

II-385 - OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS H_2O_2 /UV E FOTO-FENTON NA REMOÇÃO DE CORANTES AZO E ANTRAQUINÔNICO

Marcos Erick Rodrigues da Silva⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do Instituto Federal do Ceará (IFCE).

Francisco Bruno Monte Gomes

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE).

Jéssica Linhares dos Santos

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE).

Paulo Igor Milen Firmino

Doutor em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC.

André Bezerra dos Santos

Doutor em Saneamento Ambiental pela Wageningen University - Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC.

Endereço⁽¹⁾: Av. Dr Guarani, 317, Derby Clube - Sobral - CE - CEP: 62042-030 - Brasil - Tel: (88) 3112-8146 - e-mail: marcoserick16@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar um estudo de otimização multivariada dos processos oxidativos avançados do tipo H_2O_2 /UV e Fe^{+2}/H_2O_2 /UV na remoção de corantes azo e antraquinônico em meio aquoso na presença ânions inorgânicos. Utilizou-se soluções aquosas dos corantes azo RB5 e antraquinônico RB4, individualmente, com concentração inicial de 50 mg/L. Os estudos de descoloração dos efluentes foram realizados em um fotoreator, confeccionado em geometria anelar, composto por um tubo de quartzo central, em torno desse tubo foram uniformemente distribuídas seis lâmpadas (UV-C), com comprimento de onda $\lambda = 254$ nm e potência de 15 W cada. O volume útil do fotoreator é de aproximadamente 500 mL. Os estudos de otimização mostraram que para o processo H_2O_2 /UV foram obtidas elevadas remoções (96 – 99%) dos corantes RB4 e RB5, evidenciando o potencial de aplicação desse processo. As condições ótimas para a remoção de 99% dos corantes RB5 e RB4, mostraram que o RB4 apresentou maior recalcitrância, requerendo maior concentração de H_2O_2 e potência da radiação UV. Com o processo foto-fenton as remoções dos corantes RB5 e RB4 foram ainda melhores que os obtidos com o processo H_2O_2 /UV. As condições ótimas para remoção de 99% dos corantes mostraram que o corante antraquinônico RB4 é mais resistente ao processo foto-fenton. Quanto à influência dos sais na eficiência de descoloração do RB5 e RB4 através do processo H_2O_2 /UV, não foi possível evidenciar efeito inibitório, embora vários estudos tenham reportado esse comportamento.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção de cor, processos oxidativos avançados, Planejamento fatorial.

INTRODUÇÃO

A poluição do meio ambiente por efluentes industriais tem se tornado um problema gradativamente preocupante nas últimas décadas. Os resíduos produzidos, em geral, de composição diversificada, frequentemente contêm poluentes que são tóxicos e resistentes aos tratamentos disponíveis (MURUGANANDHAM; SWAMINATHAN, 2004, AL-MOMANI *et al.*, 2002).

O setor têxtil apresenta destaque no cenário econômico local e junto com a agroindústria e o setor pesqueiro são as bases de desenvolvimento industrial do Estado do Ceará. Do ponto de vista ambiental, a indústria têxtil apresenta como principais características o grande consumo de água para a produção de tecido e, consequentemente, a geração de elevados volumes de águas residuárias altamente coloridas. Exemplificando, tem-se que, no processo de acabamento, são necessários 100 litros de água para produzir-se uma tonelada de tecido (SILVA FILHO, 2006).

Assim, com a crescente demanda por produtos têxteis, observou-se um crescimento proporcional na geração de efluentes, por meio dos quais grandes quantidades de corantes e outros produtos químicos são descartados nas águas superficiais.

O descarte de efluentes coloridos no meio ambiente é indesejável não somente por afetar a estética, a transparência e a solubilidade de gases dos corpos hídricos, mas também por muitos corantes e seus subprodutos serem tóxicos, mutagênicos ou carcinogênicos (WEISBURGER, 2002).

A fim de evitar tal desequilíbrio em ecossistemas aquáticos toda água residuária proveniente de atividades industriais deve receber tratamento adequado antes de sua disposição no meio ambiente. Por este motivo, diversos países têm estabelecido severas restrições com respeito à disposição destes efluentes (WONG *et al.*, 2003).

Entre as tecnologias de tratamento, cita-se os Processos de Oxidação Avançada (POA), onde se destacam na eliminação completa de componentes tóxicos, uma vez que, em geral, destroem as moléculas orgânicas poluentes, ao invés de simplesmente removê-las para outra fase, gerando por consequência resíduos ambientalmente aceitáveis (LIU *et al.*, 2007, PANIZZA; CERISOLA, 2001).

Esses processos oxidativos são baseados na geração de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) que são espécies altamente oxidantes. Além disso, são processos limpos e não seletivos, podendo degradar inúmeros compostos, independentemente da presença de outros. Os POAs podem ser usados para destruir compostos orgânicos tanto em fase aquosa, como em fase gasosa ou adsorvidos numa matriz sólida.

A utilização de sistemas homogêneos de fotodegradação tais como $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ e $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ (Foto-fenton) têm atraído muita atenção em virtude de suas elevadas eficiências na oxidação de variados poluentes incluindo os corantes (ELMORSI *et al.*, 2010).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de otimização multivariada dos processos oxidativos avançados do tipo $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ e $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ na remoção de corantes azo e antraquinônico em meio aquoso na presença ânions inorgânicos.

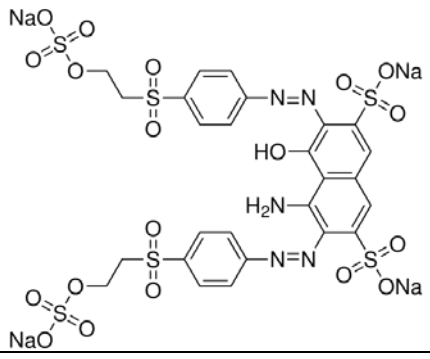
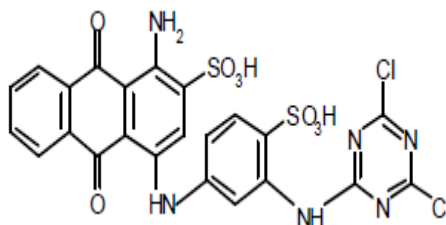
MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Neste estudo foram utilizados dois efluentes sintéticos, um contendo o corante azo *Reactive Black 5* (RB5) (Sigma Aldrich) e o outro utilizando o corante antraquinônico *Reactive Blue 4* (RB4) (Sigma Aldrich).

As soluções de corantes utilizadas nos experimentos foram preparadas a partir da dissolução da quantidade necessária de cada corante em água destilada. Na Tabela 1 são apresentadas as principais características dos corantes estudados.

Tabela 1: Características dos corantes utilizados na pesquisa.

Corante/Classe	Estrutura Química / Fórmula Molecular	λ_{\max} (nm)
<p><i>Reactive Black 5</i> (RB5)</p> <p>Azo</p>	 <p>$C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$</p>	598
<p><i>Reactive Blue 4</i> (RB4)</p> <p>Antraquinônico</p>	 <p>$C_{23}H_{14}Cl_2N_6O_8S_2$</p>	596

Os reagentes empregados no processo de oxidação avançada foram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (Vetec) e H_2O_2 (30%) (Dinâmica). Na correção do pH das amostras era utilizada uma solução de H_2SO_4 (5M) ou solução de NaOH (5M). Para interromper a reação nas amostras coletadas ao longo do tempo, elevava-se o pH para próximo de 10 e adicionava-se sulfito de sódio anidro Na_2SO_3 (Vetec) para remover o residual de H_2O_2 . Dentre os sais utilizados, destaca-se: carbonato de sódio (Na_2CO_3); Cloreto de sódio (NaCl); nitrato de sódio ($NaNO_3$) todos adquiridos da Vetec. Em todos os experimentos a concentração de corante adotada foi de 50 mg/L.

O fotoreator utilizado foi confeccionado em geometria anelar, composto por um tubo de quartzo central, que possibilita a transmissão das radiações UV pelas suas paredes. Em torno desse tubo foram uniformemente distribuídas sete lâmpadas (UV-C) da marca Phillips, com comprimento de onda $\lambda = 254$ nm e potência de 15 W cada, como mostrado na Figura 1. O volume útil do fotoreator é de aproximadamente 500 mL.

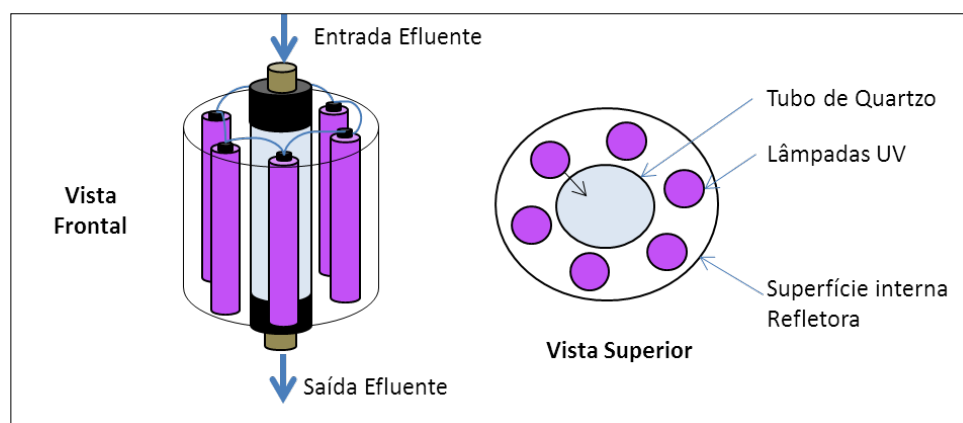


Figura 1: Esquema representativo do fotoreator utilizado na pesquisa.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios com os processos UV/H₂O₂ e Foto-fenton foram realizados no fotoreator descrito no item anterior. Todos os experimentos foram realizados em regime de bateladas e em temperatura ambiente, de aproximadamente 25°C.

O pH do efluente sintético, quando necessário, foi ajustado utilizando-se soluções de ácido sulfúrico (H₂SO₄) ou hidróxido de sódio (NaOH). A concentração de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio, 30%) adicionada às amostras, assim como a potência da radiação UV, variaram de acordo com as condições pré-estabelecidas para os experimentos. O tempo total das reações foi definido em 30 minutos.

ANÁLISES

Para avaliar a remoção do corante (cor) ao longo dos processos oxidativos, a cor era determinada fotometricamente (Thermo – Nicolet Evolution 100). As absorvâncias das amostras coletadas eram lidas no comprimento de onda (λ) de 598nm para o corante RB5 e 596 nm para o RB4. A partir das curvas de calibração de cada corante, obtidas da relação linear entre concentração e absorvância, determinava-se as concentrações inicial (C₀) e final (C) do RB5 e RB4 nas soluções.

As análises de H₂O₂ residual foram realizadas através do método iodométrico, e a determinação da concentração de ferro total no efluente tratado foi realizada através do método colorimétrico o-fenantrolina (APHA, 1995).

O planejamento fatorial foi realizado utilizando-se o programa estatístico STATGRAPHICS. Este procedimento é cada vez mais utilizado em estudos de otimização, uma vez que permite a avaliação de efeitos antagônicos e sinérgicos das variáveis com grande praticidade.

RESULTADOS

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO H₂O₂/UV NA REMOÇÃO DOS CORANTES RB5 E RB4

A descrição dos experimentos, com os dois corantes RB5 e RB4, e a relação entre os seus valores experimentais reais e codificados estão descritos na Tabela 2. Os ensaios foram realizados de forma aleatória, de modo a minimizar os erros sistemáticos. As variáveis independentes utilizadas foram: a potência da radiação UV (A), o pH do meio (B) e a concentração de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (C), sendo que a variável dependente ou variável-resposta foi a porcentagem da remoção de cor do corante.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dos ensaios de otimização do processo (UV/H₂O₂) na descoloração dos efluentes sintéticos contendo o corante RB5 e o RB4.

Tabela 2. Matriz de Delineamento do planejamento fatorial na otimização do processo UV/H₂O₂ para a remoção dos corantes RB5 e RB4

Ensaio	Fatores			Variável-Resposta	
	(A) Potência UV(W)	(B) pH	(C) [H ₂ O ₂] (mg/L)	Remoção do RB5 (%)	Remoção do RB4 (%)
1	30	2	100	99,5	94,4
2	90	8	1000	98,4	99,6
3	90	8	100	97,7	98,7
4	60	5	550	99,5	99,2
5	60	5	550	99,3	99,1
6	30	2	1000	99,0	99,0
7	90	2	1000	99,4	99,3
8	60	5	550	99,2	98,9
9	90	2	100	99,7	98,6
10	30	8	100	96,7	95,4
11	30	8	1000	97,3	99,2
12	60	5	550	98,7	99,1

Em geral, foram obtidas elevadas remoções dos corantes RB5 e RB4 para todas as condições operacionais definidas no planejamento fatorial. Para o corante RB5, as eficiências variaram entre 96,7 e 99,7%. Com relação ao RB4, as eficiências mínimas e máximas foram, respectivamente, 94,4 e 99,6%.

A partir desses resultados, verificou-se que as condições otimizadas para a remoção de 99% do corante RB5 foram: pH = 3,4 [H₂O₂] = 108 mg/L e Radiação UV = 30 W, para o corante RB4 as condições ótimas ocorreram em pH = 8; H₂O₂ = 102 mg/L e Radiação UV = 90 W. Dessa forma, verifica-se que o corante RB4 mostrou maior recalcitrância ao processo UV/H₂O₂ em comparação ao RB5, visto que requisitou maior potência da radiação UV.

Além do exposto, verificou-se por meio do gráfico de pareto (Figura 2) que dentre as variáveis estudadas no processo UV/H₂O₂, todas apresentaram efeito positivo e significativo na remoção do corante RB4. Já para o corante RB5, apenas o efeito da concentração de peróxido de hidrogênio não foi significativo.

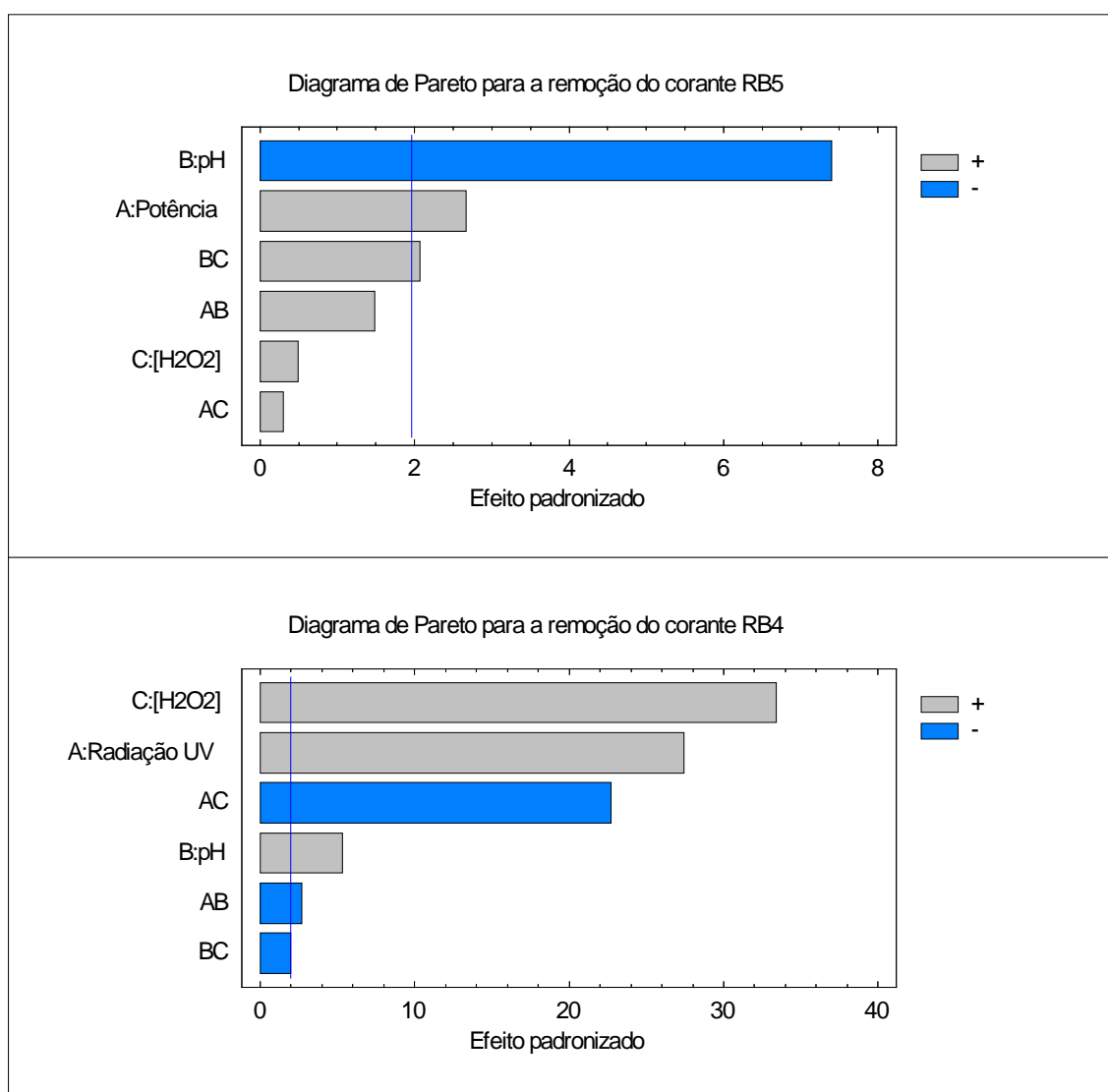


Figura 2: Diagrama de pareto para o processo UV/H₂O₂ com o corante azo RB5 e antraquinônico RB4 (50mg/L).

Elmorsi *et al.* (2010) não evidenciaram influência significativa do pH do meio na eficiência de remoção do corante azo MR73 através do processo UV/H₂O₂. No entanto, os autores destacaram que a presença do H₂O₂ pode tanto contribuir como também inibir o processo, uma vez que elevadas concentrações de H₂O₂ podem consumir os radicais ·OH gerados no meio. Esse fato ratifica a necessidade de otimização do processo.

Nas Equações 1 e 2 são mostrados os modelos de primeira ordem reparametrizado para a descoloração dos corantes RB5 e RB4 através do processo de oxidação do tipo UV/H₂O₂. Vale ressaltar que os parâmetros estatisticamente não significativos foram eliminados do modelo.

$$\text{Remoção de Cor do RB5 (\%)} = 100,122 + 0,01125*(A) - 0,419444*(B) - 0,000972222*(C) + 0,000194444*(B)*(C) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\text{Remoção de Cor do RB4 (\%)} = 91,9 + 0,0743519*(A) + 0,163889*(B) + 0,00683333*(C) - 0,00111111*(A)*(B) - 0,000062963*(A)*(C) - 0,0000555556*(B)*(C) \quad \text{Eq. (2)}$$

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO FOTO-FENTON (UV/Fe²⁺/H₂O₂) NA REMOÇÃO DOS CORANTES RB5 E RB4

A radiação UV combinada com o reagente de Fenton origina um novo tipo de tratamento, denominado de Foto-Fenton. Este tem como característica o aumento na velocidade de degradação dos poluentes devido à presença da radiação ultravioleta.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados do planejamento fatorial com o processo Foto-fenton. Em geral, foram obtidas elevadas remoções dos corantes RB5 e RB4 para todas as condições operacionais definidas no planejamento fatorial. Para o corante RB5, as eficiências variaram entre 97,9 e 99,8%. Com relação ao RB4 as eficiências mínimas e máximas foram, respectivamente, 87,0 e 98,9%.

Tabela 2. Matriz do Delineamento do planejamento fatorial na otimização do processo Fe²⁺/UV/H₂O₂ para a remoção dos corantes RB5 e RB4

Ensaio	Fatores				Variável-Resposta	
	(A) Fe ²⁺ (μM)	(B) [H ₂ O ₂] (mg/L)	(C) pH	(D) Potência UV (W)	Remoção do RB5 (%)	Remoção do RB4 (%)
1	10	50	8	90	98,7	93,8
2	50	250	5	60	99,2	95,8
3	90	450	2	90	99,6	95,4
4	10	50	8	30	98,9	96,3
5	90	50	8	30	97,9	87,0
6	10	50	2	30	99,5	97,0
7	10	50	2	90	99,8	98,5
8	90	450	8	30	98,7	93,1
9	10	450	8	90	98,9	91,1
10	10	450	2	30	99,7	95,7
11	90	50	2	90	99,3	94,1
12	90	450	2	30	99,6	97,9
13	10	450	8	30	98,2	90,2
14	50	250	5	60	99,2	97,5
15	10	450	2	90	99,7	98,9
16	90	50	2	30	98,5	92,7
17	50	250	5	60	99,3	95,2
18	90	50	8	90	98,5	91,1
19	90	450	8	90	99,6	96,4

A partir desses resultados e utilizando o programa estatístico STATGRAPHICS verificou-se que as condições otimizadas para a remoção de 99% do corante RB5 foram: pH = 5,8, [Fe²⁺] = 10 μM, [H₂O₂] = 95 mg/L e Radiação UV = 30 W. Para o corante RB4, as condições ótimas ocorreram em pH = 2, [Fe²⁺] = 11 μM, [H₂O₂] = 54 mg/L e Radiação UV = 60 W.

Verifica-se que, em especial para o corante RB5, como as remoções foram muito elevadas para todas as condições experimentais testadas, não foi possível evidenciar o efeito das variáveis do processo. No entanto, a avaliação dos efeitos de cada variável no processo é melhor descrita no diagrama de pareto (Figura 3).

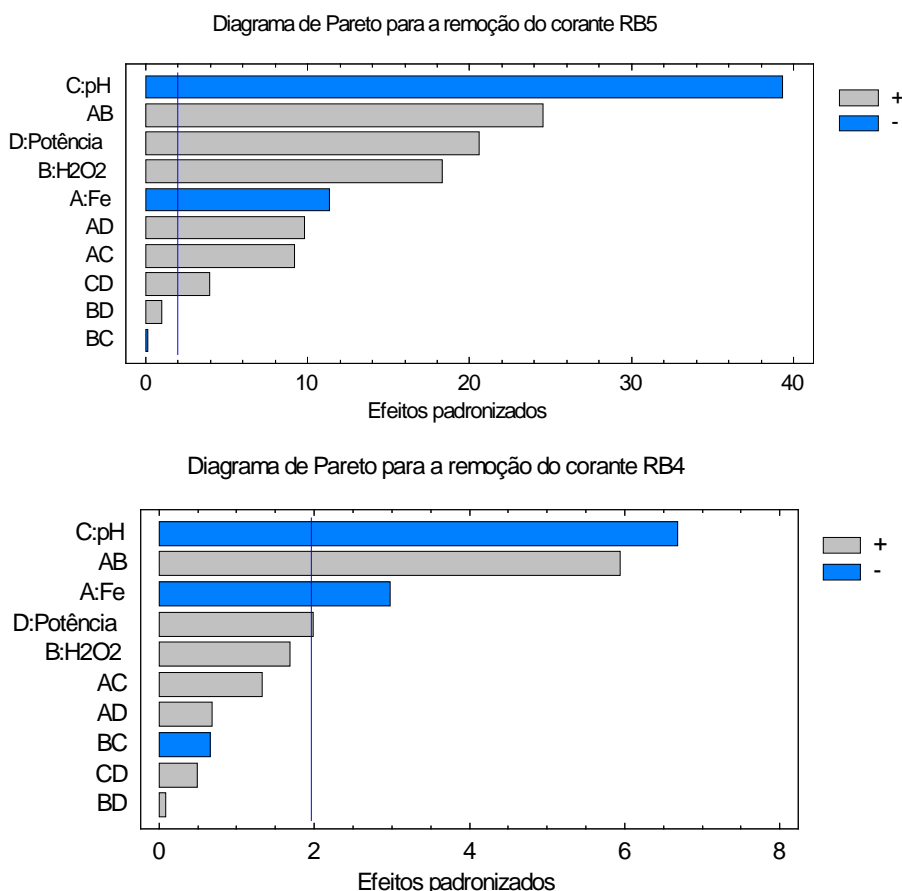


Figura 3: Diagrama de pareto para o processo $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ com o corante azo RB5 e antraquinônico RB4 (50mg/L).

Nas Equações 3 e 4 estão mostrados os modelos de primeira ordem reparametrizados para a descoloração dos corantes RB5 e BB4, respectivamente, durante o processo de oxidação do avançada do tipo foto-fenton. Vale ressaltar que, os parâmetros estatisticamente não significativos foram eliminados do modelo.

$$\text{Remoção de cor RB5 (\%)} = 100,18 - 0,0188828*(A) - 0,000607812*(B) - 0,192083*(C) + 0,000586806*(D) + 0,0000301563*(A)*(B) + 0,00075*(A)*(C) + 0,0000802083*(A)*(D) + 0,000430556*(C)*(D) \quad \text{Eq.(3)}$$

$$\text{Remoção de cor RB4 (\%)} = 100,501 - 0,0758906*(A) - 0,0108281*(B) - 0,649583*(C) + 0,0192917*(D) + 0,000216562*(A)*(B) \quad \text{Eq. (4)}$$

EFEITOS DOS ÂNIOS INORGÂNICOS NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO FOTOQUÍMICO $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ NA REMOÇÃO DOS CORANTES RB5 RB4

Nessa etapa da pesquisa foram realizados ensaios experimentais utilizando o processo oxidativo avançado do tipo $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ na remoção de cor de efluentes sintéticos contendo diferentes ânions inorgânicos.

Na Tabelas 3 são mostradas as taxas de descoloração juntamente com o tempo de meia vida durante o processo de descoloração dos corantes RB5 e RB4 na presença dos ânions inorgânicos. Vale ressaltar que para esses estudos foram testados os modelos cinéticos de ordem zero, primeira e segunda ordem. No entanto, apenas os resultados obtidos pelo modelo cinético de 1ª ordem estão exibidos, visto que foi o que apresentou os melhores ajustes, atestado pelos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 3: Taxas de descoloração (K) e o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) dos corantes RB5 e RB4 durante a aplicação do processo UV/H₂O₂ na presença de quantidades variadas de ânions inorgânicos.

Ânion	Conc. (mg/L)	RB5			RB4		
		K _{app} (min ⁻¹)	t _{1/2}	R ²	K _{app} (min ⁻¹)	t _{1/2}	R ²
Controle	0	0,710	1,0	0,987	0,411	1,7	0,983
NO ₃ ⁻	50	0,651	1,1	0,987	0,527	1,3	0,973
	100	0,913	0,8	0,994	0,495	1,4	0,978
	200	1,055	0,7	0,993	0,399	1,7	0,977
	500	0,939	0,7	0,993	0,401	1,7	0,936
	1000	0,580	1,2	0,983	0,347	2,0	0,962
CO ₃ ⁻²	50	1,050	0,7	0,981	0,549	1,3	0,985
	100	0,846	0,8	0,978	0,422	1,6	0,982
	200	0,988	0,7	0,995	0,379	1,8	0,990
	400	0,469	1,5	0,965	0,376	1,8	0,994
	600	0,539	1,3	0,943	0,476	1,5	0,979
Cl ⁻	100	0,754	0,9	0,947	0,416	1,7	0,952
	200	1,064	0,7	0,984	0,629	1,1	0,942
	400	0,533	1,3	0,985	0,438	1,6	0,963
	1000	0,541	1,3	0,937	0,307	2,3	0,959
	2000	0,542	1,3	0,933	0,412	1,7	0,944

Condições operacionais para o corante azo RB5: [RB5] = 50 mg/L, [H₂O₂] = 108 mg/L, pH = 3,4, Radiação UV = 30 W e Tempo de reação de 30 minutos. Para o corante RB4: [RB4] = 50 mg/L, [H₂O₂] = 102 mg/L, pH = 8, Radiação UV = 90 W e Tempo de reação de 30 minutos.

Em geral, os ânions avaliados nesse estudo não influenciaram significativamente a cinética de descoloração do RB5 e RB4, tendo em vista que as constantes de descoloração pouco diferiram para os efluentes contendo os ânions nas concentrações avaliadas. Além disso, atenta-se para os baixos tempos de meia-vida apresentados em todos os ensaios, os quais estiveram na sua maioria próximos de 1 min para o RB5 e 2 min para o RB4. Observou-se que remoções da ordem de 99% dos corantes RB5 e RB4 foram obtidas em 5 minutos de reação.

Dessa forma, os resultados mostrados no presente estudo contradizem os estudos reportados por Elmorsi *et al.* (2010), os quais avaliaram o efeito do cloreto de sódio na remoção do corante azo *Mordant red 73* (MR73) e observaram uma queda significativa na taxa de reação com a presença de 1000 mg/L de cloreto de sódio. Esses autores atribuíram a queda na descoloração à captura de radicais hidroxilas pelo íon cloreto. Riga *et al.* (2007) e Devi *et al.* (2011) também evidenciaram o efeito inibidor dos íons cloreto e sulfato na mineralização de corantes.

No entanto, é possível que os efeitos inibitórios dos sais testados nesse trabalho tenham sido mascarados pela grande disponibilidade de radicais hidroxilas no meio, confirmada pelas elevadas remoções dos corantes em baixos tempos de reação.

CONCLUSÕES

Os estudos de otimização mostraram que para o processo H₂O₂/UV foram obtidas elevadas remoções (96 – 99%) dos corantes RB4 e RB5, evidenciando o potencial de aplicação desse processo. As condições ótimas para a remoção de 99% dos corantes RB5 e RB4, mostraram que o RB4 apresentou maior recalcitrância, requerendo maior concentração de H₂O₂ e potência da radiação UV.

Com o processo foto-fenton as remoções dos corantes RB5 e RB4 foram ainda melhores que os obtidos com o processo H_2O_2/UV . As condições ótimas para remoção de 99% dos corantes mostraram que o corante antraquinônico RB4 é mais resistente ao processo foto-fenton.

Quanto à influência dos sais na eficiência de decoloração do RB5 e RB4 através do processo H_2O_2/UV , não foi possível evidenciar efeito inibitório, embora vários estudos tenham reportado esse comportamento.

Finalmente, a otimização multivariada dos processos oxidativos avançados mostra-se uma ferramenta importante na operação desses sistemas, assim como é fundamental a realização de ensaios para diferentes composições de efluentes têxteis, visto que os corantes do grupo antraquinônico apresentam maiores recalcitrâncias aos processos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-MOMANI, F.; TOURAUD, E.; DEGOURCE-DUMAS, J. R.; ROUSSY, J.; THOMAS, O. **Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by UV photolysis.** *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 153, p. 191-197, 2002.
2. DEVI, L. G.; KUMAR, S. G.; RAJU, K. S. A.; RAJASHEKHAR, K. E. **Photo-degradation of di azo dye Bismarck Brown by advanced photo-fenton process: Influence of inorganic anions and evaluation of recycling efficiency of iron powder.** *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v.42, p. 341-349, 2011.
3. ELMORSI, T. M.; RIYAD, Y. M.; MOHAMED, Z. H.; ABD EL BARY, H. M. H. **Decolorization of Mordant red 73 azo dye in water using H_2O_2/UV and photo-Fenton treatment.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 174, p. 352-358, 2010.
4. LIU, R.; CHIU, H. M.; SHIAU, C. S.; YEH, R. Y. L.; HUNG, H. T. **Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes.** *Dyes and Pigments*, v. 73, p. 1-6, 2007.
5. MURUGANANDHAM, M.; SWAMINATHAN, M. **Decolorisation of Reactive Orange 4 by Fenton and photo-Fenton oxidation technology.** *Dyes and Pigments*, v. 63, p. 315-321, 2004.
6. PANIZZA, M.; CERISOLA, G. **Removal of organic pollutants from industrial wastewater by electrogenerated Fenton's reagent.** *Water Research*, v. 35, n. 16, p. 3987-3992, 2001.
7. RIGA, A.; SOUTSAS, K.; NTAMPEGLIOTIS, K.; KARAYANNIS, V.; PAPAPOLYMEROU, G. **Effect of system parameters and of inorganic salts on the decolorization and degradation of Procion H-exl dyes. Comparison of H_2O_2/UV , Fenton, UV/Fenton, TiO_2/UV and $TiO_2/UV/H_2O_2$ process.** *Desalination*, v.211, p.72-86, 2007.
8. SILVA FILHO, H. A. **Remoção de corante têxtil em reator biológico com fungos.** Trabalho de conclusão de curso (Curso de Gestão em Tecnologia Ambiental) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (CEFETCE), Fortaleza, 2006.
9. WEISBURGER, J. H. **Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health.** *Mutation Research*, v. 506-507, p. 9-20, 2002.
10. WONG, Y. C. et al. **Equilibrium studies for acid dye adsorption onto chitosan.** *Langmuir*, v. 19, p. 7888 – 7894, 2003.