

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**MATHEUS CAMPOS DE CASTRO**

**ESTUDO DE ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM RESÍDUOS  
DE MARACUJÁ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APUCARANA**

**2018**

**MATHEUS CAMPOS DE CASTRO**

**ESTUDO DE ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM RESÍDUOS  
DE MARACUJÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao curso superior de Licenciatura em Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Silvana Fernandes Montanher.

**APUCARANA**

**2018**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná**  
Câmpus Apucarana  
COLIQ – Coordenação do Curso  
Superior de Licenciatura em Química



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Estudo de adsorção de corantes têxteis em resíduo de maracujá**

por

Matheus Campos de Castro

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos 21 dias do mês de novembro do ano de 2018 às 19:00 horas, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado(a) em Química, linha de pesquisa em Química Analítica, do Curso Superior de Licenciatura em Química da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores/servidores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Professora Dr<sup>a</sup> Silvana Fernandes Montanher – ORIENTADORA

---

Professora Dr<sup>o</sup> Edmilson Antonio Canesin – EXAMINADOR

---

Professora Dr<sup>a</sup> Mariane Daspasquale – EXAMINADORA

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

## RESUMO

CASTRO, Matheus C. **Estudo de adsorção de corantes têxteis em resíduos de maracujá**. 2018. 42p Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2018.

Ultimamente com o crescimento industrial o uso de corantes tem aumentado significativamente, com isso temos um grande aumento no volume de efluentes contaminados, que se forem descartados de forma incoerente no meio ambiente, podem ocasionar grandes problemas ambientais. Entre as principais indústrias que utilizam os corantes são as do ramo têxtil, com as mesmas tem que realizar um tratamento adequado para a remoção desses corantes. Dessa mesma maneira, as indústrias de suco de maracujá têm gerado grandes volumes de resíduos em sua produção, esses resíduos são as sementes e as cascas do maracujá. Desse modo o presente trabalho pretende demonstrar que resíduos, que tem baixo valor comercial, como os resíduos de maracujá, podem ser utilizados como adsorventes no tratamento de efluentes contaminados com corantes. O objetivo do trabalho foi avaliar o resíduo do maracujá como adsorvente alternativo dos corantes têxteis vermelho Quimacryl GRL e Nylosan azul N-BLN, testar o efeito da força iônica e do pH da solução na eficiência de adsorção e realizar o processo de dessorção. Os estudos de adsorção foram realizados em sistema de coluna de leito fixo usando os resíduos de maracujá *in natura* e submetidos a tratamentos químicos com NaOH e HCl. A afinidade de adsorção é aumentada com o tratamento químico, o tratamento ácido aumentou a eficiência de adsorção de ambas às biomassas para o corante azul (aniônico), e o tratamento básico para o corante vermelho (catiônico), porém a maior interação aconteceu com o corante vermelho, foi o qual os adsorventes apresentaram maior capacidade de adsorção. O efeito da força iônica favoreceu a adsorção para o corante vermelho, já para o azul teve pouca influência. O fator pH em ambos os corantes influenciou o processo de adsorção, sendo que para o corante azul o melhor valor de pH foi igual a dois e para o corante vermelho igual a doze. O processo de dessorção foi possível de acontecer, utilizando como solução extratora HCl para o corante vermelho e NaOH para o corante azul. A biomassa que apresentou maior capacidade adsorvente foi as cascas tratadas com NaOH para o corante vermelho teve um valor de  $45,9 \text{ mg g}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Adsorção. Coluna de Leito Fixo. Resíduos de Maracujá. Corantes.

## ABSTRACT

CASTRO, Matheus C. **Adsorption study of textile dyes in passion fruit residues.** 2018. 42p Trabalho de Conclusão de Curso (Chemistry Graduation), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2018.

Recently with the industrial growth the use of dyes has increased significantly, with this we have a great increase in the volume of contaminated effluents, that if they are disposed of incoherently in the environment, can cause great environmental problems. One of the main industries that use the dyes are the textile industries, so these industries have to carry out an appropriate treatment for the removal of these dyes. In the same way, the industries of passion fruit juice have generated large volumes of waste in their production, these residues are the seeds and the shells of the passion fruit. Thus, the present work intends to demonstrate that residues, which have low commercial value, such as passion fruit residue, can be used as adsorbents for the treatment of effluents contaminated with dyes. The objective of the work was to evaluate the passion fruit residue as an alternative adsorbent of the red dye Quimacryl GRL and Nylosan blue N-BLN, test the effect of the ionic strength and pH of the solution, and also perform the desorption process. The adsorption studies were performed in a fixed bed column system using fresh passion fruit residues and submitted to chemical treatments with NaOH and HCl. The adsorption affinity is increased with the chemical treatment, the acid treatment increased the adsorption efficiency of both the biomasses for the blue dye (anionic), and the basic treatment for the red (cationic) dye, but the greater interaction happened with the red dye, in which the adsorbents presented higher adsorption capacity. The effect of the ionic force favored the adsorption to the red dye, already to the blue had little influence. The pH factor in both dyes influenced the adsorption process, and for the blue dye the best pH value was equal to two and for the red dye equal to twelve. The desorption process was possible to happen, using as a solution extractor HCl for the red dye and NaOH for the blue dye. The biomass that presented the highest adsorptive capacity was the treated NaOH barks for the red dye which had a value of  $45.9 \text{ mg g}^{-1}$ .

**Keywords:** Adsorption. Fixed Bed Column. Residues of passion fruit. Dyes.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar à Deus e aos meus pais, por estarem presentes em todos os momentos da minha vida, me apoiando e dando as orientações necessárias, e sem eles nada seria.

Ao meu irmão Lucas pela motivação e incentivo, assim como meus amigos Leonardo, Tales, Mateus, Luara, Douglas, Alessandra e Duany, pelos momentos de descontração e ensinamentos, sem vocês seria difícil terminar mais essa etapa da minha vida.

À minha orientadora Professora Silvana, que desde o segundo semestre me acompanha, mostrando essa incrível aplicação da química: a adsorção. Agradeço pela dedicação e paciência da senhora, não medindo esforços na hora de explicar desde o mais básico ao mais avançado.

A todos os professores que ao longo do curso de alguma forma agregaram algum conhecimento, contribuindo muito para minha formação.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo custeio do projeto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de Trespasse ou Curva de Ruptura (momento onde ocorre a saturação do adsorvente).....	16
Figura 2 - Espectros de Absorção na região do visível para os corantes. Em preto temos o corante Nylosan Azul N-BLN e em vermelho a curva do corante vermelho Quimacryl GRL. ....	22
Figura 3 - Curvas de Calibração para determinação da concentração do corante Nylosan azul N-BLN (a) e vermelho Quimacryl GRL (b).....	23
Figura 4 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em sementes de maracujá <i>in natura</i> e tratada com HCl ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,8 \text{ g}$ ) .....	24
Figura 5 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em cascas de maracujá <i>in natura</i> e tratada com HCl ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,6 \text{ g}$ ). ....	25
Figura 6 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em sementes de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,8 \text{ g}$ ).....	27
Figura 7 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em cascas de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,6 \text{ g}$ ). ....	27
Figura 8 - Efeito do pH na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em sementes de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,8 \text{ g}$ ). ....	28
Figura 9 - Efeito do pH na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em cascas de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,6 \text{ g}$ ). ....	29
Figura 10 - Curva de dessorção do corante Nylosan Azul N-BNL retido em sementes de maracujá <i>in natura</i> e tratada com HCl. ....	30
Figura 11 - Curva de dessorção do corante Nylosan Azul N-BNL retido em cascas de maracujá <i>in natura</i> e tratada com HCl. ....	30
Figura 12 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em sementes de maracujá <i>in natura</i> e tratada com NaOH ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,8\text{g}$ ).....	31
Figura 13 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Vermelho Quimacryl GRL em cascas de maracujá <i>in natura</i> e tratada com NaOH ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,6 \text{ g}$ ). ....	32
Figura 14 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em sementes de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,8 \text{ g}$ ).....	33
Figura 15 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em cascas de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,6 \text{ g}$ ). ....	34

Figura 16 - Efeito do pH na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em sementes de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,8 \text{ g}$ ). .....	35
Figura 17 - Efeito do pH na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em cascas de maracujá <i>in natura</i> ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$ e $m = 0,6 \text{ g}$ ). .....	35
Figura 18 - Curva de dessorção do corante Vermelho Quimacryl GRL retido em sementes de maracujá <i>in natura</i> e tratada com NaOH.....	36
Figura 19 - Curva de dessorção do corante Vermelho Quimacryl GRL retido em cascas de maracujá <i>in natura</i> e tratada com NaOH.....	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
3.1 CORANTES .....	12
3.2 ADSORÇÃO.....	13
3.2.1 <i>Adsorção em coluna de leito fixo</i> .....	15
3.3 RESÍDUOS DE MARACUJÁ.....	17
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
4.1 CORANTES .....	18
4.2 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS DE MARACUJÁ .....	18
4.3 TRATAMENTOS DOS RESÍDUOS DE MARACUJÁ.....	19
4.4 ESTUDOS DE ADSORÇÃO .....	19
4.4.1 <i>Efeito da força iônica</i> .....	20
4.4.2 <i>Efeito do pH</i> .....	20
4.4.3 <i>Obtenção das curvas de saturação e dessorção</i> .....	20
4.4.4 <i>Cálculo da capacidade máxima de adsorção</i> .....	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
5.1 ESTUDOS DE ADSORÇÃO DO CORANTE NYLOSAN AZUL N-BNL .....	24
5.2 - ESTUDOS DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO QUIMICRYL GRL ...	31
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis têm elevada importância na economia brasileira, principalmente a parte final do processo que é o tingimento e acabamento, necessitam de um volume de água bastante elevado, com isso geram muitos resíduos poluentes, contendo cor característica e compostos químicos tóxicos ao ser humano e ao meio ambiente. Um dos grandes obstáculos em tratar estes efluentes, está na existência de grandes quantidades de compostos orgânicos que são poucos biodegradáveis e de estrutura molecular muito complexa, como exemplo temos os corantes e surfactantes (HASSEMER, 2002).

Efluentes do processo de tingimento são em sua maioria altamente poluentes, e grande parte desses efluentes se despejados de forma irregular traz grande impacto ambiental, como mortandade de peixes, e poluição das águas dos rios. O maior desafio da indústria têxtil é reduzir a cor e a turbidez destes efluentes para atender as regulamentações ambientais (BELTRAME, 2000).

Existem muitas metodologias que podem ser empregadas no tratamento de efluentes, como: troca iônica, extração por solventes, osmose reversa e adsorção. As metodologias desenvolvidas devem ser de fácil manuseio e operação e altamente eficientes, buscando um baixo custo, e que gere o mínimo de resíduo secundário. Dentre as metodologias, a que tem sido empregada com maior sucesso na remoção de corantes é a adsorção. Este processo tem uma ampla aplicação industrial, pois une baixo custo e elevadas taxas de remoção, sendo que em alguns casos é possível a recuperação do corante pois é um método não destrutivo. O adsorvente mais eficiente e popular é o carvão ativado, contudo seu elevado custo restringe seu uso (CUNICO et al, 2009).

Nesse contexto, a utilização de biomassas residuais tem gerado grande interesse para a remoção de poluentes dos efluentes aquosos por adsorção. A biomassa é um produto natural, altamente biodegradável de baixíssimo custo, e que apresenta propriedades adsorptivas por poluentes, sejam metais ou corantes (ADEYIGA, 2002).

Um exemplo de adsorvente natural, e de baixo custo são os resíduos de maracujá (*Passiflora edulis*). O Brasil tem grande destaque na produção e exportação dessa fruta, ou de sua polpa e suco. Os dois principais subprodutos da

extração da polpa ou do suco de maracujá são suas cascas e sementes, que na maioria das vezes não tem um aproveitamento adequado (SAMICO, 2010).

Com isso o presente trabalho estudou a capacidade de adsorção de corantes têxteis em resíduos de maracujá, como objetivo de criar uma nova alternativa para o tratamento de efluentes que contenham corantes. Foram escolhidos dois corantes com características distintas, um aniônico e outro catiônico, ambos que são utilizados no processo de tingimento na indústria têxtil.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a aplicação de resíduos de maracujá (cascas e sementes) como um adsorvente alternativo de baixo custo para remoção de dois corantes têxteis com características distintas, vermelho Quimacryl GRL (catiônico/básico) e Nylosan azul N-BLN (aniônico/ácido).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o efeito do tratamento químico dos resíduos de maracujá com soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico na eficiência de adsorção de corantes têxteis;
- Avaliar o efeito do pH da solução dos corantes na eficiência de adsorção;
- Avaliar o efeito da força iônica das soluções dos corantes na eficiência de adsorção, com a utilização de NaCl como eletrólito;
- Estudar a dessorção dos corantes usando soluções de ácido clorídrico e hidróxido de sódio como soluções extratoras;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CORANTES

O primeiro homem a ver o planeta do espaço foi o Russo Yuri Gagarin, que exclamou “A Terra é azul”, com essa reação podemos notar o quão importante a cor é para o homem. Desde o início da humanidade o ser humano usa as cores, seja para pinturas rupestres ou humanas, o primeiro corante conhecido foi o Negro de fumo, um corante de origem natural. Ao longo do tempo outros corantes naturais foram sendo descobertos (OLIVEIRA, 2007).

Existem cerca de dez mil diferentes tipos de corantes, que são amplamente utilizados em processos industriais, desde processos alimentícios a processos têxteis, cerca de setenta mil toneladas de corantes são consumidos por essas indústrias ao longo do ano (PEARCE et al, 2003). Os corantes geralmente são descartados, pois sofrem muitas perdas durante o processo industrial, essas perdas se dão pelo fato de alguns corantes não tem uma completa fixação ao material desejado, e em sua grande parte esses descartes se dão junto aos demais efluentes em corpos hídricos. Dessa forma a água fica imprópria para o consumo, ou seja, ocasiona problemas ambientais (SALLEH et al, 2011).

Segundo Guaratini e Zanoni (2000) os corantes têxteis podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou de acordo com a forma pela qual é fixado à fibra. Os corantes que são classificados de acordo com a forma de fixação, podem ser classificados em vários grupos (Corantes Diretos, Corantes Azóicos, Corante Aniônicos e Corantes Catiônicos).

De acordo com Needles (1986) os corantes aniônicos são, na sua maioria, também considerados corantes ácidos, que possuem em sua composição sais sódicos de grupos sulfônicos e ácidos carboxílicos, esses grupos lhes conferem solubilidade em água.

Os corantes catiônicos ou também conhecidos como básicos são sais catiônicos derivados de aminas. Segundo Immich (2006), os corantes catiônicos apresentam baixa solubilidade em água. O processo de fixação da fibra acontece

pela ocorrência de ligações iônicas entre o grupo cátion da molécula do corante, e o grupo aniônico existente nas fibras têxteis.

### 3.2 ADSORÇÃO

O processo de adsorção é um fenômeno que se caracteriza pela adesão de uma adsorvato na superfície ou poros de um sólido chamado de adsorvente (CHIOU, 2002).

O mecanismo de adsorção de um corante envolve três etapas: o corante inicialmente migra através da solução para a superfície exterior do sólido adsorvente, posteriormente o líquido move-se por dentro dos poros desse sólido, e por fim é adsorvido nos sítios interiores da superfície das partículas do sólido (SANGHI e BHATTACHARYA, 2002; ALLEN et al, 1989).

Segundo Castellan (2001) a intensidade dessa adsorção depende de alguns fatores importantes como a temperatura, natureza e concentração do adsorvato e da natureza e estado de agregação do adsorvente.

A adsorção nos últimos tempos tem sido o método mais popular e eficiente na remoção de poluentes de efluentes, pois além de ser um processo de purificação e separação tem um custo baixo. Nos processos mais comuns utiliza-se uma coluna de leito fixo empacotada com adsorventes (ROYER, 2008; CAVALCANTE, 1998).

Quando se estuda a técnica de adsorção em soluções diluídas de corantes, tempo de equilíbrio, força iônica, pH, e área superficial do adsorvente são fatores de extrema relevância, e que afetam o processo de adsorção (ANBIA; SALEHI, 2011).

O tempo de equilíbrio traz muitas informações sobre os estudos de adsorção, a partir dele podemos prever o tipo de interação entre o adsorvato e o adsorvente e também projetar o melhor sistema de tratamento em uma escala industrial (CONNEY, 1999).

Em um processo de adsorção onde se varia a força iônica, ou seja, há a adição de sais, pode acontecer uma atração eletrostática entre o adsorvente e o sal, caso essa interação seja forte, o aumento dessa força iônica poderá diminuir a adsorção, contudo se essa interação for fraca um aumento nessa força iônica fará com que a capacidade de adsorção seja elevada (COTTET, 2009).

O pH é um importante parâmetro, pois ele afeta a carga superficial nos sítios ativos dos adsorventes e o grau de ionização dos corantes. Para um sistema de solução ácida o valor de pH ideal para que ocorra uma boa adsorção seria menor que 7, logo com o aumento do pH existe uma diminuição na atração existente entre a superfície positiva do adsorvente e o corante aniônico (SHIMMEL, 2008). Com isso é possível prever que pH's que apresentam valores baixos, ou seja abaixo de 7 vão favorecer a adsorção de ácidos, e pH com valores acima de 7, favorecem adsorção de bases, logo o valor ótimo de pH varia de acordo com o material escolhido (VASQUES, 2008).

A capacidade adsortiva de um sólido depende da sua área superficial, quanto maior sua área maior será sua capacidade de adsorção, essa área superficial pode ser alterada por tratamentos químicos ou físicos (CONEY, 1999). Estrutura, diâmetro e distribuição dos poros também têm grande influência, na capacidade da adsorção dos sólidos. Os poros controlam e permitem que partículas penetrem no seu interior, e ficam assim adsorvidas (ALFREDO, 2015).

Segundo Schneider e Rubio (2003) os adsorventes são sólidos porosos que apresentam uma área superficial elevada para uma dada massa reduzida, ou seja apresenta grande área numa pequena quantidade de substância, também devem apresentar seletividade, e alta capacidade adsortiva. Entre os quatro adsorventes mais utilizados comercialmente encontram-se o carvão ativado, zeólitas, sílica gel e alumina ativada, devido às suas elevadas áreas superficiais.

Dentre esses, o carvão ativado é o mais utilizado, por sua capacidade adsortiva ser muito ampla, pois consegue remover desde corantes até metais pesados (RODRIGUEZ-REINOSO; SABIO-MOLINA, 1998). Contudo o carvão ativo é de difícil regeneração, demandando tempo e gasto energético, o que muitas vezes inviabiliza a reutilização desse adsorvente (WANG, 2012).

Com essas implicações, pesquisas com adsorventes alternativos tem crescido, como *Biossorção* de corantes catiônicos utilizando biomassa residual de microalgas (FERREIRA, 2018), adsorção de corantes têxteis em serragem de MDF (FARIAS, 2017); Estudo de adsorção/dessorção de corante por bagaço de butiá ativado quimicamente (PIN et al, 2016) entre outros.

Segundo Santos (2007) é necessário que o material alternativo esteja disponível em abundância e ter baixo custo, pois não seria viável utilizar um material

alternativo, que seja escasso, de difícil obtenção e caro, e também tenha as já citadas características que um adsorvente deve ter.

Esses adsorventes alternativos muitas vezes são biomassas, que por definição são à fração biodegradável de materiais como resíduos agrícolas, resíduos florestais e industriais, ou seja, resíduos provenientes de alguma ação humana (VOS, 2006). É importante salientar que o uso de biomassas como adsorventes, traz inúmeros benefícios, pois além de terem elevadas capacidades adsorptivas, e custo reduzido, ajudam a dar uma finalidade à possíveis poluentes.

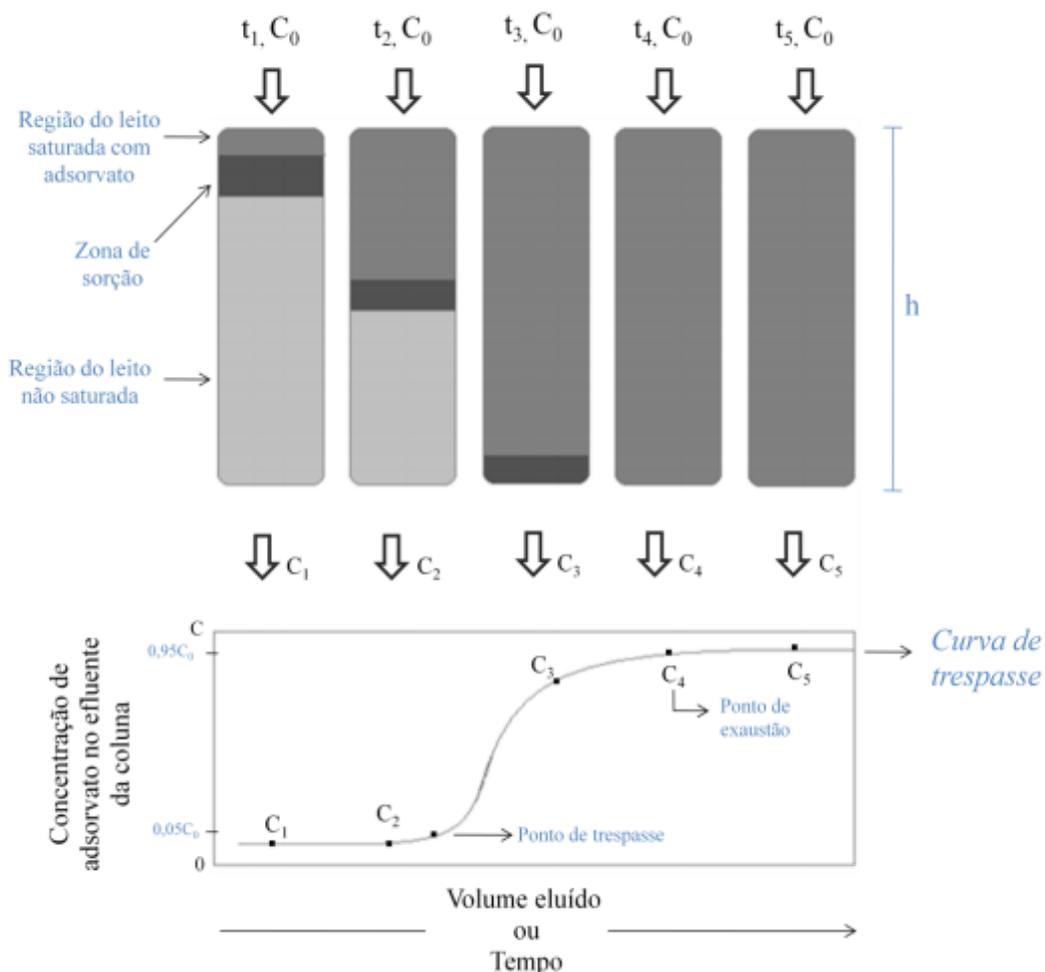
### 3.2.1 Adsorção em coluna de leito fixo

A adsorção em coluna de leito fixo apresenta grandes vantagens, frente a adsorção em batelada, temos como vantagens: o pequeno espaço, a simples operação, a possibilidade de tratamento de grandes volumes de efluentes de forma contínua podendo variar a concentração na alimentação da coluna. A ampliação da escala de bancada, para uma industrial é fácil, por esses motivos esse método é o mais empregado entre os sistemas contínuos (COSTA, 1998; VALDMAN et al, 2001).

Outra facilidade que colunas de leito fixo trazem é que no momento em que o adsorvente for saturado (alcançar a capacidade máxima de adsorção), ele pode ser substituído ou regenerado. A medida que o adsorvato é percolado, o adsorvente vai retendo-o, logo a concentração do adsorvato aumenta dentro da coluna até que aconteça a saturação, onde a concentração do efluente e do afluente é igual (GASPAR, 2003).

As curvas de ruptura ou curvas de trespases são curvas construídas pela concentração de efluente por afluente *versus* o tempo ou volume de fluído tratado. A Figura 1 traz um exemplo dessa curva.

**Figura 1 - Curva de Trespasse ou Curva de Ruptura (momento onde ocorre a saturação do adsorvente)**



**Fonte: Guimarães (2010)**

No “ponto de trespasse” o adsorvato começa a eluir da coluna, isso acontece pois os sítios ativos do adsorvente vão sendo ocupados, e dessa forma a concentração do adsorvato no efluente vai aumentando até o ponto onde a concentração de saída é igual a concentração de entrada, esse momento é evidenciado no gráfico pelo “ponto de exaustão”, a partir desse ponto o adsorvente atingiu a sua saturação, sendo necessário a regeneração ou troca do adsorvente (REYNOLDS e RICHARDS, 1995; MCCABE et al, 2005).

### 3.3 RESÍDUOS DE MARACUJÁ

O Brasil é um grande produtor de maracujá. Mundialmente a produção média anual desse fruto é de 805 mil toneladas, sendo que 70 % dessa quantidade é produzida no Brasil. Em 2016 foram produzidos cerca de 700 mil toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011).

Segundo Coelho (2008) cerca de 65 % desse fruto não é aproveitado, sendo que desses 65% não aproveitados 90 % são as cascas do fruto, gerando assim resíduos que podem ter caráter poluente, acarretando em grandes problemas ambientais, quando descartado de maneira incorreta.

Segundo Janebro et al, (2008), as cascas de maracujá são compostas pelo flavedo, camada mais externa que apresenta uma coloração que varia de verde ao amarelo, essa parte é rica em fibras que são insolúveis e albedo, parte interna com coloração branca rica em fibras solúveis, sendo a principal a pectina, com algumas porções de mucilagens.

As cascas do maracujá também apresentam em sua composição vitamina B3, ferro, cálcio, e fósforo, e tem cerca de 6,3 % de carboidratos e 1 % de proteínas (GONDIM et al, 2005)

As sementes podem ser utilizadas para a produção de óleos comestíveis ou para a indústria de cosméticos, já as cascas podem ser utilizadas como farinha na indústria de ração (KOBORI, JORGE, 2005).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CORANTES

Os corantes têxteis vermelho Quimacryl – GRL e Nylosan azul N-BLN foram utilizados no trabalho. Preparou-se soluções estoques de  $1 \text{ g L}^{-1}$  de ambos os corantes.

Para a determinação do comprimento de onda máxima de absorção, obtiveram-se espectros de absorção na região do visível. Para a obtenção dos espectros utilizou-se cubetas de poliestireno com 1 cm de caminho óptico e espectrofotômetro UV-VIS da Perkin Elmer, e realizou-se uma varredura entre 400 e 720nm, encontrando-se dessa forma os valores de  $\lambda_{\text{máx}}$  para cada um dos corantes.

### 4.2 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS DE MARACUJÁ

As frutas de maracujá (*Passiflora edulis*) foram obtidas em mercados e frutarias da cidade de Apucarana - PR. Inicialmente separou-se as cascas da polpa, em seguida as cascas foram trituradas utilizando um liquidificador, retirou-se o resíduo triturado e reservou-o, após triturou-se a polpa, e dessa forma separou a polpa das sementes, retirou do liquidificador e reservou-o.

Posteriormente lavaram-se os resíduos as cascas e as sementes, de forma separada em água corrente, em seguida os mesmos foram secos em estufa com circulação de ar à  $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  por 12 horas. Logo após os resíduos foram triturados novamente e peneirados em peneira de  $425 \text{ }\mu\text{m}$ , para assim obter uma granulometria mais uniforme. Dessa forma obtivemos dois resíduos as sementes e as cascas

### 4.3 TRATAMENTOS DOS RESÍDUOS DE MARACUJÁ

Os resíduos de maracujá passaram por dois tratamentos químicos, de forma isolada, somente a casca, e somente as sementes.

Realizou-se os tratamentos químicos com ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$ . Para a execução desse tratamento, em béqueres de 250 mL misturou-se 20 g de cascas de maracujá com 150 mL das soluções básicas ou ácidas. Agitaram-se as misturas por 1 hora à temperatura ambiente em agitador magnético. Em seguida os resíduos foram lavados com água destilada e secados em estufa com circulação de ar à  $80^{\circ}\text{C}$  durante 6 horas. Após isso realizou-se o mesmo tratamento para as sementes, da mesma maneira como descrita acima.

Dessa forma, os estudos de adsorção foram realizados com os resíduos (cascas e sementes) *in natura*, tratado com NaOH e tratado com HCl.

### 4.4 ESTUDOS DE ADSORÇÃO

Realizaram-se os ensaios de adsorção em sistema de coluna de leito fixo utilizando uma coluna cromatográfica com torneira de vidro de 15 x 200 mm. Foram utilizadas 0,6 g de cascas e 0,8 g de sementes de maracujá ambas secas. Os resíduos de maracujá foram hidratados com água destilada por 30 minutos, em seguida o resíduo hidratado foi percolado até a completa acomodação do leito, logo após pérolas de vidro foram inseridas na coluna para evitar deslocamento do adsorvente durante os ensaios.

Após a montagem da coluna as soluções dos corantes foram percoladas com concentração inicial de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  para o corante Vermelho Quimacryl GRL (catiônico/básico) e de  $75 \text{ mg L}^{-1}$  para o corante Nylosan azul N-BLN (aniônico/ácido), a diferença na concentração se deve ao fato da diferença de intensidade na coloração de cada corante. Coletou-se o efluente das colunas em

alíquotas de 25 mL usando provetas até a saturação do adsorvente. Determinou-se a concentração de corantes nas alíquotas utilizando o espectrofotômetro UV-VIS da Perkin Elmer por meio de curvas de calibração.

#### 4.4.1 Efeito da força iônica

Para esse estudo preparou-se soluções dos corantes usando como eletrólito o NaCl em duas concentrações: 0,10 e 1,0 mol L<sup>-1</sup>. Em seguida os estudos de adsorção foram conduzidos como descrito anteriormente.

#### 4.4.2 Efeito do pH

Para esse estudo as soluções dos corantes foram preparadas em pH 2, pH 12 (ajustados com HCl ou NaOH 0,10mol L<sup>-1</sup>) e no pH natural da solução aquosa dos corantes. Em seguida os estudos de adsorção foram conduzidos como descrito anteriormente.

#### 4.4.3 Obtenção das curvas de saturação e dessorção

Para a obtenção das curvas de saturação percolou-se as soluções dos corantes até a total saturação do adsorvente. Curvas de volume percolado (mL) por  $C_v/C_i$  foram traçadas. Onde  $C_v$  é a concentração do corante na alíquota percolada e  $C_i$  concentração inicial do corante (50 mg L<sup>-1</sup> para o corante vermelho e 75 mg L<sup>-1</sup> para o corante azul).

Após a saturação, que foi constatada quando a coloração de entrada na coluna era igual a coloração de saída, as colunas foram percoladas com solução de HCl 0,10 mol L<sup>-1</sup>, para a dessorção do corante vermelho e com solução de NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup> para a dessorção do corante azul. Recolheu-se alíquotas de 25mL dos corantes extraídos. As curvas de dessorção foram obtidas plotando-se o volume percolado da solução extratora pela concentração de corante extraído (mg L<sup>-1</sup>).

#### 4.4.4 Cálculo da capacidade máxima de adsorção

A capacidade máxima de adsorção do adsorvente presente em uma coluna,  $q$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ), expressa a quantidade de adsorvato que pode ser adsorvido por grama de adsorvente e pode ser determinada pela Equação 1 (GEANKOPOLIS, 1993).

$$q = \frac{C_i \cdot Q}{m} \int_0^t \left(1 - \frac{C_v}{C_i}\right) dt \quad (1)$$

Onde:

$q$  = capacidade máxima de adsorção ( $\text{mg g}^{-1}$ );

$C_i$  = concentração inicial do adsorvato ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$C_v$  = concentração do fluido na saída da coluna ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$Q$  = vazão volumétrica da solução ( $\text{L min}^{-1}$ );

$t$  = tempo (min);

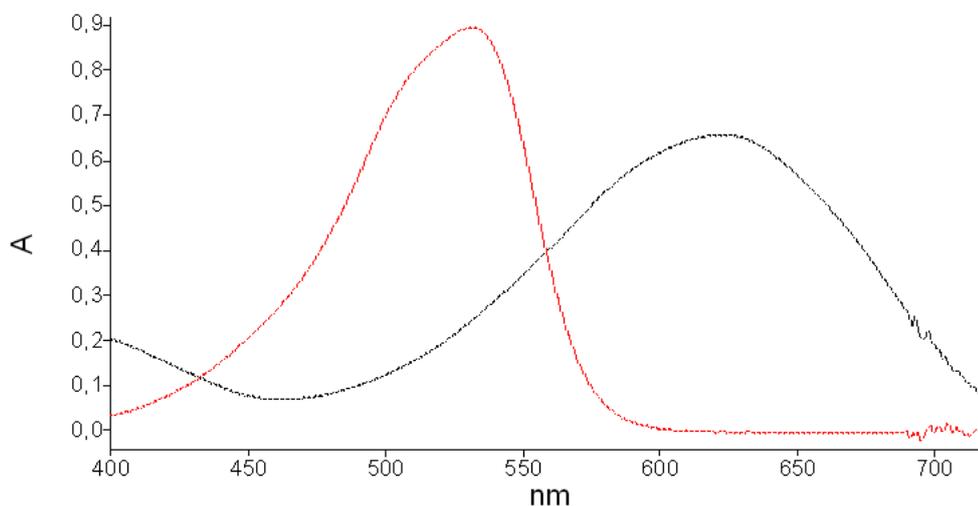
$m$  = massa seca do adsorvente (g).

Para a determinação de “ $q$ ” utilizou-se o *software Origin 8.0*. Um gráfico de tempo (min) *versus*  $(1 - C_v/C_i)$  foi plotado e a área sobre o gráfico determinada. Essa área foi então multiplicada pelo fator  $C_i \cdot Q/m$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que as quantificações dos corantes Nylosan azul N-BLN e vermelho Quimacryl GRL fossem possíveis de serem determinadas, primeiramente os valores de  $\lambda_{\text{máx}}$  para os dois corante tiveram que ser encontrados, para isso realizou-se uma varredura para encontrar os seguintes espectros de absorção na região do visível (Figura 2).

**Figura 2 - Espectros de Absorção na região do visível para os corantes. Em preto temos o corante Nylosan Azul N-BLN e em vermelho a curva do corante vermelho Quimacryl GRL.**

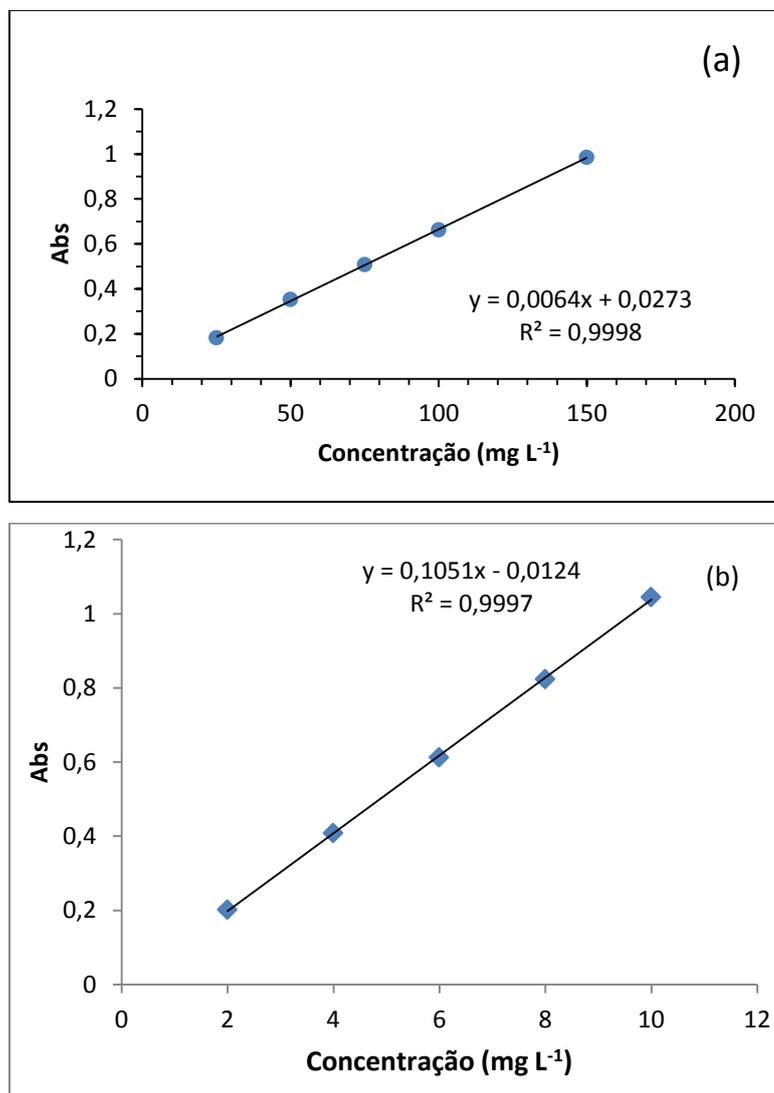


**Fonte: Autoria própria (2018)**

Utilizando o espectro de absorção foi possível encontrar o valor de  $\lambda_{\text{máx}}$  que para o corante vermelho Quimacryl GRL é de 530 nm e para o corante Nylosan Azul N-BLN é igual a 620 nm.

Com os valores de  $\lambda_{\text{máx}}$  foi possível construir curvas de calibração para ambos os corantes (Figura 3 (a) e 3 (b)), essas curvas foram utilizadas para determinação da concentração de corante que era recolhido após passagem pela coluna.

Figura 3 - Curvas de Calibração para determinação da concentração do corante Nylosan azul N-BLN (a) e vermelho Quimacryl GRL (b).



Fonte: Autoria própria (2018)

Para ambas as curvas, foram obtidas as equações da reta, para posteriormente utilizar-se nos cálculos de concentração, e também se obteve o coeficiente de correlação ( $R^2$ ), em ambos os casos esse valor é muito próximo de 1, isso significa que existe uma boa correlação entre as variáveis na faixa de concentração estudada.

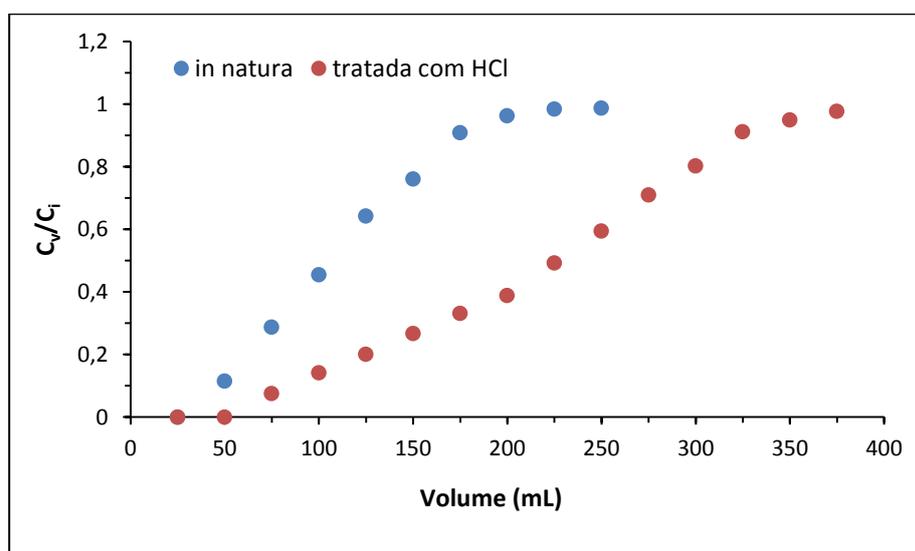
Após as curvas de calibração serem obtidas, iniciou-se os estudos de adsorção. O primeiro passo do trabalho foi a otimização da montagem da coluna, e otimização da massa a ser utilizada. Diversas massas foram testadas, em massas maiores a vazão da coluna era demasiadamente lenta, acarretando com isso a impossibilidade de sua aplicação. Foram testadas colunas com placa porosa, e

colunas com algodão, no lugar da placa porosa, foi possível observar que quando utilizava-se a coluna com placa porosa, o processo de adsorção também se tornava lento, por isso foi escolhido coluna com algodão para realizar o empacotamento da coluna. Dessa forma as massas dos adsorventes e forma de preenchimento da coluna otimizados estão descritos no item 4.4 desse trabalho.

### 5.1 ESTUDOS DE ADSORÇÃO DO CORANTE NYLOSAN AZUL N-BNL

O corante Nylosan azul N-BNL é um corante aniônico, utilizado na indústria têxtil, por isso realizou-se o tratamento ácido dos resíduos de maracujá para a adsorção desse corante. O objetivo desse tratamento era o de tornar a superfície das partículas de resíduos de maracujá positivas e portanto, com afinidade por corantes aniônicos. A Figura 4 apresenta as curvas de saturação do corante azul em sementes de maracujá *in natura* e tratada com HCl.

**Figura 4 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em sementes de maracujá *in natura* e tratada com HCl ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,8 \text{ g}$ )**



Fonte: Autoria Própria (2018)

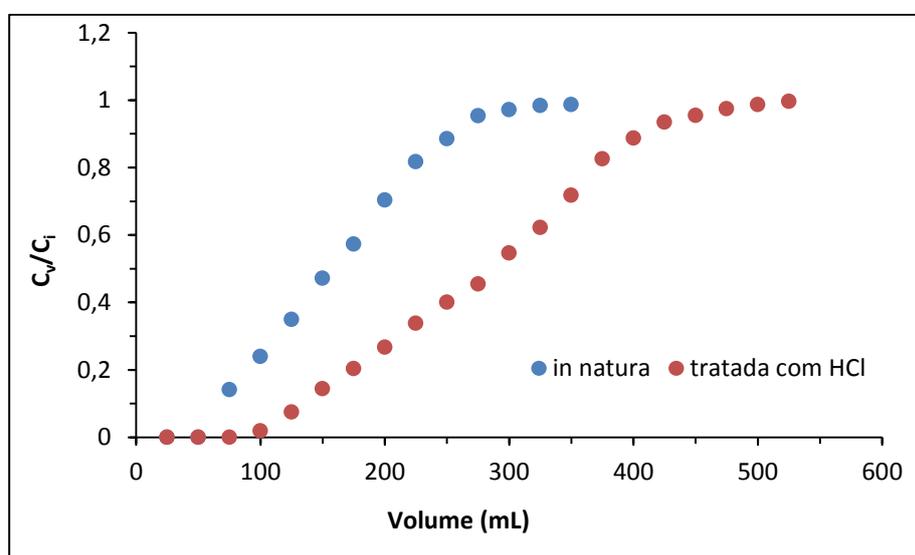
Quando analisamos uma curva de saturação, existem dois pontos importantes, o primeiro é o ponto de ruptura, é a partir desse ponto que começa a

aparecer coloração no efluente da coluna, ou seja, é o momento em que  $C_v/C_i$  deixa de ser zero. O outro ponto a ser analisado é o ponto de saturação da coluna, esse ponto é observado quando o valor de  $C_v/C_i$  é igual a um.

Dessa forma, a Figura 4 mostra que o tratamento com HCl favoreceu a adsorção do corante azul por sementes de maracujá, pois ambos os pontos de ruptura e saturação aconteceram em volumes maiores do que a semente *in natura*.

A Figura 5 mostra as curvas de saturação para a adsorção do corante azul em cascas de maracujá.

**Figura 5 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em cascas de maracujá *in natura* e tratada com HCl ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,6 \text{ g}$ ).**



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Da mesma forma que para as sementes a casca tratada com ácido apresentou maior eficiência na adsorção do corante azul. O ponto de ruptura para a casca *in natura* acontece em 75 mL e para a tratada em 100 mL, já o ponto de saturação acontece em 300 mL para a biomassa *in natura* e em 500 mL para a biomassa tratada.

Comparando as Figuras 4 e 5 verifica-se também que as cascas tem uma eficiência de adsorção do corante azul maior que as sementes, mesmo usando uma massa menor, as massas não foram às mesmas por conta da densidade ser diferente, dessa forma o valor das massas foram ajustadas pelo valor da vazão, para que dessa forma obtivéssemos valores de vazões próximos. A Tabela 1 comprova

essa observação numericamente com os valores de  $q$ , capacidade máxima de adsorção.

**Tabela 1 - Capacidade máxima de adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em resíduo de Maracujá usando sistema de coluna de leito fixo.**

<b>Resíduo de Maracujá</b>	<b><math>q</math> (mg g<sup>-1</sup>)</b>
Semente in natura	10,3
Semente tratada com HCl	20,2
Casca in natura	20,0
Casca tratada com HCl	34,8

Fonte: Autoria Própria (2018)

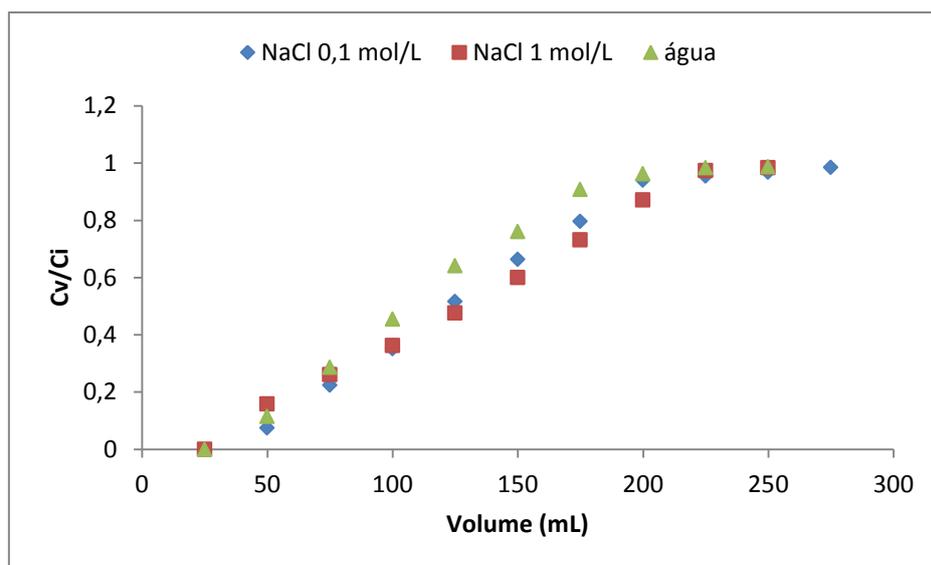
Com os valores de  $q$ , observamos que as cascas tem uma capacidade de adsorção maior que as sementes e que o tratamento químico aumenta a capacidade de adsorção do corante azul (aniônico).

Farias (2017) usando serragem de MDF *in natura* como adsorvente do corante Nylosan azul N-BNL em sistema de coluna de leito fixo obteve um valor inferior de  $q = 6,3 \text{ mg g}^{-1}$ , evidenciado que as cascas de maracujá apresenta uma capacidade de adsorção maior, logo é um bom adsorvente.

Um parâmetro importante no processo de adsorção é a força iônica da solução de adsorvato. Íons dissolvidos, proveniente dos sais, podem ajudar no processo de adsorção ou prejudicar dependendo da carga e do tamanho da molécula.

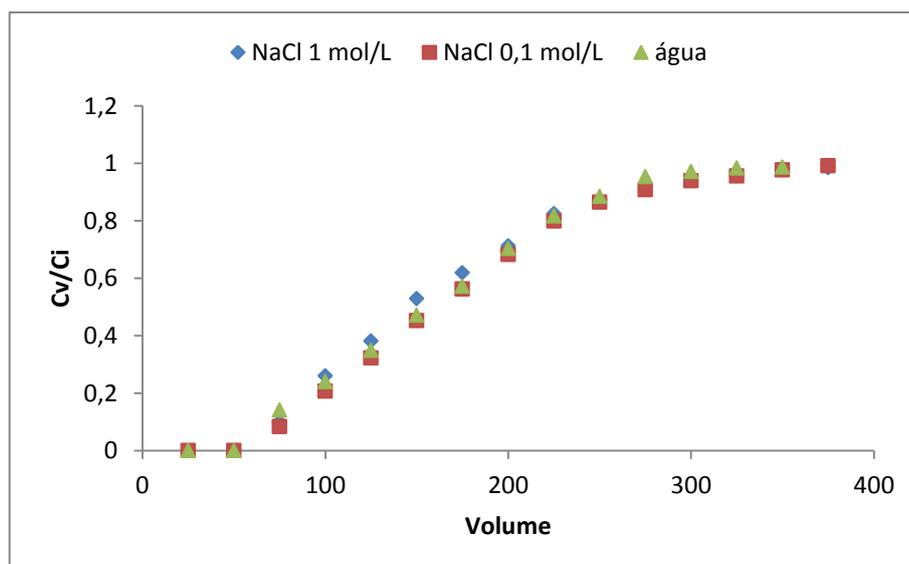
As Figuras 6 e 7 mostram o efeito da força iônica na adsorção do corante azul em resíduos de maracujá. As curvas de saturação foram construídas com o corante em água e em duas solução aquosas de NaCl.

Figura 6 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em sementes de maracujá *in natura* ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,8 \text{ g}$ ).



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 7 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em cascas de maracujá *in natura* ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,6 \text{ g}$ ).

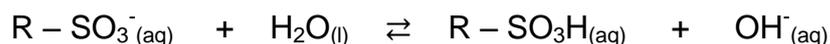


Fonte: Autoria Própria (2018)

Observa-se que a força iônica interfere muito pouco na eficiência de adsorção do corante azul pelos resíduos de maracujá. O teste de adsorção avaliando o fator da força iônica foi realizado, pois é muito comum na indústria têxtil fazer banhos de sais para aumentar a fixação do corante nas fibras, como a adsorção do corante azul não teve muito comprometimento com a elevação da força iônica, logo seria possível utilizar os resíduos de maracujá para fazer o tratamento desses efluentes.

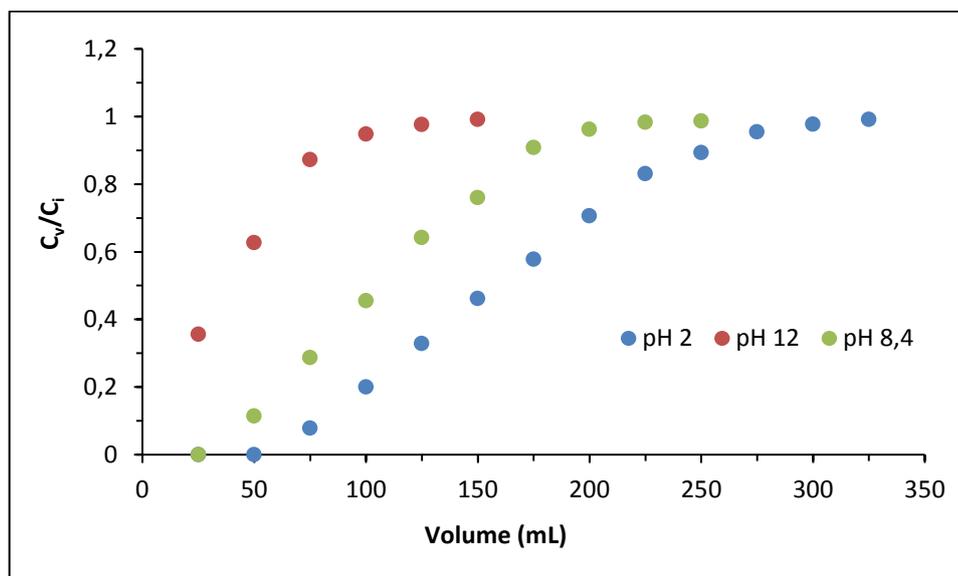
O pH da solução contendo o adsorvato é um fator muito importante em processos de adsorção, pois pode causar protonação e desprotonação de sítios ativos tanto no adsorvato quanto no adsorvente.

O corante Nylosan azul N-BNL faz parte do grupo dos corantes ácidos/aniônicos, pois possui em sua estrutura o grupo sulfônico desprotonado. A solução aquosa  $75 \text{ mg L}^{-1}$  do corante azul apresentou pH 8,4, provavelmente devido a hidrólise desse grupo funcional:



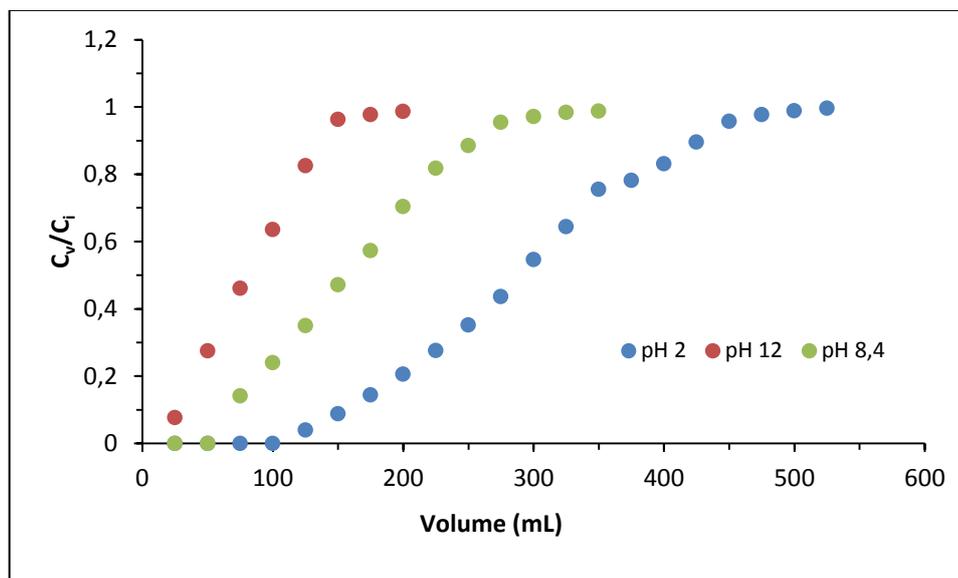
As Figuras 8 e 9 apresentam o efeito do pH na adsorção corante azul nos resíduos de Maracujá.

**Figura 8 - Efeito do pH na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em sementes de maracujá *in natura* ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,8 \text{ g}$ ).**



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 9 - Efeito do pH na adsorção do corante Nylosan azul N-BNL em cascas de maracujá *in natura* ( $C_i = 75 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,6 \text{ g}$ ).

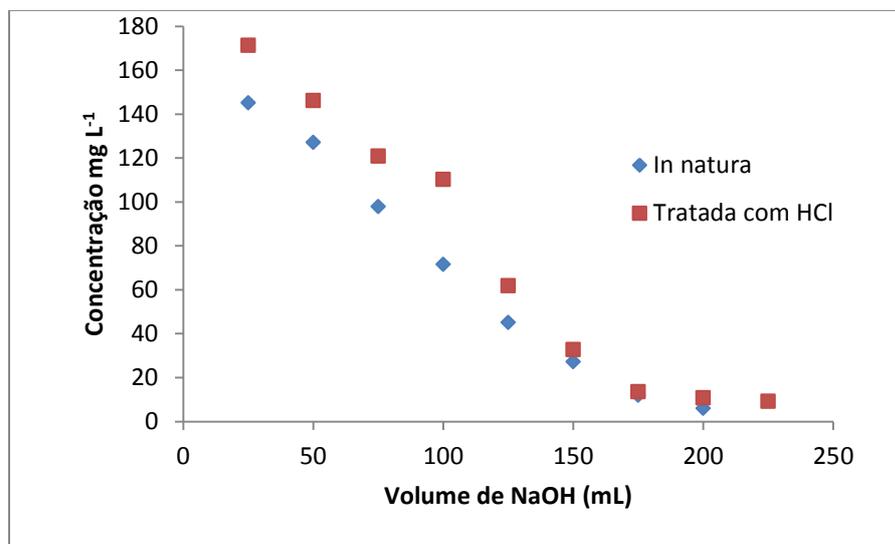


Fonte: Autoria Própria (2018)

Para ambos os adsorventes o pH 12 foi muito pouco eficiente, já o pH 2 aumentou bastante a eficiência. Farias (2017) fez a mesma observação ao estudar a adsorção do corante azul em serragem de MDF.

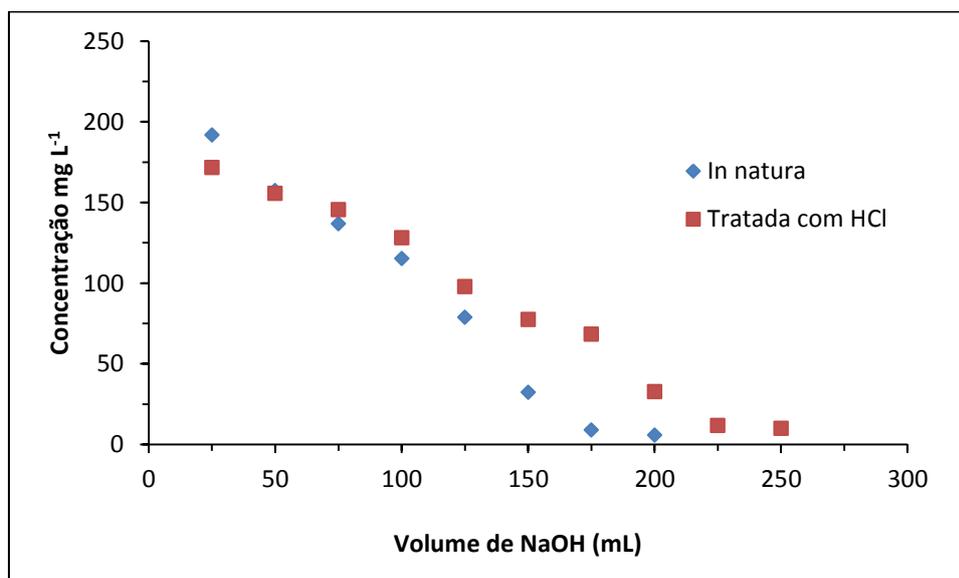
O pH ácido ajuda na adsorção de adsorvatos aniônicos devido a protonação de sítios ativos do adsorvato. Pensando em um possível reaproveitamento do corante e dos adsorventes realizou-se a dessorção do corante azul usando como solução extratora o NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , pensando em um processo de troca iônica. As Figuras 10 e 11 mostram as curvas de dessorção.

Figura 10 - Curva de dessorção do corante Nylosan Azul N-BNL retido em sementes de maracujá *in natura* e tratada com HCl.



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Figura 11 - Curva de dessorção do corante Nylosan Azul N-BNL retido em cascas de maracujá *in natura* e tratada com HCl.



Fonte: Aatoria Própria (2018)

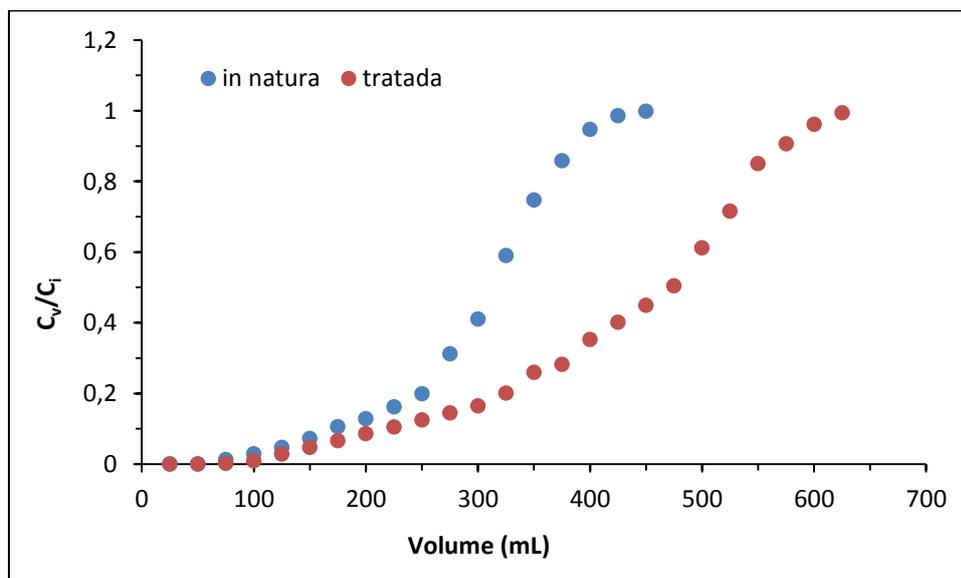
Em ambos os casos o processo de dessorção acontece, ou seja, é possível recuperar o corante que havia sido retido na coluna. Tanto para a semente quanto para as cascas, a partir de 25 mL de hidróxido de sódio, já é retirado uma boa quantidade de corante da coluna, e após os 200 mL quase todo o corante é recuperado.

## 5.2 - ESTUDOS DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO QUIMICRYL GRL

Após a realização de todos os testes para o corante azul, iniciaram-se os testes com o corante catiônico Vermelho Quimicryl GRL.

O início dos estudos de adsorção para esse corante aconteceu com a montagem de curvas de saturação para ambas as biomassas, testando as duas *in natura*, ou tratadas com NaOH (Figuras 12 e 13). Foi escolhido o tratamento básico, pois o corante vermelho tem caráter catiônico, dessa forma realizando um tratamento com NaOH, a superfície do adsorvente fica carregada negativamente, favorecendo a adsorção de espécies catiônicas.

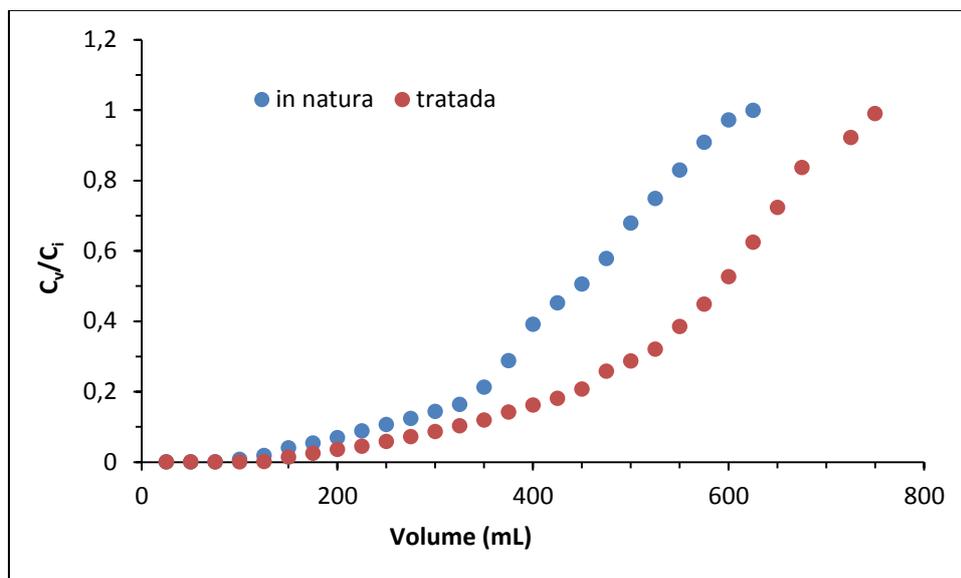
**Figura 12 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em sementes de maracujá *in natura* e tratada com NaOH ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,8\text{g}$ ).**



Fonte: Autoria Própria (2018)

A semente de maracujá tratada com NaOH foi mais eficiente na adsorção do corante vermelho. Comparando a Figura 12 com a figura 4 é possível observar que a eficiência de adsorção para o corante vermelho é maior do que a do corante azul.

Figura 13 - Curvas de saturação para a adsorção do corante Vermelho Quimacryl GRL em cascas de maracujá *in natura* e tratada com NaOH ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,6 \text{ g}$ ).



Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando a Figura 13 observou-se que as cascas de maracujá tratadas também foram mais eficientes que a *in natura*. Comparando as Figuras 13 e 14 é possível observar que a casca é mais eficiente do que a semente de maracujá para a adsorção do corante vermelho.

Foi calculada novamente a capacidade máxima de adsorção a partir da Equação 1, para o corante vermelho nos diferentes tipos de resíduo de maracujá, os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Capacidade máxima de adsorção do corante vermelho Quimacryl GRL em resíduo de Maracujá usando sistema de coluna de leito fixo.

Resíduo de Maracujá	q (mg g <sup>-1</sup> )
Semente <i>in natura</i>	18,6
Semente tratada com NaOH	26,9
Casca <i>in natura</i>	35,7
Casca tratada com NaOH	45,9

Fonte: Autoria própria (2018)

Analisando a Tabela 2 ficou evidenciado que o tratamento químico aumentou a capacidade máxima de adsorção para o corante vermelho, e novamente as cascas tiveram uma capacidade de adsorção maior que as sementes, portanto em escala

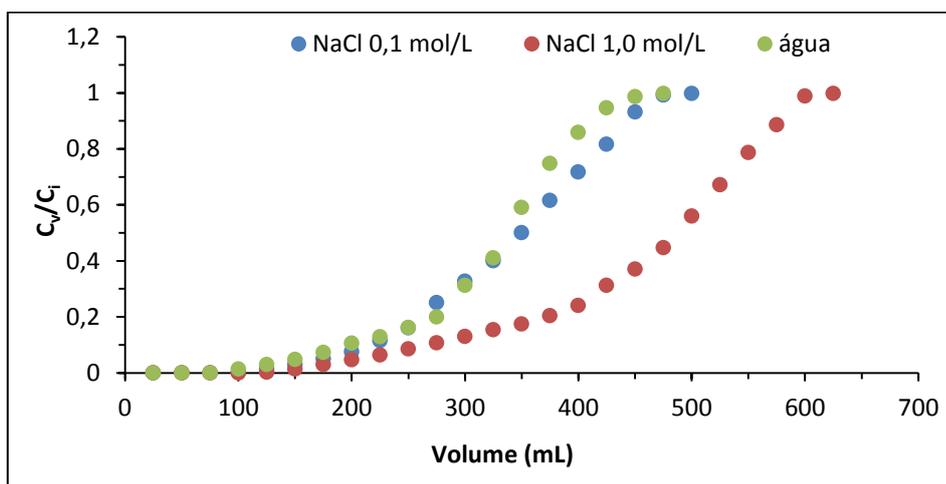
industrial seria mais recomendado o uso das cascas de maracujá tratadas com NaOH.

Farias (2017) também estudou a capacidade máxima de adsorção para esse corante em serragem de MDF, os valores encontrados foram de  $19,9 \text{ mg g}^{-1}$  para o adsorvente *in natura* e de  $37,1 \text{ mg g}^{-1}$  para o adsorvente tratado com NaOH, comparando os valores encontrados por Farias (2017) com o desse trabalho, fica possível observar que a casca de maracujá tanto *in natura* quanto tratada com NaOH tem uma capacidade de adsorção maior, portanto teriam uma aplicação industrial mais satisfatória, pois uma mesma quantidade das cascas adsorveriam maiores quantidades de corantes do que a serragem de MDF.

Tanto no trabalho de Farias (2017) quando no presente trabalho, os adsorventes tiveram maior afinidade pelo corante vermelho do que pelo corante azul.

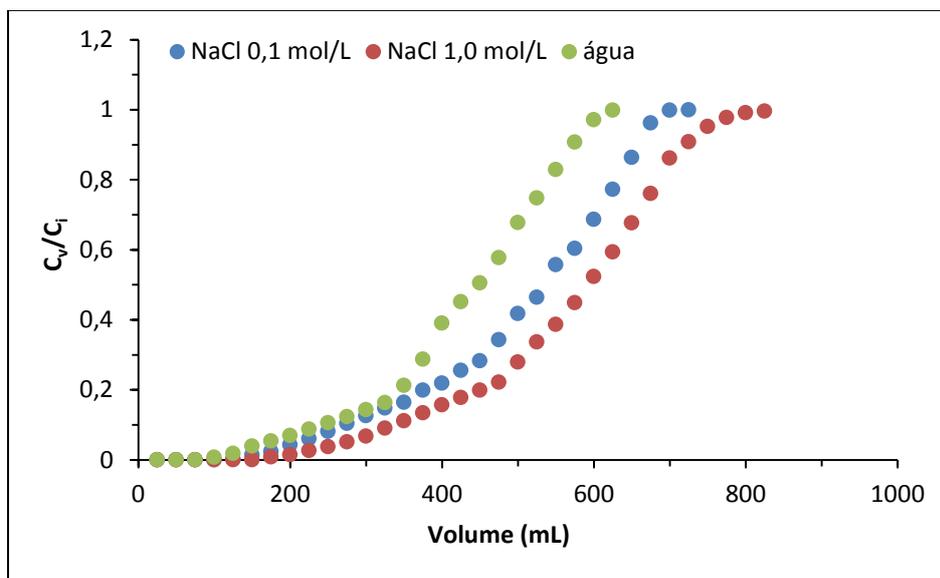
O parâmetro da força iônica foi testado utilizando como eletrólito o NaCl em duas concentrações distintas, de  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , os resultados obtidos estão presentes nas Figuras 14 e 15.

**Figura 14 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em sementes de maracujá *in natura* ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,8 \text{ g}$ ).**



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 15 - Efeito da Força iônica na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em cascas de maracujá *in natura* ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,6 \text{ g}$ ).

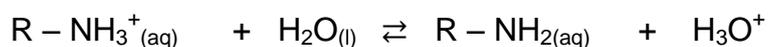


Fonte: Autoria Própria (2018)

Para a força iônica obtivemos algumas constatações importantes, em ambos os casos o meio NaCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  favoreceu o processo de adsorção, porém para as sementes isso fica mais claro.

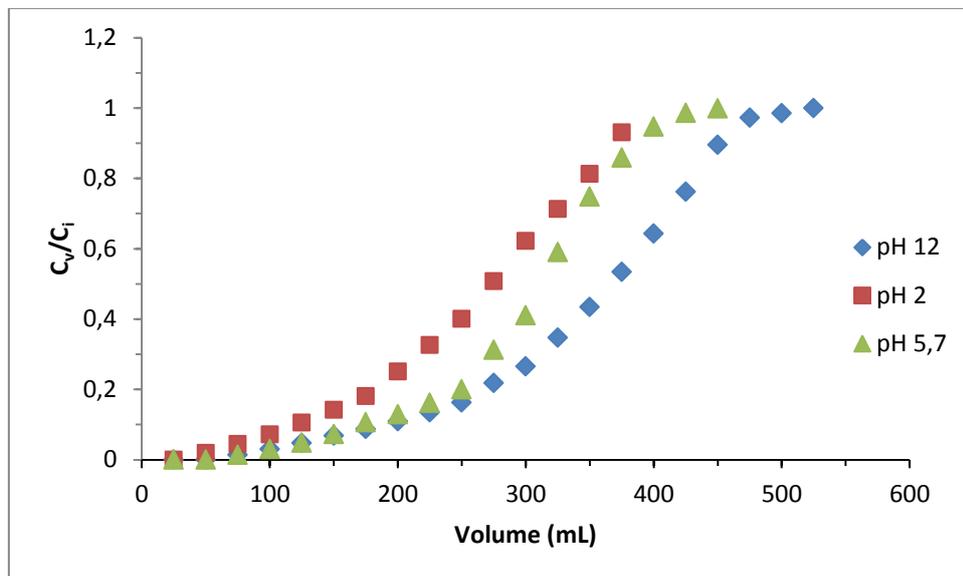
Portanto, podemos concluir que para ambas as biomassas quanto maior a força iônica mais favorecida é a adsorção, isso tem uma importante aplicação industrial, nas indústrias que utilizam o cloreto de sódio para aumentar a fixação do corante.

O corante vermelho quimacryl GRL faz parte do grupo de corantes básicos catiônicos devido a presença de grupos amino protonados. O pH da solução aquosa  $50 \text{ mg L}^{-1}$  do corante vermelho é 5,7 devido a hidrólise desse grupo:



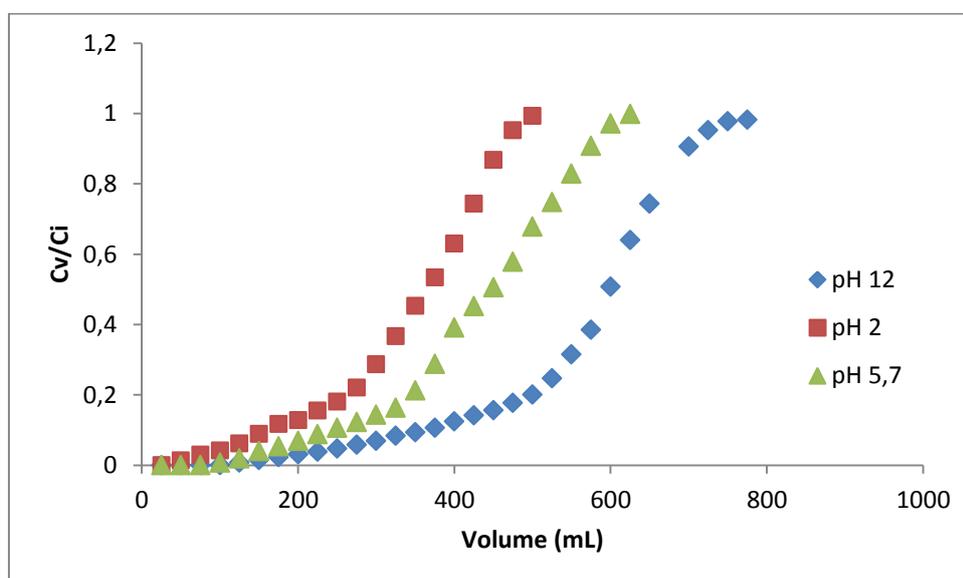
As Figuras 16 e 17 apresentam o efeito do pH na adsorção do corante vermelho em resíduos de maracujá.

Figura 16 - Efeito do pH na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em sementes de maracujá *in natura* ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,8 \text{ g}$ ).



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 17 - Efeito do pH na adsorção do corante Vermelho Quimicryl GRL em cascas de maracujá *in natura* ( $C_i = 50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $m = 0,6 \text{ g}$ ).

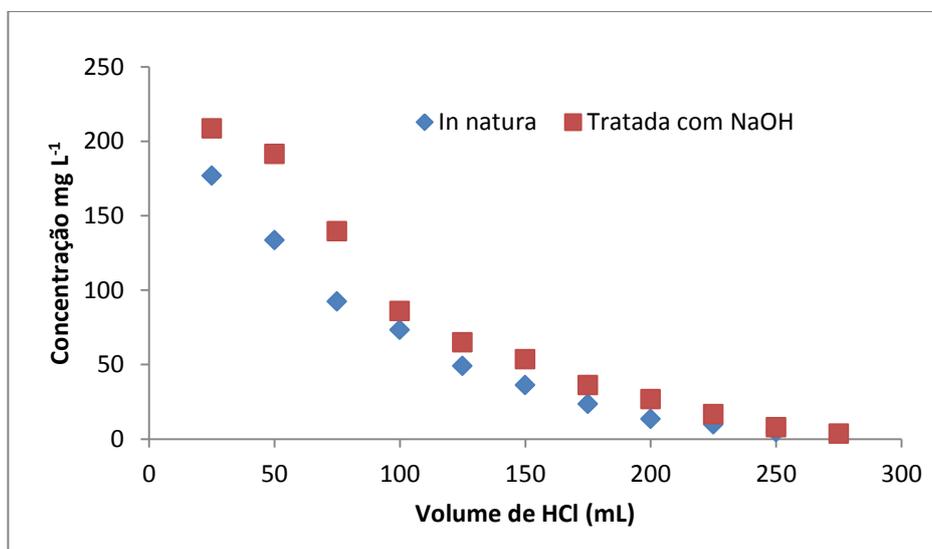


Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando as Figuras 16 e 17, foi possível observar que em pH ácido, o processo de adsorção do corante vermelho é afetado negativamente, já em pH básico o processo de adsorção é favorecido, isso ocorre, pois, o corante é catiônico e em pH básico a superfície do adsorvente fica negativa.

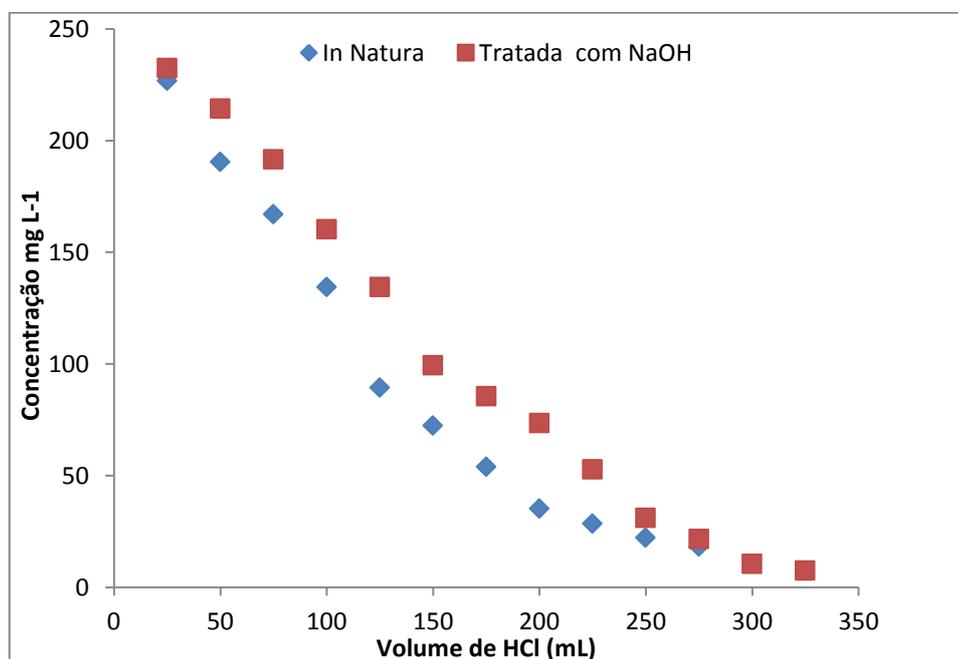
Após os testes, foi realizado o processo de dessorção para o corante vermelho (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Curva de dessorção do corante Vermelho Quimacryl GRL retido em sementes de maracujá *in natura* e tratada com NaOH.



Fonte: Autorial Própria (2018)

Figura 19 - Curva de dessorção do corante Vermelho Quimacryl GRL retido em cascas de maracujá *in natura* e tratada com NaOH.



Fonte: Autorial Própria (2018)

Em ambos os resíduos de maracujá tanto *in natura* quanto tratados com NaOH o processo de dessorção é possível usando ácido como trocador catiônico com o corante vermelho. Praticamente todo corante pode ser recuperado com 300mL de ácido.

Após o processo de dessorção ambos os corantes poderiam ser utilizados novamente, mostrando dessa forma como o processo de adsorção tem inúmeras aplicações industriais.

Com isso é possível concluir que para o corante vermelho a melhor biomassa são as cascas, e que o fator força iônica e pH influenciam diretamente no processo de adsorção

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos estudos de adsorção analisados é possível concluir que o corante vermelho em ambas as biomassas, cascas e sementes, tem maior interação do que o corante azul. Os resultados mostram também que o tratamento com HCl utilizado para a adsorção do corante azul e com NaOH utilizado para a adsorção do corante vermelho, aumentaram a eficiência de adsorção se comparado com as biomassas *in natura*. O tratamento químico aumentou mais a capacidade de adsorção para as sementes, em ambos os casos o aumento foi significativo, acima dos 20%.

Testando a força iônica foi possível verificar que para o corante azul há pouca influência na capacidade de adsorção, principalmente para as sementes. Já para o corante vermelho, o aumento da força iônica aumentou a eficiência de adsorção. Portanto, a força iônica para o corante vermelho é importante e influencia diretamente no processo de adsorção.

Nos ensaios testando o efeito do pH foi possível observar que para o corante azul esse parâmetro influencia diretamente, e que quanto maior o valor de pH da solução menor a eficiência de adsorção, portanto em pH menor o processo de adsorção foi favorecido. Para o corante vermelho o oposto aconteceu, em pH maior, ou seja, básico, a eficiência de adsorção aumentava. Logo para ambos os corantes o parâmetro de pH é de extrema importância, e afeta diretamente o processo de adsorção. Essa oposição entre os dois corantes acontece pois os mesmo pertencerem a grupos distintos.

O processo de dessorção é possível para os dois corantes retidos nos resíduos de maracujá *in natura* e tratados com NaOH e HCl, sendo possível o corante e a biomassa serem reutilizados novamente.

O melhor resultado de capacidade máxima de adsorção para o corante vermelho e azul foi a cascas de maracujá tratadas com NaOH e HCl, e os valores foram de 45,9 e 34,8 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente

Dessa forma é possível concluir que ambas as biomassas testadas poderiam ser utilizadas numa escala industrial, pois o resíduo é barato, de fácil obtenção e as cascas apresentam uma eficiência elevada principalmente para o corante vermelho.

## REFERÊNCIAS

ADEYIGA, A. A.; HU, L.; GREER, T.; Removal of metal ions from wastewater with natural wastes. **Chemical engineering communications**, v. 189, n. 12, p. 1587-1597, 2002.

ALFREDO, A. P. C.; GONÇALVES, G. C.; LOBO, V. S. MONTANHER, S.F. Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistemas em batelada e coluna de leito fixo. **Revista Virtual Química**, v. 7, n. 6, p. 1909-1920, 2015.

ALLEN, S.J.; MCKAY, G.; KHADER, K.Y.H. Intraparticle diffusion of a basic dye adsorption onto sphagnum peat. **Enviro Pollut.**, v. 56, p. 39–50, 1989.

ANBIA, M.; SALEHI, S. Removal of acid dyes from aqueous media by adsorption onto amino-functionalized nonporous silica SBA-3. **Dyesand Pigments Journal**, v. 94, p.1-9, 2011.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 179p. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

CASTELLAN, G. **Fundamentos da físico-química**. Rio de Janeiro: LTC. 2001

CAVALCANTE Jr., C. L. **Separação de Misturas por Adsorção: dos Fundamentos ao Processamento em Escala Comercial**. 1998. 65p. Tese submetida a Concurso Público para Professor, Universidade Federal do Ceará – Ceará, 1998.

CHIOU, C. T. **Partition and adsorption of organic contaminants in environmental systems**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

COELHO, A.A. **Caracterização física e química dos frutos em função do tamanho e estágio de amadurecimento do maracujá-amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener)**. 2008, 126p..Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro 2008.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Florida: CRC Press, 1999.

COSTA, C.A. **Sorção de Íons Cobre, Níquel e Zinco com o Rejeito do Beneficiamento de Carvões e Outros Materiais Alternativo.** 1998, 64p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

COTTET, L.; **Modificação da argila montmorilonita e do carvão de coco de babaçu ativado com óxido de ferro: caracterização e aplicação na adsorção do azul de metileno.** 2009, 90 p. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2009.

CUNICO, P.; et al. Adsorção de corante reativo preto 5 em solução aquosa utilizando cinzas leves de carvão. **Ln: International Workshop Advances in Cleaner Production.** São Paulo, 2009.

FARIAS, L. B. N; **Adsorção de corantes têxteis em serragem mdf.** 2017, 46p. Monografia (Licenciatura em Química) Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Apucarana , 2017.

FERREIRA, L O. **Biossorção de corantes catiônicos utilizando biomassa residual de microalgas.** 2018, 40 p. Monografia (Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2018.

GASPAR, A. T. F. S. **Bioadsorção de cromo em algas marinhas utilizando coluna extratora.** 2003, 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations.** 3 Ed, Nova Jersey: Prentice-Hall International, 1993.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n.1, p. 71-78, 2000.

GUIMARÃES, D. **Tratamento de efluentes ricos em sulfato por adsorção em resinas de troca iônica.** 2010, 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) 173p. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto , 2010.

GONDIM, J.A.M; et al, Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L.. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente**. 2006, 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Censo Agropecuário 2011**. Rio de Janeiro. Acesso em 25 de maio de 2018

JANEBRO, D. I. et al. Efeito da farinha da casca do maracujá- amarelo (*Passiflora edulis f. fl. avicarpa* Deg.) nos níveis glicêmicos e lipídicos de pacientes diabéticos tipo 2. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.18, p.9, 2008.

KOBORI, C.N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.9, n.5, p.1008-1014, 2005.

McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering**. 3<sup>o</sup> Ed. New York: McGraw-Hill, 2005

NEEDLES, H.L. **Preparation, Dyeing, and Finishing Processes . Textile Fibers, Dyes, Finishes, And Processes: a concise guide**. Nova Jersey: Noyes publications, 1986, p. 154-211.

OLIVEIRA, E. A. de.; **Estudo do potencial de utilização da biomassa de luffa cylindrica na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis**. 2007, 164 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

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**, v. 99, n. 8, p. 3162-3165, 2008.

PEARCE, C. L., SIMS, H. P., JR., COX, J. F., BALL, G., SCHNELL. E., SMITH, K. A., AND TREVINO, L. Transactors, transformers and beyond: A multimethod development of a theoretical typology of leadership. **Journal of Management Development**, v. 22, n. 4, p. 273-307, 2003.

PIN, C F; et al. ESTUDO DE ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE CORANTE POR BAGAÇO DE BUTIÁ ATIVADO QUIMICAMENTE. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 2, 2017.

REYNOLDS, T. D., RICHARDS, P. A. **Unit operations and processes in environmental engineering**. 2ª Edição. Boston: PWS Publishing Company, 1996

RODRÍGUEZ-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. Textural and chemical characterization of microporus carbons. **Advances in Colloid and Interface Science**. n. 76/77, p. 271-294, 1998.

ROYER, B.; **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de sementes de araucaria angustifolia com biossorventes**. 2008, 68 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SALLEH, M. A. M.; MAHMOUD, D. K.; KARIM, W. A. W. A.; AZNI, Idris. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. **Desalination**, v. 280, p. 1-13, 2011.

SAMICO, G F. **Caracterização física e química de sementes de maracujá (Passiflora edulis Flavicarpa, DEG) e seu aproveitamento integral: óleo e torta**. 2010, 165 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimento) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2010.

SANGHI, R.; BHATTACHARYA, B. Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. **Color. Technol.** v. 118, p. 256–269, 2002.

SANTOS, E. G. et al. Cinética de Adsorção de Poluentes Orgânicos por Biossorventes. In: **Congresso brasileiro de p&d em petróleo e gás**. Anais de congresso. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.

SANTOS, E. G. et al. Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos. **Química Nova**, v. 30, n. 2, 327-331, 2007.

SCHIMMEL, D. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2008.

SCHNEIDER, I. A. H.; Rubio, J. **Plantas aquáticas: adsorventes naturais para melhoria da qualidade das águas**. 2003, 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia

de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 2003.

VALDMAN, E.; ERIJMAN, L.; PESSOA, F.L.P.; LEITE, S.G.F. Continuous Biosorption of Cu and Zn by Immobilized Waste Biomass *Sargassum* sp. **Process Biochemistry**, v. 36, n. 8-9, p. 869-873, 2001.

VASQUES, A. R. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

VOS, R. Defining biomass: which types of biomass will count as renewable energy sources. **Refocus**, v. 7, n. 5, p. 58-59, 2006.

WANG, L. Application of activated carbon derived from 'waste' bamboo culms for the adsorption of azo disperse dye: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. **Journal of Environmental Management**, n. 102, p. 79-87, 2012.