soluto.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor entendimento, os resultados obtidos estão dispostos em forma de tópicos divididos em caracterização físico-química do pó de serragem *Pinus sp.*, corantes vermelho de metila, vermelho RGB reativo, vermelho procion, mistura de vermelho de metila e azul de metileno, cinética de adsorção e isothermas de adsorção.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DE SERRAGEM

Na Tabela 3 é apresentado um resumo das médias dos resultados obtidos na caracterização físico-química em triplicata.

**Tabela 3 – Características físico-químicas do pó de serragem.**

<b>Características</b>	<b>Pó de serragem</b>
pH	4,1±0,06
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	6,15±0,53
Número de lodo (mg/g)	660±0,85
Teor de umidade (%)	11±1,0

**Fonte: Autoria própria.**

O pH é um parâmetro que representa a acidez do material adsorvente. Essa determinação é relevante, pois o parâmetro pode alterar o processo de adsorção devido a interações eletrostáticas com a solução (PIZA, 2008).

Valcarenghi e Silva (2013) encontraram pH de 4,92 para o MDF e Antunes et al. (2010) obtiveram pH de 4,4 para pó de serragem, valores semelhantes ao encontrado neste estudo. Este parâmetro é determinado pela origem do material, Aksu(2001), por exemplo, obteve pH de 8,7, já que o material usado como adsorvente foi a alga *C. vulgaris*.

O médio de densidade aparente do pó de serragem resultou superior ao verificado por Garget et al. (2004) de 1,45 g/ml para pó de serragem de *Indian Rosewood* com tratamento químico de ácido sulfúrico a 1% e por Valcarenghi e Silva (2013), que encontraram 0,226 e 0,152 g/ml para o MDF e madeirite,

respectivamente.

O número de iodo encontrado está coerente com o determinado pela ABNT NBR 1203/1991 (ABNT, 1991) de 600 mg/g para materiais adsorventes. Já Donatiet al. (1993) encontraram valores superiores de número de iodo para madeira (*Picazine*) e madeira (*Nuchar AS*) de 964 mg/g e 953 mg/g, respectivamente.

O teor médio de umidade, que mede a capacidade do adsorvente de reter líquido, de 11% foi superior aos valores encontrados por Garget al. (2004) de 3,82% para pó de serragem tratado com ácido sulfúrico a 1% e Yamagi e Bonduelle (2004) de 7,32% para pó de serragem *Copaifera sp.*, isso significa que o material utilizado neste estudo é mais poroso e suporta maior quantidade de líquido se comparado com os valores encontrados por outros autores.

## 5.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO E DA VARREDURA

Nas Figuras 10, 11, 12 e 13 são apresentadas as equações da reta e o fator  $R^2$ , obtidos para solução aquosa contendo vermelho de metila, vermelho procion, vermelho remazol RGB reativo e bicromia (mistura), respectivamente.

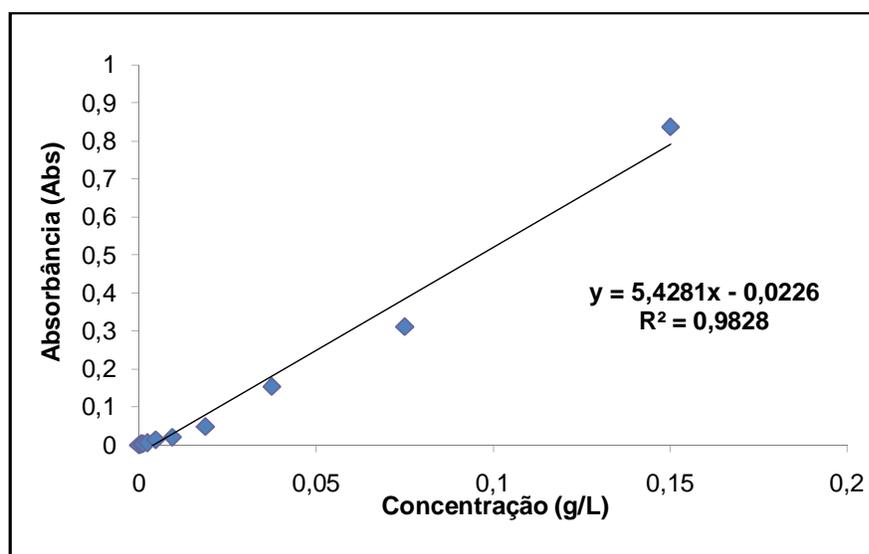


Figura 10: Varredura realizada com vermelho de metila no espectrofotômetro.

Fonte: Autoria própria.

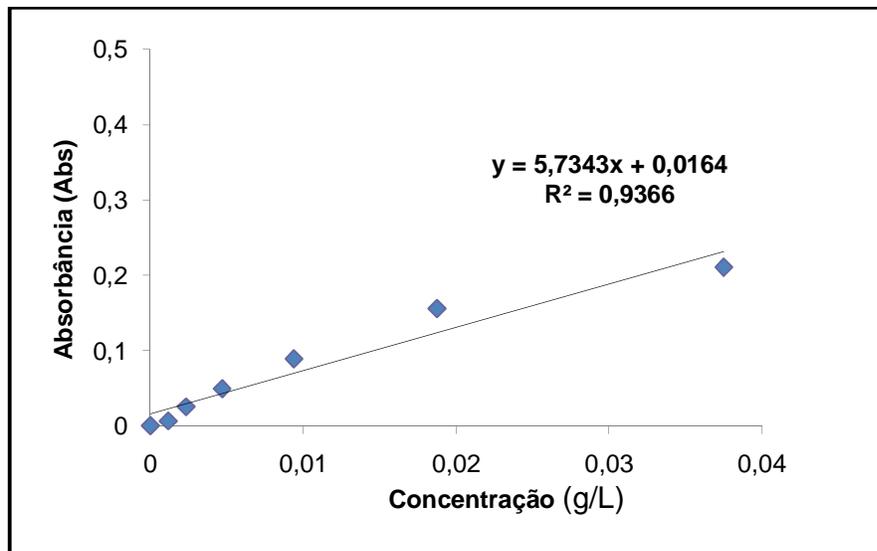


Figura 11: Varredura realizada com vermelho procion no espectrofotômetro.

Fonte: Autoria própria.

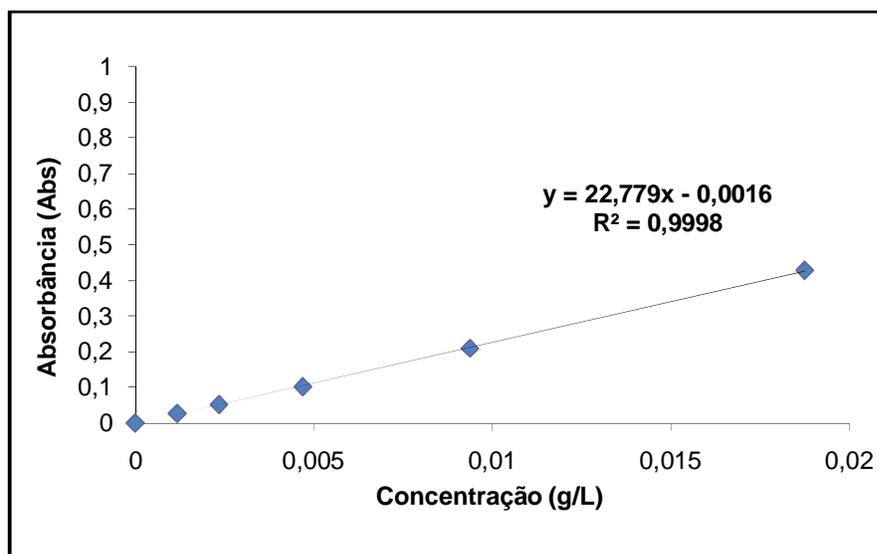


Figura 12: Varredura realizada com vermelhoremazol RGB reativo no espectrofotômetro.

Fonte: Autoria própria.

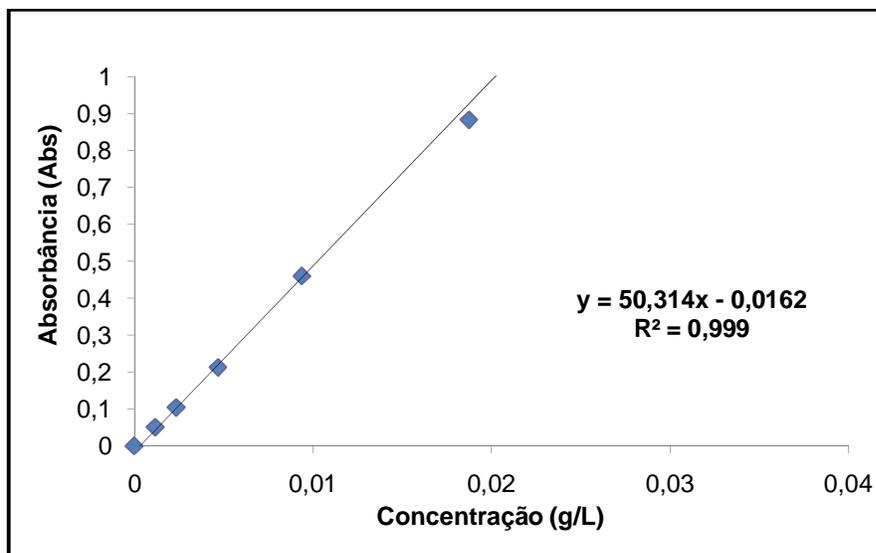


Figura 13: Varredura realizada com a bicromia no espectrofotômetro.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 4 mostra os comprimentos de onda encontrados para cada corante, através do ensaio de varredura no espectrofotômetro.

Tabela 4 – Comprimentos de onda.

Corante	$\lambda$ (nm)
Vermelho de metila	523
Vermelho Procion	268
Vermelho RGB reativo	522
Bicromia	623

Fonte: Autoria própria.

### 5.3 VERMELHO DE METILA

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de eficiência de remoção (adsorção) (%) do corante vermelho de metila submetido a temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C.

Tabela 5 – Eficiência de remoção (%) do vermelho de metila.

Massa (g)	Tempo (min) – 30 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	16,35	-	6,21	3,71	-	-	0,19
0,25	-	3,43	22,62	17,82	10,43	22,79	26,84	16,87
0,50	-	18,34	16,38	16,53	27,42	26,78	7,77	23,81
0,75	-	6,03	13,00	20,68	16,93	28,72	33,17	22,08
1,00	-	14,44	33,67	42,07	44,38	2,21	43,59	45,00
Massa (g)	Tempo (min) – 40 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	4,69	10,20	-	-	-
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	-	-	1,16	15,02	16,45	16,81	18,29	18,64
1,00	-	15,88	29,88	53,40	58,87	20,05	47,68	55,00
Massa (g)	Tempo (min) – 50 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	17,21	14,42	6,31	0,92	25,05	8,45	8,42
0,75	-	26,56	36,18	44,91	38,47	37,83	34,36	32,30
1,00	-	43,39	51,58	51,87	55,36	54,48	56,49	51,00

Fonte: Autoria própria.

O melhor resultado de eficiência de remoção obtido nos ensaios foi de 58,87% com 1 g de pó de serragem a temperatura de 40 °C no tempo de 90 min. Nota-se que a massa do adsorvente é um fator relevante no processo de adsorção, o aumento da massa resulta em maior remoção, esse fato é constatado por autores como Ikeno (2013) que obteve 81,8% de remoção do azul de metileno com 1 g de pó de serragem de *Pinus spe* 29,9% de remoção com 0,1 g de adsorvente nas mesmas condições; e por Valcarenghi e Silva (2013), que obtiveram 98,2% de remoção de azul de metileno utilizando 6 g de MDF e 96,9% com 1 g de adsorvente nas mesmas condições.

## 5.4 VERMELHO PROCION

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de eficiência de remoção (adsorção) (%) do corante vermelho procion submetido a temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C.

Tabela 6 – Eficiência de remoção (%) do vermelho procion.

Massa (g)	Tempo (min) – 30 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Massa (g)	Tempo (min) – 40 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Massa (g)	Tempo (min) – 50 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos nos ensaios não indicaram eficiência de remoção para este corante. Uma das soluções para as indústrias têxteis que utilizam esse corante reativo em sua produção é a utilização de um processo de oxidação avançada,

Balbinotet al. (2008) utilizaram o método de UV- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para remoção do corante vermelho procion. Neste estudo o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) funciona como agente oxidante e a radiação ultravioleta, como agente catalisador, o resultado de remoção alcançado pelos autores foi de 99,7%.

### 5.5 VERMELHO REMAZOL RGB REATIVO

Na Tabela7 são apresentados os resultados de eficiência de remoção (adsorção) (%) do corante vermelho remazol RGB reativo submetido a temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C.

**Tabela 7 – Eficiência de remoção (%) do vermelho remazol RGB reativo.**

Massa (g)	Tempo (min) – 30 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,1	-	1,00	1,07	0,86	1,29	1,87	1,87	2,05
0,25	-	0,98	0,85	0,64	0,44	1,03	0,59	0,72
0,5	-	2,14	2,07	2,48	2,23	2,56	2,76	2,62
0,75	-	0,99	1,14	1,11	0,96	1,38	1,43	1,36
1,0	-	0,39	0,67	0,30	0,00	0,34	0,29	0,13
Massa (g)	Tempo (min) – 40 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	0,36	0,56	1,29	1,01	1,60	1,70	1,34
0,25	-	1,43	1,32	1,47	1,32	1,76	1,32	1,36
0,50	-	1,77	1,76	1,75	1,58	1,75	1,67	1,61
0,75	-	0,48	0,35	0,27	0,09	0,22	0,35	0,07
1,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Massa (g)	Tempo (min) – 50 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	1,69	1,49	1,26	1,26	1,31	1,47	1,19
0,25	-	3,12	2,60	3,27	3,32	3,46	3,41	3,04
0,50	-	2,75	2,55	2,43	2,44	2,57	2,71	2,26
0,75	-	1,22	1,18	1,05	0,99	1,10	1,22	1,22
1,00	-	-	0,12	-	0,14	0,14	0,32	0,34

Fonte: Autoria própria.

Com esse corante reativo, os resultados não foram satisfatórios. A maior porcentagem de remoção foi de 3,46% com massa de 0,25 g de pó de serragem a temperatura de 50°C em 120 min de experimento.

Silva et al. (2012) realizaram ensaio de descoloração com o corante vermelho remazol utilizando raízes e casca de nabo. Os autores obtiveram remoção mínima de 0,6% e máxima de 5,5%, e atribuíram os resultados à concentração de enzima, proporção substrato: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, concentração do corante ou a presença de mediadores.

Koroishiet al. (2000) encontraram resultados melhores para o corante reativo remazol vermelho RG, no experimento, sob agitação magnética, eles variaram a razão entre a massa do adsorvente (pó de serragem) e o volume de solução e mantiveram constantes a temperatura (30°C), o tempo (24h) e a concentração inicial da solução (70 mg/L). As razões entre a massa e o volume foram 5%, 10% e 15% e os resultados de remoção foram, respectivamente, 19,03%, 48,87% e 59,27%.

#### 5.6 BICROMIA VERMELHO DE METILA COM AZUL DE METILENO (50%)

Na Tabela 8 são apresentados os resultados de eficiência de remoção (adsorção) (%) da bicromia vermelho de metila com azul de metileno a temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C.

Tabela 8 – Eficiência de remoção (%) da Bicromia.

Massa (g)	Tempo (min) – 30 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,1	-	50,13	50,13	49,89	50,13	50,13	50,13	50,13
0,25	-	50,13	50,13	50,59	51,12	51,74	52,25	52,13
0,5	-	52,11	59,00	62,73	64,99	68,45	69,98	70,77
0,75	-	53,69	60,00	68,72	74,49	78,43	79,97	80,71
1,0	-	59,50	70,41	80,09	82,83	86,06	86,32	86,98
Massa (g)	Tempo (min) – 40 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13
0,25	-	50,13	50,13	50,34	50,81	52,18	51,19	53,32
0,50	-	50,13	55,59	67,12	69,64	72,33	74,24	74,40
0,75	-	59,10	66,86	75,94	77,77	81,38	82,39	83,85
1,00	-	60,13	70,48	82,46	81,37	87,04	88,45	85,78
Massa (g)	Tempo (min) – 50 °C.							
	0	15	30	60	90	120	135	150
0,10	-	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13
0,25	-	50,82	51,64	54,51	55,87	56,13	58,31	58,32
0,50	-	52,38	61,00	67,33	70,44	73,90	74,00	74,69
0,75	-	57,81	66,85	77,04	78,49	82,81	82,63	84,13
1,00	-	65,01	76,85	87,35	87,20	92,04	91,59	90,03

Fonte: Autoria própria.

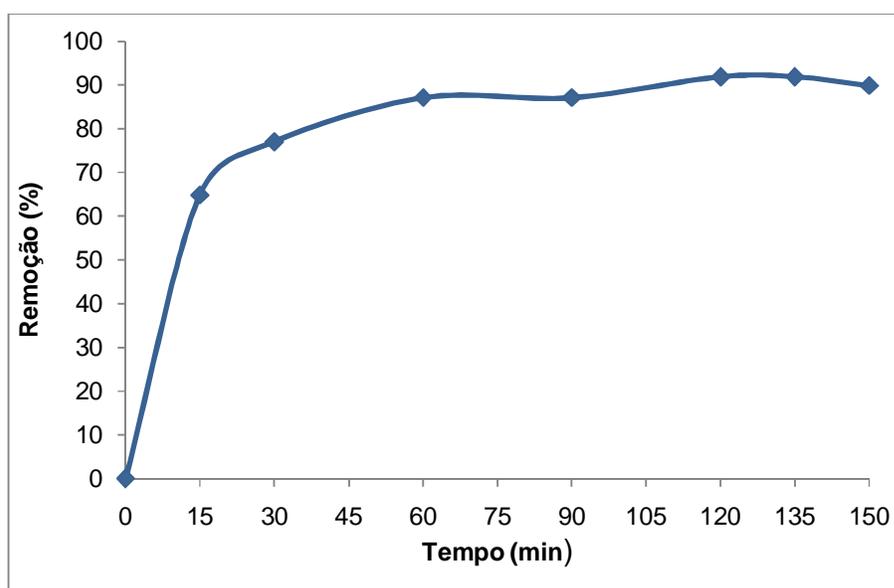
Para a bicromia com vermelho de metila e azul de metileno foram encontrados resultados satisfatórios. O pó de serragem funcionou como um excelente material adsorvente. O melhor resultado foi obtido com 1 g de material adsorvente a temperatura de 50 °C em 120 min. Nessas condições de massa, temperatura e tempo, constatou-se remoção de 92,04% da cor.

Resultados inferiores foram encontrados por Antunes et al. (2010), que utilizaram pó de serragem e solução de corante *Direct Green 26* (concentração inicial da solução de 40 mg/L) obtendo 79% de remoção e por Ikeno (2013) que

utilizou pó de serragem e solução de corante azul de metileno (concentração inicial da solução de 150 mg/L) obtendo 81,8% de remoção.

## 5.7 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção foi realizada com a mistura de corantes vermelho de metila com azul de metileno. A Figura 14 mostra a curva de remoção em função do tempo.



**Figura 14: Cinética de biossorção para a bicromia.**  
Fonte: A autoria própria.

Resultados similares de eficiências de remoção foram encontrados por Silva (2014) de 94,6% e por Bustos (2012) de 90% para verde de malaquita em pó de serragem de *Pinus sp.* e extrato natural de mandioca, respectivamente.

Um parâmetro na cinética de adsorção é o tempo de equilíbrio. O tempo de equilíbrio para esse traçador foi de 60 min, a partir deste tempo a remoção ocorre mais lentamente (Figura 14). Isso ocorre devido ao primeiro contato entre a solução

e o adsorvente, Ikeno (2013) e Kannan e Sundaram (2001) constataram o mesmo fato.

Os resultados cinéticos foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem de Lagergren são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9–Parâmetros cinéticos de bioissorção.**

Constantes Cinéticas de Bioissorção						
Pseudo primeira-ordem				Pseudo segunda-ordem		
$q_e(\text{exp.})$ (mg/g)	$q_e(\text{calc.})$ (mg/g)	$k_1$ (1/min)	$R^2$	$q_e(\text{calc.})$ (mg/g)	$k_2$ (g/mg .min)	$R^2$
20,400	9,445	0,023	0,777	20,704	0,0115	0,996

**Fonte: autoria própria.**

O modelo de pseudo-segunda ordem apresentou melhor ajuste dos dados experimentais na adsorção da mistura vermelho de metila com azul de metileno, com coeficiente de correlação de 0,9965, próximo de 1,0. Este modelo apresentou resultados mais aproximados entre os valores da quantidade bioissorvida no equilíbrio ( $q_e$ ) experimental e calculada.

Valcarenghi e Silva (2013) encontraram valor médio de  $K_2$  0,0445 g/mg.min para o pó de serragem de MDF, semelhante ao encontrado neste estudo. Esses mesmos autores e também Ikeno (2013) e Silva (2014), ajustaram seus resultados cinéticos ao modelo de pseudo-segunda ordem de Lagergren, assim como deste estudo.

## 5.8 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Como os resultados de remoção de cor foram melhores para a mistura de corantes vermelho de metila e azul de metileno, realizou-se o ensaio para determinação da isoterma para essa condição.

Neste ensaio foi utilizada massa de material adsorvente de 1 g, temperatura de 50 °C e tempo de 120 min para determinação das isotermas, pois estas condições indicaram os melhores resultados de eficiência de remoção (92,04%).

Os resultados experimentais obtidos foram ajustados conforme os modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich nas suas formas linearizadas. O modelo de Langmuir obteve um fator  $R^2$  de 0,6355 e de Freundlich de 0,9887. Desta forma o modelo de Freundlich se ajusta melhor aos dados experimentais.

Este resultado também foi observado por Silva (2014) que utilizou o pó de serragem de *Pinus spp* para remover verde de malaquita e obteve fator  $R^2$  de 0,2031 e de 0,9117 para isoterma de Langmuir e Freundlich respectivamente.

Já para Alves (2013), os seus dados experimentais ajustaram-se em ambos os modelos. Verificou a adsorção de verde de malaquita em caulinita e encontrou para a isoterma de Freundlich,  $R^2$  de 0,9867, e para isoterma de Langmuir,  $R^2$  de 0,9932.

Um parâmetro definido pela isoterma de Freundlich é o fator  $1/n$  que determina se a adsorção é favorável ( $0 < 1/n < 1$ ) ou não. Neste estudo o fator  $1/n$  é de 0,9707, ou seja, a adsorção é favorável.

Silva (2014) e Alves (2013) encontraram adsorção favorável em seus experimentos, com fator  $1/n$  de 0,6136 e de 0,3267 respectivamente.

A curva da isoterma experimental é apresentada na Figura 15 e as curvas de Langmuir e Freundlich são apresentadas na Figura 16.

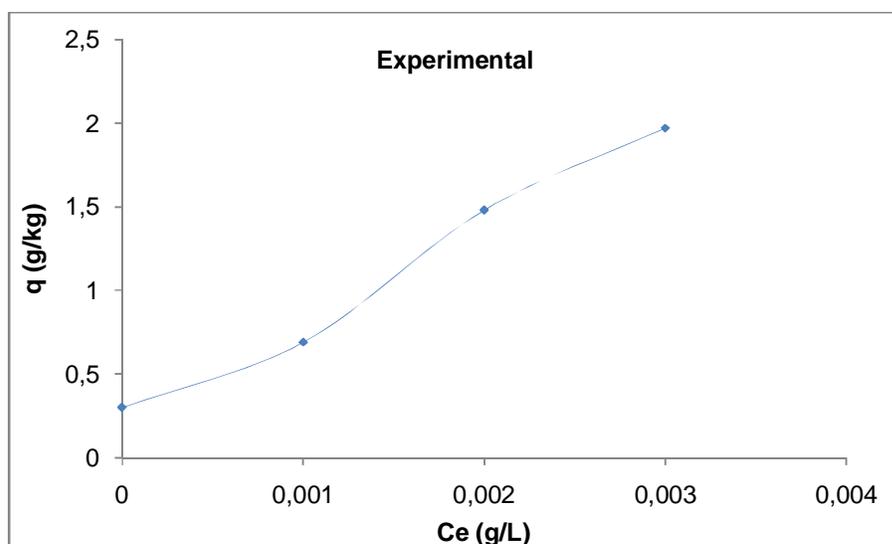
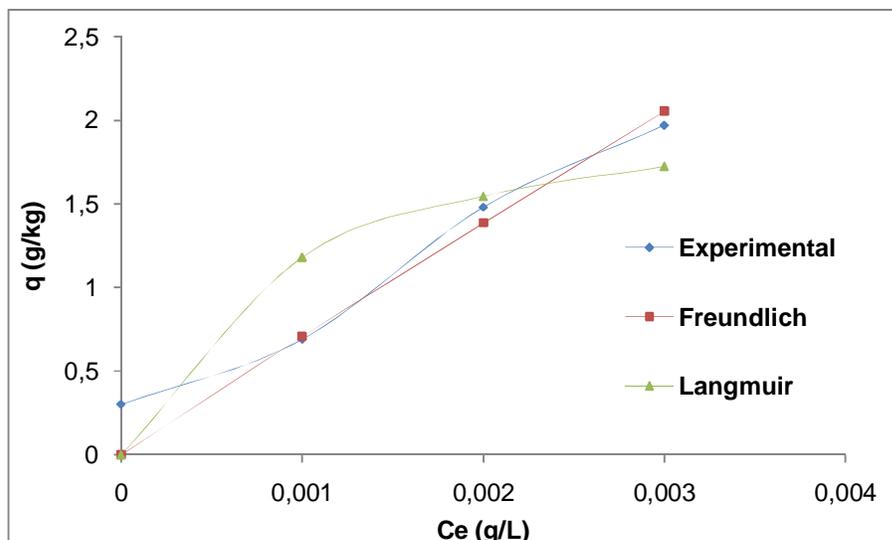


Figura 15: Isoterma de adsorção experimental.

Fonte: Autoria própria.



**Figura 16: Isotermas de adsorção.**

**Fonte: Autoria própria.**

De acordo com Giles et al. (1960) (Figura 5) a isoterma que mais se aproxima da isoterma experimental deste estudo é a classe H, ou seja, é caracterizada por apresentar alta afinidade pelo soluto adsorvido.

A isoterma ajustada ao modelo de Langmuir que mais se aproxima da classificação da Figura 5 é a curva L, que indica diminuição dos sítios de adsorção quando a concentração da solução aumenta.

A isoterma ajustada ao modelo de Freundlich quando comparada aos modelos da Figura 5 é caracterizada pela classe C, indicando aspecto constante (linear) do soluto entre a solução e o adsorvente.

Ikeno (2013) comparou as isotermas experimentais de seu estudo (pó de serragem e carvão ativado para adsorver azul de metileno) com a classificação de Giles e obteve resultados diferentes da isoterma experimental deste trabalho. Para o pó de serragem de *Pinus spa* curva que mais se aproximou foi a classe L e para o carvão ativado, a curva S. A curva S é caracterizada por apresentar baixa adsorção inicial.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso apresentou uma alternativa para tratamento de efluentes têxteis pelo processo de adsorção que vem sendo bastante estudado atualmente.

Foi realizada a determinação das características físico-químicas do material adsorvente e constatou-se que o pó de serragem do gênero *Pinus* apresenta: caráter ácido, resultados semelhantes foram encontrados por Valcarenghi e Silva (2013) para o MDF, Antunes et al. (2010), Ikeno (2013) e Silva (2014) que utilizaram pó de serragem; densidade aparente superior a encontrada por autores como Garg et al. (2004) e Valcarenghi e Silva (2013); número de iodo dentro do recomendado pela ABNT NBR 1203/1991 (ABNT, 1991); e teor de umidade relativamente auto se comparado a Garg et al. (2004) e Yamagi e Bonduelle (2004), isso significa que o material utilizado é poroso e suporta grande quantidade de líquido.

Foi feita a curva da varredura, no espectrofotômetro, para os corantes vermelho de metila, vermelho procion, vermelho RGB reativo e bicromia (mistura) e determinado os coeficientes  $R^2$  para cada traçador, os comprimentos de onda para cada corante resultaram em 523, 268, 522 e 623 nm, respectivamente.

Ensaio com quatro soluções de corantes diferentes, variação de massa, tempo e temperatura, foram fatores observados para a eficiência do método de adsorção. Através dos resultados obtidos, observou-se que: a natureza do corante envolvido no processo está relacionado com a capacidade de remoção, afinal este estudo apontou diferentes remoções para cada solução; a massa é um fator diretamente proporcional a capacidade de remover, ou seja, a medida que aumenta-se a massa do adsorvente a remoção é maior, fato constatado em outros trabalhos como Ikeno (2013) e Valcarenghi e Silva (2013); os primeiros 60 min de ensaio ocorre a maior porcentagem de remoção, após isso a adsorção é mais lenta até se tornar praticamente uniforme; o aumento da temperatura auxilia na remoção da cor, mas em contrapartida o gasto energético será muito maior (IKENO, 2013).

Neste estudo a condição ótima de remoção foi com 1 g de material adsorvente a temperatura de 50 °C em 120 min. Nessas condições de massa, temperatura e tempo, constatou-se remoção de 92,04% da solução de bicromia (mistura de vermelho de metila com azul de metileno). Ao avaliar a cinética de

adsorção para a condição ótima, observou-se que o modelo de pseudo-segunda ordem apresentou melhor ajuste dos dados, com coeficiente de correlação de 0,9965, próximo de 1,0; eos resultados experimentais obtidos foram ajustados conforme os modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich nas suas formas linearizadas, o modelo de Freundlich se ajustou melhor aos dados experimentais, com fator  $R^2$  de 0,9887.

Através dos resultados obtidos foi constatado que o pó de serragem foi uma excelente alternativa para remoção de cor da bicromia vermelho de metila com azul de metileno em solução aquosa com 92,04%. Para o efluente sintético vermelho de metila a eficiência foi em média de 32,2% com 1g de pó de serragem a temperatura de 30 °C, de 40,1% a temperatura de 40 °C e de 52% a temperatura de 50 °C.

Para os outros dois corantes, vermelho procion e vermelho remazol RGB reativo, os resultados foram insatisfatórios. A ineficiência na remoção destes corantes pode ser explicada pela natureza dos corantes, concentração inicial da solução, Silva et al. (2012) observaram ineficiência na remoção dos ensaios de adsorção do corante vermelho remazol com raízes e casca de nabo e atribuíram os resultados à concentração de enzima, proporção substrato:  $H_2O_2$ , concentração do corante ou a presença de mediadores.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11834: Carvão Ativado Pulverizado – Especificação**. Código Secundário: EB 2133. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 12073: Carvão Ativado Pulverizado – Determinação de Iodo**. Código Secundário: MB 3410. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 12076: Carvão Ativado Pulverizado – Determinação da Massa Específica Aparente**. Código Secundário: MB 3413. Rio de Janeiro, 1991.

AKSU, Zümriye. **Equilibrium and Kinetic Modelling of Cadmium(II) Biosorption by *C. vulgaris* in a Batch System: Effect of Temperature**. Ankara. Separation and Purification Technology, 2001.

ALMEIDA, Vitor de C. **Desenvolvimento de métodos analíticos para determinação e extração de corantes têxteis em efluentes industriais**. 2006. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.

ALVES, F. C. **Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde de malaquita**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2013.

ANTUNES, Maria Lucia Pereira; CAMARGO, Stefan Rodrigues Guedes de; JESUS, Carolina Petrisin de; RUSSO, Ana Carolina. Estudo da utilização de Serragem de Madeira Como Adsorvente Para Tratamento de Efluentes Têxteis. Sorocaba. **Estudos Ambientais**. v. 12, n. 12 p 6-14, jul/dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL DE CONFECÇÕES. Disponível em : <<http://www.abit.org.br/>>. Acesso em : 20 jul, 2014.

ASTM - AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **D 3838-1980: Standard Test Method for pH of Activated Carbon**. 1999.

\_\_\_\_\_. **D2867-2004: Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon**. 2004.

BALBINOT, Elaine Teresinha et al., Avaliação dos ciclos de reuso de soluções de corante reativo procion vermelho HE-3B tratadas por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV em tingimento de tecidos de algodão. **Sociedade Brasileira de Química (SBQ)**. 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, mai 2008. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T1777-1.pdf>> . Acesso em: 21 jul, 2014.

BARROS, Maria Angélica S. D.; **Remoção de metais em Água Utilizando Diversos Adsorventes**. Florianópolis. Revista Tecnológica. ed. Especial, 2000.

BELTRAME, Leocádia T. C. **Caracterização de efluente têxtil e Proposta de tratamento.** 2000. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2000.

BUSTOS, J. A. R. **Uso dos extratos naturais de mandioca (*Manihotesculenta*Crantz) para tratamento de águas contendo resíduos orgânicos.** 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

CAMBUIM, Karina B. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com  $H_3PO_4$  e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização e aplicações.** 2009. 136f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2009.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 430/11.** Seção II e III. 2011. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 jul, 2013.

CÓRDOVA, Francielly N.; SILVA, Murilo M. da; CÓRDOVA, Patrícia P. **Tratamento de efluentes industriais têxteis.** 2010. 19f. Conclusão de Trabalho (**Curso Técnico Em Meio Ambiente na disciplina de Sistemas de Tratamento de Águas e Resíduos**) – Escola de Educação Básica Dr. Otto Feuerschuetze, Capivari de Baixo, 2010.

COSTA, Érica C. et al. Estudo Comparativo de Adsorção do Corante Preto Sulphcolor utilizando o Carvão Ativo Convencional com o Bagaço da Cana-de-açúcar In Natura e Tratada Quimicamente. **Revista Scientia Plena, São Cristovão, v. 6 n. 12, dez. 2010.** Disponível em: <<http://www.scientiaplenu.org.br/ojs/index.php/sp/article/view/330>>. Acesso em 27 jan. 2014.

DALLAGO, Rogério Marcos; SMANIOTTO, Alessandra; OLIVEIRA, Luiz Carlos A. de. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Revista Química Nova**, Erechim, v. 28, n 3, fev. 2005. Disponível em: <[http://www.utfpr.edu.br/dibib/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas\\_trabalhos\\_utfpr.pdf](http://www.utfpr.edu.br/dibib/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas_trabalhos_utfpr.pdf)>. Acesso em 23 jan. 2014.

DONATI, Cosimo; DRIKAS, Mary; HAYES, Rob; NEWCOMBE, Gayle. Microcystin-LR Adsorption by Powered Activated Carbon. Pooraka. **Pergamon.** v. 28, n. 8, p 1735-1742, dec. 1993.

FURLAN, Franciele R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis.** 2008. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GARG, Vinod K.; AMITA, Moirangthem.; KUMAR, Rakesh.; GUPTA, Renuka. **Basic Dye (Methylene Blue) Removal From Simulated Wastewater By Adsorption Usin Indian Rosewood Sawdust: A Timber Industry.** Hisar, 2004.

GILES, Charles H.; SMITH, David; HUITSON, Alan. **A General and Classification of Solute Adsorption Isotherm.** Glasgow. Journal of Colloid and Interface Science. 1974.

IKENO, Daniel S. **Remoção de azul de metileno de efluente têxtil sintético por adsorção usando pó de serragem do gênero *Pinus sp.*** 2013. 59f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

IMMICH, Ana P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente.** 2006. 199f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

KAMMRADT, Patrícia B. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada.** 2004. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

KANNAN, Nagarethinam; SUNDARAM, MariappanMeenakshi. Kinetics And Mechanism Of Removal Of Methylene Blue By Adsorption On Various Carbons – A Comparative Study. Tamil Nadu. **Dyes and Pigments.** v. 51, n. 2001, p 25-40, aug. 2001.

KOROISHI, Érika T. et al. Determinação de isotermas de adsorção de corante têxtil em carvão ativo, serragem e algas marinhas arribadas. **Acta Scientiarum**, Toledo, 22(5):1185-1188, 2000. Disponível em: <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/3365/2259> . Acesso em: 21 jul, 2014.

KUNZ, Airton et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Revista Química Nova**, Curitiba, v. 25, n 1, 2002. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n1/10428.pdf> > . Acesso em 20 jul. 2014.

MAGDALENA, Carina P. 2010. 133f. **Adsorção de corante reativo Remazol Vermelho RB de solução aquosa usando zeólita de cinzas de carvão e avaliação da toxicidade aguda com *Daphniasimilis*.** 2010. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear) – Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MERCK CHEMICALS. Acesso em: 23 jan. 2014. Disponível em: <[http://www.merckmillipore.com/brazil/chemicals/vermelho-de-metilo-c-i-13020/MDA\\_CHEM-106076/p\\_G5ib.s1LZb4AAA EWZuEfVhTI](http://www.merckmillipore.com/brazil/chemicals/vermelho-de-metilo-c-i-13020/MDA_CHEM-106076/p_G5ib.s1LZb4AAA EWZuEfVhTI)>.

MERCK CHEMICALS. Acesso em: 23 jan. 2014. Disponível em: <[http://www.merckmillipore.com/brazil/chemicals/azul-de-metileno-c-i-52015/MDA\\_CHEM-159270/p\\_ghGb.s1L\\_mlIAAAEWs.EfVhTI](http://www.merckmillipore.com/brazil/chemicals/azul-de-metileno-c-i-52015/MDA_CHEM-159270/p_ghGb.s1L_mlIAAAEWs.EfVhTI)>.

MUCCIACITO, João Carlos. Conceitos e aplicações do carvão ativado. **Revista Meio Filtrante**, Santo André, V, n. 22, Setembro/Outubro 2006. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?id=254>> . Acesso em: 21 jan. 2014.

OLIVEIRA, Elisângela A. **Estudo do potencial de utilização da biomassa de Luffacylindrica na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis**. 2007.145f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. Características e Sistemas de Tratamento de Águas Residuais das Indústria Têxteis – Uma Primeira Abordagem. São Paulo. **Química Têxtil - ABQCT**, v. 52, p 22-30, mar. 1998.

PINO, Gabriela A. H. **Biossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*)**. 2005. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

Revista Oswaldo Cruz. **Ficha técnica: Azul de metileno. Março, 2013. Disponível em:**  
<<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Azul%20de%20metileno2003.pdf>>. Acesso em : 21 jul, 2014.

PIZA, Ana Vera de Toledo. **Avaliação da Capacidade Adsorptiva de Carvões Ativados Para A Remoção de Diuron E Hexazinona**. 2008. 68f. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto – PPGTA. 2008.

ROBINSON, T; McMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. **Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative**. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 247-255, 2001.

SILVA FILHO, M.N. Produtos químicos utilizados na indústria têxtil e a questão ecológica. *Química Têxtil*, São Paulo: ABQCT, 3, 11-16, 1994.

SILVA, Késia K. de O. S. **Caracterização do efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil**. 2007. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SILVA, L. F. **Utilização do pó de serragem como adsorvente alternativo na remoção de verde de malaquita**.2014. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

SILVA, Maria Cristina; CORRÊA, Angelita D.; TORRES, Juliana A.; AMORIM, Maria Teresa S. P. Descoloração de corantes industriais e efluentes têxteis simulados por peroxidase de nabo (*Brassica campestris*). **Revista Química Nova, São Paulo, v.35,**

n. 05, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000500005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000500005&script=sci_arttext). Acesso em: 16 mai. 2014.

SINDITÊXTIL. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil – Série P+L**. São Paulo, 2009. 6 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Estatísticas do Setor Florestal Brasileiro. São Paulo, 2000 e 2001. Disponível em: <<http://www.sbs@sbs.org.br>> Acesso em: 07 ago. 2014.

TREVISAN, Ivo Junior; FERRARI, Leila Denise Fiorentin; ROSIN, Luis Eduardo; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Remoção de resíduos de efluentes têxteis utilizando processo de adsorção continua com bagaço de laranja como adsorvente. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 8., 2009 Uberlândia. Disponível em: <http://www.cobegic2009.feg.ufu.br/uploads/media/98021231.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2014.

TREVIZANI, Jéssica. L. B. **Tratamento de efluente têxtil pelo processo de ozonização**. 2012. 64f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

VALCARENGHI, Gustavo. RIBEIRO, Luiz Felipe Prata. **Adsorção de azul de metileno de solução aquosa com utilização de pó de serragem de MDF e madeirite**. 2013. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

YAMAJI, Fábio M.; BONDUELLE, Arnaud. **Utilização de serragem na produção de compósitos plástico – madeira**. Revista Floresta, Curitiba-PR, 2004.