

ESTUDO DA ADSORÇÃO DO CORANTE LARANJA REATIVO 3R MR USANDO QUITOSANA COMO ADSORVENTE

Uelson da Silva Oliveira¹, Dr. Zilvam Melo dos Santos², Dra. Izabelly Larissa Lucena³

1-Autor; 2-Coorientador; 3-Orientador(a)

Resumo: Com o intuito de minimizar os impactos ambientais causados pelas indústrias têxteis diversos métodos são utilizados no tratamento de efluentes têxteis. Um dos métodos mais utilizado para tratar esses efluentes é a adsorção. O corante utilizado no estudo foi o laranja reativo 3R MR. Assim, foi realizado um estudo de adsorção utilizando a quitosana em pó como adsorvente na remoção do corante laranja reativo 3R MR em solução aquosa. Para tanto, foi realizado um planejamento fatorial completo de 2^3 , no qual foram avaliadas as variáveis: a concentração do adsorvato, o pH e a proporção de massa de adsorvente por volume de solução. Entre os fatores avaliados, todos os parâmetros foram significativos, na faixa amostral analisada, com intervalo de confiança de 95%. O maior valor de percentual de remoção chegou a 91,62%, demonstrando que a quitosana tem potencial para adsorver o corante 3R MR. Ao realizar a análise estatística a 95% de confiança foi possível gerar um modelo linear que apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,95496$. Assim, através desse estudo, surgem perspectivas positivas quanto ao emprego da quitosana em pó como adsorvente nos processos de adsorção de corantes reativos.

Palavras-chave: Quitosana; Corante Reativo; Adsorção; Planejamento Experimental.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais é cada vez mais comum a poluição do meio ambiente, um dos principais fatores é o descarte incorreto de elementos químicos, resíduos orgânicos, industriais, emissão de gases poluentes entre outros. Dentre o grande crescimento industrial, o setor têxtil é um dos maiores contribuintes para a poluição ambiental e grande consumo de água.

Os impactos ambientais causados pelas indústrias têxteis são bem significativos, já que no decorrer dos processos indústrias tem-se uma expressiva quantidade de efluentes que são lançados nos rios e lagos, agredindo desde a biodiversidade marinha até os próprios seres humanos [1].

As indústrias têxteis têm uma parcela significativa no que se diz respeito aos efluentes industriais. Elas geram grandes quantidades de efluentes, devido à quantidade significativa de água usada em suas etapas como nas etapas de beneficiamento da malha de algodão, onde ocorre o tingimento da malha o qual ocorre a poluição da água, já que esta entra em contato com vários compostos químicos no processo [1].

A partir destes fatos, buscam-se diversas formas de combater ou minimizar estes impactos causados pelos efluentes têxteis, dos quais se destacam a troca iônica, ultrafiltração, eletrodialise, adsorção entre outros [2].

O processo de produção libera quantidades significativas de águas residuais em rios e lagos. A remoção desses resíduos é um dos maiores problemas enfrentados atualmente.

Além dos problemas ambientais causados pelo grande consumo de água e efluente da lavanderia, ele é agravado quando os processos convencionais de tratamento utilizam corantes não fixados ou não degradados.

Os corantes reativos são os mais comuns porque apresentam vantagens como cores brilhantes, estabilidade na cor e facilidade de aplicação. Eles têm sido um dos mais utilizados no Brasil para a tintura de algodão, devido à sua reatividade com as fibras e sua estabilidade de cor [3].

Os corantes são compostos de moléculas que compreendem dois componentes-chaves: o grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional que é responsável pela ligação às fibras do tecido [4].

Apesar de frequentemente serem associados ao mesmo conceito corantes e pigmentos são termos diferentes. Os pigmentos são caracterizados por serem praticamente insolúveis no meio em que são aplicados. Já os corantes são aplicados em vários substratos provenientes de um líquido, onde são parcialmente ou completamente insolúveis [4].

Os corantes podem ser classificados de duas maneiras: de acordo com sua estrutura química (azo, diazo etc), ou de acordo com o modo de fixação da molécula na fibra (corantes reativos, azoicos, básicos etc).

Em termos de geração de efluentes, os corantes reativos são considerados a classe que apresenta o maior grau de periculosidade, pois não são facilmente degradados por processos biológicos convencionais, em função disto, estão sendo estudadas novas técnicas físicas e químicas efetivas no tratamento de efluentes [5].

Deste modo, buscam-se alternativas ecológicas para a redução ou eliminação desses fatores em seus processos

de fabricação. Entre os métodos de remoção mais utilizados, são: métodos químicos, físicos e biológicos [6].

A adsorção é um processo físico-químico no qual ocorre a transferência de massa de uma fase líquida para uma fase sólida, ou seja, é a retenção de um ou mais elementos (adsorvatos) de uma fase fluida (adsortivo) para uma superfície de um sólido (adsorvente). Sendo o processo de adsorção, a técnica considerada com maior eficiência e de baixo custo entre todos os processos utilizados no setor industrial [7].

A adsorção de uma substância envolve a sua acumulação entre as duas fases, como um líquido e um sólido ou um gás e um sólido. A molécula que se adsorve na interface é chamada de adsorvato e o sólido sobre o qual ocorre a adsorção é chamado de adsorvente [8].

A adsorção do adsorvato na superfície do adsorvente pode ocorrer de duas formas: adsorção química e adsorção física. A adsorção física, ou fisissorção, é caracterizada por forças intermoleculares (ligações de Van der Waals) relativamente fracas, assim, não envolvendo mudança significativa no orbital eletrônico das espécies envolvidas. Enquanto a adsorção química, ou quimissorção, são forças relativamente fortes (ligações covalentes) que estão presentes na formação de compostos químicos e é um processo frequentemente irreversível [9].

Diversos fatores podem influenciar diretamente no processo de adsorção. Para estudar a interferência de cada fator é necessário variá-lo durante o processo e manter as demais propriedades constantes. Tais, os fatores que podem influenciar: pH, temperatura, quantidade de adsorvente, concentração inicial do adsorbato, tamanho da partícula do adsorvente e efeito do tempo de contato.

O pH da solução afeta a carga superficial do adsorvente e o grau de ionização de diferentes poluentes. Os íons hidrogênio e hidroxila são adsorvidos fortemente e a adsorção de outros íons é afetada pelo pH da solução. Mudanças no pH afetam o processo adsorptivo por meio da dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos do adsorvente [10].

Sabe-se que o processo de adsorção consiste na remoção das moléculas do corante da solução dos sítios externos para o interior das partículas de adsorvente, esta transferência é controlada pela taxa de transporte das moléculas do adsorbato. Assim, tem-se o aumento dessa taxa com o tempo até atingir um valor constante, onde posteriormente, nenhuma adsorção adicional acontecerá estado também conhecido como tempo de equilíbrio, que pode ser claramente notado ao realizar uma cinética de adsorção [11].

Um dos fatores mais importantes no processo de adsorção é a área superficial, já que a adsorção é um fenômeno de superfície. Assim, a adsorção é maior quanto maior for a área superficial específica. No setor industrial, o carvão ativado é o principal adsorvente devido a uma significativa área superficial [12].

Em determinadas condições experimentais, uma determinada massa de adsorvente só adsorve uma quantidade fixa de corante. Portanto, quanto maior a concentração da solução, menor será a massa que uma quantidade fixa de adsorvente pode remover. Além disso, um aumento na concentração inicial de efluente provoca um aumento no tempo necessário para atingir o equilíbrio [13].

Uma opção de adsorvente natural é a quitosana, que é um aminopolissacarídeo biodegradável, hidrofílico, não tóxico e biocompatível obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina, encontrada em exoesqueletos de insetos, crustáceos e fungos, produtos que são resíduos da indústria pesqueira. É constituída quimicamente por monômeros de D-glucosamina e N-acetilglucosamina. A quitosana possui diversas vantagens no seguimento de tratamento de efluentes líquidos, tais como, custo-benefício, alta seletividade, é ambientalmente aceitável, abundante em diversos países, pode ser obtida de fontes naturais renováveis, é um polissacarídeo catiônico em meio ácido, porém há limitação quando o meio é ácido, devido a sua tendência de solubilização [14].

A quitosana vem sendo bastante estudada por se tratar de um polímero natural, biodegradável, extremamente abundante e atóxico, a quitosana tem sido proposta como um material potencialmente atraente para usos diversos, principalmente em engenharia, biotecnologia e medicina [15].

O principal derivado da quitina é a quitosana, ela é obtida pelo processo de desacetilação alcalina em uma extensão no qual é caracterizada pelo grau médio de desacetilação, que representa a porcentagem de grupos NH₂ livres. Para ser considerada quitosana o grau de desacetilação da quitina deve estar em torno de 50%, tornando-se ácido em meio aquoso [16].

A grande vantagem da adsorção em relação aos outros processos é a pouca geração de resíduos e a eventualidade de reutilização do adsorvente. Os biopolímeros têm sido reconhecidos como uma categoria promissora de bioadsorventes usados para remover contaminantes orgânicos e inorgânicos do ambiente aquático.

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de adsorção do corante laranja reativo 3R MR em solução aquosa, usando como adsorvente a quitosana em pó. Tendo como um estudo um planejamento fatorial avaliando as variáveis: pH, proporção de quitosana e concentração de corante.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados nesse trabalho foram disponibilizados pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), sendo eles:

- Foi utilizado como adsorvente a quitosana em pó, produzido pela empresa POLYMAR. Tendo, como o grau de desacetilação de 73,86% (determinado por análise de titulação condutimétrica), como foi executado por Caroni 2009. [17]
- Foi utilizado como adsorvato o corante laranja reativo 3R MR., fornecido pela empresa TEXPAL.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Análises espectrofotométricas

O experimento foi realizado através da técnica de espectroscopia. O espectrofotômetro utilizado foi da marca GEHAKA modelo UV- 340 G. Tal procedimento foi realizado através de uma varredura ao longo da faixa espectral de 190 a 1100 nm. Para o corante reativo laranja 3R MR determinou-se a faixa de comprimento de maior absorbância entre 350 a 800 nm. Após determinar o comprimento de onda máximo, este foi de grande importância para a determinação da curva analítica para soluções de corante utilizadas nesse estudo.

A curva analítica é um gráfico que representa a absorbância em função da concentração do corante. Ela foi realizada no espectrofotômetro a partir de uma solução padrão de 50 mgL⁻¹ para os pH's 4, 7 e 10. Partindo da solução padrão foram realizadas várias diluições. Posteriormente foi realizada a leitura das amostras no espectrofotômetro para o comprimento de onda determinado anteriormente. Sendo assim, o comprimento de onda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), para a solução de corante com o pH 4 determinado foi de 490 nm, para o pH 7 foi de 488 nm e para o pH 10 foi de 484 nm. De posse desses dados foi possível obter curvas analíticas com ajustes lineares, as quais correlacionam a concentração de corante com a absorbância, obtendo-se coeficientes de correlação sempre próximo a unidade. Sendo possível elaborar a curva de calibração para o corante nos pH's 4, 7 e 10.

2.2.2 Ensaio de adsorção do corante reativo laranja 3R MR

Executou-se ensaios de adsorção da seguinte forma, primeiramente, foram feitas soluções de Ácido Clorídrico (37% P.A/ACS/NEON) e Hidróxido de Sódio Micropérolas (P.A/ CRQ) para normatizar os pH's 4,7 e 10 sendo calibradas pelo o pHmetro (Tec-3MP/TECNAL) e em seguida, foram pesadas massas fixas de quitosana em pó e postas em contato com o corante laranja reativo 3R MR junto com as soluções de pH's, utilizando os parâmetros descritos na Tabela 3 e o planejamento da Tabela 4. Os experimentos foram realizados a temperatura de 37°C. As amostras foram mantidas sob agitação por 24 h e 160 RPM, usando uma incubadora SHAKER (SOLAB, Modelo SL 222). Após este tempo, as amostras foram recolhidas e centrifugadas por 10 minutos a 4.000 RPM, em centrífuga (80-2B/7lab). Finalmente, as amostras foram analisadas em um espectrofotômetro (GEHAKA, Modelo UV--340 G). Em seguida, para finalizar foi calculado o percentual de remoção utilizando a equação 01.

$$\text{Percentual de Remoção (\%)} = \left(\frac{Co - Cf}{Co} \right) * 100 \quad (01)$$

Onde,

Co= Concentração inicial do adsorvato.

Cf= Concentração final do adsorvato.

2.2.3 Planejamento Experimental

Existem diversos tipos de planejamentos, ou seja, para k variáveis deve-se ter a realização de $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$ ensaios diferentes, por isso é chamado de planejamento fatorial 2^k . [18] O planejamento experimental realizado teve como objetivo avaliar quais possíveis variáveis de processo poderiam influenciar a variável resposta escolhida, percentual de remoção. As variáveis escolhidas foram pH, concentração de corante e proporção de quitosana. A Tabela 1 apresentamos as variáveis e a faixa de valores que foram estudadas.

Tabela 1- Fatores do Planejamento Experimental. (Autoria própria (2022)).

Pontos	pH (X ₁)	Proporção de quitosana(gL ⁻¹) (X ₂)	Concentração de Corante (mgL ⁻¹) (X ₃)
-1	4	0,5	50
0	7	1,75	125
1	10	3	200

A matriz do planejamento experimental do tipo 2³ com triplicata no ponto central realizado nesse estudo é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Matriz Experimental do Planejamento. (Autoria própria (2022)).

Ensaio	pH (X ₁)	Proporção de quitosana (g L ⁻¹) (X ₂)	Concentração do corante (mg L ⁻¹) (X ₃)
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

Na qual a análise estatística foi desenvolvida no SOFTWARE STATISTICA versão 10, sendo assim, a análise foi realizada com 95% de confiança.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CURVA ANALÍTICA DO CORANTE LARANJA REATIVO 3R MR

A equação que representa os gráficos das curvas analítica é uma reta, podendo ser representada de acordo com a equação 02:

$$y = a * x + b \quad (02)$$

Onde x representa a absorbância do adsorvato medida por espectrofotometria e y representa a concentração, e a é o coeficiente angular, na equação 02. Observa-se a ausência do coeficiente linear, pois a reta passa pela origem sendo o valor de concentração igual a 0 mg L⁻¹ e a absorbância correspondente possuindo o mesmo valor, assim a equação anterior ficará da seguinte forma:

$$C = a * A \quad (03)$$

Na equação 04 temos a curva de calibração para o pH 4. Podemos notar um bom ajuste linear da equação da reta que foi de R² = 0,99994.

$$C = 42,50589 * A \quad (04)$$

Na equação 05 temos equação que representa a curva de calibração para o pH 7. Podemos notar um bom ajuste linear da equação da reta que foi de R² = 0,99956.

$$C = 42,17589 * A \quad (05)$$

Na equação 06 temos equação que representa a curva de calibração para o pH 10. Podemos notar um bom ajuste linear da equação da reta que foi de R² = 0,99955.

$$C = 39,50403 * A \quad (06)$$

3.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A Tabela 3 mostra os percentuais de remoção obtidos quando se variou a proporção, o pH e a concentração do corante, de acordo com o planejamento experimental realizado.

Tabela 3- Valores de percentual de remoção após a adsorção. (Autoria própria (2022)).

Ensaio	pH	Proporção de quitosana(gL ⁻¹)	Concentração de corante (mgL ⁻¹)	Percentual de Remoção (%)
1	-1	-1	-1	87,72
2	1	-1	-1	41,15
3	-1	1	-1	91,62
4	1	1	-1	69,73
5	-1	-1	1	32,23
6	1	-1	1	1,16
7	-1	1	1	69,44
8	1	1	1	51,22
9	0	0	0	76,91
10	0	0	0	76,55
11	0	0	0	78,61

Pode-se observar na Tabela 3 que os ensaios 1 e 3 foram os experimentos com os maiores valores de percentual de remoção. Em ambos os ensaios o processo adsorativo foi realizado no pH de 4.

Através do SOFTWARE STATISTICA versão 10 pode-se analisar estatisticamente os dados experimentais, considerando um intervalo de confiança de 95%. Na Figura 1 temos o diagrama de Pareto, no qual podemos observar as variáveis de processo que apresentaram influência estatística significativa na resposta adotada (percentual de remoção). Através da Figura 1 podemos observar que todas as variáveis estudadas (pH, proporção de quitosana e concentração de corante) apresentaram-se estatisticamente significativas. O valor negativo no diagrama de Pareto para o pH indica uma relação inversa, ou seja, à medida que o pH diminui a remoção do corante aumenta. Os demais parâmetros estudados (proporção e concentração) têm efeito positivo e negativo, respectivamente. Fenômeno parecido foi encontrado em estudos, onde foi analisado que ao aumentar a acidez do meio promove-se uma maior dissociação, acarretando a presença de cargas elétricas tanto no adsorvente quanto no adsorvato, o que causaria uma maior atração entre eles. [6]

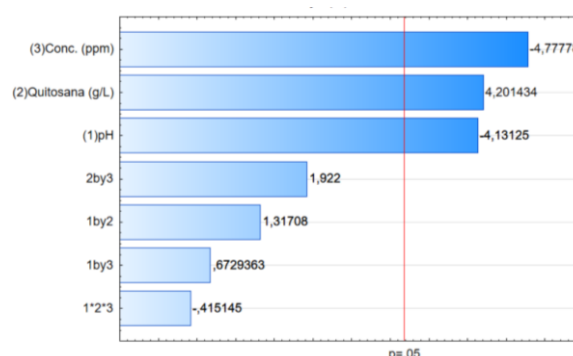


Figura 1- Diagrama de Pareto com intervalo de confiança 95%. (Autoria própria (2022)).

A partir da análise de regressão linear dos resultados obtidos, foi possível formular um modelo linear para descrever a variável resposta. A equação 07 mostra o modelo de primeira ordem para as variáveis para uma análise a 95 % de confiança.

$$\begin{aligned} \text{Percentual de Remoção (\%)} = & 58,6060_{\pm 3,038309} - 14,7185X_{1\pm 3,562733} + 14,9686X_{2\pm 3,562733} - \\ & 17,0219X_{3\pm 3,562733} + 4,6924X_1 * X_{2\pm 3,562733} + 2,3975X_1 * X_{3\pm 3,562733} + 6,8476X_2 * X_{3\pm 3,562733} - \\ & 1,4791X_1 * X_2 * X_{3\pm 3,562733} \end{aligned} \quad (7)$$

A Tabela 4 apresenta a análise das variâncias (ANOVA) para o percentual de remoção do corante laranja reativo 3R MR utilizando a quitosana em pó.

Tabela 4- ANOVA para a remoção do adsorvato (corante) utilizando o adsorvente (quitosana). R^2 (coeficiente de determinação) = 0,95496; $F_{7; 3; 0,05} = 8,89$. (Autoria própria (2022)).

Fonte de Variação	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{Calculado}
Regressão	6458,274	7	922,6106	9,08
Erro	304,634	3	101,545	
Total SS	6762,906	10		

Verifica-se na Tabela 4 que o coeficiente de determinação (R^2) obtido pela regressão é de 0,95496. Para confirmação da significância dos parâmetros do modelo pela análise da ANOVA (Tabela 4), foi realizado o teste F. Para ser significativo estatisticamente, o valor de F obtido da regressão deve ser maior que o valor de F tabelado. Comparando o valor de F calculado para a regressão com o valor de F tabelado ($F_{\text{tabelado}} = 8,89$), verifica-se uma regressão significativa. Portanto, os dados experimentais são representados pelo modelo ajustado, ou seja, o modelo obtido para as variáveis significativas pode ser utilizado para fins preditivos dentro do domínio de fatores estudados.

A Figura 2 apresenta a comparação entre os valores observados experimentalmente e aqueles preditos pelo modelo ajustado. Observa-se pela análise da Figura 2 um ajuste bom do modelo, justificado pela apreciável aglomeração de pontos próximos da reta representativa.

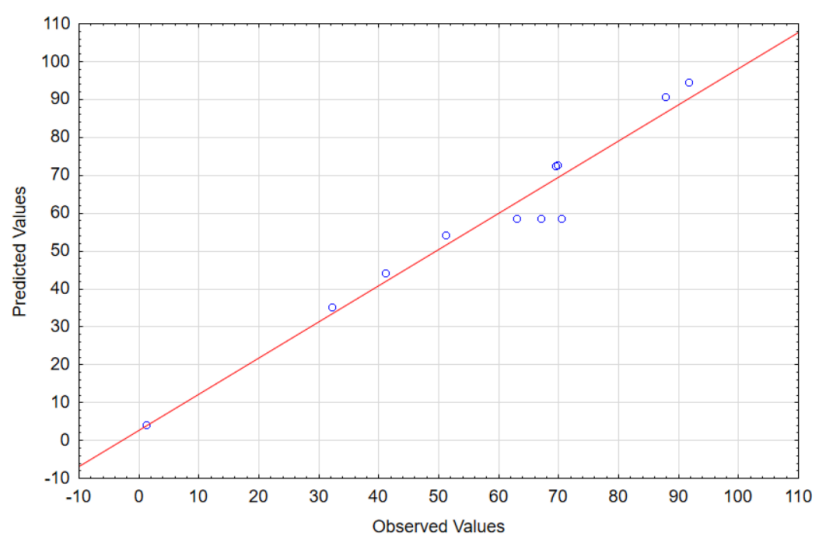
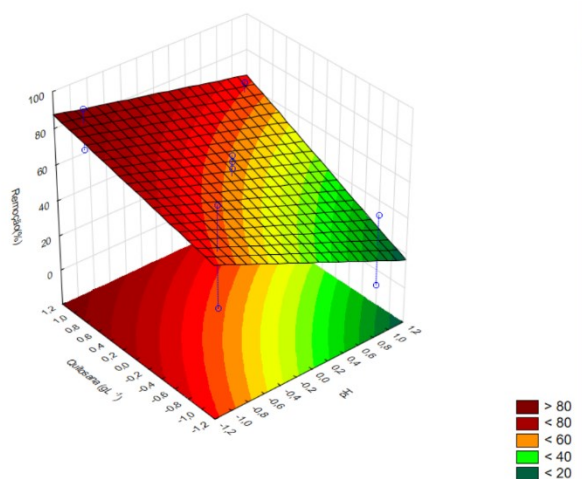
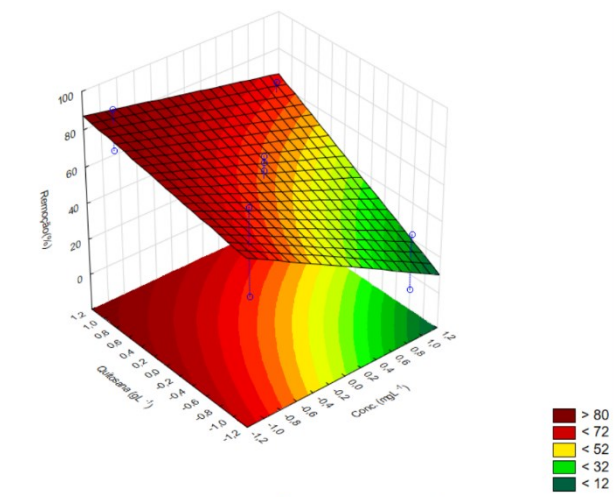


Figura 2- Valores preditos em função dos valores observados para adsorção do corante laranja reativo 3R MR (Autoria própria (2022)).

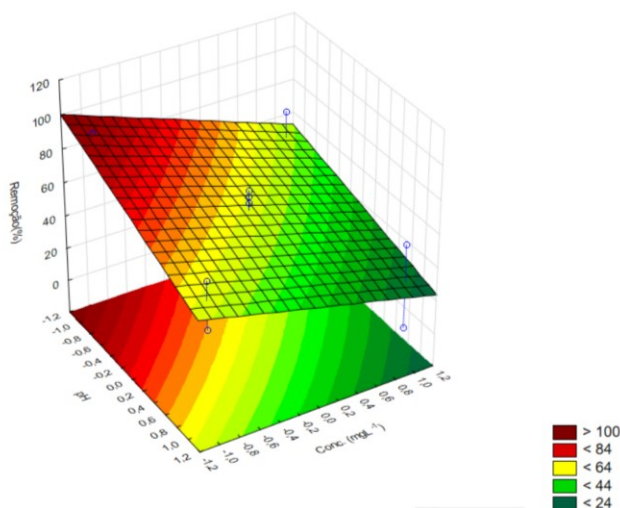
As figuras 1 e 2 mostram as superfícies respostas para o processo de adsorção do corante tendo como adsorvente a quitosana em pó. Assumindo como variável resposta o percentual de remoção do corante.



Remoção em função do pH e proporção de quitosana



Função da proporção de quitosana concentração



Função do pH e concentração de corante

Figuras 3,4 e 5- Gráficos de Superfícies. (Autoria própria (2022)).

Com propósito de mapear as variáveis do processo, foram plotados os gráficos de superfície, que estão demonstrados pelas figuras (3, 4 e 5) com os parâmetros do processo, na qual a única variável fixa é a percentual de remoção, variando a proporção de quitosana, pH e a concentração de corante. Sendo assim, os gráficos de superfície mostram a superfície de resposta para o percentual de remoção (%), variável dependente em função da concentração de corante, proporção de quitosana e pH. Ao analisar a área de resposta, é possível verificar a forte influência da concentração de corante, proporção de quitosana e o pH, pois o resultado indica que quanto menor a concentração de corante e menor o pH e maior proporção de quitosana, maior a remoção. Nota-se, nestes gráficos, que quanto menor o pH maior a remoção de corante, esse resultado já era esperado pois é comprovado por estudos que o meio ácido tem um rendimento maior na adsorção. Resultados estes que concordam com os resultados obtidos no diagrama de Pareto. Resultados semelhantes foram obtidos em estudos de Kimura (2001), o qual obteve altas remoções quando se trabalhou a adsorção de corantes reativos em meios ácidos em quitosana.[19]

4. CONCLUSÃO

A partir do estudo de remoção do corante laranja reativo 3R MR usando a quitosana em pó como adsorvente, pode-se concluir que, os resultados obtidos no planejamento experimental mostraram que trabalhando-se no mínimo de pH a adsorção se tornou mais eficiente, com bons percentuais de remoção. Outra constatação é que a

concentração de corante e a proporção foram estatisticamente significativos.

Assim, de forma otimizar o sistema pode-se trabalhar com o mínimo de concentração e o máximo de proporção e ainda assim será obtido bons percentuais de remoção (acima de 80 %), desde que se trabalhe no mínimo de pH.

Mediante os ensaios de adsorção do corante 3R MR pela quitosana em pó, pôde-se verificar que a diminuição do pH favoreceu o percentual de remoção, obtendo-se os melhores resultados em pH 4 (91,62%).

Assim, obtivemos que o modelo polinomial é significativo e preditivo em relação ao percentual de remoção do corante. Com base nos resultados apresentados é possível afirmar que a quitosana em pó mostrou-se um eficiente adsorvente para o corante estudado e, em virtude de ser um polímero natural e de fácil obtenção pode ser utilizado em processos de tratamento de efluentes têxteis.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTOS, S. Impacto Ambiental Causado Pela Indústria Têxtil. Florianópolis. Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T6410.PDF>. Acesso em: 16 nov. 2013.
- [2] MITTER, E.K. Corantes da Indústria Têxtil: Impactos e Soluções. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/biosferas/0020.php>>. Acesso em: 16 nov. 2013.
- [3] GUARATINI, C. C. I. e ZANONI, M. V. B. “Corantes Têxteis”, Química Nova 23, pp. 1-21. 2000.
- [4] SOARES, J. L. Remoção De Corantes Têxteis Por Adsorção Em Carvão Mineral Ativado Com Alto Teor De Cinzas. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 100 f. 1998.
- [5] AKSU, Z.; TEZER, S. Equilibrium and Kinetic Modelling of Biosorption of Remazol Black B by *Rhizopus arrhizus* in a batch System: Effect of Temperature. Process Biochemistry, v. 36, p. 431-439, 2000.
- [6] SCHIMMEL, D. Adsorção Dos Corantes Reativos Azul 5g E Azul Turquesa Qg Em Carvão Ativado Comercial. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 99 f. 2008.
- [7] MAGDALENA, C.P. Adsorção de Corante Reativo Remazol Vermelho rb de Solução Aquosa Usando Zeólita de Cinzas de Carvão e Avaliação da Toxicidade Aguda com *daphnia similis*. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais)- Altarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 151 f. 2010.
- [8] SNOEYINK, V.L.; SUMMERS, R.S. Water Quality & Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. American Water Works Association. Chapter 13 – Adsorption of organic compounds. Fifth Edition, 1999.
- [9] BRINQUES, G.B. Adsorção de Tolueno de Solução Aquosa em Leito de Carvão Ativado em Planta Piloto. Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- [10] 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. Dyes and Pigments 69, pp. 210-223. 2006.
- [11] ÖZACAR, M.; SENGİL, I. A. Adsorption of Reactive Dyes on Calcined Alunite from Aqueous Solutions. Journal of Hazardous Materials B, v. 98, p. 211- 224, 2003.
- [12] DABROWSKI, A. et al. Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon – a Critical Review. Chemosphere, v. 25, p. 1049-1070, 2001.
- [13] McKAY, G. Adsorption of Dyestuffs from Aqueous Solutions with Activated Carbon I: Equilibrium and Batch Contact-Time Studies. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 32, p. 759-772, 1982.
- [14] LACERDA, L. et al. Caracterização e avaliação do grau de intumescimento de microesferas de malonil quitosana. Anais da 6ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- [15] AZEVEDO, V. et al. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 27-34, Dezembro. 2007. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/46/81>>. Acesso em: 8 Mar. 2015.

[16] RINAUDO, M. Chitin and chitosan: Properties and applications. Progress in Polymer Science, Oxford, v. 31, n. 7, p. 603-632, Junho. 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670006000530>>. Acesso em: 15 Mar. 2015.

[17] Estudos de adsorção de tetraciclina em partículas de quitosana / Ana Luiza Porpino Fernandes Caroni. Natal, RN, 2009.

[18] BARROS NETO, Benicio de et al. Como fazer experimentos. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2001. 399 p.

[19] KIMURA, I. Y. Remoção de corantes reativos contendo grupos vinilsulfona e triazina por adsorção e coagulação/floculação com quitosana. Dissertação (Pós-graduação em química) –Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 198 f. 2001.