

ESTUDO DA REMOÇÃO DO CORANTE REATIVO AZUL MR GG 80% PELA ADSORÇÃO DE MICROESFERAS DE QUITOSANA

*Antônio Veridiano Sousa Santiago¹, Izabelly Larissa Lucena², Zilvam Melo dos Santos³
1-Autor; 2-Orientadora e 3-Coorientador*

Resumo: A indústria têxtil é de suma importância para a economia mundial, é responsável por gerar milhões de empregos no Brasil, produzindo para os mais diversos fins que estão ligados a vida de todas as pessoas. Apesar disso, ela é a responsável por alguns problemas ambientais causados devido a enorme quantidade de água gasta, que consequentemente acaba gerando uma grande quantidade de efluentes. Sendo assim, para reduzir os possíveis danos ambientais é necessário tratar estes efluentes. A adsorção é um dos processos utilizados para o tratamento desses efluentes contaminados. A quitosana é um ótimo adsorvente obtido da quitina, possuindo uma enorme quantidade de matéria prima de origem renovável, é biodegradável e não nocivo para o meio ambiente. Visando avaliar a influência do pH, da concentração inicial de corante e do teor de quitosana na água para o processo de adsorção pelas microesferas de quitosana, foram realizados experimentos alterando as três variáveis. Onde podemos observar que, baseado nos resultados obtidos, o teor de quitosana é o fator mais significativo no processo de adsorção do corante reativo azul MR GG 80 % entre os três fatores, dentro dos parâmetros estudados.

Palavras-chave: Corante; adsorção; quitosana; planejamento experimental.

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é a área em que transformam fibras sintéticas ou naturais em produtos como roupas e tecidos, é responsável por uma parte importante da economia mundial. No Brasil gera centenas de milhares de empregos, sendo uma das maiores indústrias têxtil do mundo, tendo em vista que ela produz uma gama muito diversificada de produtos que vão ter utilização, na área da saúde e até mesmo no cotidiano da maioria das pessoas [1].

É inegável que este setor desempenha uma ampla importância tanto economicamente, como também pela alta versatilidade dos diversos produtos feitos por ela, entretanto, apesar dela apresentar uma série de benefícios tanto de custo como de multifuncionalidade, a produção têxtil apresenta uma demanda enorme de água para seus processos, o que por ventura também acaba gerando uma grande quantidade de efluentes industriais contaminados com diversos resíduos [2,3].

Devido a isto, este ramo é responsável por causar uma gigantesca série de problemas ambientais, uma vez que, além de ser uma das indústrias que mais consomem água em seus processos, os resíduos e contaminantes contidos nos efluentes gerados, podem ser tóxicos ou causarem mudanças nos locais onde são despejados, sendo possivelmente em rios ou lagos. Levando a morte de espécies da fauna e flora, causando um desequilíbrio ambiental em toda a área próxima destas regiões [2,3].

Um destes contaminantes mais comum nos efluentes deste setor, é o corantes usados no tingimento dos produtos, o excedente de corante que não se fixa nas peças acaba permanecendo na água, e caso não seja removido do efluente gerado, pode ser tóxico para os seres vivos da região, mesmo quando não é prejudicial aos organismos dessas espécies, pode acarretar problemas indiretamente para elas [4].

Sabendo que a presença de corantes nos efluentes industriais, é o contaminante mais abundante e mais frequente devido o processo de tingimento, presente na fabricação de boa parte dos produtos têxteis, são necessários métodos eficientes e baratos para remover corantes da água despejada deste tipo de indústria para diminuir os problemas ambientais causados [4].

Mediante a importância de reduzir os impactos causados pelas indústrias têxteis, o presente estudo busca determinar quais condições que afetam a adsorção do corante reativo azul MR GG 80 % através da quitosana em microesferas, como também determinar a melhor condição onde há maior remoção de corante.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Corantes.

Os corantes apesar de parecerem inofensivos, sendo que sua função é somente alterar a cor e tonalidade de outras matérias, como de alimentos ou tecidos. Dependendo do tipo de corante utilizado e suas características, podem causar danos à saúde devido a sua composição ou mesmos provocando outros malefícios, como a

diminuição da oxigenação da água em rios e lagos. Uma vez que, a mudança de cor da água provoca a alteração da quantidade de luz que chega em plantas subaquáticas, afetando a fotossíntese e produção de oxigênio destas plantas, ainda mais que dependendo do corante, uma concentração de poucos miligramas por litro pode causar uma mudança perceptível na cor da água [5].

2.1.1. fixação dos corantes.

A fixação dos corantes nas fibras se deve principalmente as ligações químicas covalentes, iônicas, de hidrogênio e de Van der Waals que são formadas entre o corante e a fibra, o que junto com a estrutura do corante determinam seu tipo de classificação [4].

Os tingimentos baseados nas ligações iônicas ocorrem com base na interação do grupo positivo na fibra e a carga negativa do corante. As interações de hidrogênio consistem na ligação entre os átomos de hidrogênio do corante e os pares de elétrons livres da fibra. As interações de Van der Waals são formadas através da interação causada pela proximidade entre orbitais p, devido as suas afinidades, sem formar ligações. As interações covalentes nada mais são do que uma ligação covalente formada por um grupo do corante e um grupo presente na fibra [4].

2.1.2. Caracterização dos corantes.

Neste trabalho foi estudado a remoção do corante reativo azul MR GG 80% por meio da adsorção utilizando a quitosana em forma de microesferas. Existem diversas classes de corantes como os corantes reativo, azoicos, dispersivos, pré-metalizados, branqueadores [4].

Sendo os corantes reativos aquele contendo um grupo eletrolítico que é capaz de formar ligações covalentes com os grupos hidroxilas [4].

2.1.3. Remoção dos corantes.

A remoção de corantes pode ser de natureza física, quando envolve características como densidade e tamanho da partícula. A química quando se dá por meio de reações iônicas e covalentes. A biológica quando há a degradação por meio de micro-organismos. Sendo a adsorção um processo já utilizado para a remoção de corantes, sendo de natureza física e/ou química [6].

2.2. Adsorção.

A adsorção é um fenômeno de transferência de massa em que uma substância denominada de adsorvato presente em um fluido se liga a superfície de um sólido chamado de adsorvente. Sendo um processo de característica física quando ocorre somente a interação por meio de ligações de Van der Waals que são mais fracas, ou de natureza química quando há a formação de ligações mais fortes como as covalentes [6].

A adsorção já é um dos meios para remover corantes têxteis, mas o adsorvente comumente utilizado se trata do carvão ativado, o que acaba tornando o processo de remoção muito caro para o setor têxtil devido o preço deste adsorvente, tornando o estudo de outros adsorventes eficientes comparados ao carvão ativado necessários [7].

A adsorção de corantes por meio da quitosana é bastante estudado como um possível substituto do carvão ativado, mas estes estudos geralmente são feitos para a quitosana em pó, carecendo de teste da adsorção promovida por outras morfologias em que a quitosana pode ser moldada, como esferas, membranas e fios, onde pode desempenhar diferenças na análise, devido a isso este estudo se dará para a quitosana em forma de microesferas.

2.3. Quitosana e quitina.

A quitina é um polissacarídeo encontrado na natureza, sendo constituída de uma longa cadeia de um derivado da glicose, obtido predominantemente das carapaças de crustáceos e insetos. Encontrado em abundância na natureza, sendo o segundo polímero natural mais abundante, enquanto o primeiro é a celulose. Pelo processo de desacetilação, onde o grupo etanamida é alterado na molécula para um grupo amina através de uma reação fortemente alcalina, quando o grau de desacetilação da quitina é maior do que 50 %, passasse a ser considerada quitosana [8].

A quitosana é um polímero natural, biodegradável com uma fonte de obtenção considerada renovável e presente em ampla quantidade no mundo, com diversas propriedades positivas como a grande capacidade de adsorção, sendo capaz de adsorver diversas substâncias como fármacos e corantes [8].

2.4. Fatores que interferem na adsorção.

Existem diversos fatores que podem interferir na adsorção, como a temperatura, tempo de contato, tamanho das partículas, pH, quantidade de adsorvente e de adsorvato, dentre eles foram estudados três fatores que podem influenciar a quantidade de remoção de corante na solução [8].

2.4.1. pH.

O pH pode afetar a carga presente na superfície do adsorvente, alterando a interação existente das partículas, assim como é possível que altere características do adsorbato de forma a alterar a adsorção [8].

2.4.2. Quantidade de adsorvente.

Quanto maior a quantidade de adsorvente, maior será a quantidade de corante removida, já que se tornara mais fácil de ocorrer a interação entre o adsorvente e o adsorbato, mas é preciso se atentar na proporção com maior eficiência, pois a partir de uma determinada quantidade adicionada terá um desperdício de adsorvente que não será capaz de adsorver seu máximo.

2.4.3. Concentração inicial de adsorvato.

Quanto maior a concentração inicial, maior será a interação e menor o tempo para uma determinada massa ser adsorvida, tornando o tempo para alcançar a condição de equilíbrio menor.

3. METODOLOGIA

A partir de testes preliminares, foi elaborado um planejamento experimental, para poder determinar as variáveis que possivelmente teriam uma influência no processo e demandar um número de experimentos menores, mas que pudessem representar significado para a análise proposta.

3.1. Planejamento experimental

Considerando as características do corante e do processo de adsorção, visando obter as melhores condições de remoção de corantes, observamos três variáveis: pH, o teor de quitosana e a concentração inicial de corante. A Tabela 1 apresenta o intervalo de valores utilizado para cada variável estudada.

Tabela 1. Intervalo adotado (autoria própria)

Variáveis	Valor mínimo (-1)	Valor central (0)	Valor máximo (1)
pH (X ₁)	4	7	10
Teor de quitosana (g L ⁻¹) (X ₂)	0,5	1,75	3
Concentração de corante (mg L ⁻¹) (X ₃)	50	125	200

Para determinar a influência de cada parâmetro e poder aferir os parâmetros de maior remoção com um mínimo de experimentos, obtendo resultados significativos, utilizou-se um planejamento experimental fatorial completo de 2^k.

Como são três variáveis analisadas, o número de experimentos foram oito, realizados nos extremos dos intervalos adotados, e uma triplicata no ponto central para determinar o erro experimental, totalizando onze ensaios. A matriz de experimentos realizados consta na Tabela 2 que foram realizados em ordem aleatória.

Tabela 2. Matriz de planejamento (autoria própria)

Corrida	pH	Quitosana (g L ⁻¹)	Corante (mg L ⁻¹)
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

3.2. Método

3.2.1. Dados espectrofotométricos

Com a utilização de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, foi preparado uma solução com caráter básico e uma com caráter ácido, com o pHmetro (TECNAL, modelo Tec-3MP), foram adicionadas as soluções de NaOH e HCl para até obter uma solução de água nos pH's 4, 7 e 10.

Os valores de pH foram escolhidos com base na propriedade da quitosana que em meios muito ácidos, a quitosana se torna solúvel, o que impossibilitaria aferir a remoção de quitosana, por isso foi utilizado o pH 4, o pH 7 para ter uma medida em meio neutro e em pH 10 em meio básico para ter um comparativo do comportamento entre os três meios [9].

Obteve-se o comprimento de onda máximos de absorção de luz de cada pH para o corante azul reativo MR GG 80% através da curva analítica do espectrofotômetro (GEHAKA, modelo UV-Vis 340 G). A curva analítica mostra a quantidade de luz absorvida pela solução referente a um dado comprimento de onda, para cada pH foi utilizado o comprimento de onda onde ocorreu a maior absorção de luz, para o pH 4 e 7 sendo o mesmo valor de 615 nm, enquanto que para o pH 10 teve uma leve mudança, onde a maior absorção de luz foi no comprimento de onda de 599 nm. Para estes comprimentos foi feita a leitura da absorbância de cada solução pelo espectrofotômetro.

Foi pesado uma massa de 5 mg de corante em uma Balança Analítica (INCA TECNOLOGIA, modelo 220 g (0,1 mg) Bivolt) e dissolvido em 0,1 L de água para obter uma solução mãe de 50 mg L⁻¹ para cada um dos três valores de pH utilizados na Tabela 2, em seguida foi feita a diluição de cada solução mãe para a concentração de 2, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 mg L⁻¹.

Com os dados da absorção de cada diluição, traçou-se uma curva analítica da concentração em função da absorbância utilizando a lei de Beer-Lambert (Equação 1) para cada pH.

$$A = \epsilon bc \quad (1)$$

Sendo: A a absorvância da solução, E a constante de absorvidade molar do material, c a concentração da amostra analisada e b o caminho óptico utilizado, que foi de 1cm.

Com a curva de analítica é possível obter o valor da concentração de uma solução, desde que a solução não esteja muito concentrada, pois neste caso a lei de Beer-Lambert (Equação 1) não é válida.

A partir das curvas analíticas geradas foi possível obter os coeficientes angulares para os três pH's, que foram de 46,36201 para o pH 4, 43,86041 para o pH 7 e 51,49972 para o pH 10.

Com o auxílio das curvas analíticas, no qual podemos converter a leitura de absorvância em concentração, podemos determinar o percentual de remoção do corante através da Equação 2.

$$\text{Percentual de Remoção (\%)} = \frac{\text{concentração inicial de corante} - \text{concentração final de corante}}{\text{concentração inicial de corante}} \times 100 \quad (2)$$

3.2.2. Microesferas de quitosana

A quitosana em pó utilizada para os estudos presentes tem um grau de desacetilação de 73,86%, essa análise foi realizada por condutimétrica [10]

Preparou-se uma solução de quitosana com 3 g L⁻¹ (m/v) dissolvida em ácido acético 2 % (v/v), colocada para agitar por um período de 24 horas no agitador magnético.

Após parar a agitação, a solução foi colocada para gotejar em uma solução de hidróxido de sódio 2 mol L⁻¹, onde foi deixada nesta solução por 24 horas sobe agitação.

Em seguida foram lavadas com água deionizada e colocadas imersas em solução de glutaraldeído 2,5%, onde novamente permaneceram por 24 horas sobe agitação constante, quando retiradas da solução foram novamente lavadas com água deionizada. Na Figura 1 é mostrado as esferas de quitosana após terminado o processo.



Figura 1. Esferas de quitosana (autoria própria)

3.2.3. Remoção do corante

Pesamos a massa de corante para obter 100 mL de solução de concentração de corante de 50 mg L⁻¹, 125 mg L⁻¹ e 200 mg L⁻¹ o que corresponde respectivamente a 5 mg; 12,5 mg e 20 mg, para o mesmo ponto colocamos 25 mL da solução com concentração desejada em um erlenmeyer com as microesferas de quitosana e um erlenmeyer somente com a solução para ter uma amostra de referência sobre as mesmas condições, na Figura 2 é mostrado as soluções antes e depois da adsorção de corante.

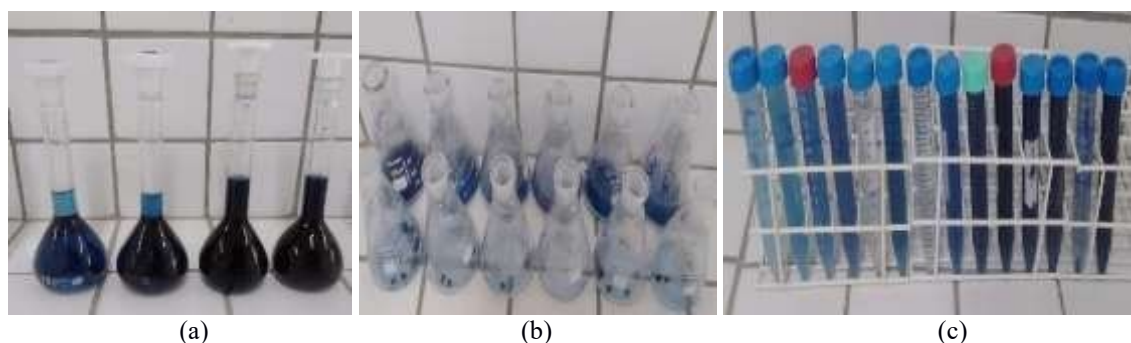


Figura 2. (a) Solução pronta; (b) Após a adsorção; (c) Após centrifugar (autoria própria).

A quantidade pesada das esferas de quitosana não representa a massa de quitosana real, já que as esferas possuem uma alta quantidade de líquidos, por isso utilizando o cálculo do teor de sólido que consiste na pesagem da massa úmida das esferas, em que em sequência é seca na estufa (TECNAL modelo TE – 394/1) com temperatura de 105 °C e pesada novamente para obter o teor de sólidos pela Equação 3 [10].

$$\text{Teor de sólidos(\%)} = \frac{\text{massa úmida}}{\text{massa seca}} \times 100 \quad (3)$$

Usando este processo, encontrou-se uma média de teor de sólidos de 4,8 % de quitosana nas esferas, logo para as massas reais de quitosana que são de 0,5 g L⁻¹, 1,75g L⁻¹ e 3 g L⁻¹, em massa úmida teremos respectivamente 0,2604 g, 0,9116 g e 1,5625 g de massa para 25 mL de solução de corante.

Os erlenmeyers foram colocados na incubadora de agitação orbital (SHAKER, modelo SL 222) a uma temperatura constante de 37 °C e agitação constante de 160 RPM durante um período de 24 horas. Após esse tempo foram retiradas, a solução foi separada dos sólidos e colocada em uma centrífuga (80-2B CENTRIFUGE) por 10 minutos para separar qualquer possível sólidos presente, para só então ir para o espectrofotômetro e ter sua absorbância lida. Na Figura 3 é mostrado as esferas com corante adsorvido.



Figura 3. Esferas de quitosana após adsorver o corante (autoria própria).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados obtiveram os resultados referentes a remoção de corantes apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados de remoção (autoria própria)

Ensaio	pH	Quitosana (g L ⁻¹)	Corante (mg L ⁻¹)	% Remoção
1	-1	-1	-1	51,45
2	1	-1	-1	39,23
3	-1	1	-1	97,67
4	1	1	-1	92,68
5	-1	-1	1	16,61
6	1	-1	1	23,02
7	-1	1	1	90,16
8	1	1	1	82,71
9	0	0	0	60,30
10	0	0	0	63,06
11	0	0	0	56,48

É perceptível pelos resultados da Tabela 3, que a amostra com maior remoção foi para o ensaio realizado no menor pH, mínima concentração inicial de corante e maior teor de quitosana que corresponde ao 3 experimento, o que se pode ser explicado pela natureza do grupo amino, que em meio ácido, ocorre sua protonação, aumentando a afinidade com o grupo eletrolítico presente no corante [11].

Também podemos notar que as amostras 3 e 4, que tiveram maior remoção foram as que o teor de quitosana foi máximo e a concentração inicial de corante mínima.

Utilizando um software estatístico, foi aplicado um tratamento estatístico nos dados coletados, onde foi adotado um intervalo de 95 % de confiança. Sendo possível determinar as variáveis que efetivamente influencia no processo de adsorção do corante escolhido.

Esses efeitos podem ser observados no diagrama de Pareto apresentado na Figura 4. As variáveis significativas para um intervalo de confiança de 95% foram o teor de quitosana, a concentração inicial de corante e a interação destes dois parâmetros, logo indicando que quanto maior o teor de quitosana e menor a concentração inicial de corante, maior a porcentagem de remoção. Enquanto o pH não mostrou ter uma influência significativa para este intervalo de confiança.

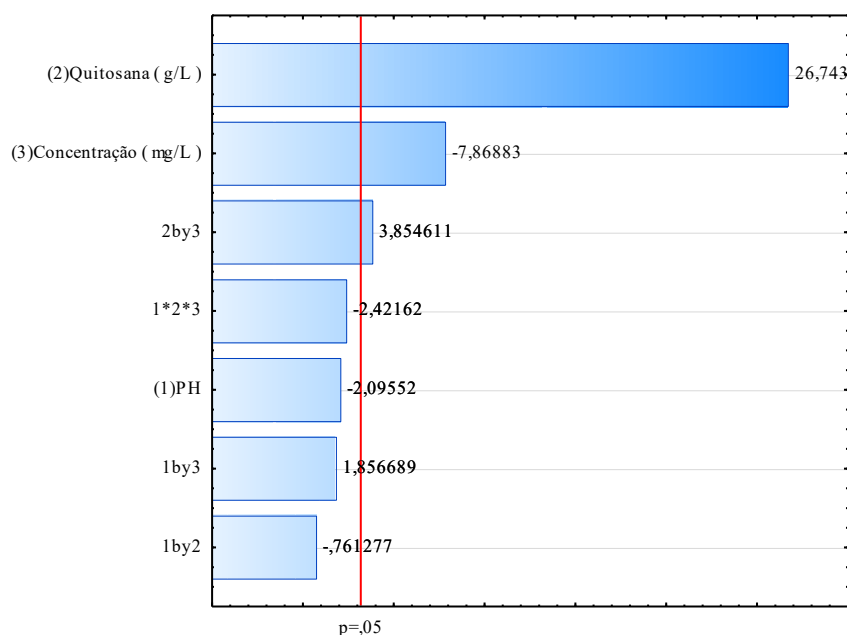


Figura 4. Diagrama de Pareto com intervalo de confiança de 95%. (autoria própria)

Através da regressão não linear realizada, foi possível gerar o modelo estatístico linear para o percentual de remoção (Equação 4), sendo X_1 o pH, X_2 o teor de quitosana e X_3 a concentração inicial de corante.

$$\text{Percentual de Remoção (\%)} = \left(\frac{61,21604}{\mp 0,928388} \right) - \left(\frac{2,28125}{\mp 1,088631} \right) X_1 + \left(\frac{29,11375}{\mp 1,088631} \right) X_2 - \left(\frac{8,56625}{\mp 1,088631} \right) X_3 - \left(\frac{0,82875}{\mp 1,088631} \right) X_1 X_2 + \left(\frac{2,02125}{\mp 1,088631} \right) X_1 X_3 + \left(\frac{4,19625}{\mp 1,088631} \right) X_2 X_3 - \left(\frac{2,63625}{\mp 1,088631} \right) X_1 X_2 X_3 \quad (4)$$

Para verificar se o modelo linear estatístico proposto é preditivo faz-se necessário realizar a análise da variância (Anova) que é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Análise de variância; $R^2=0,99629$; $F_{\text{tabelado } 7;3;95\%}=8,89$. (autoria própria)

Fatores	Soma quadrática	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	7644,206	7	1092,029	115,18
Erro	28,443	3	9,481	
Total SS	7672,649	10		

A Tabela 4 mostra a análise de variância, onde podemos observar que o coeficiente de determinação obtido pela regressão linear é de 0,99629. Fazendo o teste F, para verificar se o modelo é preditivo, o valor de F calculado tem que ser maior que o F tabelado. O F tabelado é de 8,89, enquanto o F calculado é de 115,18. O modelo tem um F calculado várias vezes maior que o F tabelado, como o F calculado é muito maior que o tabelado, podemos verificar uma regressão altamente significativa, onde os dados experimentais tem uma boa representação pelo modelo. Sendo assim esse modelo pode ser utilizado para prever o comportamento dentro da faixa de valores estudados. Aplicando o modelo estatístico linear em que fez uma correlação entre os valores preditos com os valores observados, podemos gerar a Figura 5. Podemos observar que este modelo correlaciona relativamente bem este processo de adsorção, assim como foi mostrado pelo coeficiente de regressão e pela análise da variância (Tabela 4).

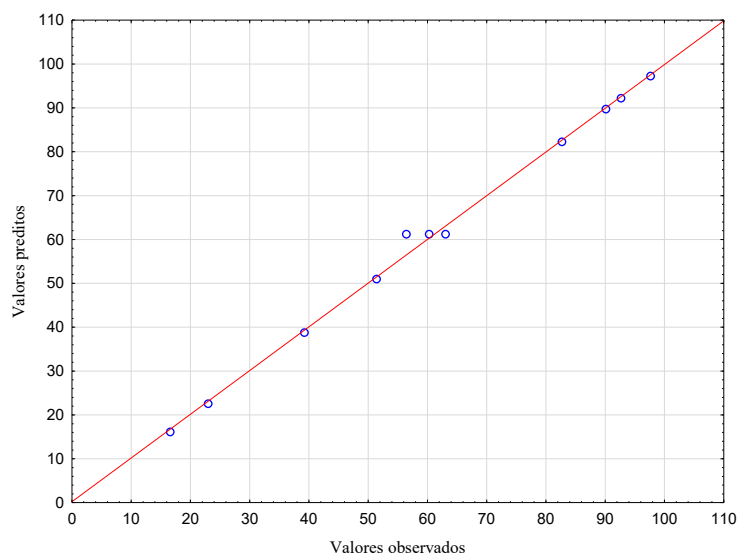
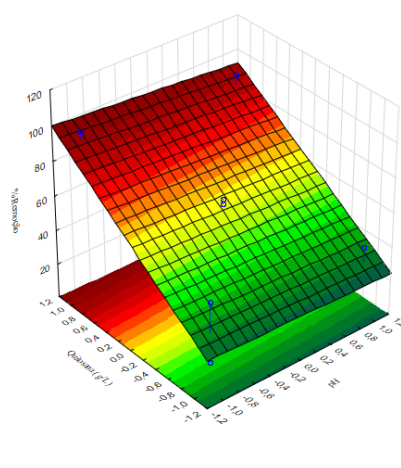
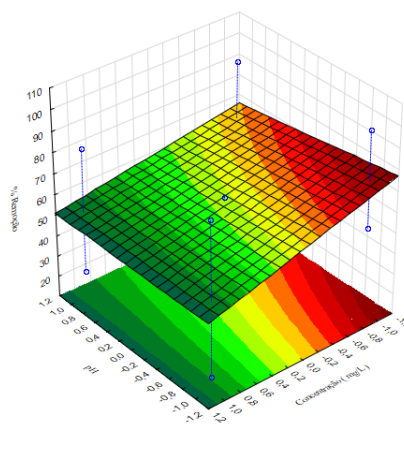


Figura 5. Preditos em função dos observados para o corante reativo azul MR GG 80% (autoria própria)

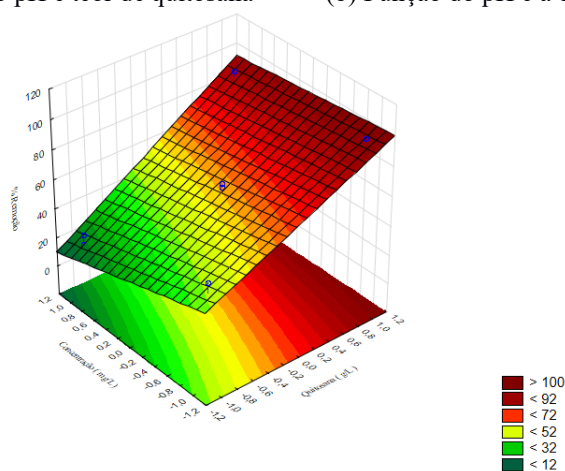
Considerando a remoção de corante como variável resposta e traçado as superfícies respostas para as variáveis estudadas como mostrado na Figura 6, é possível notar que quanto maior o teor de quitosana e menor a concentração inicial de corante, maior será a remoção de corante. Assim como ficou evidente na Tabela 4 e pelodiagrama de Pareto.



(a) Remoção em função do pH e teor de quitosana



(b) Função do pH e a concentração inicial de corante



(c) remoção em função do da concentração inicial de corante e teor de quitosana

Figura 6. Superfície resposta da remoção em função dos fatores (autoria própria).

Na Figura 6.a, é possível notar que independente do pH utilizado na faixa estudada, a área onde terá uma melhor remoção será na região em que corresponde a um teor de quitosana de 2,5 g L⁻¹ ou maior. Logo a superfície

resposta mostra que para um teor de 2,5 g L⁻¹ ou superior, estará em uma condição de melhor remoção.

Na Figura 6.b, é perceptível que a área de melhor remoção está compreendida em um pH abaixo de 5 e com concentrações menores que 90 mg L⁻¹, o que se deve a baixa significância da concentração na remoção e da natureza do corante reativo com a quitosana, que em meio ácido tem uma parte da cadeia protonada, o que acaba aumentando a afinidade entre o corante e a quitosana.

Na Figura 6.c, pode ser observado que apesar da concentração inicial de corante ter uma significância no processo de adsorção do corante, mesmo na maior concentração de corante, desde que o teor de quitosana seja maior que 2,4 g L⁻¹ ainda terá uma grande porcentagem de corante removido. Mesmo na menor concentração ainda será necessário mais de 2 g L⁻¹ de quitosana para obter uma boa remoção, o que mostra que o teor de quitosana tem maior relevância na quantidade de remoção do que a concentração inicial.

3. CONCLUSÕES

No estudo realizado, referente a influência dos parâmetros analisados, na faixa escolhida é possível concluir que o teor de quitosana teve uma influência positiva na remoção do corante reativo azul MR GG 80%, assim como sua interação com a concentração também influencia positivamente para o intervalo de confiança escolhido. Enquanto que a concentração inicial de corante tem uma significância negativa para o processo.

Já o pH e suas interações, apesar de proporcionar um aumento na afinidade do adsorvato e o adsorvente pelas interações químicas existentes, estatisticamente não tiveram influência para o intervalo de 95% de confiança e sobre o percentual de remoção.

Concluiu-se que a melhor condição de remoção seria onde temos uma maior quantidade de quitosana e em baixas concentrações de corante. No entanto, o teor de quitosana tem uma influência muito maior do que a concentração. Sendo possível obter altas quantidades de corante removidos mesmo em levadas concentrações, desde que o teor de quitosana seja maior do que 2,5 g L⁻¹.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Disponível em: <www.abit.org.br>, Acessado em 30 de Agosto de 2022.
- [2] FERREIRA, V. X. et al. O uso sustentável da água: a produção mais limpa em uma indústria têxtil do estado de São Paulo. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 22, n. 3, p. 119-143, 2019.
- [3] TONIOLLO, M.; ZANCAN, N. P.; WÜST, C.. Indústria têxtil: sustentabilidade, impacto e minimização. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2015. p. 1-5.
- [4] GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. Química nova, v. 23, p. 71-78, 2000.
- [5] NUNES, Giovanna Ribeiro. Geração e Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil. Monografia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. 2019.
- [6] LEOCÁDIO, A. N. C. Estudo cinético e isotérmico da adsorção corante laranja reativo 3R MR utilizando sementes de melão (cucumis melo L.) como adsorvente. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Bacharel em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.
- [7] XAVIER, C. S. F. et al. Secagem e avaliação do bagaço de cana de açúcar como adsorvente de corantes têxteis presentes em soluções aquosas. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, 2021.
- [8] MENESES, B. O. D. S.. Estudo cinético e isotérmico do ácido salicílico utilizando a quitosana como adsorvente. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Bacharel em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- [9] GONSALVES, A. A. et al. Diferentes estratégias para a reticulação de quitosana. Química Nova, v.34, p. 1215-1223, 2011.
- [10] CARONI, A. L. P. F. Estudos de adsorção de tetraciclina em partículas de quitosana. 2009. 145 f. Tese de doutorado (Doutorado em química) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte.
- [11] FÁVERE, V. T.; RIELLA, H. G.; ROSA, S. Cloreto de n-(2-hidroxil) propil-3-trimetil amônio quitosana como adsorvente de corantes reativos em solução aquosa. Química Nova, v. 33, p. 1476-1481, 2010.