

# **AVALIAÇÃO DE TABOA (*Typha angustifolia* L.) COMO ADSORVENTE NATURAL PARA REMOÇÃO DE CORANTES ORGÂNICOS DE MEIO AQUOSO.**

*Souza Júnior, A. A.\*<sup>1</sup>; Freitas, S. S.\*<sup>2</sup>; Petacci, F.\*<sup>3</sup>*

\*Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão, CEP: 75705-220, Brasil.

<sup>1</sup>e-mail: amaurialvesjunior@yahoo.com.br; <sup>2</sup>e-mail: sil-freitas@hotmail.com;

<sup>3</sup>e-mail: petacci\_f@hotmail.com

**PALAVRAS-CHAVE:** adsorventes naturais, *Typha angustifolia* L., corantes orgânicos, bioadsorção.

## **1 INTRODUÇÃO**

Entre as indústrias que utilizam corantes para tingir seus produtos, as indústrias têxteis representam uma das maiores consumidoras destes produtos. Até a década de 90, dos 10.000 corantes disponíveis no mercado, aproximadamente 2.000 eram destinados às indústrias têxteis. Além do elevado consumo de água no processo de beneficiamento, responsável por gerar um volume significativo de efluente colorido, aproximadamente 20 % dos corantes consumidos (20 toneladas por ano) são descartados devido à sua incompleta fixação à fibra. Os corantes apresentam várias propriedades, como estabilidade, solubilidade e coloração intensa, esta responsável por interferir esteticamente na água, e conseqüentemente, facilitar sua identificação, mesmo em baixas quantidades (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Do ponto de vista ambiental, a presença dos corantes sintéticos é um grande problema, uma vez que alguns corantes diminuem a atividade fotossintética nos ambientes aquáticos devido à redução da penetração de luz, são resistentes, e juntamente com seus produtos de degradação podem ser tóxicos (IMMICH, 2006).

Dessa maneira, com o aumento da conscientização e rigidez das regulamentações ambientais, o desenvolvimento de tecnologia eficiente para o tratamento e/ou remoção destes efluentes tem sido foco de pesquisas nas últimas décadas. As principais técnicas disponíveis para descoloração das águas de rejeitos envolvem, principalmente, processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica e biodegradação (BALDISSARELLI, 2006). O processo de adsorção apresenta-se entre os mais eficientes para a remoção de corantes sintéticos em meio aquoso, em função do baixo custo e alta capacidade de remoção. Em termos, de aplicações industriais, a utilização de processos de adsorção, ainda é restrita, visto que o adsorvente disponível no mercado (carvão ativado) apresenta alta

capacidade na remoção de corantes, porém, este adsorvente tem um custo elevado e é seletivo para algumas classes de compostos (ROYER et al., 2009). Assim, nos últimos anos, estudos têm sido direcionados para o desenvolvimento de adsorventes alternativos ou bioadsorventes, que apresentam características, como: alta capacidade de remoção de efluentes, alta disponibilidade a um custo relativamente baixo, já que estes materiais estão disponíveis na natureza, ou são subprodutos de atividades agrícolas e industriais, e dependendo do volume produzido, representam um problema ambiental, como é o caso da casca de arroz e de coco (IMMICH, 2006; ROYER, 2008). Sendo assim, a importância do uso de materiais naturais como adsorventes alternativos torna-se ainda mais relevante. Cinza de bagasso (MANE; MALL; SRIVASTAVA, 2007), bagaço de caju (BRITO et al., 2009), derivados da madeira ou da celulose (casca de semente, de árvore, serragem) (ROYER, 2008; GONG et al., 2005), quitosana (ALBERTINI; CARMO; PRADO-FILHO, 2009), folhas de Neem (IMMICH, 2006), biomassa fúngica (PRIGIONE et al., 2008) são alguns exemplos de biomateriais de baixo custo que têm sido investigados em escala laboratorial para o tratamento de efluentes coloridos, apresentando diferentes graus de eficiência.

*Typha angustifolia* L., é uma planta herbácea perene pertencente à família *Typhaceae*, no Brasil, também conhecida popularmente como taboa. As plantas desse gênero são comuns em todo o mundo, pois se desenvolvem em ambiente de água doce, e conseqüentemente, são encontradas em zonas úmidas como, por exemplo, nas margens de córregos, rios e lagos (DEMIREZEN; AKSOY, 2004). As plantas, originárias da América do Sul, atualmente encontram-se disseminadas por todo o planeta, e suas folhas podem chegar a mais de 3 metros de altura (OLIVEIRA; PETACCI, 2009). Uma das características da *T. angustifolia* é sua estrutura interna, que além de espessa, apresenta um formato similar a uma esponja, devido à presença de canais de ar (DEMIREZEN; AKSOY, 2004). Segundo ALMEIDA et al. (2007) a *T. angustifolia* apresentou bons resultados no tratamento de esgoto devido à sua capacidade de absorção de nutrientes. A disponibilidade de obtenção e sua estrutura porosa fazem da *T. angustifolia* um promissor adsorvente alternativo.

## **2 OBJETIVOS**

Avaliar a capacidade adsorvente da *T. angustifolia* sob diferentes parâmetros experimentais (efeito do tratamento do adsorvente, dose do adsorvente, agitação, tempo de contato, pH e concentração da solução de corante). Neste trabalho foram utilizados os corantes reativos vermelho remazol RB 133% (VR) e azul turquesa remazol G 133% (AT).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Materiais e Equipamentos**

Os corantes (vermelho remazol RB 133%, azul turquesa remazol G 133%) foram gentilmente cedidos por uma fábrica de toalhas na cidade de São Carlos e utilizados sem tratamento prévio. Foram utilizados os seguintes reagentes: ácido clorídrico (ACS), hidróxido de sódio (Synth), ácido acético (Baker) e ácido fosfórico (Synth). Os equipamentos utilizados foram: agitador magnético (Velp Científica), pHmetro (BEL ENGINEERING, W3B), moinho de facas (Solab, SL31), mesa agitadora (Nova Ética), espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier (Shimadzu, FTIR Prestige 21), espectrofotômetro UV-vis (VARIAN, Cary 50).

#### **3.2 Preparo do Adsorvente**

As folhas de *T. angustifolia* foram coletadas nas margens do ribeirão Pirapitinga, situado no perímetro urbano da cidade de Catalão – GO. Inicialmente, o material vegetal foi seco em estufa à temperatura de 60 °C. Para a obtenção de partículas uniformes o material seco foi triturado, em um moinho de facas, e separado em peneiras granulométricas até a obtenção de partículas de tamanho entre 28 e 270 mesh. A seguir, o material peneirado foi lavado exaustivamente com água destilada, filtrado, seco em estufa a 60 °C e dividido em 3 porções (porção 1, 2 e 3). A porção 1, tratada apenas com água, foi armazenada e este material foi denominado “*in natura*”. A porção 2 foi lavada com HCl 0,01 mol L<sup>-1</sup> por 1 hora, sob agitação e filtrada. A seguir foi novamente lavada com água destilada, até neutralização, filtrada, seca em estufa a 60 °C e armazenada até o momento dos ensaios. O mesmo procedimento foi realizado para a porção 3, no entanto foi lavada com NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup>.

#### **3.3 Caracterização do Adsorvente**

O adsorvente tratado com HCl (item 3.2) foi caracterizado por espectroscopia no infravermelho (Shimadzu, Prestige 21) com KBr.

#### **3.4 Preparo das Soluções dos Corantes**

Para cada corante, soluções estoque (1000 e 10.000 mg L<sup>-1</sup>) foram preparadas pela dissolução de uma massa exatamente conhecida em água destilada. As soluções de diferentes concentrações utilizadas nos ensaios foram obtidas pela diluição de volumes conhecidos da

solução estoque em água destilada (para ensaios realizados em pH natural) ou em solução tampão (**Tabela 1**), dependendo do pH utilizado no ensaio.

**Tabela 1.** Componentes das soluções tampão 50 mM utilizadas no preparo das soluções dos corantes.

pH da solução	Componentes
2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
4	CH <sub>3</sub> COOH/CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>
5	CH <sub>3</sub> COOH/CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>
8	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

### 3.5 Ensaios de Adsorção

Para os ensaios de adsorção uma quantidade medida do adsorvente (200,0 a 400 mg, dependendo do ensaio) e 20,00 mL da solução do corante, na concentração e pH avaliados, foram transferidos para um erlenmeyer de 125 mL e submetidos à agitação, utilizando-se uma mesa agitadora a 150 rpm, durante o tempo de contato requerido para o ensaio. A seguir a solução foi filtrada e sua concentração determinada através de espectrofotometria UV-vis. Todos os ensaios foram realizados em triplicata (n = 3) e à temperatura ambiente (T<sub>amb</sub> = 23 °C).

### 3.6 Avaliação da Capacidade de Adsorção

A avaliação da capacidade adsorvente do material, sob os diferentes parâmetros experimentais (tratamento do adsorvente, dose de adsorvente, pH da solução, tempo de contato e concentração da solução do corante) foi feita pela comparação da concentração do corante no meio aquoso antes da adição do adsorvente e após a adição do mesmo, para cada um dos diferentes valores testados para o parâmetro em questão. A porcentagem de remoção do corante pelo adsorvente (% R) foi calculada de acordo com a equação (1):

$$\% R = \frac{(C_{\text{inicial}} - C_{\text{medida}})}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

Onde C<sub>inicial</sub> é a concentração do corante na solução antes da adição do adsorvente; C<sub>medida</sub> é a concentração do corante na solução após o tratamento com o adsorvente.

As concentrações dos corantes antes e após os ensaios foram determinadas, por UV-vis, utilizando-se curvas de calibração, em cada um dos valores de pH avaliados. Para a

construção das curvas, os valores de absorvâncias das soluções foram obtidos para o comprimento de onda máximo ( $\lambda_{\max}$ ) de cada corante em cada valor de pH, conforme descrito na **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Valores para o comprimento de onda máximo ( $\lambda_{\max}$ , nm) do corante vermelho Remazol RB 133% em cada pH avaliado.

Corante	pH natural	pH 2	pH 4	pH 5
VR (vermelho remazol RB 133%)	514,9 (pH = 6,32)	514,9	514,9	519,9
AT (azul turquesa remazol G 133%)	665,1 (pH = 6,27 )	630,1	630,1	625,1

### 3.6.1 Influência do Tratamento do Adsorvente

Os diferentes tratamentos dados ao adsorvente: tratamento com água (“*in natura*”), tratamento com HCl e tratamento com NaOH foram avaliados através de ensaios de adsorção (**item 3.5**) utilizando-se 500 mg do adsorvente, 20,00 mL de solução aquosa (pH natural) do corante VR ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) e tempo de contato de 30 min. Estes ensaios foram realizados em duplicata.

### 3.6.2 Influência do pH

Após o estabelecimento do tratamento do adsorvente (**item 3.6.1**), solução aquosa do corante (pH natural) e soluções preparadas em tampão (pH 2, 4, e 5), foram utilizadas (20,00 mL), para cada um dos corantes avaliados, nos ensaios de adsorção (**item 3.5**), para verificar a influência do pH do meio na remoção dos mesmos. Nestes ensaios, a massa de adsorvente utilizada foi de 500 mg e o tempo de contato foi de 30 minutos.

### 3.6.3 Influência da Dose de Adsorvente e Agitação

As doses de adsorvente avaliadas foram: 5, 10, 15, 20, 25 e  $40 \text{ g L}^{-1}$ . Para cada dose testada, os ensaios de adsorção (**item 3.5**) foram realizados com 20,00 mL de solução do corante VR ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ , preparada em pH 2), a partir das quantidades de adsorvente descritas na Tabela 3 e tempo de contato de 30 min. Para as doses 10, 15, 20 e  $25 \text{ g L}^{-1}$ , os mesmos ensaios também foram realizados sem agitação.

**Tabela 3.** Doses avaliadas para o adsorvente *T. angustifolia* e massa do adsorvente utilizada nos ensaios de adsorção.

Dose de adsorvente (g L <sup>-1</sup> )	5	10	15	20	25	40
Massa de adsorvente (mg)	100	200	300	400	500	800

### 3.6.4 Influência do Tempo de Contato

Para cada corante, os tempos de contato avaliados foram: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30 e 60 min. Os ensaios de adsorção (**item 3.5**) foram realizados sob as seguintes condições: 200 mg de adsorvente, 20,00 mL da solução do corante (10 mg L<sup>-1</sup>, preparada em pH 2), sob agitação.

### 3.6.5 Influência da Concentração do Corante

Após o estabelecimento do pH (**item 3.6.2**), dose de adsorvente (**item 3.6.3**) e do tempo de equilíbrio (**item 3.6.4**) do processo, a adsorção dos corantes (**item 3.5**) foi estudada no intervalo de concentração de 10 a 620 mg L<sup>-1</sup> para o corante VR e no intervalo de concentração de 10 a 500 mg L<sup>-1</sup> para o corante AT, em pH = 2,00 e à temperatura ambiente (23 ± 1 °C). O tempo de equilíbrio utilizado foi de 30 min de contato para VR e 10 min de contato para AT.

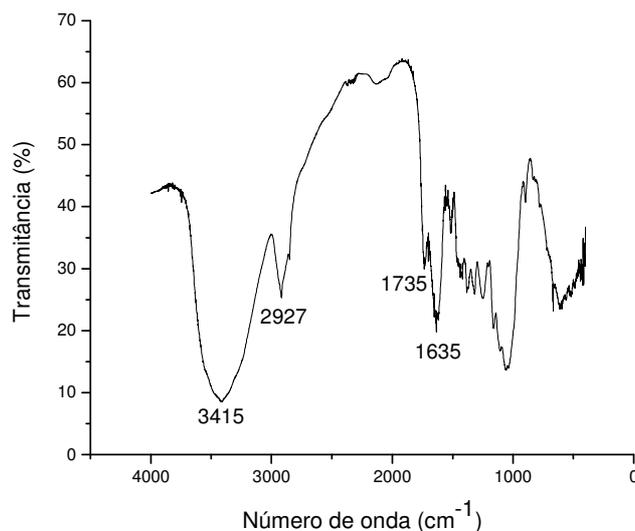
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do Adsorvente

O adsorvente *T. angustifolia* tratada com HCl foi caracterizado por espectroscopia na região do infravermelho (FTIR). O espectro (Figura 1) apresentou bandas características, indicando a presença dos seguintes grupos funcionais no adsorvente: hidroxila (3420 cm<sup>-1</sup>), metila (2924 cm<sup>-1</sup>, 1735 cm<sup>-1</sup>), carboxilato (1618 cm<sup>-1</sup>), carboxila (1740 cm<sup>-1</sup>).

### 4.2 Influência do Tratamento do Adsorvente

O adsorvente tratado com HCl apresentou capacidade de remoção de cor da solução de 38%. A solução do corante, após os ensaios de adsorção realizados com o adsorvente tratado com água e com NaOH tornou-se turva e com coloração diferente da inicial, indicando que o tratamento não foi eficiente.



**Figura 1.** Espectro na região do infravermelho do adsorvente *T. angustifolia* tratado com HCl.

Nestas condições (solução neutra e básica) provavelmente ocorreu a extração de compostos que estavam absorvidos no adsorvente para a solução do corante, alterando sua característica. Neste caso, optou-se por utilizar o adsorvente tratado com ácido, nas demais etapas do trabalho.

### 4.3 Influência do pH

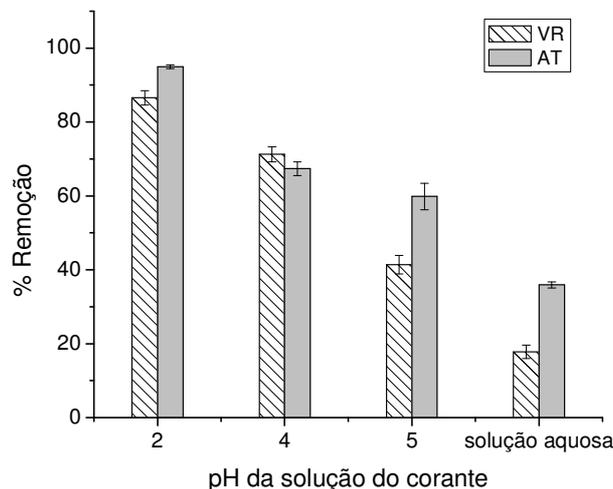
Os resultados obtidos nos ensaios em diferentes valores de pH mostraram que a remoção dos corantes do meio aquoso é dependente do pH da solução (Figura 2). Para os corantes estudados, a adsorção aumenta à medida em que o pH do meio diminui, sendo que a máxima remoção foi observada em pH 2,00 para todos os corantes. Observou-se também que o desvio padrão dos resultados obtidos diminui significativamente conforme o pH do meio diminui. Um efeito de pH similar também foi observado por outros autores na adsorção de diferentes corantes reativos por bioadsorventes (TUNÇ; TANACI; AKSU, 2009).

À medida em que o pH da solução diminui, muitos prótons estarão disponíveis para protonar os grupos funcionais (carboxila, carboxilato e hidroxila) na superfície do adsorvente. Com a protonação, a superfície da fibra torna-se positiva, devido aos íons hidrônio que circundam a superfície. Os corantes avaliados possuem grupos reativos que, em solução aquosa, ionizam-se em alto grau para formar ânions coloridos devido aos grupos sulfonato, negativamente carregados. Sendo assim, a maior adsorção dos corantes pelo adsorvente, observada em pH 2,00, pode ser atribuída às interações eletrostáticas entre o

adsorvente (positivamente carregado) e o ânion do corante (negativamente carregado). Da mesma forma, à medida em que o pH da solução aumenta, a quantidade de sítios carregados negativamente na superfície do adsorvente aumenta e, devido à repulsão eletrostática (TUNÇ; TANACI; AKSU, 2009), o processo de adsorção dos ânions do corante é menos favorecido. A partir dos resultados obtidos nestes ensaios, optou-se por utilizar soluções dos corantes em pH 2,00 nos experimentos seguintes.

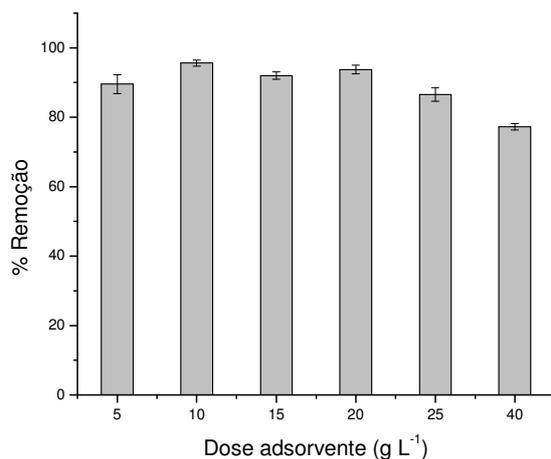
#### 4.4 Dose de Adsorvente e Agitação

Os resultados obtidos (Figura 3) mostram que, em todas as doses avaliadas a remoção de cor foi eficiente, sendo que o melhor resultado foi obtido para a dose  $10 \text{ g L}^{-1}$ , equivalente a 200 mg de adsorvente para 20,00 mL de solução, onde se observou remoção de 95,6% de corante da solução.

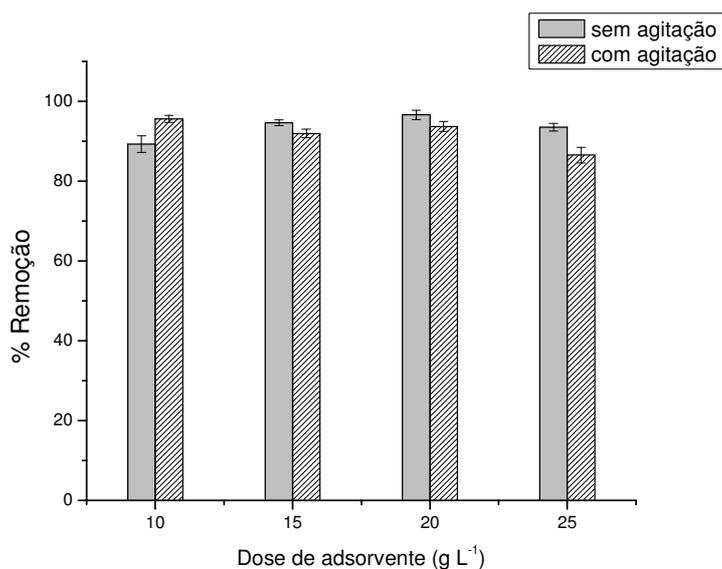


**Figura 2.** Efeito do pH da solução na remoção dos corantes ( $C = 10 \text{ mg L}^{-1}$ , tempo de contato = 30 min, dose do adsorvente =  $25 \text{ g L}^{-1}$ ).

O efeito da agitação nos ensaios de adsorção foi avaliado em ensaios realizados com quatro doses de adsorvente ( $10, 15, 20$  e  $25 \text{ g L}^{-1}$ ) com agitação (150 rpm) e sem agitação (repouso). Os resultados (Figura 4) mostram que conforme a dose de adsorvente aumenta de 10 para  $20 \text{ g L}^{-1}$ , a porcentagem de remoção de cor aumenta de 89,2% para 96,6% nos ensaios realizados sem agitação. Um comportamento contrário foi observado para os ensaios realizados com agitação: a porcentagem de remoção de cor diminuiu de 95,6% para 93,7%. Devido à menor quantidade de adsorvente e à ótima taxa de remoção, optou-se por trabalhar com 200 mg de adsorvente (dose  $10 \text{ g L}^{-1}$ ) em ensaios com agitação.



**Figura 3.** Efeito da dose de adsorvente na remoção do corante vermelho remazol RB 133% pelo adsorvente *T. angustifolia* ( $C = 10 \text{ mg L}^{-1}$ , tempo de contato = 30 min,  $\text{pH} = 2,00$ , com agitação).

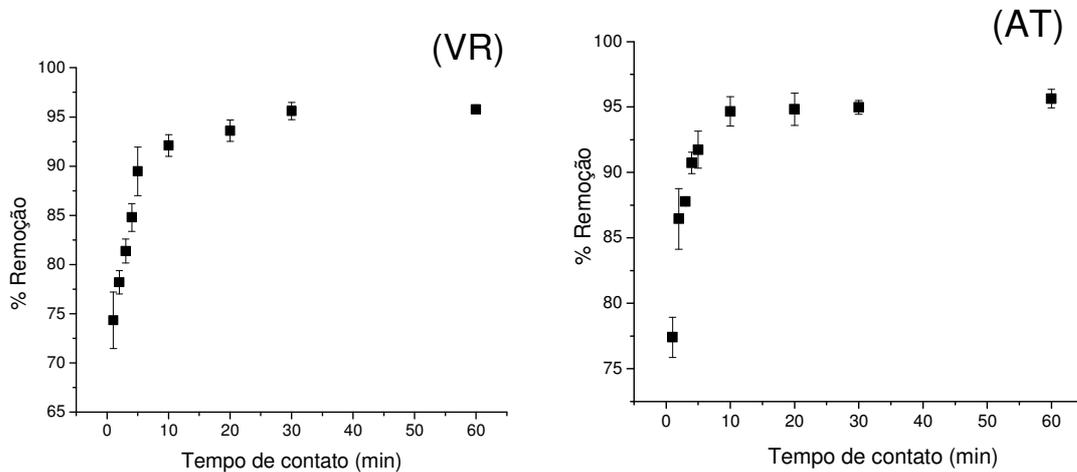


**Figura 4.** Efeito do uso de agitação no ensaio de adsorção para a remoção do corante vermelho remazol RB 133% pelo adsorvente *T. angustifolia* ( $C = 10 \text{ mg L}^{-1}$ , tempo de contato = 30 min,  $\text{pH} = 2,00$ ).

#### 4.5 Influência do Tempo de Contato

A adsorção do corante, na concentração  $10 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{pH} = 2,00$ ), foi avaliada em função do tempo de contato para determinar o tempo de equilíbrio do processo de adsorção e os resultados obtidos (Figura 5) indicam uma cinética de adsorção rápida, principalmente nos primeiros 10 minutos de contato, no qual foi observado remoção de até 91,7% para o corante

AT. Após 10 minutos, a adsorção ocorre mais lentamente e o equilíbrio químico é atingido em 30 minutos para o corante VR, com remoção de 95,6%, e em 10 min para o corante AT, com remoção de 94,7%.



**Figura 5.** Influência do tempo de contato na remoção dos corante pela *T. angustifolia* ( $C = 10 \text{ mg L}^{-1}$ , dose do adsorvente =  $10 \text{ g L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 2,00$ ).

#### 4.6 Influência da Concentração do Corante

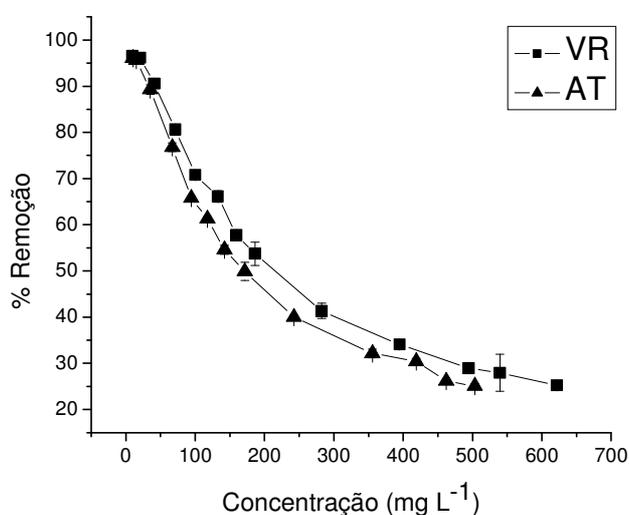
Os resultados obtidos (Figura 6) indicam que a remoção dos corantes pelo adsorvente *T. Angustifolia* foi eficiente, principalmente para as soluções de concentração  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , para as quais foram observadas a remoção de 96,5%, para o corantes VR e 96,0% para o corante AT. A capacidade de adsorção diminui com o aumento na concentração da solução, para todos os corantes estudados. Este comportamento pode ter ocorrido devido à saturação dos sítios de adsorção no adsorvente devido à maior quantidade de corante. No entanto, mesmo com o aumento da concentração para  $160 \text{ mg L}^{-1}$ , o adsorvente apresentou uma boa capacidade de adsorção, com a remoção de 57,8% e 54,6% dos corantes VR e AT, respectivamente. Para as maiores concentrações avaliadas ainda foi possível observar a remoção da cor: 25,2% e 25,1%, para VR e AT, respectivamente.

Os resultados obtidos indicam que o adsorvente *T. Angustifolia* possui um grande potencial para ser utilizado na remoção dos corantes estudados. Sendo assim, o processo de adsorção foi avaliado quantitativamente através da equação (2):

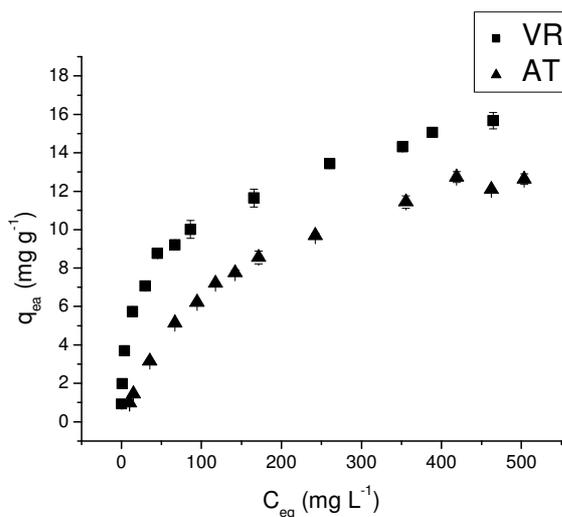
$$q_{\text{eq}} = \frac{(C_i - C_{\text{eq}})}{m} \times V \quad (2)$$

onde  $q_{eq}$  é a quantidade de corante adsorvido na fibra de coco ( $mg\ g^{-1}$ ), no equilíbrio;  $C_i$  é a concentração inicial do corante ( $mg\ L^{-1}$ );  $C_{eq}$  é a concentração do corante ( $mg\ L^{-1}$ ) na fase aquosa após o equilíbrio;  $V$  é o volume (L) da solução de corante em contato com o adsorvente;  $m$  é massa (g) do adsorvente em contato com a solução do corante.

A isoterma de equilíbrio de adsorção, gráfico de  $q_{eq}$  vs  $C_{eq}$ , expressa a relação entre a massa do corante adsorvido a uma determinada temperatura, pH, tamanho de partícula, concentração do corante na fase aquosa, entre outros. Para os corantes avaliados, as isotermas de equilíbrio são apresentadas na **Figura 7**.



**Figura 6.** Eficiência na remoção da cor da solução para as diferentes concentrações avaliadas (tempo de contato = 10 min, dose do adsorvente =  $10\ g\ L^{-1}$ ,  $pH = 2,00$ ).



**Figura 7.** Isotermas de equilíbrio de adsorção dos corantes pelo adsorvente *T. angustifolia* ( $T = 23 \pm 1\ ^\circ C$ ).

Os resultados mostram que, mesmo com o aumento na concentração da solução (10 a 620 mg L<sup>-1</sup>, para VR e 10 a 500 mg L<sup>-1</sup>, para AT) a concentração do corante na fase aquosa após o equilíbrio (C<sub>eq</sub>) é razoavelmente mais baixa que a concentração inicial (0,3 a 464,7 mg L<sup>-1</sup>, para VR e 0,4 a 377,2 mg L<sup>-1</sup>, para AT). Também foi observado que a quantidade adsorvida (q<sub>eq</sub>) aumenta com o aumento da concentração de equilíbrio, de 0,9 até 15,7 mg g<sup>-1</sup>, para VR e de 1,0 até 12,6 mg g<sup>-1</sup>, para AT. Para todos os corantes foi observado estabilização para q<sub>eq</sub>, ou seja, a saturação do adsorvente foi alcançada.

As isotermas de adsorção também permitem a determinação dos parâmetros relacionados ao equilíbrio do processo, tais como a constante de adsorção (K<sub>ads</sub>) e a quantidade máxima de corante que o material pode reter em sua superfície (Q) (OZKAN; UCUN, 2010).

Existem diferentes modelos de adsorção, para diferentes formas de interação. A adequação de um modelo teórico adsorptivo aos dados experimentais obtidos propicia um melhor conhecimento do mecanismo envolvido no processo como um todo. As isotermas de adsorção mais utilizadas são as de Langmuir e Freundlich cujas expressões lineares são descritas, respectivamente, pelas equações 3 e 4, a seguir:

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{Q k_L} + \frac{C_{eq}}{Q} \quad (\text{Isoterma de Langmuir}) \quad (3)$$

onde q<sub>eq</sub> é a quantidade de corante adsorvido na fibra de coco (mg g<sup>-1</sup>), no equilíbrio; C<sub>eq</sub> é a concentração do corante (mg L<sup>-1</sup>) na fase aquosa após o equilíbrio; Q é a capacidade máxima de adsorção (mg g<sup>-1</sup>); k<sub>L</sub> é a constante de Langmuir (L mg<sup>-1</sup>) relacionada à constante de equilíbrio químico.

$$\log q_{eq} = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_{eq} \quad (\text{Isoterma de Freundlich}) \quad (4)$$

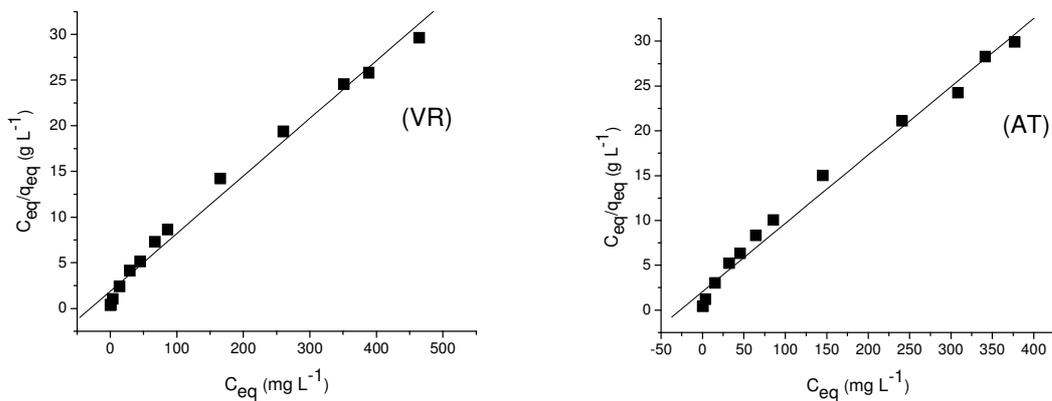
onde k<sub>F</sub> é a constante de Freundlich [(mg g<sup>-1</sup>) (L mg<sup>-1</sup>)<sup>1/n</sup>], que está relacionada à capacidade de adsorção<sup>30</sup>; 1/n é a intensidade de adsorção, relacionada à energia de adsorção. Quanto menor o valor (que deve ser menor que 1), mais favorável será o processo de adsorção (OZKAN; UCUN, 2010).

A partir dos coeficientes lineares e angulares dos gráficos lineares: log q<sub>eq</sub> vs log C<sub>eq</sub> e C<sub>eq</sub>/q<sub>eq</sub> vs C<sub>eq</sub> é possível verificar a validade dos modelos de Freundlich e de Langmuir, respectivamente, para o processo. A característica essencial da isoterma de Langmuir pode ser expressa pela constante adimensional chamada parâmetro de equilíbrio (R<sub>L</sub>), descrito pela equação 5. O valor de R<sub>L</sub> entre 0 e 1 indica adsorção favorável (OZKAN; UCUN, 2010).

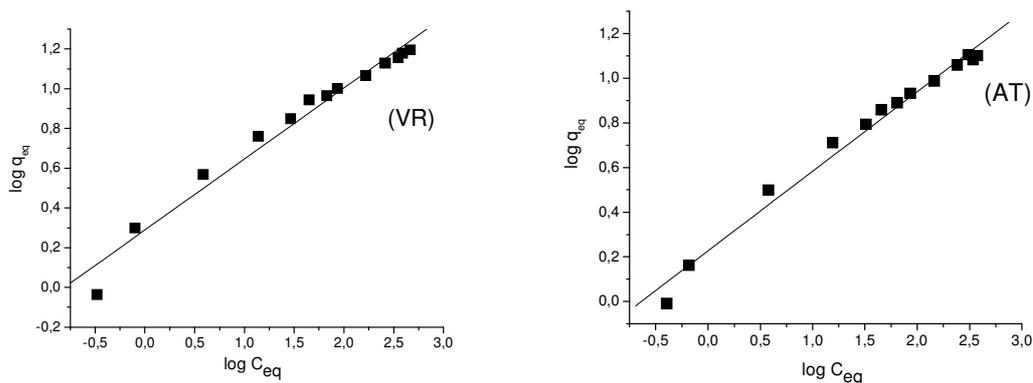
$$R_L = \frac{1}{1 + k_L C_i} \quad (5)$$

onde  $C_i$  é a concentração inicial mais alta do corante ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

As curvas das expressões lineares dos modelos de Langmuir e Freundlich foram aplicadas às isotermas de equilíbrio (Figura 7) para os corantes estudados e estão ilustradas nas Figuras 8 e 9. Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros para as formas linearizadas dos modelos de isotermas para a adsorção dos corantes avaliados.



**Figura 8.** Isotermas lineares de Langmuir para a adsorção dos corantes pelo adsorvente *T. Angustifolia* ( $T = 23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



**Figura 9.** Isotermas lineares de Freundlich para a adsorção dos corantes pelo adsorvente *T. Angustifolia* ( $T = 23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

**Tabela 3.** Valores dos parâmetros dos modelos de isoterma de equilíbrio de Langmuir e Freundlich para o processo de adsorção dos corantes estudados pelo adsorvente *T. Angustifolia*.

Corante	Langmuir				Freundlich		
	Q (mg g <sup>-1</sup> )	k <sub>L</sub> (L mg <sup>-1</sup> )	R <sub>L</sub>	R <sup>2</sup>	1/n	k <sub>F</sub> (mg g <sup>-1</sup> )(L mg <sup>-1</sup> ) <sup>1/n</sup>	R <sup>2</sup>
Vermelho remazol	15,8	0,0335	0,0459	0,986	0,3573	1,9449	0,969
Azul turquesa	13,1	0,0369	0,0511	0,985	0,3562	1,6864	0,983

A partir dos coeficientes de correlação,  $R^2$ , a aplicabilidade das equações das isotermas de Langmuir e Freundlich pôde ser comparada evidenciando, para os dois corantes, um ajuste favorável para o primeiro modelo. Ou seja, é possível que a interação entre o corante e o adsorvente ocorra por meio de adsorção química em superfície homogênea com formação de monocamada. Os valores obtidos para o parâmetro de equilíbrio ( $R_L$ ), 0,0459 para VR e 0,1125 para AT, permitem considerar que o processo de adsorção é favorável para ambos os corantes ( $0 < R_L < 1$ ). A capacidade máxima de adsorção (Q, da isoterma de Langmuir) foi estimada em 15,8 e 13,1 mg g<sup>-1</sup> para os corantes VR e AT, respectivamente, indicando que o adsorvente é mais eficiente para a remoção do corante VR, nas condições estudadas.

## 5 CONCLUSÕES

*Typha angustifolia* L., conhecida popularmente como taboa, demonstrou ser um bioadsorvente bastante eficiente na remoção dos corantes estudados, após a ativação de sua superfície com HCl e correção do pH do meio aquoso (pH =2). Observou-se uma cinética de adsorção rápida, com o equilíbrio sendo atingido entre 20 min (para o corante AT) e 30 min (para o corante VR) e com remoção de cor da solução de até 96%. Os resultados obtidos indicam que este biomaterial possui um grande potencial para ser utilizado como adsorvente alternativo de baixo custo para tratamento de efluentes têxteis contaminados com os corantes VR e AT.

## REFERÊNCIAS

ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; PRADO-FILHO, L. G. Elimination of dyes from aqueous solutions using iron oxides and chitosan as adsorbents. A comparative study. **Química Nova**, v.32, n.5, p.1239-1244, 2009.

ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. Deformação em inflorescência de taboa (*Typha angustifolia* L.) submetida a esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 125-129, 2007.

BALDISSARELLI, Vanessa Zanon. **Estudo da Adsorção do corante reativo preto 5 sobre carvão ativado: caracterização do adsorvente e determinação de parâmetros cinéticos e termodinâmicos**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2006.

BRITO, E. S.; MOREIRA, S. A.; NASCIMENTO, R. F.; OLIVEIRA, A. G.; SOUSA, F. W. Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de caju. **Química Nova**, v.32, n.7, p.1717-1722, 2009.

DEMIREZEN, D.; AKSOY, A. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). **Chemosphere**, v. 56, p. 685-696, 2004.

GONG, R.; DING, Y.; LI, M.; YANG, C.; LIU, H.; SUN, Y. Utilization of powdered peanut hull as biosorbent for removal of anionic dyes from aqueous solution. **Dyes and Pigments**, v.64, p.187-192, 2005.

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

IMMICH, Ana Paula Serafini. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MANE, V. S.; MALL, I. D.; SRIVASTAVA, V. C. Use of bagasse fly ash as na adsorbent for the removal of brilliant green dye from aqueous solution. **Dyes and Pigments**, v.73, p.269-278, 2007.

OLIVEIRA, C. S.; PETACCI, F. Cinética de decomposição da macrófita *Typha angustifolia* L. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, VI., 2009, Goiânia. **Anais do VI Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão**. Goiás: CONPEEX, 2009. p. 2976-2988.

OZKAN, A.; UCUN, H. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of textile dye (Reactive Red 195) onto *Pinus sylvestris* L. **Journal of Hazardous Materials**, v.181, p.666-672, 2010.

PRIGIONE, V.; VARESE, G. C.; CASIERI, L.; MARCHISIO, V. F. Biosorption of simulated dyed effluents by inactivated fungal biomasses. **Bioresource Technology**, v.99, p.3559-3567, 2008.

ROYER, B.; CARDOSO, N. F.; LIMA, E. C.; VAGHETTI, J. C. P.; SIMON, N. M.; CALVETE, T.; VESES, R. C. Applications of Brazilian pine-fruit Shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions – kinetic and equilibrium study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 1213-1222, 2009.

TUNÇ, Ö.; TANACI, H.; AKSU, Z. Potential use of cotton plant wastes for the removal of Remazol Black B reative dye. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, p.187-198, 2009.