



## II-011 - ANÁLISE DA REMOÇÃO DE DOQ, COR E TURBIDEZ ATRAVÉS DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS

**Liliana Andréa dos Santos<sup>(1)</sup>**

Bióloga pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFRPE. Doutoranda em Engenharia Civil pela UFPE.

**Maria Monize de Moraes<sup>(1)</sup>**

Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFRPE. Doutoranda em Engenharia Civil pela UFPE.

**Rebeca Beltrão Valença<sup>(1)</sup>**

Bióloga com ênfase em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestranda em Engenharia Civil pela UFPE.

**Maurício Alves da Motta Sobrinho<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Prof. Arthur de Sá, s/n – Cidade Universitária - Recife – PE – CEP 50.740-521 - Brasil - Tel: (81) 21267268 - e-mail: [mottas@ufpe.br](mailto:mottas@ufpe.br)

### RESUMO

Os efluentes têxteis são responsáveis por grande contaminação do meio ambiente através de sua composição de grande complexidade e diversidade química. Os processos de lavagem e tinturaria produzem de 45 a 65 litros de efluente por quilograma de tecido processado, podendo gerar sérios danos ao meio ambiente se não tratados adequadamente. Diante dos variados tratamentos possíveis, a coagulação/floculação é um processo comumente utilizado em tratamento de água e efluentes, em que coagulantes são adicionados a águas residuárias, a fim de desestabilizar os materiais coloidais e fazer com que as pequenas partículas se aglomerem em grandes flocos sedimentáveis. O trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de remoção de cor, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO), no tratamento de efluente têxtil, utilizando a ferramenta de planejamento fatorial completo  $2^3$ . O efluente têxtil bruto utilizado para os ensaios foi fornecido por uma lavanderia de jeans, em Pernambuco. Para os ensaios foram utilizados dois coagulantes: Aluclor SBP Granel (coagulante A) e Aluclor Granel (coagulante B) da Produquímica. Para testar o efeito desses coagulantes na remoção de DQO, cor e turbidez, foram adicionados os mesmos em diferentes concentrações e expostos a diferentes velocidades de coagulação/floculação. O planejamento Fatorial  $2^3$  completo foi aplicado para o delineamento experimental. Para a análise estatística dos resultados considerou-se um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 5%. Foi possível observar que as variáveis que exerceram maior influência significativa para o coagulante A e B foram: velocidade de coagulação e concentração do coagulante. A variável velocidade de coagulação ( $V_c$ ) foi mais significativa, para redução de cor e turbidez. A variável de concentração de coagulante teve maior influência significativa para o coagulante A, para redução de DQO. A partir do planejamento fatorial completo  $2^3$ , percebeu-se que com valores superiores estudados da velocidade de coagulação e valores inferiores de concentração de coagulação foi possível obter um nível satisfatório de redução da turbidez, cor e DQO.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coagulação, Floculação, Planejamento fatorial, Têxteis, Cor, Turbidez, DQO..

### INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das maiores fontes de poluição do meio ambiente no mundo, dentre todos os setores industriais, levando em consideração o volume descartado e a composição do efluente (GÜMÜS; AKBAL, 2010). O tratamento de efluentes dos processos de tingimento e acabamento é um dos problemas ambientais mais importantes na indústria têxtil (KHOUNI et al., 2011). O descarte inadequado desses efluentes sobre o

corpo receptor causa sérios danos a biota aquática e aos seres humanos pelo seu efeito mutagênico e carcinogênico (WANYONYI; ONYARI, 2014).

A principal origem dos efluentes gerados pelas indústrias têxteis é proveniente dos processos de lavagem ou alvejamento das fibras, do tingimento, e do acabamento. Dado o grau de variedade de fibras, corantes, auxiliares e produtos de acabamento em uso, esses processos geram efluentes de grande complexidade e diversidade química (VANDEVIVERE et al., 1998). Os processos de tinturaria e lavagem produzem de 45 a 65 litros de efluente por quilograma de tecido processado (ZANONI; CARNEIRO, 2001).

Esses efluentes têxteis, dependendo da origem, podem variar na cor, na quantidade de sólidos suspensos, e na concentração de DQO, apresentando temperatura elevada, pH altamente flutuante, considerável quantidade de metais pesados, compostos orgânicos clorados e surfactantes (ARAUJO; YOKOYAMA, 2006).

Vários estudos têm sido realizados utilizando alternativas para tratamento desses efluentes, tais como processos eletrocoagulação, tratamento de ozonização, fotocátalise. Estas técnicas enfrentam várias limitações instrumentais e econômicas (FREITAS, et al., 2015).

A coagulação/floculação é um processo comumente utilizado em tratamento de água e efluentes, em que coagulantes são adicionados a águas residuárias, a fim de desestabilizar os materiais coloidais e fazer com que as pequenas partículas a aglomerar em grandes flocos sedimentáveis (ZAWAWI et al., 2015). Essa técnica facilita a remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais da solução (KURNIAWAN et al., 2006). É uma das tecnologias mais utilizadas no tratamento de efluentes, uma vez que é eficiente, baixo custo e simples de operar (KHOUNI et al., 2011).

O trabalho teve como objetivo avaliar a otimização de dois coagulantes no tratamento de efluente têxtil na remoção de cor, turbidez e DQO com o uso da ferramenta de planejamento fatorial completo  $2^3$ .

## MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente têxtil bruto utilizado para os ensaios foi fornecido por uma lavanderia de jeans, localizada no polo de confecções do município de Toritama, no Agreste de Pernambuco, onde suas principais atividades são a lavagem e o tingimento do jeans. A região é o segundo maior produtor de jeans no Brasil. São 300 lavanderias e mais de 7 mil confecções.

A caracterização simplificada do efluente têxtil pode ser observada na Tabela 1.

**Tabela 1. Caracterização no efluente têxtil utilizados nos ensaios.**

Efluente têxtil bruto	pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO (mg.L <sup>-1</sup> )
	7,0	937	472	2890	226,48	180

Fonte: Paiva, 2015.

### Planejamento experimental

Para avaliar a influência das variáveis experimentais controláveis no processo de coagulação-floculação, foram definidas como variáveis de entrada para o planejamento o tempo e a velocidade de coagulação e de floculação e concentração dos coagulantes sobre as variáveis dependentes turbidez, cor e DQO. As variáveis selecionadas e seus respectivos níveis estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2. Níveis das variáveis do planejamento fatorial experimental**

Variáveis/Níveis	Tc (seg)	Vc (rpm)	Tf (min)	Vf (rpm)	Cc (mL)
-1	10	80	2	20	5
0	30	95	4	40	8
+1	50	110	6	60	11

Tc: tempo de coagulação; Vc: velocidade de coagulação; Tf: tempo de floculação; Vf: velocidade de floculação; Cc: concentração do coagulante.

O delineamento experimental utilizado foi um Planejamento Fatorial  $2^3$  completo, no qual foram realizados 19 experimentos com duplicata para cada coagulante e experimentos com triplicata no ponto central, a fim de encontrar uma condição eficiente e ideal do processo.

Para os ensaios de otimização de coagulação/floculação foram utilizados dois coagulantes o Aluclor SBP Granel (coagulante A) e o Aluclor Granel (coagulante B) oriundos da Empresa Produquímica. Para testar o efeito desses coagulantes na remoção de DQO, cor e turbidez, os ensaios foram realizados em aparelho Jar test Quimis Q305M3, utilizando-se no equipamento, três béqueres, com capacidade de um litro, como reatores. Nesses béqueres, foram adicionadas 500 mL da amostra de efluente têxtil e diferentes concentrações dos coagulantes e testados os diferentes tempos de coagulação e de floculação, com as velocidades de floculação e coagulação determinadas em 60 rpm e 110 rpm, respectivamente. Após 120 minutos de decantação, o sobrenadante foi recolhido para as análises de cor, turbidez e DQO.

### Procedimentos analíticos

Para realizar as análises de DQO das amostras adicionou-se 2,0 mL da amostra do efluente têxtil (um deles com água destilada=branco), em seguida 1,5 mL de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) e 3,5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) aos tubos de DQO, todos com o auxílio de um dispensador. Os tubos foram homogeneizados e fechados, em seguida inseridos na câmara digestora a  $148^\circ C$  por duas horas. Após esse período, foi realizada a leitura de DQO das amostras no aparelho espectrofotômetro.

A cor foi analisada no fotômetro, através da introdução da cubeta com amostra e posterior leitura em uH.

A turbidez foi aferida no equipamento turbidímetro Quimis, no qual é introduzida a amostra (em tubo específico), retirada a presença de luz externa (tampa), e aferido o valor.

Em todos as variáveis, quando o equipamento não conseguia realizar a leitura, foram realizadas diluições de 1:100 (DQO) ou 1:10 (cor), para chegar a valores mais significativos.

Para a análise estatística dos resultados obtidos nesse trabalho considerou-se um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 5%, sendo, portanto, a confiabilidade dos resultados de 95%.

### RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta a matriz do planejamento  $2^3$  com os resultados obtidos das variáveis resposta de cor, turbidez e DQO, em cada combinação de níveis para as variáveis de entrada.

**Tabela 3. Matriz de planejamento para um fatorial 2<sup>3</sup> utilizando o coagulante A.**

Ensaio	Tc	Vc	Cc	Cor	Turbidez	DQO
1	-1	-1	-1	405	184,0	313,41
2	+1	-1	-1	420	165,0	340,56
3	-1	+1	-1	206	38,7	531,95
4	+1	+1	-1	91	22,3	366,03
5	-1	-1	+1	1090	218,0	552,40
6	+1	-1	+1	1020	231,0	525,25
7	-1	+1	+1	143	42,1	506,48
8	+1	+1	+1	238	64,8	598,60
9	0	0	0	141	46,2	137,09
10	0	0	0	141	45,1	119,66
11	0	0	0	141	42,4	206,48
12	-1	-1	-1	326	164,0	346,25
13	+1	-1	-1	260	176,0	324,44
14	-1	+1	-1	220	48,3	506,48
15	1	1	-1	181	64,8	270,16
16	-1	-1	1	1100	211	476,98
17	1	-1	1	1090	204	463,91
18	-1	1	1	66	55,7	485,41
19	1	1	1	361	74,6	623,8

A Tabela 4 apresenta a matriz do planejamento 2<sup>3</sup> com os resultados obtidos das variáveis resposta de cor, turbidez e DQO, em cada combinação de níveis para as variáveis de entrada.

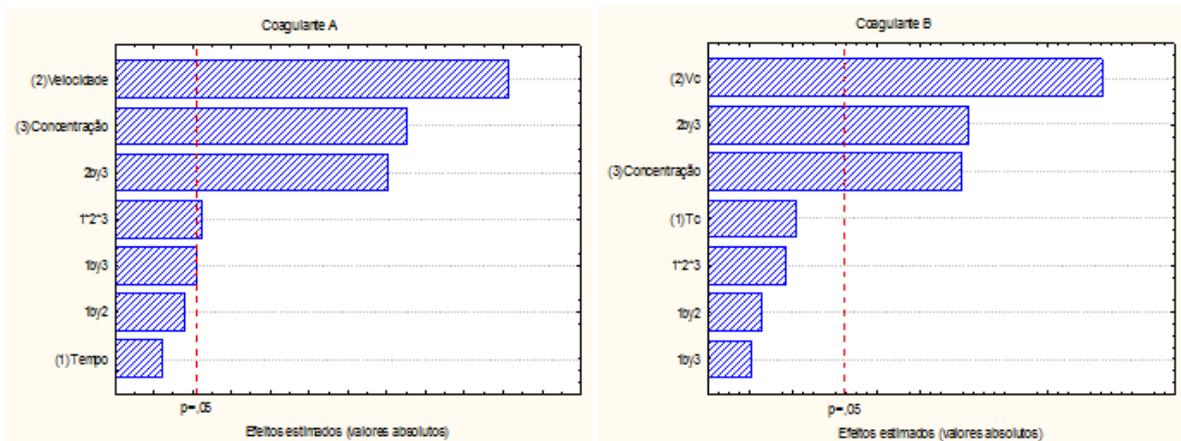
**Tabela 4. Matriz de planejamento para um fatorial 2<sup>3</sup> utilizando o coagulante B.**

Ensaio	Tc	Vc	Cc	Cor	Turbidez	DQO
1	-1	-1	-1	270	102	9132,9
2	1	-1	-1	496	222	488,048
3	-1	1	-1	69	16,6	1317,327
4	1	1	-1	184	40,4	384,807
5	-1	-1	1	1000	325	6472,6
6	1	-1	1	880	536	11983,4
7	-1	1	1	59	14,2	4313,661
8	1	1	1	103	9,83	3672,8
9	0	0	0	64	13,6	795,42
10	0	0	0	61	13,7	595,31
11	0	0	0	61	13,8	637,21
12	-1	-1	-1	298	148	5384,7
13	1	-1	-1	134	198	1316,322
14	-1	1	-1	57	11,3	941,235
15	1	1	-1	136	26	1195,315
16	-1	-1	1	670	389	5357,2
17	1	-1	1	1060	706	18333,3
18	-1	1	1	149	12,9	4256,384
19	1	1	1	103	10,8	1462,9

Analisando os gráficos de Pareto (Figura 1) para a variável cor dos coagulantes A e B, a variável isolada de velocidade de coagulação ( $V_c$ ) foi a que apresentou maior eficiência estatisticamente significativa.

Para o coagulante A, a segunda variável com maior influência significativa foi a concentração do coagulante, seguida pela interação entre os fatores de velocidade de coagulação e concentração do coagulante representado no gráfico de Pareto por 2 by 3.

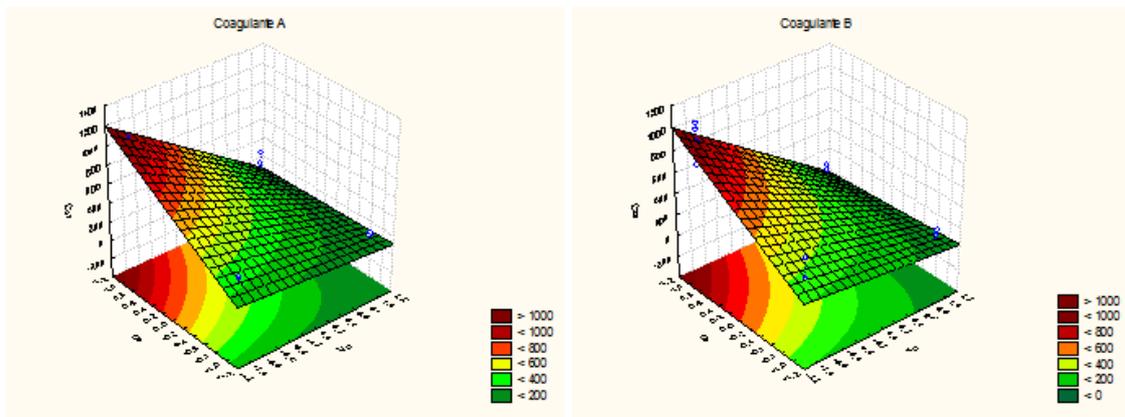
Na utilização do coagulante B, a segunda maior variável foi interação entre os fatores velocidade de coagulação e concentração do coagulante, representado no gráfico de Pareto por 2 by 3, seguida da variável isolada concentração do coagulante. As outras variáveis não apresentaram efeito estatisticamente significativo com  $p < 0,05$ .



**Figura 1. Avaliação da significância dos efeitos das variáveis independentes estudadas no processo de otimização do planejamento fatorial  $2^3$  através do gráfico de Pareto para a cor avaliada para os coagulantes A e B.**

Ao se analisar as superfícies de resposta, representadas pela Figura 2, é possível observar graficamente as interações das variáveis  $C_c$  e  $V_c$  sobre cor nos Coagulantes A e B.

A região de menor valor de cor foi alcançada para níveis superiores da variável independente velocidade de coagulação e com pouca significância da concentração do coagulante para o Coagulante A e B, porém o coagulante B apresentou maior eficiência para redução de cor quando comparado ao coagulante A.

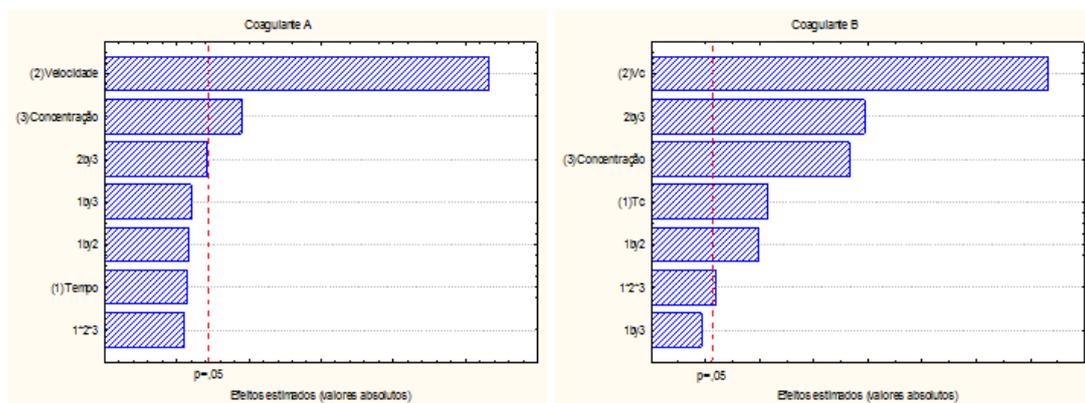


**Figura 2. Efeitos da concentração dos coagulantes e da velocidade de coagulação sobre a cor**

Analisando os gráficos de Pareto (Figura 3) para a variável de resposta de turbidez dos coagulantes A e B, a variável isolada de velocidade de coagulação foi que apresentou maior influência estatisticamente significativa.

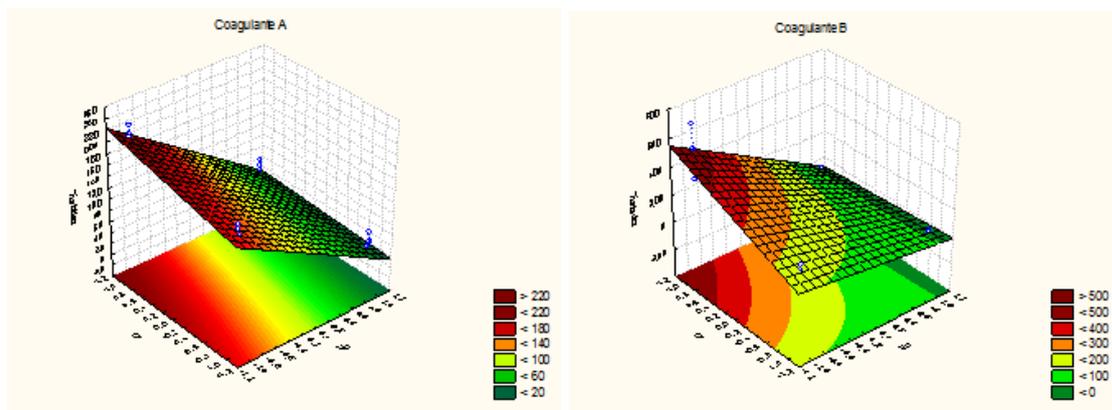
Para o coagulante A, a segunda variável com maior influência significativa foi a concentração do coagulante. As demais variáveis não apresentaram efeito significativo para remoção de turbidez.

Utilizando o coagulante B, a segunda maior variável foi a interação entre os fatores velocidade de coagulação e concentração do coagulante representado no gráfico de Pareto por 2 by 3, seguida da variável isolada concentração do coagulante. A variável tempo de concentração isolada e sua interação com a velocidade de coagulação 2 by 3 também apresentaram influência significativa estatisticamente a nível de 95% de confiança para o coagulante B.



**Figura 3. Avaliação da significância dos efeitos das variáveis independentes estudadas no processo de otimização do planejamento fatorial  $2^3$  através do gráfico de Pareto para a turbidez avaliada para os coagulantes A e B**

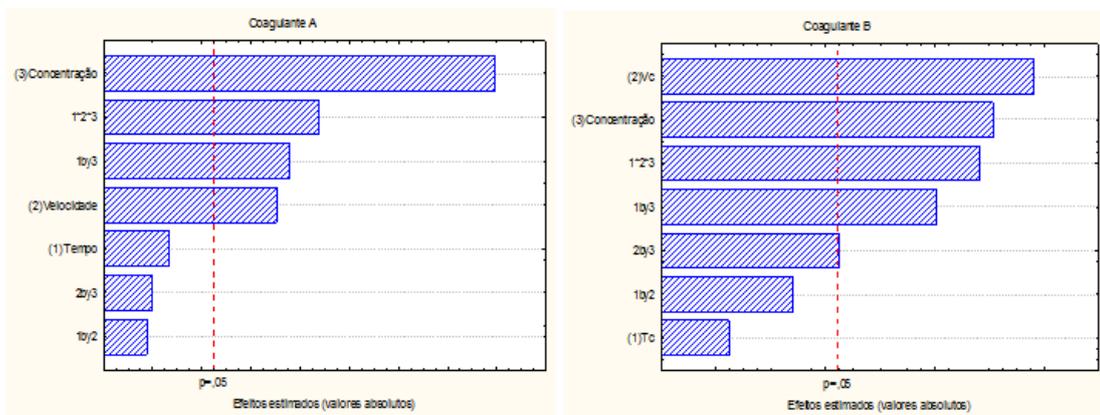
Observando-se a Figura 4 (superfícies de resposta) pode-se verificar que os menores valores de turbidez, foram obtidas com velocidades de coagulação no nível superior dos coagulantes A e B, porém o coagulante B, foi mais eficiente para remoção de turbidez.



**Figura 4. Efeitos da concentração dos coagulantes e da velocidade de coagulação sobre a turbidez**

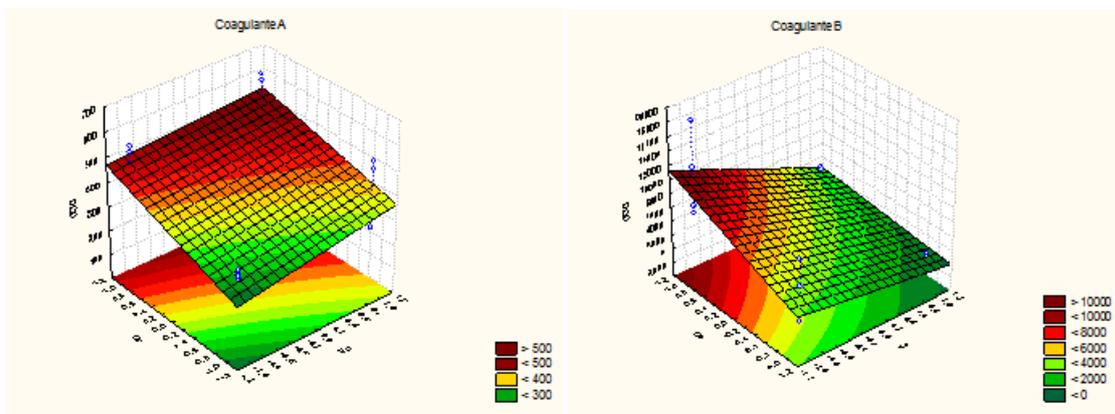
Analisando os gráficos de Pareto (Figura 5) para a variável de resposta de DQO dos coagulantes A e B, a variável isolada de concentração de coagulação foi que apresentou maior influência estatisticamente significativa, ao nível de 95% de confiança no coagulante A. A segunda variável com influência significativa foi a interação entre os fatores de tempo de coagulação, velocidade de coagulação e concentração do coagulante representado no gráfico por 1<sup>o</sup>2<sup>o</sup>3, seguida da interação do tempo de coagulação e concentração do coagulante, representado no gráfico de Pareto por 1 by 3 e a variável isolada de velocidade de coagulação, também apresentaram influência significativa estatisticamente no coagulante A.

Já a redução de DQO no coagulante B, a variável isolada de velocidade de coagulação foi a que apresentou maior influência estatisticamente significativa, ao nível de 95%. A variável concentração do coagulante foi a segunda que teve influência significativa, seguida da interação entre os fatores de tempo de coagulação, velocidade de coagulação e concentração do coagulante representado no gráfico por 1<sup>o</sup>2<sup>o</sup>3, seguida da interação do tempo de coagulação e concentração do coagulante, representado no gráfico de Pareto por 1 by 3.



**Figura 5. Avaliação da significância dos efeitos das variáveis independentes estudadas no processo de otimização do planejamento fatorial 2<sup>3</sup> através do gráfico de Pareto para a DQO avaliada para os coagulantes A e B.**

Observando-se a Figura 6 (superfícies de resposta) pode-se verificar que os menores valores de DQO, foram obtidos no nível inferior com as menores velocidades no coagulante A. No coagulante B, os a remoção de DQO foi mais eficiente com a velocidade de coagulação no nível superior. Quando comparado os dois coagulantes em relação à remoção de DQO, o coagulante B foi que apresentou melhor resultado.



**Figura 6. Efeitos da concentração dos coagulantes e da velocidade de coagulação sobre a DQO**



## CONCLUSÕES

As variáveis que exerceram maior influência significativa para o coagulante A e B, dentro da faixa estudada, foram: velocidade de coagulação e concentração do coagulante.

A variável velocidade de coagulação foi mais eficiente para o coagulante B quando comparado ao coagulante A, para redução de cor, turbidez.

A variável de concentração de coagulação teve mais influência significativa para o coagulante A, para redução de DQO quando comparado ao coagulante B.

A partir do planejamento fatorial completo  $2^3$  percebeu-se que, com valores superiores estudados da velocidade de coagulação e valores inferiores de concentração de coagulação, foi possível obter um bom nível de redução da turbidez, cor e DQO.

A técnica de planejamento experimental para tratamento de efluentes têxteis de coagulação/floculação é uma importante ferramenta, para determinar as condições ótimas de velocidade de coagulação e concentração do coagulante.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Clariant do Brasil, ao CNPq pelo financiamento (edital Universal) e bolsa de produtividade, a CAPES pelas bolsas de mestrado e doutorado, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C.; CAMPOS, J. C. Influence of Experimental Variables on Decoloration of Azo Reactive Dyes by Hydrogen Peroxide and UV Radiation, *Environmental Technology*, v.28, n.10, 1073-1078, 2007.
2. DAUD, Z.; AWANG, H.; LATIF, A. A. A.; NASIR, N.; RIDZUAN, M. B.; AHMAD, Z. Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 195, p.2407 – 2411, 2015.
3. FREITAS T. K. F. S.; OLIVEIRA; V. M.; DE SOUZA M. T. F.; GERALDINO H. C. L.; ALMEIDA, V. C.; FÁVARO S. L.; GARCIA, J. C. Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops and Products*, v. 76, p.538–544, 2015.
4. GÜMÜS, D.; AKBAL, F. Photocatalytic Degradation of Textile Dye and Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 216, p. 117-124, 2010.
5. KHOUNI, I.; MARROT, B.; MOULIN, P.; AMAR, R. B.; Decolourization of the reconstituted textile effluent by different process treatments: Enzymatic catalysis, coagulation/flocculation and nanofiltration processes. *Desalination*, v. 268, p. 27-37, 2011.
6. KURNIAWAN, T. A.; LO, W.; CHAN, G. Y. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrante contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, v. 129, n. 1/3, p. 80-100. 2006.
7. PAIVA, T. M. N. Estudo de remoção de corantes aniônicos em conchas de moluscos bivalves. Recife. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
8. VANDEVIVERE, P. C., BIANCHI, R. e VERSTRAETE, W. Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* n.72, p.289-302, 1998.
9. WANYONYI, W. C.; ONYARI, J. M. Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solutions Using Roots of *Eichhornia crassipes*: Kinetic and Equilibrium Studies. *Energy Procedia*, v. 50, p. 862 – 869, 2014.
10. ZANONI, M.; CARNEIRO, P. O descarte dos corantes têxteis. *Ciência Hoje*, v. 29, p. 61-64, 2001.