

Utilização de coco *in natura* e modificado quimicamente como adsorvente alternativo para tratamento de efluente têxtil

Utilization of chemically modified coconut in natura as alternative adsorbent for the treatment of textile effluent

Natália Carolina de Araújo

Discente Engenharia Química do UNIPAM. e-mail: natalia29_11@hotmail.com

Gustavo Henrique Gonçalves Scarponi

Discente Colaborador Engenharia Química (UNIPAM). e-mail: gustavo.scarponi@outlook.com

Dayene do Carmo Carvalho

Doutora em Química. Professora orientadora (UNIPAM). e-mail: dayenecc@unipam.edu

Resumo: A indústria têxtil é responsável pela liberação de efluentes contaminados com corantes e, quando não tratados corretamente, os mesmos são poluidores ao ecossistema. Existem diversos métodos visando à remoção de corantes dos rejeitos da indústria têxtil, e o uso de bioadsorventes, por exemplo, pode ser um deles. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do mesocarpo do coco-da-baía no tratamento de efluentes têxteis. Foram realizados testes com mesocarpo *in natura* e modificado com HCl, NaOH e CH₃OH, variando massa (0,01 e 0,5 g), pH (3 e 9) e tempo (5 e 60 min.). Realizou-se planejamento fatorial 2³ com ponto central. O mesocarpo *in natura* e modificado com HCl apresentou melhores remoções, sendo estas de 71,28 e 88,24 %, podendo assim ser empregado no tratamento de efluentes têxteis, substituindo ou sendo acrescentados ao tratamento, reduzindo o uso de reagentes químicos. Assim novos estudos devem ser realizados para determinar os valores ótimos.

Palavras-chave: Efluente têxtil. Remoção. Mesocarpo. Coco-da-baía.

Abstract: The textile industry is responsible for the release of contaminated effluents with dyes. When not treated properly, they pollute the ecosystems. There are several methods for removing dyes from waste in the textile industry: the use of bioadsorbents, for example, may be one of them. Therefore, the objective of this article was to evaluate the efficiency of the coconut (*coco-da-baía*) mesocarp in the treatment of textile effluents. Tests were carried out with the material *in natura* and modified with HCl, NaOH and CH₃OH, varying mass (0.01 and 0.5 g), pH (3 and 9) and time (5 and 60 min). Factorial design 2³ was performed with central point. The mesocarp *in natura* and modified with HCl presented better removals, being these of 71.28 and 88.24 %, thus being able to be used in the treatment of textile effluents, replacing or being added to the treatment, reducing the use of chemical reagents.

Keywords: Textile effluent. Removal. *Coco-da-baía*. Mesocarp.

1. Introdução

Nos dias atuais é muito comum, nos meios de comunicação, notícias referentes a problemas com águas. Destacam-se fatos relacionados à escassez do recurso, o uso inadequado, bem como vários conflitos gerados pelas disputas pela água. Além disso, as manchetes relatam contaminações dos mananciais hídricos, que acontecem frequentemente, talvez um dos maiores problemas, o que acarreta problemas ambientais gravíssimos (WANG *et al*, 2007).

A atividade industrial é uma das principais responsáveis por gerar um volume significativo de resíduos, contendo diversas espécies nocivas à saúde humana e ao ambiente natural. Geralmente, esses resíduos são líquidos que necessitam de tratamento prévio antes de serem descartados em águas correntes e/ou solos (BRASIL *et al*, 2007).

Entre os vários setores existentes nas industriais têxteis, o setor de acabamento dos vestuários merece destaque, pois utiliza grandes quantidades de água e de produtos químicos, produzindo elevados volumes de efluentes. Os processos de tinturaria e lavagem são as principais fontes de poluição da água, sendo produzidos aproximadamente 45 a 65 litros de água por quilograma de tecido processado (CARDOSO *et al*, 2004).

Os efluentes provenientes da indústria têxtil têm como característica principal a presença de cor, resultado dos corantes que são aplicados nas operações de tingimento (ZOLLINGER, 1987). A cor interfere na transmissão da luz solar para dentro da corrente de água e prejudica a atividade fotossintética das plantas presentes nesse ecossistema. Além disso, a oxidação biológica desse material consome o oxigênio existente, dificultando a atividade respiratória dos organismos vivos presentes neste habitat, e consequentemente, causando o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (SILVEIRA *et al*, 1990).

Os efluentes têxteis devem ser tratados previamente para serem descartados em recursos hídricos. Os tratamentos para estes efluentes utilizam produtos químicos que podem aumentar os problemas ambientais, sendo mal manuseados, e ter grande carga tóxica (AVELAR *et al*, 2010).

Diante o exposto, é imprescindível a conscientização ambiental para a utilização de métodos mais eficazes, eficientes e de baixo custo. Uma boa proposta de tratamento para esses resíduos poluentes seria o processo de tratamento utilizando adsorção dos corantes presentes nos efluentes têxteis empregando biomateriais (OLIVEIRA *et al*, 2011). Alguns tipos de biomateriais alternativos vêm sendo estudados para utilização no tratamento de efluentes, dentre eles os resíduos agroindustriais se destacam devido ao baixo custo, à redução do impacto ambiental e à grande quantidade disponível (AVELAR *et al*, 2010).

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o mesocarpo do coco *in natura* e modificado com CH₃OH, HCl e NaOH na remoção do corante azul de metileno presente no efluente têxtil. Para isso, foram avaliados a influência de pH, a velocidade de agitação, a massa e o tempo de contato do resíduo com efluente na eficiência de adsorção. Buscou-se verificar o custo benefício dos resíduos agroindustriais para as indústrias e observar se, após o tratamento do efluente com os resíduos agroindustriais, os efluentes seguem a legislação para descarte.

2. Metodologia

2.1. Obtenção da biomassa

Os cocos utilizados foram disponibilizados por vendedores da cidade de Patos de Minas-MG e encaminhados para o Laboratório da Engenharia Química do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM.

2.1.1. Preparação do material adsorvente

Após a obtenção do coco-da-baía, o mesocarpo foi separado e disposto à secagem natural por aproximadamente 24 horas. Logo após, foram levados para desidratador de bandeja (*Pardal*[®] PE 60) para uma secagem completa com temperatura de 70° C, onde permaneceram por aproximadamente 48 horas.

O material foi triturado no liquidificador industrial, (*Metvisa*[®]) na proporção de 50 gramas de biomassa em 1500 mL de água destilada. Bateu-se durante um minuto, fez-se o procedimento por 3 vezes consecutivas, e retirou-se a água parcial contida na amostra através de uma filtração simples. Por fim, realizou-se a secagem em estufa com temperatura de 70° C durante 24 horas.

Em seguida, as amostras passaram pelo moinho de facas (*Moinho de Willey*), em seguida por um processo de peneiramento, utilizando-se o material com granulometria de 48 *mesh*.

Para avaliar a capacidade de adsorção dos materiais para remoção de corantes têxteis presentes em soluções aquosas, foram realizadas modificações químicas com a biomassa *in natura*. Para realizar as modificações, foram usados alguns tratamentos químicos que serão descritos a seguir.

2.1.2. Modificação da biomassa com HCl, NaOH e CH₃OH

Após a secagem e trituração do mesocarpo, foram pesados em balança analítica (Shimadzu) 15g de mesocarpo do coco, misturou-se com 300 mL de HCl, 1,0 mol.L⁻¹. O mesmo procedimento foi realizado com NaOH, 1,0 mol.L⁻¹. Modificaram-se também 15g de mesocarpo do coco, utilizando CH₃OH com teor de 70%. A homogeneização de ambas as amostras foi realizada em mesa agitadora (*Quimis*), durante uma hora e agitação com velocidade 1, de acordo com o aparelho. A dispersão foi filtrada por meio de filtração simples, e o material úmido, seco em estufa a 40° C por 72 horas.

2.1.3. Determinação do ponto de carga zero

Para encontrar o ponto de carga zero, foram preparadas soluções a partir de diluições de ácido clorídrico, obtendo-se concentrações de 1,0 molL⁻¹ e 0,1 molL⁻¹ e básicas a partir de diluições de hidróxido de sódio, obtendo-se as concentrações 1,0 molL⁻¹ e 0,1 molL⁻¹. Os pHs foram ajustados a partir das soluções nas faixas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 com auxílio do pHmetro (*Tecnal*[®] TEC2). Posteriormente, foram misturadas em frascos de polietileno aproximadamente 0,10g da biomassa com 10mL de solução aquo-

sa sob diferentes condições de pHs iniciais, sendo citados acima, e foram armazenadas na temperatura de aproximadamente 20°C. Após 24 horas de equilíbrio, foi aferido o pH final.

2.1.4. Coleta do efluente

O efluente utilizado no presente estudo foi coletado de indústrias têxteis, localizadas na cidade de Patos de Minas-MG. Em seguida foi armazenado em galões de polietileno, previamente higienizados.

2.1.5. Planejamento fatorial

As condições experimentais para adsorção da cor do efluente têxtil foram determinadas por meio de planejamento experimental a fim de obter as condições ótimas do experimento. As variáveis analisadas foram: pH da solução, tempo de contato (min) e massa (g) como segue a Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial

Variáveis	Níveis		
	- 1	0	+ 1
pH	3	6	9
Massa adsorvente (g)	0,01	0,255	0,5
Tempo (min)	5	32,5	60

O experimento foi caracterizado como fatorial 2³, o qual foi realizado em triplicata, em regime batelada, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de planejamento para um fatorial 2³ com repetição do ponto central aplicado ao estudo de remoção de corante em efluentes têxteis.

Ensaio	Massa	pH	Tempo
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

Para o estudo Fatorial foram adicionados 0,01 e 0,5 gramas de amostra em 25 ml de efluentes. Os valores de pH (3 e 9) foram corrigidos e ajustado com HCl (ácido clorídrico) e NaOH (hidróxido de sódio), ambos em 0,1 mol L⁻¹ com auxílio de pHmetro (*Tecnal® TEC2*). As soluções foram homogeneizadas em uma mesa agitadora (*Tecnal® TEC2*) com velocidade 1, durante 5 e 60 minutos. Posteriormente foram filtradas. Os ensaios de 9-11 foram realizados com os valores médios da massa, pH e tempo.

2.1.6. Avaliação da remoção de corante do efluente

As análises do filtrado obtido do tratamento com as amostras foram realizadas por espectrofotômetro UV-VIS (*Thermo Spectronic*), a fim de verificar a remoção de cor. A capacidade de adsorção do material foi, de acordo com a equação 1:

$$\text{Descoloração (\%)} = \frac{(A_{\text{bsi}} - A_{\text{mo}}) \times 100}{A_{\text{bsi}}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

A_{bsi} = Absorbância do efluente bruto

A_{mo} = Absorbância da amostra

Esse procedimento de cálculo de porcentagem de remoção foi utilizado durante todos os testes de remoção do presente trabalho. Assim, garante-se que as variações sejam relacionadas apenas à remoção e não à variação de leitura diária do equipamento. Os valores obtidos foram todos registrados numa planilha eletrônica que identifica a amostra, o valor de absorbância (%) e o comprimento de onda ou região de comprimentos de onda correspondentes (bandas de máxima absorbância).

2.1.7. Tratamento de dados

Os cálculos dos efeitos dos fatores: pH, massa e tempo e as interações entre eles com os seus respectivos erros padrão foram realizados com auxílio do programa *Statistica 13.0®*, e posteriormente plotou-se o gráfico de Pareto com as respectivas interações e o gráfico de superfície.

3. Resultados e discussões

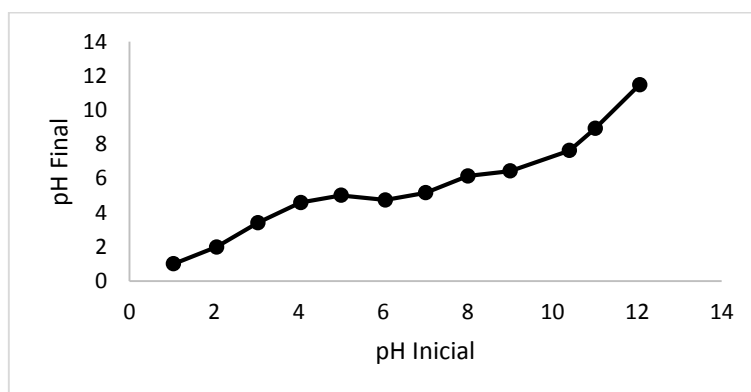
3.1. Ponto de carga zero

Primeiramente, obteve-se a caracterização do ponto de carga zero (PCZ). Os resultados foram expressos por meio do gráfico de pH final versus pH inicial, sendo que

o pH_{PCZ} corresponderá à faixa em que o pH final se mantiver constante (independentemente do pH inicial). A determinação do pH_{PCZ} nos testes preliminares de biossorção é fundamental para a caracterização do adsorvente em estudo, já que o pH da solução e o pH_{PCZ} do adsorvente são fatores importantes no processo, especialmente na capacidade de adsorção.

O pH_{PCZ} é o valor de pH que corresponde ao equilíbrio entre as cargas superficiais positivas e negativas do adsorvente, ou seja, é o valor no qual a carga da superfície do adsorvente é nula (MIMURA *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2005). A Figura 1 representa pH_{PCZ} do mesocarpo do coco *in natura*.

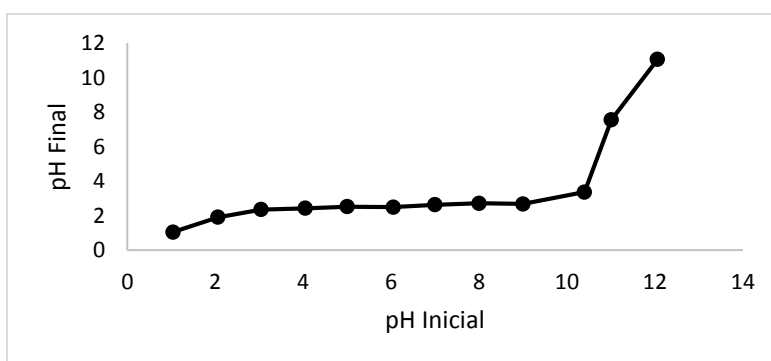
Figura 1. Representação do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) do mesocarpo do coco *in natura*.



Na Figura 1 é possível observar que a faixa de pH que permaneceu constante foi de 4,00 a 6,00, aproximadamente. Nesta região, a carga total da superfície do biossorvente é nula, onde é denominado o pH_{PCZ} para o mesocarpo *in natura*. Assim, é possível observar que em pH maior que 6,00, o mesocarpo apresenta-se negativamente carregado, possuindo a habilidade de adsorver espécies positivamente carregadas, enquanto em pH menor do que 4,00, o material encontra-se positivamente carregado e irá adsorver espécies negativas.

Abaixo está a Figura 2 referente ao ponto de carga zero do mesocarpo de coco modificado com ácido clorídrico (HCl).

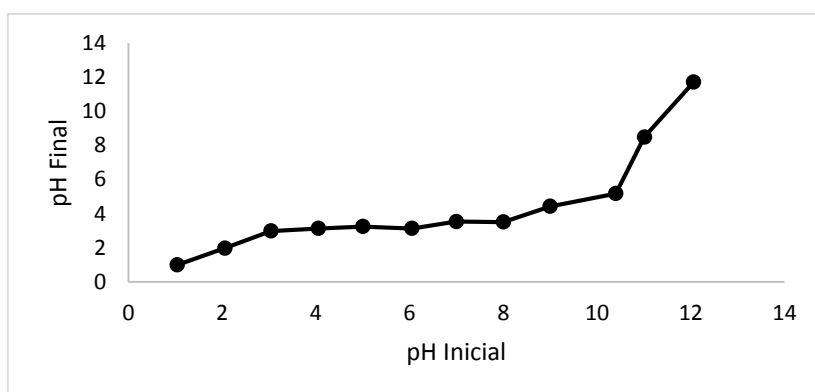
Figura 2. Representação do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) do mesocarpo de coco com modificação em ácido clorídrico (HCl)



Na Figura 2 foi possível observar que a faixa de pH que permaneceu constante foi de 4,00 e 9,00, aproximadamente. Assim, é possível observar que em pH maior que 9,00, o mesocarpo modificado com HCl apresenta-se negativamente carregado, possuindo a habilidade de adsorver espécies positivamente carregadas, enquanto em pH menor do 4,3 o material encontra-se positivamente carregado e irá adsorver espécies negativas.

Encontra-se abaixo a Figura 3, referente ao ponto de carga zero do mesocarpo de coco modificado com CH₃OH.

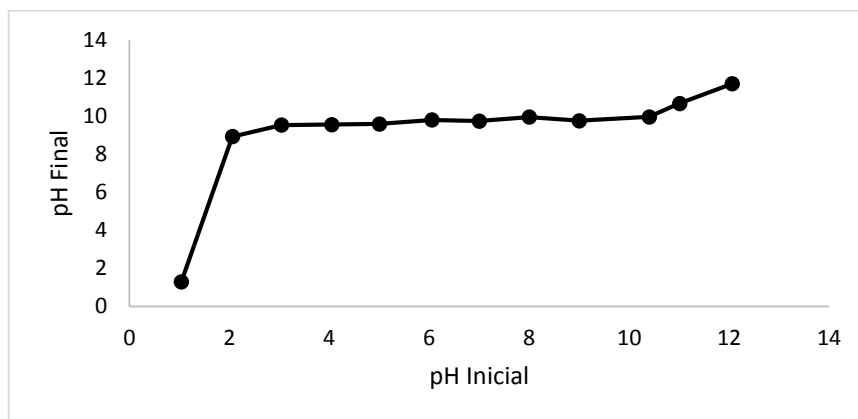
Figura 3. Representação do ponto de carga zero (pH_{pcz}) do mesocarpo de coco com modificação em CH₃OH



Na Figura 3 é possível observar que a faixa de pH que permaneceu constante foi aproximadamente 3 a 8. Assim, é possível observar que em pH maior que 8,0, o mesocarpo modificado com CH₃OH apresenta-se negativamente carregado, tendo a habilidade de adsorver espécies positivamente carregadas, enquanto em pH menor que 3, o material encontra-se positivamente carregado e irá adsorver espécies negativas.

Encontra-se abaixo a Figura 4, referente ao ponto de carga zero do mesocarpo de coco modificado com hidróxido de sódio (NaOH).

Figura 4. Representação do ponto de carga zero (pH_{pcz}) do mesocarpo de coco com modificação com hidróxido de sódio (NaOH).



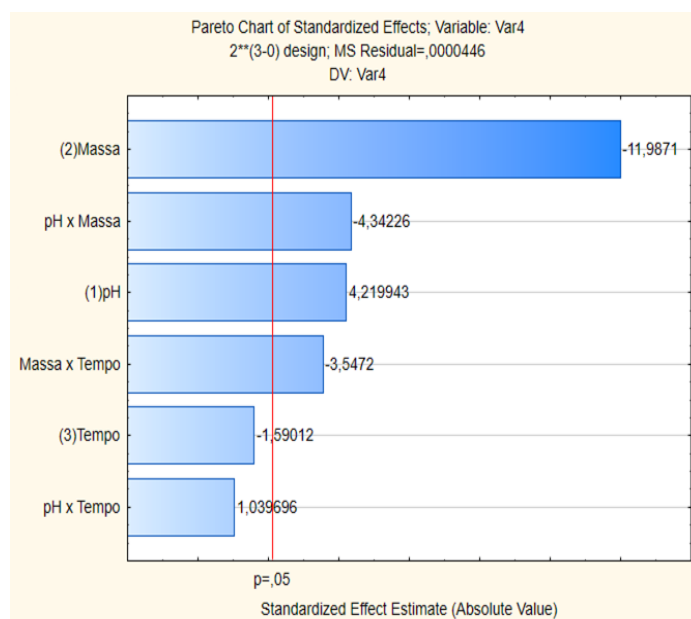
Na Figura 4 é possível observar que a faixa de pH que permaneceu constante foi 3 a 9, aproximadamente. De acordo com Tagliaferro *et al.* (2011), em soluções com pH acima do pH_{PCZ} a adsorção de cátions é favorecida, pois nesse caso o adsorvente apresenta carga superficial negativa, enquanto que em pH abaixo do pH_{PCZ} , a adsorção de ânions é favorecida, já que o adsorvente possui carga positiva. Assim, devido à complexidade das estruturas dos corantes, à falta de uma caracterização completa dos mesmos e à necessidade de maior tempo para avaliação do efeito do pH, optou-se por conduzir os testes de bioadsorção utilizando o valor do pH_{PCZ} de cada bioadsorvente.

4.1.2. Planejamento fatorial

As respostas dos efeitos dos fatores e suas interações são mostradas através do Diagrama de Pareto e Gráfico de Superfície para cada amostra modificada e *in natura*.

Na Figura 5 encontra-se o Gráfico de Pareto com os efeitos para as variáveis do planejamento e suas interações.

Figura 5. Gráfico de Pareto para o processo de adsorção, amostra modificada com HCl



Analisando-se os dados experimentais, observa-se que dos parâmetros estudados, apenas massa, pH x massa, pH, massa x tempo foram significativos.

O valor negativo no diagrama de Pareto para massa significa que, à medida que diminui a quantidade de massa de adsorvente, obtém-se um aumento na capacidade de adsorção. Na interação massa x tempo, teve-se sinal negativo, e isso significa que se houver a diminuição de ambos, obtém-se uma melhor remoção de corante. Na interação de pH x massa, obteve-se sinal negativo, o que indica que, se houver redução de ambos, haverá melhor eficiência de remoção do corante têxtil. O valor positivo para pH indica que, à medida que o pH aumenta, a remoção de corante será melhor no tratamento.

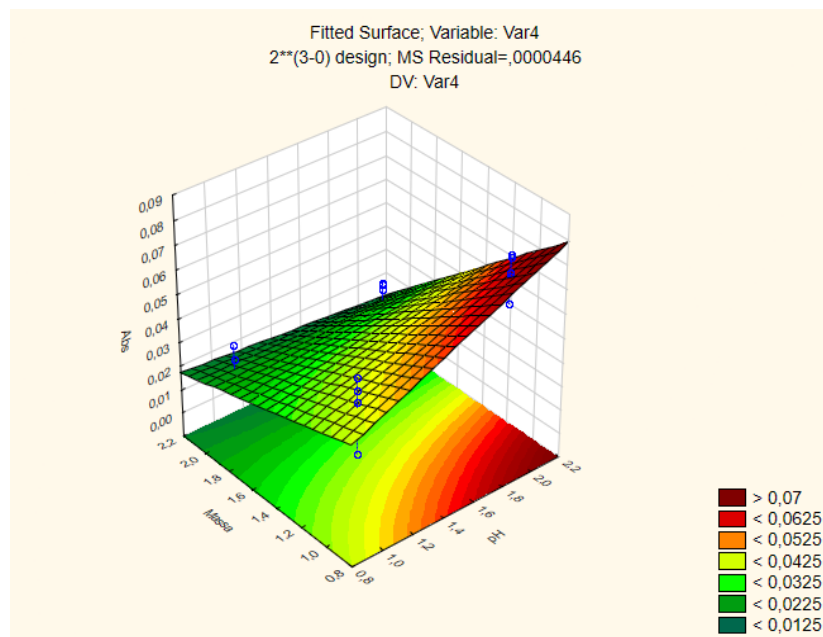
Após a avaliação do Gráfico de Pareto plotou-se um gráfico de superfície. O gráfico de superfície de resposta é uma técnica estatística utilizada para a modelagem e análise de problemas nos quais a variável resposta é influenciada por vários fatores, cujo objetivo é a otimização dessa resposta (COMPARINI *et al.*, 2017).

Para a plotagem de gráfico de superfície, o programa faz codificação dos valores das respectivas variáveis. A codificação apropriada dos dados é um fator importante para a análise da superfície de resposta. Depois disso, as gerações dos modelos padrões e a verificação da adequabilidade desses modelos são realizadas. O terceiro passo consiste em fornecer um resumo adequado da superfície de resposta. No quarto e último passo, visualiza-se a superfície de resposta e a possível presença de valores críticos (COMPARINI *et al.*, 2017).

Assim, após a codificação dos valores das respectivas variáveis massa, pH e adsorção, avaliam-se as tendências dos resultados obtidos no planejamento fatorial. Abaixo segue a Figura 6.

A Figura 6 mostra que há uma tendência de melhor remoção do corante têxtil no efluente em maiores valores de pH do que o testado (pH=9) e em quantidades menores que 0,01g de massa de adsorvente.

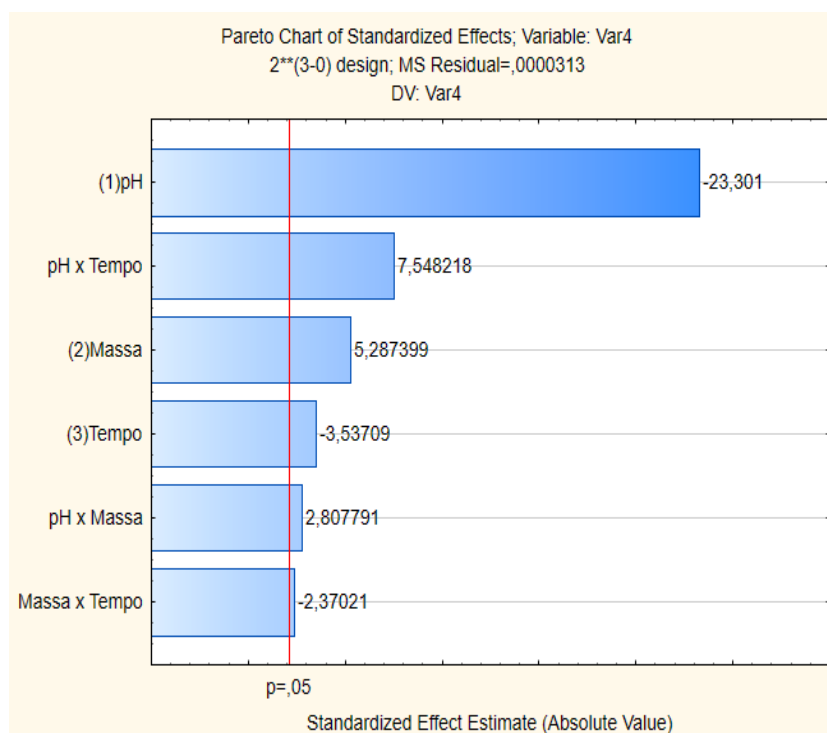
Figura 6. Representação do gráfico de superfície para amostra modificada com ácido clorídrico



De acordo com pH_{PCZ} realizado, observa-se que pH maior que 9,00 favorece a remoção do corante, e o mesocarpo do coco modificado com HCl apresenta-se à superfície do material carregada negativamente com íons OH^- , favorecendo a adsorção de espécies catiônicas presentes na solução.

Abaixo, segue a Figura 7, relacionada com a modificação do biomaterial com CH_3OH , mostrando as influências das variáveis e suas interações.

Figura 7. Representação gráfica de Pareto para biomassa de mesocarpo de coco modificada com metanol



Analisando os dados experimentais, todos os parâmetros analisados foram significativos. O valor negativo no diagrama de Pareto para o pH indica que, à medida que o pH diminui, a remoção do corante aumenta. Royer (2008), utilizando casca de semente de *Araucária angustifolia*, obteve resultados semelhantes ao do presente trabalho. Isso ocorre por haver a interação das pontes de hidrogênio presente no corante azul de metileno com a fibra de coco, elevando assim a atração da superfície positiva do adsorvente e o corante aniônico (FURMANSKI,2012), havendo assim a remoção do corante pela fibra.

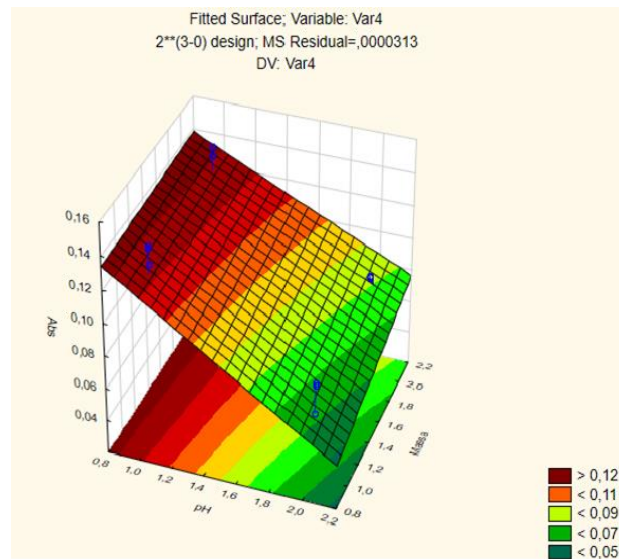
Para o resultado positivo da massa, significa que, à medida que aumenta a quantidade de massa de adsorvente, obtém-se um aumento na capacidade de adsorção.

A interação pH x tempo possui sinal positivo, indicando que ambos interagem e são significativos para o processo de remoção de corante no efluente têxtil. A interação pH x massa possui sinal positivo, indicando que ambos interagem, e se aumentarem os valores de ambos, isso contribuirá para o processo de remoção de corante no efluente têxtil.

A interação massa x tempo possui sinal negativo, indicando que ambos interagem, e se diminuirmos os valores de ambos, isso contribuirá para o processo de remoção de corante no efluente têxtil. O resultado negativo de tempo indica que, ao diminuir o tempo de contato efluente e adsorvente, obtém-se melhor remoção do corante têxtil.

Abaixo, segue a Figura 8, relacionada com a modificação do biomaterial com etanol, mostrando as influências das variáveis e suas interações.

Figura 8. Representação do gráfico de superfície para amostra modificada com metanol

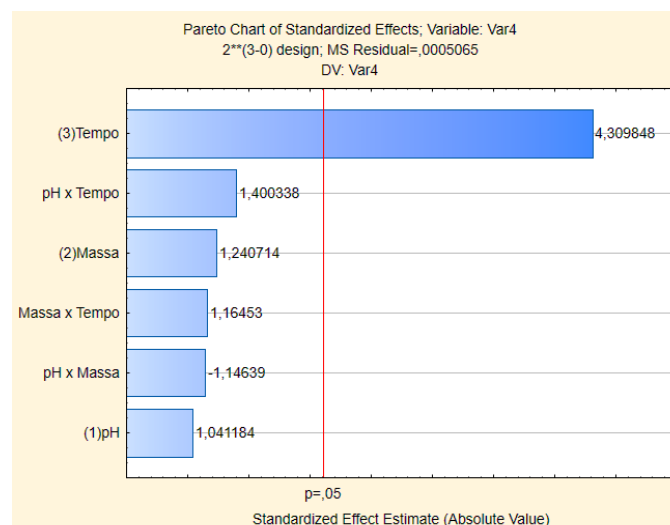


A Figura 8 demonstra que há uma tendência de melhor remoção do corante têxtil no efluente, em menores valores de pH do que o testado (pH=3) e em quantidades maiores de adsorventes que a utilizada no estudo, visto que, aumentando a quantidade de adsorvente, maior será a adsorção, ou seja, maior a disponibilidade de sítios para a adsorção.

De acordo com pH_{PCZ} encontrado, em pH menor que 3, o material encontra-se positivamente carregado e irá adsorver espécies negativas, indicando que os sítios superficiais do mesocarpo do coco estão protonados e a superfície da solução, carregada positivamente com ions H^+ , favorecendo a adsorção de espécies aniônicas.

Abaixo, segue a Figura 9 relacionada com a modificação do biomaterial com hidróxido de sódio, mostrando a influência das variáveis e suas interações.

Figura 9. Representação gráfica de Pareto para biomassa de mesocarpo de coco modificada com hidróxido de sódio

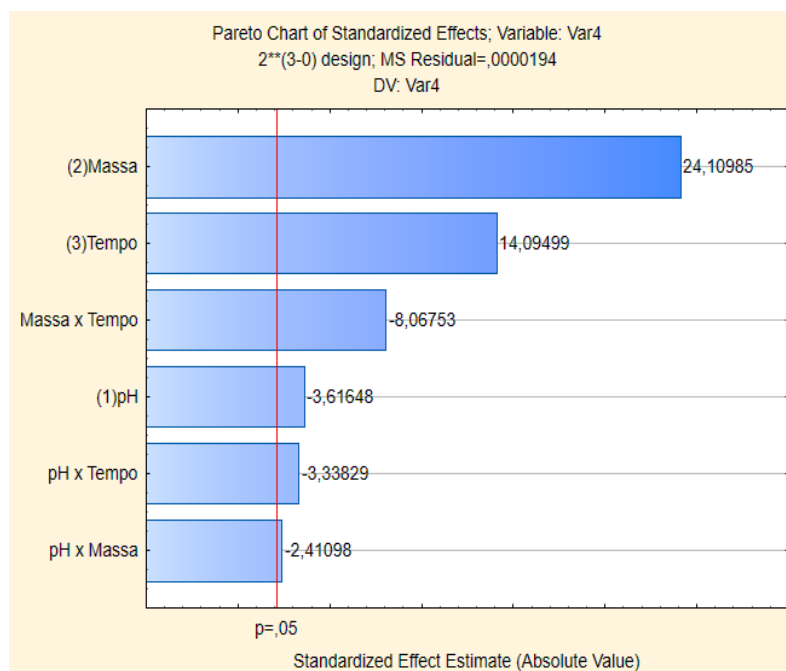


Analisando os dados experimentais, pode-se observar que apenas a variável tempo foi significativa. O sinal positivo para tempo indica que, para obter melhores resultados de adsorção do corante têxtil, deve-se aumentar o tempo de contato adsorvente e efluente.

De acordo com Luís (2009), a capacidade de adsorção e a eficiência de remoção de um adsorvato por um bioadsorvente aumentam quando o tempo de contato é prolongado. Para Shimmel *et al.* (2008), isso ocorre devido à grande quantidade de sítios vazios do bioadsorvente estar disponível para a adsorção do corante. No decorrer do tempo, a quantidade de sítios vazios diminui, tornando o processo mais lento até atingir um valor constante, não havendo mais remoção de corante da solução a partir desse momento.

Abaixo, segue a Figura 10 relacionada com a modificação do biomaterial *in natura*, mostrando a influência das variáveis e suas interações.

Figura 10. Representação gráfica de Pareto, para biomassa de mesocarpo de coco *in natura*



Observando o gráfico de Pareto, conclui-se que massa, massa x tempo, pH, pH x tempo e pH x massa têm significância no processo.

O valor negativo no diagrama de Pareto para o pH indica que, à medida que o pH diminui, a remoção do corante aumenta. O mesmo é observado por Cervelin (2010), que obteve maior remoção do corante azul de metileno, a 30°C e 100 rpm e pH = 1, utilizando *Salvinia sp. in natura* e pré-tratada com H₃PO₄. Os resultados da autora indicam uma redução na eficiência de bioadsorção da *Salvinia sp. in natura* quando há alteração de pH, de 87,78% em pH = 1 para 25,50% em pH = 3.

O resultado positivo da massa significa que, à medida que aumenta a quantidade

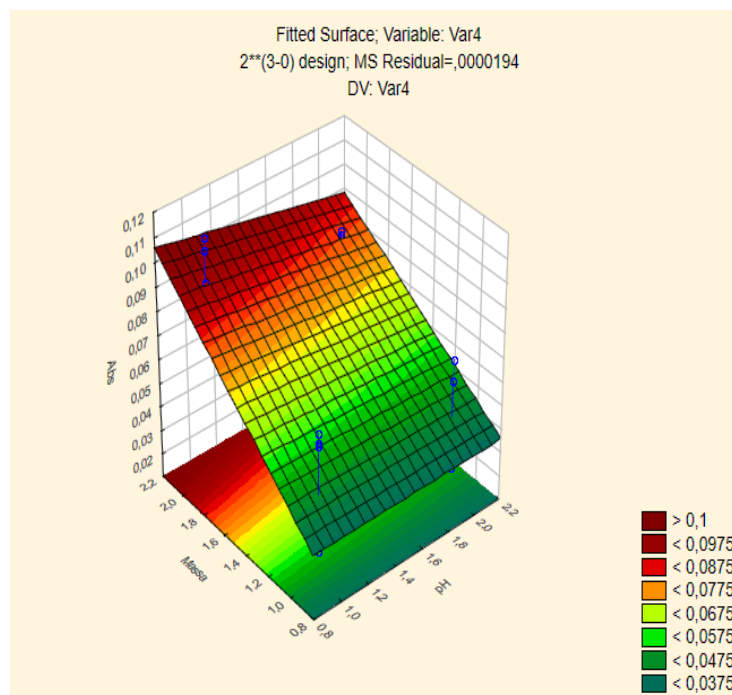
de massa de adsorvente, obtém-se um aumento na capacidade de adsorção. Alves (2013) mostrou que a quantidade removida aumenta com o aumento da quantidade de massa de adsorvente até 0,1 g. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que uma maior quantidade de massa aumenta a quantidade de área superficial do material e, com isso, há mais sítios disponíveis para a adsorção (CLARK, 2010).

O valor positivo para tempo significa que, ao aumentar o tempo de contato de efluente com adsorvente, aumenta a capacidade de adsorção.

Na interação de pH x massa, obteve-se sinal negativo, o que indica que se houver diminuição de ambos, haverá melhor eficiência de remoção do corante têxtil. Na interação de pH x tempo, obteve-se sinal negativo, o que indica que, se houver redução de ambos, haverá melhor eficiência de remoção do corante têxtil. A interação massa x tempo possui sinal negativo, indicando que ambos interagem e que, se diminuir os valores de ambos, isso contribuirá para o processo de remoção de corante no efluente têxtil.

A seguir, na Figura 11, há representação do gráfico de superfície utilizando bio-material *in natura* mostrando a influência das variáveis e suas interações.

Figura 11. Representação do gráfico de superfície para amostra sem modificação



A Figura 11 demonstra que há uma tendência de melhor remoção do corante têxtil no efluente, em menores valores de pH do que o testado (pH=3) e em quantidades maiores de adsorventes que a utilizada no estudo, visto que, aumentando a quantidade de adsorvente, maior será a adsorção, ou seja, maior a disponibilidade de sítios para a adsorção.

Feito o pH_{PCZ} , observou-se que em pH menor que 4,00, o material encontra-se positivamente carregado e irá adsorver espécies negativas, podendo assim verificar que

o material *in natura* obteve melhor remoção em pH abaixo de 3. De acordo com Tagliaferro *et al.* (2011), em soluções com pH abaixo do pH_{PCZ} , a adsorção de ânions é favorecida, já que o adsorvente possui carga positiva.

4.1.3. Capacidade adsortiva

Para o estudo de remoção, foi calculada a porcentagem de remoção obtida em cada tratamento. A Tabela 3 apresenta as maiores remoções obtidas para cada material.

Tabela 3. Capacidade de remoção de cor do efluente

Tratamento	Material	Remoção (%)	Desvio Padrão
1	HCl	88,24	0,001
2	NaOH	22,87	0,002
3	CH ₃ OH	46,08	0,004
4	<i>in Natura</i>	71,28	0,003

Considerando as melhores remoções para cada material, observaram-se, de maneira geral, as seguintes condições: (1) 0,5 g, 60min, pH 3; (2) 0,01 g, 60 min, pH 9; (3) 0,01g, 60 min, pH 3; (4) *in natura* 0,01g, 5min., pH 3.

Com os dados da Tabela 3 pode-se observar que o tratamento 1 apresentou melhor remoção de corante quando comparado com os demais tratamentos. De acordo com Botrel (2012), o aumento da capacidade de adsorção está relacionado com o aumento da quantidade de adsorvente empregada, podendo assim estar associado ao aumento da quantidade de sítios ativos necessários à acumulação e à interação de moléculas de adsorvato. Desde que a quantidade de moléculas de adsorvato se mantenha constante, a quantidade de adsorvente pode ser considerada uma medida diretamente proporcional ao número de sítios em interação.

De acordo com Cunha (2014), nos testes conduzidos com 0,5g de bioadsorvente *Salvinia* sp. e casca de arroz ambas *in natura* com 50mL da solução preparada a partir de azul 5G e vermelho 4B, as amostras foram submetidas à agitação orbital constante (100 rpm e 30°C) em intervalos de tempo de 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90 e 120 minutos. Os resultados de adsorção obtidos com os bioadsorventes *in natura* não foram eficientes e indicam que estes bioadsorventes não são apropriados para a remoção dos corantes nas condições experimentais deste estudo. No presente trabalho utilizando 0,01g de mesocarpo do coco, obtiveram-se 71,28% de remoção, considerado um ótimo resultado.

De acordo com Botrel (2013), os menores percentuais de remoção em valores de pH básicos podem ser atribuídos tanto à perda da carga positiva do corante quanto à repulsão eletrostática de grandes quantidades de grupos superficiais carregados negativamente no biomaterial.

O autor Silva (2015) avaliou 0,5 e 1,5g de fibra do Ouricuri *in natura* e observou que 0,5g para 50 ml da solução do corante azul de metileno foi a quantidade ótima em seus testes. No presente trabalho, a massa mínima testada foi menor mostrando eficiência no tratamento.

5. Conclusão

Ao analisar o poder de adsorção de azul de metileno por rejeito fibroso do cocoda-baía, foi possível investigar a influência das variáveis de processo: massa de adsorvente, tempo e pH do efluente, através da utilização do planejamento experimental 2³. A máxima capacidade de adsorção alcançada foi com 0,5g de mesocarpo de coco, com tempo de agitação de 60 minutos e pH=3,00. Novos estudos devem ser realizados para determinar os valores ótimos de massa, pH e tempo.

O mesocarpo do coco mostrou uma alternativa promissora e viável para a remoção de corante, tendo em vista que este adsorvente, consideravelmente abundante e de baixo custo quando comparado aos adsorventes químicos, favorece a aplicação em escala industrial, em que o custo envolvido no tratamento do efluentes líquidos é oneroso.

Referência

ALVES, Fernanda Cristina. *Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde malaquita*. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica,, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

AVELAR, F.F.; BIANCHI, M.L.; GONÇALVES, M.; MOTA, E.G. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. *Bioresource Technology*, 101 (2010).

BRASIL, Jorge L. et al. *Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente*. Porto Alegre, 30(3):548-553, 2007.

BOTREL, Bianca Mesquita Coelho. *Aproveitamento de resíduos agroindustriais na adsorção do corante azul de metileno: aliança favorável entre viabilidade econômica e desenvolvimento sustentável*. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, 2013.

CARDOSO M.H.; RAMALHO P. *Biodegradação de corantes de efluentes têxteis por leveduras*. Universidade do Minho, 2004.

CERVELIN, Patrícia C. *Avaliação da remoção do corante comercial reativo azul 5G utilizando macrófita *Salvinia* sp.* 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2010.

CLARK, H. L. M. *Remoção de Fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café*. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

COMPARINI, Anaisa et al. *Metodologia de superfície de resposta: uma introdução nos softwares*

R e statistica. Disponível em: <http://conteudo.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos_enviados/BIBLIOTECA_113_RT_376.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2017.

CUNHA, Bruna dos Santos. *Utilização de biossorventes alternativos na remoção de corantes têxteis*. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

FURMANSKI, Luana Milak; COSTA, Patrícia Darolt de; DOMINGUINI, Lucas. *Estudo da cinética de adsorção de azul de metileno por resíduos fibrosos de bananeira*. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279272277_ESTUDO_DA_CINETICA_DE_ADSORCAO_DE_AZUL_DE_METILENO_POR_RESIDUOS_FIBROSOS_DE_BANANEIRA>. Acesso em: 03 nov. 2016

LUÍS, Paula Maria dos Santos de Sá. *Remoção de cor em efluentes têxteis por adsorção em materiais inorgânicos de origem natural*. 2009. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

OLIVEIRA, R; SILVA, R C. O. *Biossorção de cromo (VI) utilizando cascas de jabuticaba*. 2011. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Curso de Bacharelado em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

SCHIMMEL, D.; ZANELLA, K.; SANTOS, W. J.; COLDEBELLA, C.; SILVA, E. A. Estudo da difusividade efetiva do corante azul turquesa QG em carvão ativado comercial, in: *V Enditec - Encontro Nacional de Difusão Tecnológica*, 2008, Medianeira. Anais do V Enditec - Encontro Nacional de Difusão Tecnológica, 2008.

SILVA, T. S.; HENRIQUE, D. C.; MEILI, L.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V. *Utilização da fibra do ouricuri (syagrus coronata) na remoção do corante azul de metileno: variáveis de processo e isoterma de adsorção*", pp. 1230-1239, in: *Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP 2015* [=Blucher Engineering Proceedings]. São Paulo: Blucher, 2015.

SILVEIRA, S. S. B.; SANTANNA, F. S. P. *Poluição hídrica*. Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos. Brasília: PNDU/IPEA, p. 57- 84, 1990.

TAGLIAFERRO, Gerônimo V. et al. Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio (v) hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea. *Química Nova*. São Paulo, 34(1):101-105. 2011.

WANG, S.; LI, H. T. Kinetic Modelling and Mechanism of Dye Adsorption on Unburned Carbon, *Dyes Pigm.* n. 72, 207, pp. 308–314.