

Estudo da adsorção do corante azul de metileno utilizando a casca de tamarindo como biossorvente

Methylene blue dye adsorption study using the tamarind peel as a biosorbent

Júnia Ariane Duarte Barroso

Graduanda do curso de Engenharia Química (UNIPAM).
e-mail: junia.engenhariaquimica@gmail.com

Larissa Ribeiro Lopes

Graduanda do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

Renata Nepomuceno da Cunha

Engenheira Química; Doutora; Professora orientadora (UNIPAM).
e-mail: renatanepc@unipam.edu.br

Resumo: A adsorção é um fenômeno físico bastante utilizado no tratamento de águas contaminadas por corantes orgânicos, devido à sua elevada eficiência e baixo custo operacional. O estudo de adsorventes alternativos fornece subsídios científicos para o reaproveitamento tecnológico de resíduos em operações industriais. Nesse contexto, este estudo visou a análise do potencial adsorvente da casca de tamarindo sobre o corante azul de metileno. Os efeitos do pH, da concentração de adsorvato e do tamanho de partícula biossorvente foram estimados em coluna de leito fixo. A partir dos resultados, observou-se que a casca do tamarindo tem potencial adsorvente e que as condições ótimas de operação foram: pH básico (10), elevadas concentrações da solução (50 mg/L) e partículas menores de adsorvente (48 mesh).

Palavras-chave: Adsorvente. Corante azul de metileno. Tamarindo.

Abstract: Adsorption is a physical phenomenon widely used in the treatment of water contaminated by organic dyes, due to its high efficiency and low operating cost. The study of alternative adsorbents provides scientific subsidies for the technological reutilization of waste in industrial operations. In this context, this study aimed to analyze the adsorbent potential of the tamarind peel on the methylene blue dye, evaluating the adsorption kinetics curves. The effects of pH, adsorbate concentration and biosorbent particle size were estimated on a fixed bed column. From the results, it was observed that the peel of tamarind has adsorbent potential and that the optimum conditions of operation were: basic pH (10), high concentrations of the solution (50 mg/L) and smaller particles of adsorbent (48 mesh).

Keywords: Adsorbent. Methylene blue dye. Tamarind.

1. Introdução

Entre os problemas enfrentados pela indústria têxtil na atualidade, destaca-se a remoção de corantes orgânicos do efluente gerado pelo processo produtivo. Tais poluentes são extremamente nocivos ao ecossistema e à saúde da população em geral. Mais de 700 mil toneladas de 10 mil tipos de corantes e pigmentos são produzidas anualmente no mundo, sendo o Brasil responsável por 2,6% dessa demanda (ZANONI et al., 2001).

Uma vez que os corantes são tóxicos e causam a bioacumulação da cadeia trófica, a indústria têxtil, que demanda elevadas quantidades de água na produção, tem o objetivo de atingir o padrão de qualidade, exigida pelos conselhos ambientais, no despejo de seus efluentes. Processos físicos, químicos e biológicos são as principais propostas para a remoção da cor dos corantes, no entanto, são processos de custo elevado. Nesse sentido, o desenvolvimento de processos alternativos e de alta eficiência para a remoção da cor de efluentes industriais é de extrema importância (SILVA, 2011). Dentre os processos destaca-se a adsorção.

Segundo Gonsalves (2014), a adsorção tem se sobressaído do ponto de vista operacional e econômico, por causa da simplicidade de execução e do baixo custo de implementação e manutenção na remoção de corantes orgânicos. No entanto, adsorventes utilizados, como o carvão ativo em pó, quando se trata de um tratamento em larga escala, possui alto custo. Nesse contexto, adsorventes alternativos, dentre eles os biossorventes, vêm sendo utilizados nos tratamentos envolvendo a adsorção.

O estudo de adsorventes alternativos tem se destacado, pois gera economia para as indústrias, além de serem utilizados resíduos considerados sem aproveitamento tecnológico. As cascas de materiais orgânicos exemplificam tais adsorventes. Segundo Gonsalves (2014), resíduos tais como casca de arroz, amendoim, banana, coco verde, pinhão e tamarindo já foram estudados para esse fim.

O Tamarindo (*Tamarindus indica L.*) é uma árvore frutífera nativa da África que se adaptou bem ao clima do Brasil, especialmente no Nordeste (MAIA, 2015). Sua cultura é ideal em regiões semiáridas, podendo tolerar 5 a 6 meses de seca. O tamarindeiro tem uma alta resistência a pragas e seu ciclo de vida é bem longo, podendo chegar a 200 anos, segundo o ICAG (Instituto de Ciências Agrárias da UFU, 2013).

A polpa desse fruto é bastante utilizada no Brasil para a produção de refrescos, doces, sorvetes e licores (EMBRAPA, 2006). Além da exploração culinária, esse fruto tem papel importante na produção de fármacos, uma vez que possui ação laxante natural (GONSALVES, 2014).

O fruto tamarindo é caracterizado por uma vargem alongada com casca quebradiça, de aspecto lenhoso, tendo um tamanho variado entre 5 e 15 cm, insolúvel em água e considerada um resíduo sem reaproveitamento tecnológico (GONSALVES, 2014), porém com um grande potencial para estudos, por exibir área superficial e possuir aspecto poroso, delgado e frágil, características correlacionadas à adsorção. Interiormente, o fruto é constituído por 3 a 8 sementes envolvidas por uma polpa comestível, a qual possui uma cor parda rica em ácidos orgânicos, sendo o ácido tartárico o principal (MAIA, 2015).

A presente pesquisa tem como objetivo avaliar o potencial adsorvente da casca de tamarindo, provinda de resíduos de uma indústria de despolpamento, sobre o adsorvato azul de metileno, um dos corantes utilizados na indústria têxtil. São ainda objetos

de escopo desta pesquisa: estudar a cinética de adsorção e estimar os efeitos do pH, da granulometria do biossorvente e da concentração do adsorvato, bem como a altura do leito estático sobre a adsorção do corante azul de metileno.

2. Revisão de literatura

Características do tamarindo

O termo "tamarindo" originou-se do árabe (tamrhindī), que em português significa "tâmara da Índia". É uma espécie que pertence à família das leguminosas, ou seja, são plantas cujas sementes crescem em vagens. No estudo de Stege (2011), é ressaltada a importância do tamarindo no continente africano devido ao seu alto conteúdo de vitaminas e minerais. Nas folhas, encontram-se fósforo, potássio, cálcio, magnésio e vitamina C. A polpa dessa fruta é constituída por 98 % de ácido tartárico e açúcares solúveis, sendo rica em pectinas, vitaminas B e C, betacaroteno e ácidos orgânicos (DONADIO, 2011).

Na Tabela brasileira de composição dos alimentos (TACO, 2011), para cada 100 g de tamarindo cru encontram-se aproximadamente 0,34 mg de manganês, 55 mg de fósforo, 3g de proteína, 0,5 g de lipídeos, 70g de carboidrato, 40mg de cálcio, 7,2mg de vitamina C, 0mg de colesterol e relevantes teores de ferro, zinco e vitaminas B1 e B2.

A presença desses nutrientes faz do tamarindeiro uma importante planta medicinal, tendo como aplicação principal os fármacos laxantes. Seu sabor azedo adocicado faz com que o tamarindo seja amplamente explorado na culinária. No Nordeste essa fruta é muito utilizada nos refrescos, doces, licores, sorvetes e outros alimentos.

Nos estudos realizados por Gonsalves (2014), que utilizou a casca do tamarindo como biossorvente do corante azul de metileno, o autor caracteriza a casca do tamarindo através de diferentes métodos, com o objetivo de definir algumas de suas características superficiais. A área superficial específica encontrada foi de 14,18 m².g⁻¹, o volume médio de poros foi de 0,014 cm³.g⁻¹ e o diâmetro médio de poros teve como resultado 50,8 Å. Tais características demonstram que a casca possui aspecto poroso, e atribuem à casca deste fruto o papel de possível adsorvente na adsorção de corantes orgânicos.

Corantes orgânicos

As atividades industriais têm aumentado constantemente e, como consequência, maiores são os volumes de efluentes que devem ser tratados, reduzindo-se assim os danos ao meio ambiente. Nesse contexto, a indústria têxtil aparece em lugar de destaque, visto que para a obtenção de seus produtos é utilizada elevada quantidade de água gerando expressivo volume de efluente.

Atualmente, mais de 700 mil toneladas de corantes são produzidas anualmente, sendo 10 mil tipos em escala industrial. Destes, cerca de 2.000 tipos encontram-se disponíveis para a indústria têxtil. O Brasil é responsável por aproximadamente 2,6 % de corantes consumidos pela indústria têxtil, e dessa demanda cerca de 20% são descartados

em efluentes (ZANONI; CARNEIRO, 2001). A problemática acerca dos efluentes provenientes da indústria têxtil se deve à utilização de corantes no processo de tingimento e acabamento, etapas que realizam lavagens de tecidos com a adição de vários produtos químicos auxiliares (BROADBENT (2001); LEÃO et al. (2002) citados por Alves (2013)).

A cor forte decorrente dos corantes é uma característica que, além de representar uma fonte de poluição visual, oferece sérios riscos ao meio ambiente, principalmente em função da interferência nos processos fotossintéticos naturais, ocasionando prejuízos incalculáveis a médio e longo prazo, a toda biota aquática. Sua concentração é menor do que a de muitos outros produtos químicos encontrados nos efluentes, mas sua cor é visível mesmo em baixas concentrações (SARASA et al. (1998) citado por CUSTÓDIO et al. (2005)).

Segundo Zanoni e Carneiro (2001), a origem dos corantes têxteis é incerta, mas há indicações de seu uso pelo homem desde os primórdios das civilizações. Sua presença foi detectada em amostras de tecidos de tumbas egípcias e antigos hieróglifos datados de 2500 a.C. Até a metade do século 19, só existiam pigmentos naturais, provenientes de vegetais, insetos, moluscos e minerais, cujas fórmulas de extração e aplicação eram sigilosas. A grande revolução na história desses compostos ocorreu quando o químico inglês William H. Perkin (1860-1929) descobriu, em 1856, o primeiro corante sintético (malva) derivado do coque. Esse foi o primeiro passo para a produção de corantes orgânicos sintéticos em grande escala.

Corantes têxteis são compostos orgânicos cuja finalidade é conferir coloração a um determinado substrato. Os corantes apresentam dois componentes principais na sua estrutura: o grupo cromóforo, responsável pela cor que absorve a luz solar e o grupo funcional que permite a fixação nas fibras de tecidos (ROYER, 2008).

Segundo Twardokus (2004), os corantes são classificados por sua estrutura química ou por sua aplicação. Pela estrutura química podem ser classificados como nitrofenol, nitrosfenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinil sulfônico, pirimidina e triazina, e por aplicação eles são classificados de acordo com o tipo de fibra a ser tinta.

Um dos corantes de grande relevância na indústria têxtil é o azul de metileno, o qual é um corante catiônico que possui uma variedade de aplicações, sendo utilizado no tingimento de algodão, lã e papel, tinturas temporárias para cabelos, etc. Devido à sua forte adsorção em suportes sólidos, o azul de metileno, muitas vezes, serve como um composto modelo para a remoção de corantes e de contaminantes orgânicos a partir de soluções aquosas (OLIVEIRA, et al., 2013).

Adsorção

A adsorção foi um fenômeno descoberto no século XVII, sendo que as primeiras observações foram idealizadas no ano de 1773 por Scheele em experimentos com carvão ativado e argilas, os quais podiam reter alguns gases. Mas foi durante a I Guerra Mundial que a adsorção foi abundantemente utilizada na fabricação de máscaras que continha carvão ativado, a fim de reter gases tóxicos para proteção da respiração humana (Alves, 2013).

O fenômeno da adsorção é bastante utilizado por se tratar de um processo simples e eficiente, sendo definido como um processo de acumulação do adsorvato na superfície do adsorvente. O adsorvato é a substância que sofre o aumento de concentração sobre a superfície da fase condensada, e o adsorvente é a fase condensada na superfície da qual ocorre o processo (COLODEL, 2013).

Esse processo pode ser realizado por interações líquido-líquido, gás-líquido, gás-sólido ou líquido-sólido (McKAY, 1995). As moléculas podem aderir ao adsorvente pelo processo de quimissorção ou de fisissorção. A fisissorção ocorre a temperaturas baixas e possui baixa energia de interação com a superfície. É um processo reversível, e a força de interação entre as moléculas do adsorvente com a do adsorvato é da mesma ordem de grandeza da de Van der Waals, caracterizando-se como fraca. A quimissorção, por sua vez, é irreversível e envolve interações fortes, e as entalpias desse processo são da mesma ordem de grandeza das ligações químicas (ALVES, 2013).

Segundo Boba et. al. (2014), a adsorção pode ser operada em regime batelada ou contínuo. No sistema batelada são empregados tanques de mistura. Já no sistema contínuo são utilizadas colunas de leito fixo que operam por meio de ciclos de regeneração.

A seguir, são apresentados alguns dos fatores relevantes que podem alterar o processo de adsorção. As informações foram extraídas da literatura Curbelo (2002).

- *Temperatura:* Com a elevação da temperatura, a interação entre adsorvente e adsorvato diminui, uma vez que as moléculas adsorvidas têm maiores energias vibracionais, sendo conseqüentemente dessorvidas da superfície.
- *pH:* A influência do pH está diretamente relacionada à capacidade de as espécies a serem adsorvidas sofrerem ionização. O efeito do pH varia conforme a substância utilizada.
- *Velocidade de adsorção:* A adsorção física de substâncias na fase gasosa e de vapor ocorre rapidamente, enquanto que na fase líquida ocorre de maneira lenta, o que se deve ao efeito da viscosidade da substância sobre a velocidade da adsorção, sendo que o aumento da temperatura diminui a viscosidade e aumenta a velocidade do processo.
- *Natureza do adsorvente:* A natureza do adsorvente a ser utilizada está diretamente ligada ao estado da substância a ser adsorvida. Nos processos em que a fase fluida é um gás, os adsorventes precisam apresentar superfície interna bastante desenvolvida. O diâmetro dos capilares que produzem esta área deve ter abertura suficiente para permitir a penetração das moléculas a serem adsorvidas.
- *Área superficial do adsorvente:* A quantidade de adsorvato a ser adsorvida nem sempre será diretamente proporcional à área superficial interna. Segundo Curbelo (2002), a medida da área superficial do adsorvente é obtida a partir da quantidade de gás nitrogênio que pode ser adsorvida a -196°C , ponto de ebulição do N_2 . Se a molécula a ser adsorvida for maior que a do nitrogênio, grande parte desta área superficial interna torna-se inacessível. A superfície do adsorvente será alterada se houver algum tratamento que vise alterar sua carga superficial, a fim de melhorar sua capacidade adsorvativa, e se outras espécies forem adsorvidas, além da molécula de interesse.

Adsorventes

Os adsorventes são substâncias porosas que contêm elevada área superficial para uma determinada massa. Para serem considerados bons, eles devem possuir algumas características, tais como seletividade, resistência mecânica, perda de carga, custo aglomeração, densidade e área superficial (ALVES, 2013). Os adsorventes podem ser naturais ou sintéticos, sendo que os mais comercializados são os adsorventes amorfos: carvão ativado, sílica-gel e alumina ativada, e os adsorventes cristalinos tais como zeólitas (ALVES, 2013).

A utilização de resíduos para a adsorção tem se intensificado, uma vez que eles conferem aplicabilidade a materiais que podem ser considerados sem aproveitamento tecnológico. A seguir, serão apresentados alguns autores que trabalharam com adsorção de corantes propondo adsorventes alternativos, e mais adiante, autores que estudaram a adsorção com cascas de resíduos.

Heidemann et al. (2014), em estudos sobre a viabilidade do caule de mandioca (*Manihotesculenta crantz*) na adsorção de corantes, analisa o resíduo da indústria agroalimentícia como bioissorvente para a remoção de corantes verde malaquita e azul de metileno em solução aquosa, através do processo em batelada. Os autores observaram que as melhores capacidades de adsorção para o corante azul de metileno foram nos valores de pH de 6,0, já para o verde malaquita foram de 4,5 a 6,0. Em condições de elevados valores de pH altos, o corante azul de metileno continua sendo adsorvido, enquanto que o outro corante apresenta queda significativa de adsorção. O equilíbrio foi atingido em cerca de 6 horas para os dois corantes. Foi determinado que o talo da mandioca é um adsorvente viável em ambas as remoções dos corantes.

A casca do tamarindo já foi adotada como objeto de estudo na adsorção de azul de metileno e cromo (VI), por meio de banho finito de líquido, realizada por Gonsalves et al. (2014) e em pesquisas de adsorção de safranina, usando a técnica de coluna, desenvolvida por Júnior et al. (2014).

Gonsalves et al. (2014) utilizaram a casca do tamarindo em estudos de sorção não modificada. O sólido foi caracterizado por estudos de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e área superficial específica (BET E BJH). A cinética de equilíbrio foi alcançada em 120 e 180 minutos para o corante azul de metileno e o cromo (VI), respectivamente. A casca de tamarindo apresentou-se como um material microparticulado e mesoporoso, com superfície contendo majoritariamente grupos ácidos que se ionizam em pH superior a 4,5 e tornam o adsorvente carregado.

Júnior et al. (2014) estudaram a adsorção usando a técnica de coluna sob fluxo hidrodinâmico. A coluna utilizada era de propileno inerte com diâmetro interno de 0,4 cm. A massa de 500 mg de adsorvente *in natura* microparticulado utilizada nos estudos produziu uma altura de leito de 5,5 cm. Foi empregada uma bomba peristáltica para propelar a solução aquosa de safranina, através da coluna, contendo 15,0 mg.L⁻¹ em meio tamponado (NaH₂PO₄ / Na₂HPO₄ pH 7,0), através de uma gama de tempo de fluxo (0 - 360 min), na vazão de 2 mL.min⁻¹ e sob temperatura ambiente (27 ± 2 °C). O estudo obteve sucesso na adsorção de 94% da safranina dentro dos primeiros 30 minutos de funcionamento. Após 360 min, a capacidade de remoção de equilíbrio foi estimada em 12,51 mg.g⁻¹, e o percentual total de remoção foi de 58%.

3. Materiais e métodos

O biomaterial

Os resíduos de tamarindo utilizados como biossorbentes foram coletados em uma empresa destinada ao processamento de polpa de frutas, situada na região do Triângulo Mineiro. O beneficiamento do resíduo se fez por meio da retirada das sementes e fibras residuais. Realizou-se a secagem em estufa à temperatura de 90°C, com recirculação de ar até peso constante. O material seco foi triturado com o auxílio de um liquidificador industrial marca Metvisa, e em seguida peneirado. Foram adotadas como objeto de estudo as cascas retidas nas peneiras de 16, 32 e 48 mesh.

O corante e a curva de calibração

As soluções aquosas de corante azul de metileno foram preparadas previamente nas concentrações de 30 e 50 mg.L⁻¹. A construção da curva de calibração foi realizada em colorímetro CL 3003 Photometer, por meio da leitura da absorbância no comprimento de onda de 660 nm. O ajuste do pH foi realizado por meio da adição de soluções de HCl e NaOH a 0,1 mol.L⁻¹.

Ensaio de adsorção

Os ensaios de cinética de adsorção foram realizados em coluna de vidro de 7 cm de diâmetro. O sistema é composto por válvulas, tanques de armazenamento, coluna de adsorção, bomba, manômetros, painel de controle e rotâmetro. A adsorção em coluna se fez pela passagem do fluido pelo leito fixo, sendo adotadas vazões constantes. A amostragem foi realizada em intervalo de tempo fixo, após a passagem pela coluna de adsorção, medindo-se a absorbância das alíquotas, a fim de se obter o ponto de saturação.

Dentro desse contexto, foram avaliados os efeitos do pH, da granulometria, da concentração sobre a adsorção do corante cujas parametrizações são apresentadas na Tabela 1. Com os resultados obtidos foram construídas as curvas de ponto de ruptura, ou seja, razão entre a concentração do cátion removido e a concentração inicial do corante (C/C₀) em função do tempo. Segundo Alves (2013), o *breakthrough*, ou ponto de ruptura é atingido quando a parte da zona de adsorção atinge o fundo do leito, tornando a concentração do contaminante com um valor apreciável. As quantidades de corantes adsorvidos no processo de biossorção (Q_i) foram calculadas utilizando-se a Equação 01.

Tabela 1. Parâmetros adotados nos ensaios de adsorção

Ensaio	pH	Concentração [mg.L ⁻¹]	Granulometria [mesh]	Altura do leito estático [cm]
1	3,5	30	16	5
2	3,5	30	48	5
3	10,5	50	16	2
4	3,5	30	16	2
5	10,5	30	16	2

$$Q_t = \frac{C_0 Q}{1000} \times \int_0^t \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) dt \quad (01)$$

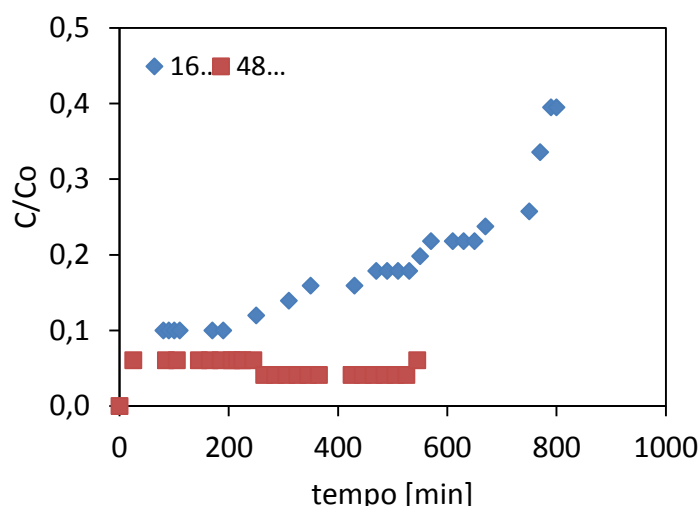
em que: Q_t é a quantidade de corante adsorvido[$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$]; C_0 é a concentração inicial de corante[$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]; C é a concentração de corante [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]; t é o tempo [min]; Q : vazão volumétrica[$\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$].

No estudo do potencial de capacidade de adsorção do corante azul de metileno pela casca de tamarindo, obtiveram-se as curvas de ruptura avaliando-se a influência dos parâmetros: granulometria do bioissorvente, pH e concentração do corante na solução de alimentação do leito e altura de leito estático.

4. Resultados e discussões

A Figura 1 explicita a curva de ruptura para um leito constituído de partículas retidas nas peneiras de 16 e 48 mesh, mantidos constantes (concentração de corante de $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; pH de 3,5 e altura de leito estático de 5 cm). Nota-se que granulometrias menores (48 mesh) promoveram maiores retenções do corante, ou seja, possuem maior capacidade de adsorção. O resultado obtido se deve ao aumento da superfície de contato, que contribui para adsorção, pois a saturação ocorre de forma mais lenta (CURBELO, 2002). Annadurai (2002) acrescenta que, para partículas maiores, tem-se um aumento da resistência ao transporte de massa, sendo que a maior parte da superfície interna da partícula pode não ser utilizada para adsorção. Consequentemente, a quantidade de corante adsorvido é pequena resultando em uma baixa remoção. Resultados similares foram obtidos por Menezes (2010) em sua pesquisa sobre a remoção do corante azul reativo 5G, utilizando o bagaço do maracujá amarelo em sistema batelada.

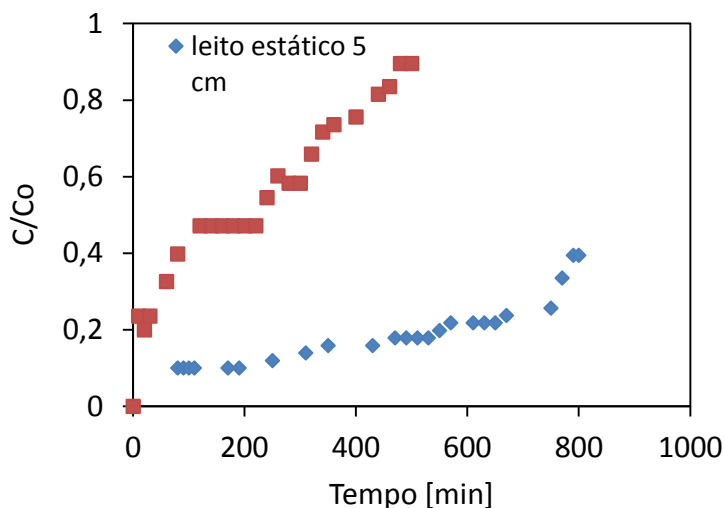
Figura 1. Efeito da granulometria da partícula de tamarindo sobre a adsorção de azul de metileno



A Figura 2 mostra as curvas de ruptura para leitos estáticos de 2 e 5 cm (concentração de corante de $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; pH de 3,5 e granulometria de 16 mesh). Conforme esperado, o aumento da altura do leito resultou no aumento da eficiência de remoção devido

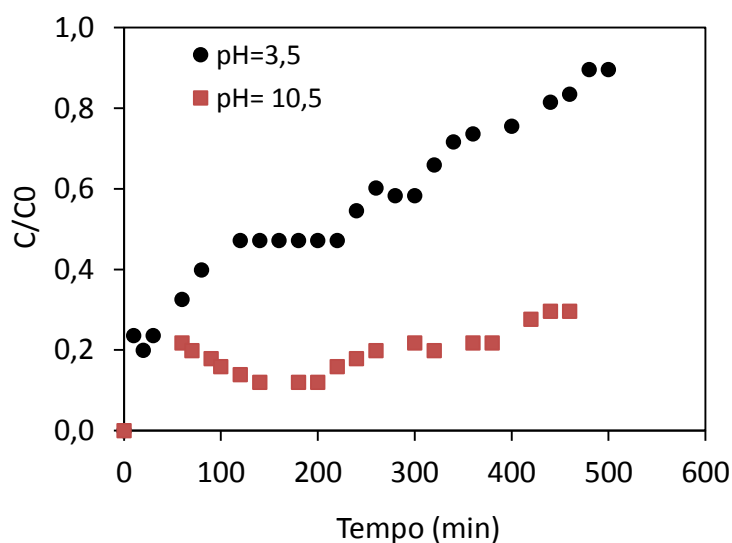
à maior quantidade de adsorvente que confere um acréscimo no número de sítios ativos disponíveis e maior capacidade de adsorção pelo leito.

Figura 2. Efeito da altura de leito estático sobre a adsorção de azul de metileno



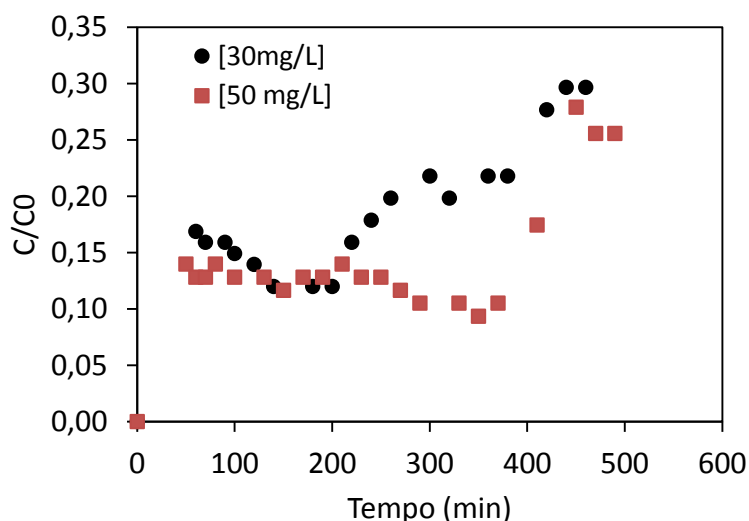
A Figura 3 apresenta as curvas de ruptura obtidas em experimentos dos diferentes pHs, mantidas as demais condições constantes (concentração de corante de 30 mg.L⁻¹; altura de leito de 7 cm e granulometria de 16 mesh). Verifica-se que o pH alcalino favoreceu a remoção do corante. Este fato pode ser explicado pela dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos do adsorvente (MALLETT al., 2006) e pelo caráter catiônico da molécula de azul de metileno. Em pH=3,5 pode ocorrer a competição entre os íons H⁺ em solução e essas moléculas, diminuindo a eficiência de adsorção nesse pH (LEAL et al., 2012).

Figura 3. Efeitos do pH sobre a adsorção utilizando casca de tamarindo



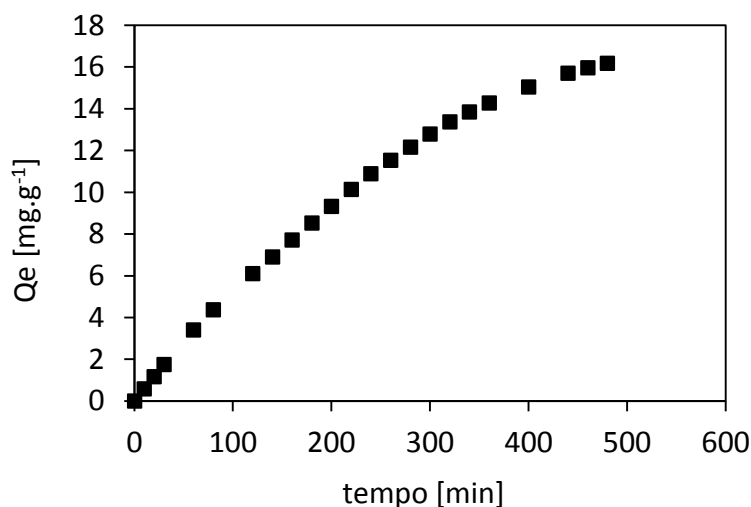
O efeito da concentração da solução de corante é evidenciado na Figura 4, no pH de 10,5; altura de leito estático de 2 cm e granulometria de 16 mesh. Os resultados evidenciam que, em baixas concentrações, o leito satura-se desigualmente em maior proporção. Ao aumentar a concentração inicial de azul de metileno, há mais espécies distribuídas na superfície do adsorvente, o que contribui para uma maior formação de ligações químicas na superfície (LEAL et al., 2012).

Figura 4. Efeito da concentração sobre a adsorção utilizando cascas de tamarindo



Na Figura 5 é apresentado o estudo cinético, sendo avaliada a quantidade de corante removida em função do tempo, até obtenção da saturação da coluna. Ressalta-se que a figura apresenta apenas os resultados obtidos para o ensaio experimental 4, no qual foi possível obter o ponto de saturação (C/C_0 próximo de 1).

Figura 5. Avaliação cinética de adsorção de azul de metileno utilizando cascas de tamarindo



A adsorção do corante azul de metileno pela casca de tamarindo ocorreu de forma mais acentuada nos primeiros 300 minutos, com remoção de ($q(t) = 12,79 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$). O tempo de equilíbrio do sistema estabeleceu-se em torno de 460 min com uma remoção de $15,96 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$.

5. Conclusões

- i. A partir dos resultados obtidos foi possível observar a eficácia da casca de tamarindo como biossorvente na adsorção do corante azul de metileno, fato esse evidenciado pela significativa remoção de corante.
- ii. Pelos resultados obtidos nota-se que as condições ótimas de operação foram pH básico, em torno de 10, elevadas concentrações da solução de azul de metileno, (50 mg/L) e partículas menores de adsorvente, cerca de 48 mesh.
- iii. Os resultados obtidos na adsorção de solução de azul de metileno em resíduos de tamarindo mostram o potencial promissor do uso desse material como adsorvente.

6. Nomenclatura

Simbologia	Descrição	Unidades
Q_t	quantidade de corante adsorvido	$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$
Q_e	quantidade de corante adsorvido no equilíbrio	$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$
k_{dif}	constante de velocidade de difusão intrapartícula	$\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1/2}$
A	taxa inicial de velocidade de adsorção	$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
B	extensão da cobertura da superfície de energia de ativação para a adsorção	$\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$

7. Referências

- ANNADURAI, G., JUANG, R. S., & LEE, D. J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, B92, 263–274, 2002
- ALVES, Fernanda Cristina. *Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde m*. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013
- BONETTO, Luis Rafael. *Estudo da adsorção do corante azul de metileno por um resíduo sólido da indústria de suco de maçã*. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.
- BORBA, Carlos Eduardo et al. *Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa qg e amarelo reativo 3r em carvão ativado*. Paraná: Engevista, 2012.

COLODEL, Cristiane. *Adsorção*. Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABcFwAD/adsorcao#comments>>.

CURBELO, F. D. da S.; OLIVEIRA, E. L. de. *Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada*. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal- RN, 2002.

DONADIO, Luiz Carlos. *Conhecendo melhor o tamarindo*. 2011. Disponível em:
<<http://www.todafruta.com.br/conhecendo-melhor-o-tamarindo/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

GONSALVES, A. A.; LEITE FILHO, C. A.; MEDEIROS, F. S.; ARAÚJO, C. R. M. *Casca do tamarindo: caracterização e estudos de adsorção de azul de metileno e cromo(vi) usando a técnica de banho finito de líquido*. Petrolina- PE: Revista Virtual de Química, v. 6, n. 5, 5 jun. 2014.

HASSEMER, Maria Eliza Nagel; LAPOLLI, Flávio Rubens; AMORIM, Maria Teresa Sousa Pessoa de. *Oxidação por via úmida ativada – uv/h₂o₂ – para degradação da cor de efluentes têxteis*. in: *oxidação por via úmida ativada – uv/h₂o₂ – para degradação da cor de efluentes têxteis*, 23. Florianópolis – SC. Campo Grande/MS: Abes, 2005, p. 1-7.

JUCHEN, P. T. et al. Adsorção e dessorção do corante azul de metileno utilizando o palito de erva-mate, in: *Encontro Brasileiro de Adsorção*, 10, 2014, Guaraja. Guaraja: 2014.

LEAL, Paulo Vitor Brandão et al. Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu. *Journal of Biotechnology And Biodiversity*, p. 166-171, nov. 2012.

MALL, I. D.; SRIVASTAVA, V. C.; AGARWAL, N. K. Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash – kinetic study and equilibrium isotherm analyses. *Dyesand Pigments*, vol. 69, p. 210-223.

MCKAY, G. *Utilização de adsorventes para Remoção de poluentes das águas residuais*. Nova Iorque: CRC, 1995.

OLIVEIRA, P.; SILVA, W. L. L.; VIANA, R. R. *Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio*. São Paulo: Cerâmica 59, p. 338-344, 2013.

ROYER, B. *Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de Araucariaangustifolia como biossorvente*. 68p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SILVA JUNIOR, Robson Pinheiro da; SILVA, Georgetown Almir Oliveira da; ARAÚJO, Cleônia Roberta Melo. *Uso da casca de tamarindo (Tamarindus indica l.) em estudos de adsorção de safranina usando a técnica de coluna*. 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia

Química, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Vale do São Francisco, 2014.

TABELA BRASILEIRA de composição de alimentos. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011.

TWARDOKUS, Rolf Guenter. *Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil*. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis SC, 2004.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO P. A. O descarte dos corantes têxteis. *Ciência Hoje*, Araraquara, v. 29, n. 174, ago. 2001.