

II-380 - ESTUDO DA APLICAÇÃO DO PROCESSO FENTON COMO PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO PLANEJAMENTO FATORIAL DE EXPERIMENTOS

Fernando Fernandes⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Doutor em Engenharia Civil pelo Institut National Polytechnique de Toulouse. Professor adjunto na área de Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Camila Lopes Maler⁽²⁾

Bacharel em Química pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Celso Garcia Cid, PR445 km 380 – Campus Universitário – CEP: 86051-970 - Caixa-postal: 6001 – Londrina - PR - Brasil - Telefone: + 55 (43) 33714470 – email: fernando@uel.br

RESUMO

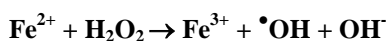
Este trabalho teve como objetivo avaliar o processo Fenton após uma sequência de tratamentos (arraste para remoção de Nitrogênio/lodo ativado intermitente) aplicados ao de lixiviado de aterro sanitário. Os resultados foram analisados utilizando a técnica de planejamento fatorial de experimentos tendo como variáveis independentes o pH, a concentração de peróxido de hidrogênio e de Ferro (II). A otimização do processo foi baseada na variável resposta porcentagem de remoção de DQO, aliando a técnica de planejamento à metodologia de superfície de resposta. A aplicação do processo Fenton ao lixiviado após remoção parcial do nitrogênio amoniacal por arraste e tratamento biológico por lodo ativado em bateladas sequenciais com nitrificação/desnitrificação permitiu remover 71% da DQO e 92% da cor verdadeira, resultando no efluente com DQO de 473 mg O₂ L⁻¹ e cor verdadeira de 300 uH. A melhor condição foi obtida após três planejamentos fatoriais, nos quais foi possível constatar que o Ferro foi a variável de maior influência sobre a variável resposta.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, Aterro Sanitário, Processo Fenton, Planejamento Fatorial, DQO.

INTRODUÇÃO

Aterros sanitários são atualmente a forma mais adequada de disposição de resíduos sólidos. Quando aterrados estes resíduos são submetidos a processos de decomposição química e biológica dando origem a efluentes líquidos e gasosos. A fração líquida, denominada lixiviado, é formada pela umidade contida nos resíduos e pelo aporte das precipitações e outros tipos de infiltrações que percolam o aterro (KJELDSEN *et al.*, 2002). Suas principais características são seu elevado potencial de contaminação, cor escura, odor desagradável, elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal e de compostos orgânicos de difícil degradação, cujo tratamento tem sido alvo de diversos estudos.

Os processos biológicos de tratamento, apesar de muito utilizados devido às suas vantagens econômicas e à simplicidade operacional, encontram alguns fatores limitantes, como a presença de compostos recalcitrantes nestes resíduos. Assim, na busca por alternativas de tratamento, os Processos Oxidativos Avançados, POAs, têm se destacado. Estes processos se baseiam na geração do radical hidroxila, •OH, que pode oxidar não seletivamente os contaminantes presentes no lixiviado (PERALTA-ZAMORA *et al.*, 1997). Dentre os POAs, destaca-se o processo Fenton, no qual o •OH é produzido ao passo que um sal de ferro (II) é utilizado para decompor cataliticamente o peróxido de hidrogênio pela reação química apresentada na equação 1 (LANGE *et al.*, 2006).



Equação (1)

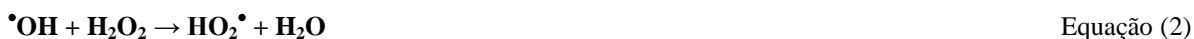
A eficiência do processo Fenton depende tanto da natureza do resíduo a ser tratado, como a estrutura química e a concentração dos contaminantes, quanto das condições operacionais em que é aplicado. Os principais parâmetros operacionais que influenciam a remoção de contaminantes no processo Fenton são o pH, a dosagem

de Peróxido de Hidrogênio e do sal de Ferro, além da velocidade de agitação e temperatura em que a reação é processada.

A faixa ótima de pH para o processo é de 2,5 a 4,0 (LEGRINI *et al.*, 1993). Para valores de pH acima destes, o Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} , o qual pode precipitar na forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

No que diz respeito à dosagem de Ferro, deve-se considerar que coagulação convencional envolve o uso de sais metálicos como sulfato de alumínio, cloreto férrico e inclusive sulfato ferroso, o principal sal utilizado no processo Fenton. Assim, pode-se concluir que o processo Fenton abrange a atuação desses dois fenômenos. De acordo com NEYENS & BAEYENS (2003), quando quantidade de Fe^{2+} excede a de H_2O_2 o fenômeno predominante é o de coagulação, ao passo que quando a concentração de H_2O_2 é superior, prevalece a oxidação.

A dosagem do oxidante, H_2O_2 , também é um parâmetro importante no processo. Assim como uma concentração de H_2O_2 muito pequena pode ser insuficiente para a geração de radical $\cdot\text{OH}$, o excesso deste reagente pode ser prejudicial em virtude de sua atuação como sequestrador de $\cdot\text{OH}$, como mostra a Equação 2.



O planejamento fatorial de experimentos é uma técnica de análise de dados que permite avaliar simultaneamente o efeito de um grande número de variáveis a partir de um número reduzido de experimentos. A partir dela é possível estimar os efeitos de diversos fatores, bem como as suas interações sobre a variável resposta, pois são analisadas todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável de influência. As interações entre os fatores são a principal componente do processo de otimização. Ao complementar a análise da técnica utilizando metodologia de superfície de respostas, pode-se observar com clareza a tendência de melhoria dos resultados.

Este trabalho tem com objetivo estudar o processo Fenton como pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos domiciliares utilizando a técnica de planejamento fatorial de experimentos aliada à metodologia de superfície de respostas, visando otimizar as variáveis que influenciam no processo.

METODOLOGIA

O lixiviado coletado foi submetido ao tratamento preliminar de arraste de ar seguido de tratamento biológico por lodos ativados e então ao pós-tratamento pelo processo Fenton.

Na etapa preliminar o Nitrogênio Amoniacal foi parcialmente removido do lixiviado por meio de volatilização por arraste de ar, realizado em dois tanques de capacidade volumétrica de 1,0 m³ providos de sistema de agitação com paletas verticais em aço inoxidável e polipropileno. O processo foi mantido até que a concentração de N-amoniacal fosse reduzida até cerca de 40% do seu valor inicial.

A etapa seguinte foi o processo biológico por Lodos Ativados, realizado em duas fases. A fase aeróbia, cujo objetivo é a oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito, foi realizada em reator provido de sistema de injeção de ar. A duração desta etapa foi referente à redução completa de N-amoniacal a nitrito. A segunda fase, anóxica, que visa a desnitrificação, foi realizada por via curta mediante adição de etanol como fonte de carbono para remoção de nitritos e nitratos. Esta etapa foi finalizada após a redução total de nitritos e nitratos a Nitrogênio molecular.

O efluente foi então submetido ao processo Fenton, sendo que as variáveis independentes estabelecidas para o planejamento fatorial foram a dosagem de reagentes e pH inicial do lixiviado, e a variável resposta selecionada foi a porcentagem de remoção de DQO. Inicialmente o pH foi ajustado com soluções de H_2SO_4 e NaOH , e na sequência os reagentes foram adicionados na ordem FeSO_4 seguido por H_2O_2 . O tempo de reação foi estabelecido em 60 min, após o qual o pH foi ajustado para 7,0, seguido de 30 min de sedimentação para a remoção de Ferro na forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Inicialmente foi empregado um planejamento fatorial 2³ com duas repetições no ponto central, totalizando 10 experimentos, de acordo a Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis e Níveis Definidos para o planejamento inicial para a otimização da aplicação do processo Fenton como pós-tratamento.

Variáveis independentes	Níveis Codificados		
	-1	0	+1
Dosagem de H_2O_2 (mg L ⁻¹)	1000	1500	2000
Dosagem de Fe^{2+} (mg L ⁻¹)	100	300	500
pH	3,0	4,0	5,0

Após a análise dos resultados foi realizado um segundo planejamento 2³ (Tabela 2) visando otimizar os resultados de remoção de DQO, no qual a faixa de variação do pH foi reduzida, a concentração de Fe^{2+} foi elevada e a de H_2O_2 diminuída.

Tabela 2: Variáveis e Níveis Definidos para o segundo planejamento para a otimização da aplicação do processo Fenton como pós-tratamento.

Variáveis independentes	Níveis Codificados		
	-1	0	+1
Dosagem de H_2O_2 (mg L ⁻¹)	800	1000	1200
Dosagem de Fe^{2+} (mg L ⁻¹)	400	500	600
pH	3,0	3,5	4,0

Foi então realizado um terceiro e último planejamento DCCR (2²), no qual o pH foi fixado em 4,0, ao passo que a concentração de Fe^{2+} foi elevada e a de H_2O_2 reduzida, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis e Níveis Definidos para o terceiro planejamento para a otimização da aplicação do processo Fenton como pós-tratamento.

Variáveis independentes	Níveis Codificados		
	-1	0	+1
Dosagem de H_2O_2 (mg L ⁻¹)	800	1000	1200
Dosagem de Fe^{2+} (mg L ⁻¹)	400	500	600

Os resultados foram interpretados utilizando o software Statistica 7, aliando a técnica de planejamento fatorial à metodologia de superfícies de resposta.

RESULTADOS OBTIDOS

O tratamento do lixiviado foi composto por uma sequência de etapas. As duas etapas iniciais tiveram duração de 41 dias, ou seja, na fase de arraste de ar o tempo de detenção hidráulica foi de 21 dias, ao passo que, no tratamento biológico por lodos ativados, a fase aeróbia teve duração de 9 dias e a anóxica de 11 dias.

Na terceira etapa, correspondente ao tratamento físico-químico por coagulação-floculação-sedimentação, foi utilizada a dosagem de coagulante de 250 mg Fe^{3+} L⁻¹ em pH 4,0, conforme os resultados previamente obtidos em trabalhos anteriores (MALER, 2013).

As características do lixiviado em estudo após cada etapa do tratamento são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização do lixiviado após cada etapa do tratamento

Parâmetro	Unidade	Inicial	Stripping	Após Tratamento Biológico
pH	-	9,1	8,4	9,7
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	4238	2259	1401
Temperatura	°C	19,4 a 21,8		22
Oxigênio dissolvido	mg O ₂ /L	0,5 a 0,9		0,3
Cor verdadeira	uH	4180	-	3386
N-amoniacoal	mg N-NH ₃ /L	859	325	5
NKT	mg N-NH ₃ /L	997	438	85
Nitrito	mg N-NO ₂ /L	0,1	65,6	0,2
Nitrato	mg N-NO ₃ /L	0	9,8	2,0
DBO	mg O ₂ /L	55	45	1802
DQO	mg O ₂ /L	1819	1816	1624
ST	mg/L	6556	7796	8174
STV	mg/L	5118	6067	6543
STF	mg/L	1438	1729	1631
SST	mg/L	78	107	103
SSV	mg/L	12	9	14
SSF	mg/L	66	99	89

Como mostra a Tabela 4, as duas primeiras etapas de tratamento removeram grande parte dos principais contaminantes do lixiviado, como o Nitrogênio amoniacoal e total, prevalecendo valores residuais remanescentes de cor verdadeira (3386 uH) e DQO (1624 mg L⁻¹).

Na Tabela 5 é apresentado o delineamento dos experimentos realizados utilizando como variáveis independentes o pH inicial do lixiviado e a concentração de H₂O₂ e Fe²⁺ em mg L⁻¹ para o processo Fenton realizado após tratamento biológico, bem como os resultados obtidos em termos de remoção de DQO.

Tabela 5 - Delineamento experimental e resultados obtidos após o tratamento por Processo Fenton

Ensaio	Variáveis			Variáveis Codificadas			Variável Resposta	
	[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹)	[Fe ²⁺] (mg L ⁻¹)	pH	[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹)	[Fe ²⁺] (mg L ⁻¹)	pH	DQO Residual (mg L ⁻¹)	% Remoção de DQO
1	1000	100	3,0	-1	-1	-1	1226	25
2	2000	100	3,0	+1	-1	-1	1354	17
3	1000	500	3,0	-1	+1	-1	687	58
4	2000	500	3,0	+1	+1	-1	848	48
5	1000	100	5,0	-1	-1	+1	1451	11
6	2000	100	5,0	+1	-1	+1	1380	15
7	1000	500	5,0	-1	+1	+1	895	45
8	2000	500	5,0	+1	+1	+1	932	43
9	1500	300	4,0	0	0	0	1044	36
10	1500	300	4,0	0	0	0	1149	29

De acordo com a tabela 5 a remoção de DQO variou de 11 a 58% em função das variações principalmente da concentração de Ferro e do pH.

Em relação da variável pH ao comparar os ensaios 3 e 7 e 4 e 8, que tiveram as mesmas concentrações de Ferro e H₂O₂, mas com valores de pH distintos, observa-se que em ambos os casos a tendência foi de melhoria na remoção de DQO para valores menores de pH. Este comportamento é evidenciado pela análise estatística apresentada na Tabela 6, que mostra a influência no sentido negativo do pH.

Tabela 6 – Resultados da Análise de Variância do primeiro planejamento fatorial para a variável resposta Remoção de DQO pelo processo Fenton.

Fatores	Efeitos	p-valor
[H ₂ O ₂]	-3,92549	0,438583
[Fe ²⁺]	31,54249	0,065020
pH	-8,35899	0,234928
[H ₂ O ₂] x [Fe ²⁺]	-2,17057	0,623572
[H ₂ O ₂] x pH	4,97229	0,367001
[Fe ²⁺] x pH	-0,63116	0,877252

A Tabela 6 indica ainda que a concentração de Fe²⁺ é a variável de maior influência sobre o processo, ou seja, as maiores [Fe²⁺] e menores [H₂O₂] levaram a maiores remoções de DQO. Isto indica que o processo de maior atuação sobre a remoção de DQO pode ser a coagulação, tendo em vista a capacidade coagulante do Ferro.

Ao utilizar a metodologia de superfície de respostas aliada ao planejamento fatorial foi possível direcionar as condições experimentais posteriores a fim de otimizar os resultados referentes à variável resposta. Foi observado que a concentração de Fe²⁺ é a variável de maior influência sobre o processo, ou seja, as maiores [Fe²⁺] levaram a maiores remoções de DQO, ao passo que a variação da [H₂O₂] não mostrou alterações expressivas sobre a DQO, conforme mostra a Figura 1.

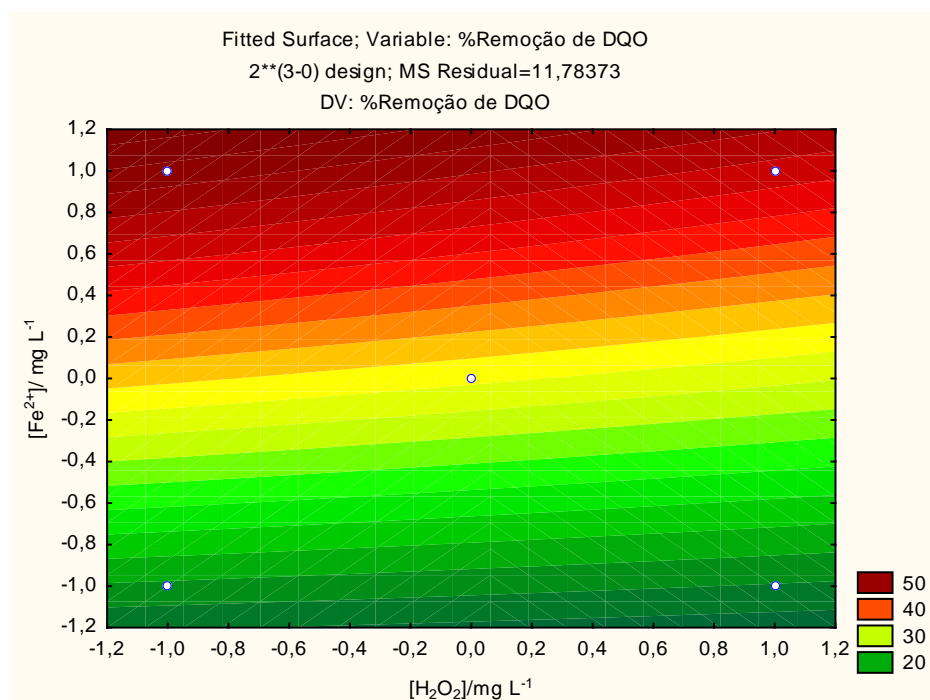


Figura 1 – Superfície de contorno para a variável resposta % de Remoção de DQO para as variáveis [Fe²⁺] e [H₂O₂] – Planejamento 1

De acordo a Figura 1, os melhores resultados foram obtidos para os níveis (+1) para [Fe²⁺] e (-1) para [H₂O₂], que correspondem aos valores 500 mg L⁻¹ de Fe²⁺ e 2000 mg L⁻¹ de H₂O₂, com remoção de DQO de 58% quando o pH foi 3,0 e de 45% para pH 5,0. Assim, a interpretação dos resultados obtidos sugere a elevação da concentração do catalisador e a diminuição da concentração de H₂O₂, de forma a diminuir a razão entre eles.

Após estas considerações foram realizados os experimentos referentes ao segundo planejamento, cujo delineamento e resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da Análise de Variância do segundo planejamento fatorial para a variável resposta Remoção de DQO pelo processo Fenton

Ensaio	Variáveis			Variáveis Codificadas			Variável Resposta	
	[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹)	[Fe ²⁺] (mg L ⁻¹)	pH	[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹)	[Fe ²⁺] (mg L ⁻¹)	pH	DQO Residual (mg L ⁻¹)	% Remoção de DQO
1	800	400	3,0	-1	-1	-1	718	56
2	1200	400	3,0	+1	-1	-1	738	55
3	800	600	3,0	-1	+1	-1	608	63
4	1200	600	3,0	+1	+1	-1	538	67
5	800	400	4,0	-1	-1	+1	752	54
6	1200	400	4,0	+1	-1	+1	945	42
7	800	600	4,0	-1	+1	+1	497	69
8	1200	600	4,0	+1	+1	+1	605	63
9	1000	500	3,5	0	0	0	700	57
10	1000	500	3,5	0	0	0	710	56

Da mesma forma que o planejamento anterior, a segunda série de experimentos indicou a elevada influência do Fe²⁺ no processo, bem como sua dependência com a variável pH, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados da Análise de Variância do segundo planejamento fatorial para a variável resposta Remoção de DQO pelo processo Fenton.

Fatores	Efeitos	p-valor
[H ₂ O ₂]	-7,1121	0,022039
[Fe ²⁺]	15,1170	0,010372
pH	-3,6330	0,043095
[H ₂ O ₂] x [Fe ²⁺]	-2,61700	0,059741
[H ₂ O ₂] x pH	-4,37192	0,035828
[Fe ²⁺] x pH	3,87931	0,040366

Nota-se que, nas condições experimentais deste segundo planejamento, as três variáveis envolvidas afetaram de maneira significativa a variável resposta, com nível de significância de 5% (p-valor<0,05). Assim, o modelo matemático que descreve o processo é apresentado na Equação 1 e é capaz de explicar cerca de 99% (R² = 0,99) das variações na remoção de DQO.

$$Y = 58,43 - 1,93 (X_1) + 6,97 (X_2) - 1,52 (X_3) + 1,35 (X_1 X_2) - 2,70 (X_1 X_3) + 2,19 (X_2 X_3) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Y: Porcentagem de remoção da DQO

X₁: Concentração de H₂O₂

X₂: Concentração de Fe²⁺

X₃: pH

A análise de superfície de resposta permitiu observar que a combinação de dosagens elevadas de Fe²⁺ com pH 4,0 e dosagens inferiores de H₂O₂ tendem a promover maiores remoções de DQO, o que pode ser comprovado ao se comparar os ensaios 3 e 7, que tiveram as mesmas dosagens de reagentes, diferindo apenas no valor de pH. Conforme a Figura 2, com a variação da concentração de H₂O₂ do nível (-1) a (+1) as porcentagens de remoção são aproximadamente constantes para este parâmetro, exceto por um ligeiro aumento na eficiência de remoção de DQO quando se utilizou a menor dosagem deste reagente. Assim, foi estabelecida uma diminuição da dosagem de H₂O₂ para o planejamento seguinte.

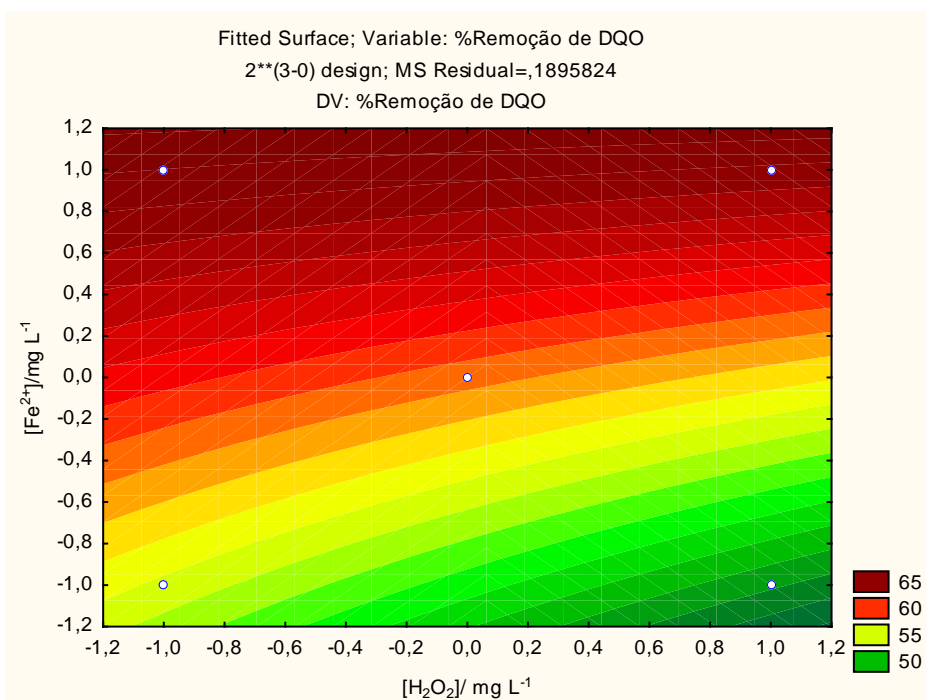


Figura 21 – Superfície de contorno para a variável resposta % de Remoção de DQO para as variáveis $[\text{Fe}^{2+}]$ e $[\text{H}_2\text{O}_2]$ – Planejamento 2

Após estas análises, para o terceiro experimento a variável pH foi fixada em 4,0, a dosagem de Fe^{2+} elevada, e a concentração de H_2O_2 foi diminuída para verificar se haveria ganho ainda na remoção de DQO. No entanto, ressalta-se aqui que as dosagens de Fe^{2+} e H_2O_2 não foram muito alteradas, de forma a evitar utilizar concentrações de Fe^{2+} muito superiores à de H_2O_2 , visando não desfavorecer o caráter oxidativo do processo Fenton. Estes resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados de remoção de DQO para o terceiro planejamento experimental para o processo Fenton

Ensaio	Variáveis		Variáveis codificadas		Variáveis Resposta	
	$[\text{H}_2\text{O}_2]$ (mg L ⁻¹)	$[\text{Fe}^{2+}]$ (mg L ⁻¹)	$[\text{H}_2\text{O}_2]$ (mg L ⁻¹)	$[\text{Fe}^{2+}]$ (mg L ⁻¹)	DQO Residual (mg O ₂ L ⁻¹)	% Remoção
1	600	500	-1	-1	660	59
2	800	500	-1	1	629	61
3	600	700	1	-1	492	70
4	800	700	1	1	473	71
5	720	500	-1,4	0	569	65
6	1280	500	1,4	0	680	66
7	1000	360	0	-1,4	791	51
8	1000	640	0	1,4	523	68
9	700	600	0	0	525	68
10	700	600	0	0	529	67

A análise estatística destes resultados, apresentada na Tabela 10, mostra que a concentração de Fe^{2+} foi a única variável com efeito significativo sobre a variável resposta, com 5% de significância.

Tabela 10 – Resultados da Análise de Variância do segundo planejamento fatorial para a variável resposta Remoção de DQO pelo processo Fenton.

Fatores	Efeitos	p-valor
[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹) (L)*	1,10355	0,492316
[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹) (Q)**	-0,62500	0,762740
[Fe ²⁺] (mg L ⁻¹) (L)*	11,26041	0,001528
[Fe ²⁺] (mg L ⁻¹) (Q)**	-6,62500	0,026637
[H ₂ O ₂] x [Fe ²⁺]*	-0,5000	0,820786

*(L) Efeitos lineares

** (Q) Efeitos quadráticos

O modelo, representado pela Equação 4, é capaz de explicar 99% das variações da remoção de DQO pelo processo Fenton.

$$Y = 67,50 + 0,55 (X_1) - 0,31 (X_1)^2 + 5,63 (X_2) - 3,31 (X_2)^2 - 0,25 (X_1 X_2) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Y: Porcentagem de remoção da DQO

X₁: Concentração de H₂O₂

X₂: Concentração de Fe²⁺

É evidenciado pela Figura 3 que a concentração de H₂O₂ já não influencia de maneira significativa a remoção de DQO, o que pode ser verificado ao comparar os experimentos 3 e 4 da Tabela 9. Além disso, para esta condição experimental a remoção está sendo muito mais influenciada pela dosagem de Fe²⁺. Comparando o ensaio 7 da Tabela 7 com o 4 da Tabela 9, verifica-se que para a mesma concentração de H₂O₂ de 800 mg L⁻¹ e dosagem de Fe²⁺ de 600 mg L⁻¹ (Tabela 7) para 700 mg L⁻¹ (Tabela 9), a remoção de DQO passou apenas de 69% para 71%. Mas o experimento 3 da Tabela 9 mostra que trabalhando com a mesma dosagem de Fe²⁺ de 700 mg L⁻¹ e reduzindo o teor de H₂O₂ para 600 mg L⁻¹, já atinge-se remoção de DQO de 70%.

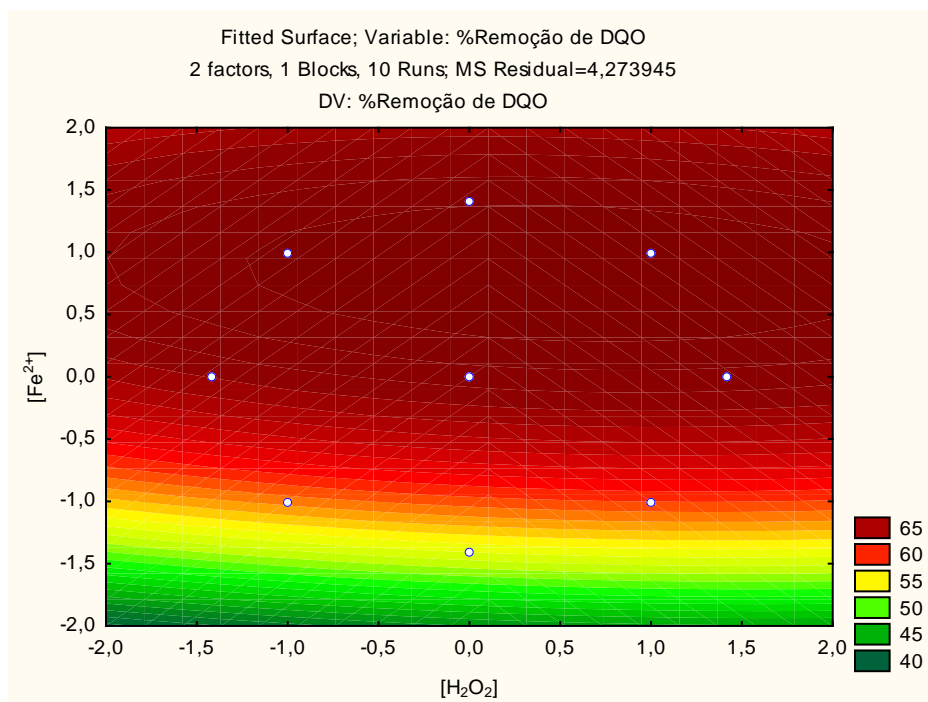


Figura 3 – Superfície de resposta para a variável resposta % de Remoção de DQO para as variáveis [H₂O₂] e [Fe²⁺] – Planejamento 3

Portanto, a remoção de DQO máxima atingida foi de 71% ao se utilizar 800 mg L⁻¹ de H₂O₂ e 700 mg L⁻¹ de Fe²⁺, ou seja, com a razão [H₂O₂]/[Fe²⁺] = 1,14. Tal valor não difere significativamente do resultado

mencionado anteriormente, obtido quando se utilizou 600 mg L⁻¹ de H₂O₂ e 700 mg L⁻¹ de Fe²⁺ condição na qual a concentração superior do Fe²⁺ em relação ao H₂O₂ elimina sua atuação de apenas catalisador da reação, reforçando sua atuação como coagulante. Pode-se concluir que, de modo geral, os resultados obtidos para a remoção de DQO por processo Fenton neste trabalho são atribuídos predominantemente ao processo de coagulação.

Resultados similares foram obtidos por Li *et al.* (2010) que, a partir de uma razão [H₂O₂]/[Fe²⁺] também relativamente baixa (2,38), removeram até 72,8% da DQO de lixiviado previamente tratado em Reator Sequencial em Batelada. No entanto, a análise estatística aliada a metodologia de superfície de resposta indicou que a concentração de H₂O₂ teve o maior efeito sobre a variável resposta remoção de DQO, ao passo que, ao se admitir a remoção de cor como variável resposta, o Fe²⁺ foi o principal atuante.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

Entre as variáveis adotadas para o estudo do processo Fenton a concentração Fe²⁺ foi a que exerceu maior influência sobre a variável resposta em todos os planejamentos realizados;

A melhor condição foi observada quando se utilizou 800 mg L⁻¹ de H₂O₂ e 700 mg L⁻¹ de Fe²⁺ em pH 4,0, na qual foi removida 71% da DQO do lixiviado, resultando num residual de 473 mg L⁻¹;

A partir da análise de superfície de resposta pode-se observar que a combinação de dosagens elevadas de Fe²⁺ com valores de pH inferiores tendem a promover melhores remoções de DQO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KJELDSSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Environmental Science and Technology*, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002.
2. LANGE, L. C.; ALVES, J. F.; AMARAL, M. C. S.; MELO JÚNIOR, W. R. Tratamento de lixiviados de aterro sanitário por oxidação Fenton. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
3. LI, H.; ZHOU, S.; SUN, Y.; LV, J. Application of response surface methodology to the advanced treatment of biologically stabilized landfill leachate using Fenton's reagent. *Waste Management*, 30, p. 2122-2129, 2010.
4. LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A. M. Photochemical Process for Water Treatment. *Chemical Reviews* v. 93, p. 671-698, 1993.
5. MALER, C. L. Aplicação do Processo Fenton a diferentes etapas do tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2013.
6. NEYENS, E.; BAEYENS, J. A review of classic Fenton's peroxidation as na advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*, V. B98, p 33-50, 2003.
7. PERALTA-ZAMORA, P.; ESPOSITO, E.; REYES, H. D.; DURAN, N. Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose. Tratamento biológico e fotocatalítico. *Química Nova*, v. 20, n. 2, p. 186-190, 1997.