



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-025 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO REAGENTE DE FENTON

Juliana Felisberto Alves⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Engenharia Sanitária pelo DESA/UFMG. Mestranda em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG.

Liséte Celina Lange

Química. Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Londres – Inglaterra. Prof. Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental . Av. do Contorno 842 , 7º andar – Centro – Belo Horizonte – MG CEP 30110-060. Tel: (31) 3238-1039.

e-mail julianafalves@yahoo.com.br

RESUMO

O líquido lixiviado de aterro sanitário, também denominado chorume, é atualmente, um problema ambiental devido ao seu potencial de contaminação dos recursos hídricos. Além de apresentar elevada carga orgânica, o lixiviado pode apresentar altas concentrações de poluentes tóxicos, como metais pesados, e microrganismos patogênicos, sendo que a sua destinação inadequada pode colocar em risco a saúde pública. Portanto, é necessário o tratamento dos líquidos lixiviados de aterros sanitários antes do lançamento nos cursos d'água. A escolha de um método de tratamento para lixiviado é difícil devido à complexa composição desse líquido. Os processos biológicos, que são mais empregados no tratamento de lixiviado muitas vezes não são eficientes, principalmente para lixiviados de células mais antigas com elevadas concentrações de compostos recalcitrantes. O objetivo principal desse trabalho é avaliar a aplicabilidade de alternativas tecnológicas com a utilização do reagente de Fenton, que é uma mistura de peróxido de hidrogênio e sais de ferro, no tratamento de lixiviados de aterros sanitários em termos de sua eficiência de remoção da matéria orgânica. Os experimentos foram realizados em escala de bancada em *Jar Test*, onde se ajustou o pH, utilizando ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio e então foram adicionados sulfato ferroso heptahidratado e peróxido de hidrogênio nas amostras de lixiviado, coletadas do aterro sanitário de Belo Horizonte. Após a etapa de oxidação, as amostras devem ser neutralizadas com cal para ajuste de pH e precipitação de Fe^{3+} , o que pode auxiliar a remoção por precipitação de outros metais presentes. Foram feitos testes preliminares para investigar as melhores condições de reação avaliando a influência do pH, tempo de reação e dosagem de reagentes na eficiência de tratamento. Foram retiradas alíquotas para avaliar a remoção de carga orgânica devida principalmente a etapa de oxidação. As amostras são analisadas principalmente quanto aos parâmetros DBO_5 , DQO, COT, cor, pH e temperatura. Os resultados têm-se apresentado satisfatórios em relação às remoções de DBO_5 , DQO e cor, com eficiências acima de 66, 60 e 80% respectivamente. Obteve-se remoção de COT até 62,5 %, que representa a fração que sofreu oxidação total.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Lixiviado, Aterros Sanitários, Reagente de Fenton

INTRODUÇÃO

O líquido lixiviado de aterro sanitário, também denominado chorume, é atualmente, um problema ambiental devido ao seu potencial de contaminação dos recursos hídricos. Além de apresentar elevada carga orgânica, podendo alcançar valores superiores a 20.000 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o lixiviado pode apresentar altas concentrações de poluentes tóxicos, como metais pesados, e microrganismos patogênicos, sendo que a sua destinação

inadequada pode colocar em risco a saúde pública, trazendo problemas de ordem sanitária, econômica e estética. Portanto, é necessário o tratamento dos líquidos lixiviados de aterros sanitários antes do lançamento nos cursos d'água.

Na escolha do melhor tratamento para lixiviados de aterros sanitários são encontradas várias dificuldades, como a definição de características físico-químicas e biológicas e a variação de sua composição do lixiviado com o tempo.

Os processos mais empregados, atualmente, no Brasil, para o tratamento de líquidos lixiviados de aterros sanitários são os processos biológicos, no entanto, há alguns problemas na utilização desses processos, tais como [1]:

- vazão muito variável, o que perturba o sistema biológico;
- carga orgânica elevada e variável;
- necessidade de uma grande área para implantação, o que muitas vezes torna-os inviáveis;
- baixa eficiência quando o lixiviado apresenta uma baixa biodegradabilidade;
- presença de compostos orgânicos recalcitrantes.

Algumas vezes, os processos físico-químicos são empregados em combinação com o tratamento biológico, tendo como função a eliminação de particulados, componentes orgânicos refratários e espécies químicas indesejáveis no efluente final como metais pesados. A utilização desses métodos no tratamento do lixiviado pode levar à redução da carga orgânica, química e particulada ou até mesmo à eliminação dessas. Dentre os processos físico-químicos empregados atualmente, no Brasil, destacam-se os sistemas de coagulação, filtração e precipitação química. Entretanto, algumas vezes esses processos não apresentam uma boa eficiência na redução dos níveis de poluentes nos limites desejados [2].

Em países desenvolvidos como a Alemanha, o tratamento de lixiviado de aterro tem sido feito usando uma combinação de vários processos individuais, mas geralmente emprega-se oxidação química para obter um nível mais elevado de purificação, sendo que várias plantas utilizam ozônio como oxidante [3]. Na Itália, foi estudada a eficiência do reagente de Fenton como pré-tratamento de lixiviado antigo com o objetivo de aumentar sua biodegradabilidade para adequá-lo ao tratamento biológico, alcançando 60% de remoção da DQO [4]. Em alguns países em desenvolvimento, como Coreia [5], México [6] e Taiwan [7], vem sendo testada a aplicação de processos oxidativos, utilizando Reagente de Fenton, no tratamento de lixiviados de aterro sanitário, dando resultados satisfatórios na eficiência de remoção de matéria orgânica.

O Reagente de Fenton é uma mistura de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e sais de ferro. A oxidação dos compostos orgânicos, utilizando o reagente de Fenton, ocorre devido à geração de radicais hidroxila, altamente reativos, em meio ácido, pela decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio. Os radicais hidroxila ($\bullet OH$) formados atacam o composto orgânico levando à sua oxidação completa produzindo CO_2 e H_2O , ou quando resulta em uma oxidação parcial pode-se ter um aumento da biodegradabilidade dos poluentes, e neste caso, os compostos orgânicos residuais podem ser removidos por meio de tratamento biológico. A utilização de sais de ferro para decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio apresenta-se como uma solução de baixo custo e de fácil operação, pois utiliza um catalisador de baixo custo, o sulfato ferroso, e a reação ocorre em um reator simples, sem a necessidade de equipamentos complexos e condições extremas de temperatura e pressão [8].

Geralmente, o processo de oxidação empregando reagente de Fenton é composto por quatro estágios [9], que são:

- 1º - ajuste de pH: a faixa de pH ideal é entre 3 e 4. Para valores de pH acima de 6 ocorre a precipitação de Fe^{3+} .
- 2º - reação de oxidação: processada em um reator não pressurizado e com agitação. É feita a adição de sulfato ferroso e peróxido de hidrogênio.
- 3º - neutralização e coagulação: deve ser feito um ajuste de pH na faixa de 6 a 9, para precipitar hidróxido de ferro, o que pode ser feito com a adição de cal. Uma vantagem dessa etapa é a possibilidade de remoção de outros metais pesados por precipitação.
- 4º - precipitação: o hidróxido de ferro e alguns metais pesados precipitam e podem ser removidos da solução.

Tendo em vista os problemas relacionados às características físico-químicas e biológicas e variação da composição de lixiviados de aterros sanitários, levando à dificuldades no seu tratamento por processos biológicos e físico-químicos convencionais, é necessária a busca de alternativas de tratamento eficientes dentro de um padrão de sustentabilidade técnica e econômica. Neste contexto, os processos oxidativos avançados são promissores, sendo empregados, mundialmente, no tratamento de águas residuárias, apresentando elevadas eficiências na remoção de poluentes orgânicos.

Desta forma, o objetivo principal desse trabalho é avaliar a aplicabilidade de tecnologias avançadas de oxidação utilizando reagente de Fenton para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários de células de aterramento antigas, em termos da eficiência de remoção de matéria orgânica (Demanda Química de Oxigênio - DQO e Carbono Orgânico

Total - COT). Como objetivos específicos pretende-se avaliar a influência das condições de reação, como pH, tempo de reação e dosagem de reagentes, na eficiência de tratamento em escala de bancada.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de líquidos lixiviados são coletadas de uma célula de aterramento antiga (atividades encerradas em 1997) do aterro sanitário de Belo Horizonte (BR040).

Devido à grande variabilidade de composição do lixiviado, as amostras selecionadas são previamente analisadas. Para caracterização de rotina do lixiviado analisam-se os seguintes parâmetros físico-químicos: DBO₅, DQO, carbono orgânico total (COT), teor de sólidos (totais e suspensos), cloretos, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total, pH, temperatura. Para acompanhamento das reações e avaliação de sua eficiência são analisados: pH, temperatura, DBO₅, DQO, COT, cor e H₂O₂ residual. Todos os parâmetros são analisados de acordo com o *Standard Methods* [9], exceto o H₂O₂ residual que é avaliado pelo método iodométrico [10].

Na FIGURA 1 é apresentada a montagem dos experimentos, que são realizados utilizando *Jar-test*, onde se ajustou o pH, utilizando ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio e então foram adicionados sulfato ferroso heptahidratado (FeSO₄.7H₂O) e H₂O₂ (30 % v/v) nas amostras de lixiviado. Foram retiradas alíquotas para avaliar a remoção de carga orgânica devida ao processo oxidativo. Também, em alguns casos avaliou-se a remoção de carga orgânica devida a etapa de neutralização/precipitação empregando-se hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂). As amostras são analisadas quanto aos parâmetros selecionados antes e após tratamento para determinar a eficiência de remoção.

Figura 1: Montagem dos experimentos em Jar Test.



Foram feitos testes para avaliar a dosagem (relação DQO:H₂O₂:Fe²⁺), com base em relações estequiométricas, o tempo de reação e o pH ideal, utilizando o reagente de Fenton. A velocidade de rotação foi fixada em 100 rpm e a temperatura ambiente foi adotada para se ter uma maior facilidade operacional. Após a etapa de oxidação, as amostras serão neutralizadas com hidróxido de cálcio para precipitação de Fe³⁺ gerado na etapa anterior.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados médios de caracterização do lixiviado proveniente de uma célula de aterramento antiga (atividades encerradas em 1997).

Tabela 1: Caracterização do lixiviado.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
DBO	972	mg/L
DQO	2863,6	mg/L
COT	242,7	mg/L
pH	7,75	-
Cloretos	2299,2	mg/L
Nitrogênio Total	3038	mg/L
Nitrogênio amoniacal	854	mg/L
Fósforo Total	37,7	mg/L
Sólidos Totais (ST)	7834,0	mg/L
Sólidos Totais Fixos (STF)	5926,0	mg/L
Sólidos Totais Voláteis (STV)	1908,0	mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	186,0	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	150,7	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	35,3	mg/L
Sólidos Sedimentáveis	0,2 mL/L	mL/L

TRATAMENTO EMPREGANDO REAGENTE DE FENTON

Nos experimentos para avaliar o tratamento utilizando o reagente de Fenton, as amostras de lixiviado foram diluídas para se trabalhar com a DQO de aproximadamente 1000 mg/L.

Foram feitos testes preliminares para avaliar dosagem e tempo de reação em pH 3 e velocidade de rotação de 100 rpm. A quantidade de H_2O_2 necessária pode ser obtida a partir da estequiometria da reação para lixiviados considerando-se a Equação 2 [11]:

$$1 \text{ g DQO} = 1 \text{ g O}_2 = 0,03125 \text{ mol O}_2 = 0,0625 \text{ mol H}_2\text{O}_2 = 2,125 \text{ g H}_2\text{O}_2 \quad \text{Equação (2)}$$

A quantidade de Fe^{2+} foi avaliada para diferentes relações $\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Verificou-se que mesmo com dosagens mais baixas de H_2O_2 e Fe^{2+} , há uma eficiente remoção de DQO (83,5% de remoção da DQO para $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe} = 4$), como apresentado na Tabela 2. Verificou-se que a eficiência de remoção de DQO para o processo de oxidação seguida da etapa de neutralização alcançou eficiência de até 98,6% de remoção da DQO.

Para avaliar a interferência do H_2O_2 no teste de DQO, foram analisadas soluções de H_2O_2 em diferentes concentrações. Os resultados estão apresentados na Figura 2 para análise de DQO pelo método titulométrico – refluxo fechado [9]. Verificou-se um aumento da DQO com o aumento da concentração de H_2O_2 . Para avaliar a concentração de H_2O_2 nas amostras tratadas com este reagente foram testados os seguintes métodos:

- Método espectrofotométrico empregando metavanadato de amônio: foram obtidos bons resultados para a curva de calibração com H_2O_2 em diferentes concentrações, entretanto observou-se uma interferência da cor das amostras de lixiviado nos resultados.
- Método permanganométrico para determinação de H_2O_2 : também foram observadas interferências.
- Método iodométrico para determinação do H_2O_2 residual: os resultados foram melhores que para os outros métodos testados.

Portanto, a DQO "real" pode ser obtida a partir da Equação 1:

$$DQO = DQO_{\text{amostra}} - DQO_{H_2O_2 \text{ residual}}$$

Equação (1)

Tabela 2: Teste preliminar para avaliar dosagem de reagentes necessária.

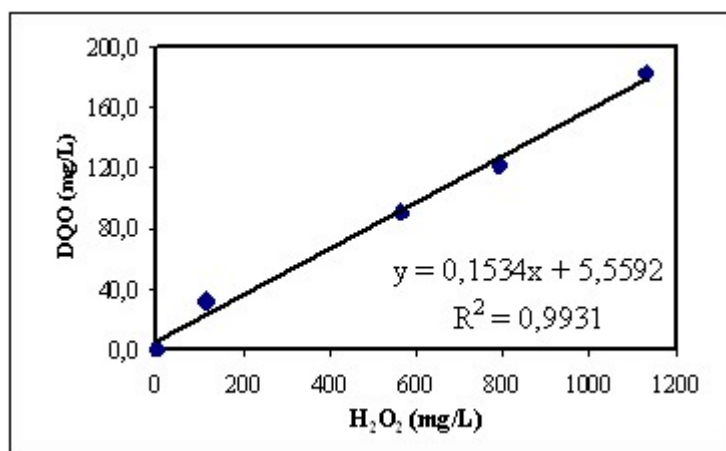
H ₂ O ₂ (g/L)	FeSO ₄ .7H ₂ O (g/L)	H ₂ O ₂ / Fe (w/w)	% remoção DQO
1,00	1,00	1	84,4
2,00	2,00	1	86,5
4,00	4,00	1	98,6
1,00	2,00	1/2	89,3
2,00	1,00	2	83,0
2,00	0,50	4	83,5

Para lixiviado bruto: DQO inicial = 1005 mg/L

Condições de reação: pH = 3,0; velocidade de rotação = 100 rpm; temperatura = 23°C;

tempo de reação = 40 min; amostras neutralizadas com Ca(OH)₂

Fe= FeSO₄.7H₂O

Figura 2: Interferência e correção do H₂O₂ na análise de DQO.

Mesmo empregando-se um método para correção da DQO, verificou-se que este parâmetro não é adequado para avaliar as melhores condições de reação, podendo levar a resultados questionáveis, pois podem ocorrer interferências de outras espécies devido à complexa composição dos líquidos lixiviados. Para resultados mais confiáveis, a análise de carbono orgânico total apresenta-se como um parâmetro mais adequado.

Foram feitos mais testes para avaliar a dosagem de reagentes e tempo de reação, verificando-se a remoção de carga orgânica em termos da DQO e principalmente de COT. Os resultados são mostrados na Figura 3. Utilizou-se para reação um lixiviado bruto com DQO de 1431,8 mg/L e COT de 121,33 mg/L. As condições de reação foram pH 3,0, velocidade de rotação de 100 rpm, 60 minutos de reação e temperatura de 23°C.

Pela Figura 3 verifica-se que os melhores resultados, considerando as análises de DQO, COT e cor, foram obtidos para as maiores relações H₂O₂/ Fe (3 e 4), correspondendo as menores dosagens de FeSO₄.7H₂O. As remoções de COT de 56,3 e 36,6 para relações H₂O₂/ Fe 3 e 4, respectivamente, foram satisfatórias, uma vez que esses resultados representam apenas as frações resultantes da oxidação total. Existem ainda os produtos de oxidação parcial que são

contabilizados como carbono orgânico. Após a neutralização da amostra com hidróxido de cálcio há uma remoção adicional de 48 % de matéria orgânica (COT), chegando a 68,3% a remoção total de COT devida ao tratamento para a relação H_2O_2/Fe 4. Para as relações H_2O_2/Fe 1/2 e 1, houve um aumento do COT após tratamento, isso pode ser devido a quantidade de sólidos que pode ter solubilizado durante a reação. Uma outra explicação é devido a problemas na homogeneização de amostras com grandes quantidades de sólidos, principalmente no caso de lixiviado que necessita de várias diluições para realização das análises, por causa das altas concentrações de substâncias orgânicas. Para as análises de DQO pode-se dizer que o resultado foi satisfatório, obtendo-se valores acima de 60% de remoção (remoção de DQO de 60 a 79%). Pela Figura 4 pode-se observar a eficiente remoção de cor das amostras tratadas.

Figura 3: Teste para avaliar a dosagem de reagentes necessária.

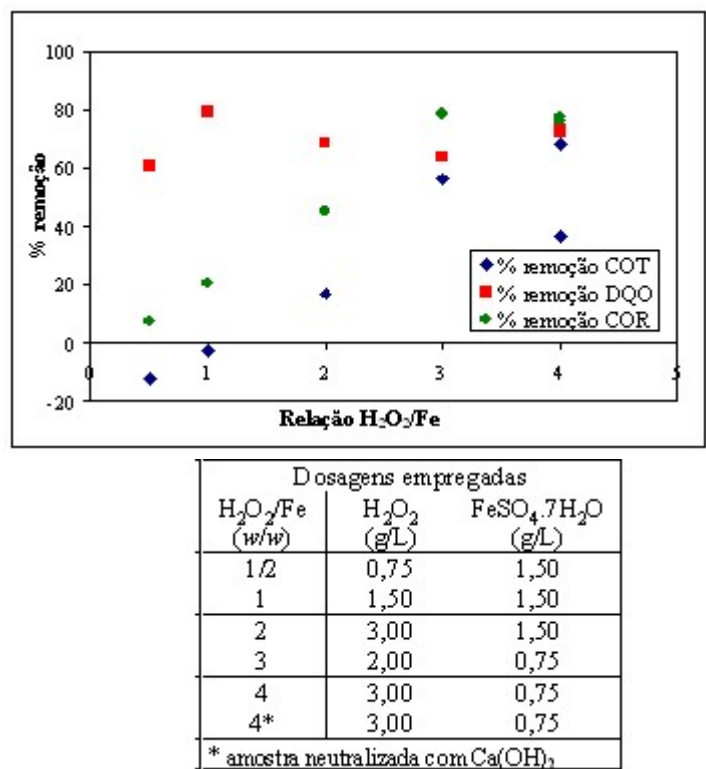
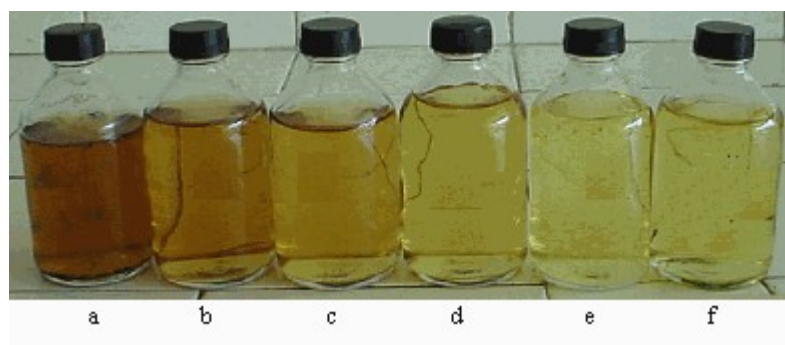


Figura 4: Remoção de cor para tratamentos em diferentes dosagens. a) lixiviado bruto; b) $H_2O_2/Fe=1/2$; c) $H_2O_2/Fe = 1$; d) $H_2O_2/Fe = 2$; e) $H_2O_2/Fe = 4$; f) $H_2O_2/Fe = 4$ (amostra neutralizada).



Os tempos de reação foram avaliados após 15 min de reação até 24 horas, verificando-se que após 90 min não ocorrem melhorias na remoção de DQO, e em alguns casos o processo piora. Na Figura 5a estão apresentados os resultados para avaliação do tempo de reação (15 a 180 min).

Os testes para investigação do tempo de reação foram repetidos avaliando-se a remoção de matéria orgânica em termos da DQO, COT e cor, para a relação H_2O_2/Fe 3. Os resultados estão apresentados na Figura 5b. Por meio da Figura 5b, observa-se que para os tempos de 15, 60 e 120 min, as remoções de COT são próximas. Para 60 min de reação é verificada a melhor remoção de DQO. Cabe ressaltar que esse parâmetro deve ser avaliado com cautela, devido às interferências além da contabilizada (H_2O_2). A melhor remoção de cor ocorreu com 120 min de reação. As relações H_2O_2/Fe 3 e 4 foram boas na remoção de COT, DQO e cor, enquanto as relações 1/2, 1 e 2 (Figura 5) foram eficientes apenas na remoção de DQO.

Por meio das Figuras 5a e 5b, observa-se que há um aumento na remoção de DQO até 60 min de reação e após 90 min ocorre uma diminuição nessa remoção. Essa diminuição na eficiência de remoção com o tempo deve-se provavelmente a formação de produtos de oxidação parcial pouco reativos com o radical hidroxila, levando a uma interrupção do processo oxidativo. Pela Figura 6 pode-se observar a remoção de cor das amostras tratadas com o tempo de reação.

Figura 5: a) Avaliação do tempo de reação comparando interferência de H_2O_2 na DQO. b) Avaliação do tempo de reação avaliando remoção de COT, DOQ e cor.

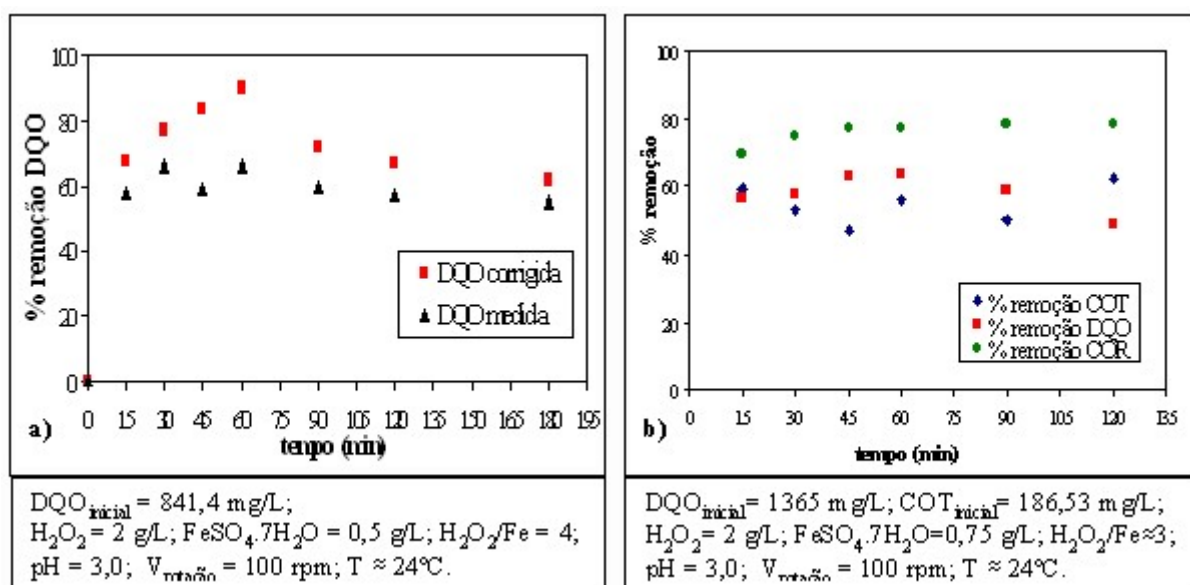
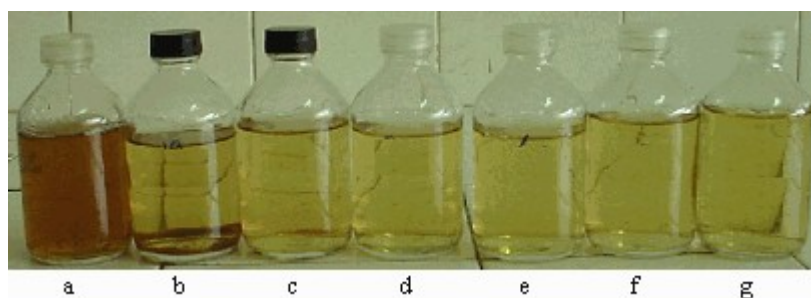


Figura 6: Remoção de cor para tratamentos em diferentes tempos de reação. a) lixiviado bruto ($t=0$); b) $t = 15$ min; c) $t = 30$ min; d) $t = 45$ min; e) $t = 60$ min; f) $t = 90$ min; g) $t = 120$ min.



Também foram realizados testes para investigar a melhor faixa de pH para o processo oxidativo, avaliando-se a remoção de DQO, COT e cor, que estão mostrados na Figura 7. Ao variar o pH do lixiviado, observa-se que em pH mais alto (5,5 e 7,0) houve uma solubilização do material em suspensão. Para pH mais baixos ocorre a formação de precipitados. Isto pode ser devido a precipitação de substâncias húmicas, carboidratos, aminoácidos e compostos

policíclicos aromáticos [12]. Entretanto, para pH 1 observou-se um aumento no valor de COT, como mostrado na Figura 7. Neste caso podem ter ocorrido a solubilização do material precipitado durante a reação ou problemas no preparo da amostra para a análise. Os melhores resultados foram obtidos em pH 3 e 4, como esperado. Pela Figura 8 pode-se observar a remoção de cor das amostras tratadas com pH do meio.

Em relação a DBO₅, verificou-se uma remoção de 66,4% da DBO₅ (passando de 486 para 163 mg/L) para 45 min de reação, pH 3, velocidade de mistura de 100 rpm, empregando-se 2 g/L de H₂O₂ e 0,75 g/L de FeSO₄·7H₂O. A relação DBO₅/DQO variou de 0,36 para 0,32

Figura 7: Teste para avaliar melhor pH de reação. Condições de reação: DQO inicial = 1365 mg/L; COT inicial = 186,53 mg/L; t = 60 min; V_{rotação} = 100 rpm; T ≈ 24°C; H₂O₂ = 2 g/L; FeSO₄·7H₂O = 0,75 g/L; H₂O₂/Fe ≈ 3

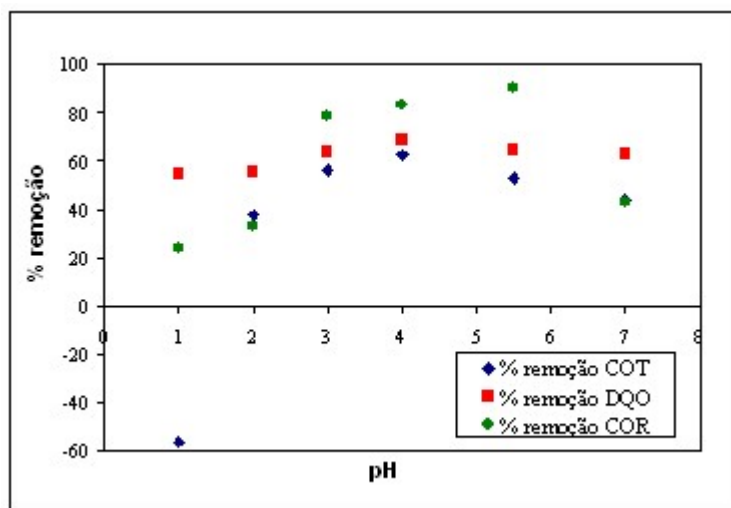
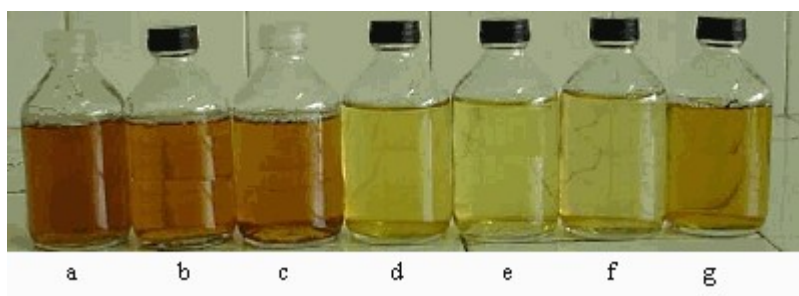


Figura 8: Remoção de cor para tratamentos em diferentes valores de pH. a) lixiviado bruto; b) pH = 1; c) pH = 2; d) pH = 3; e) pH = 4; f) pH = 5,5; g) pH = 7.



CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- Parâmetros convencionais como DBO e DQO não dão informações suficientes para avaliação da remoção de orgânicos no lixiviado devido à complexa composição do lixiviado contendo espécies em concentrações variadas que causam interferências nas análises. Isto foi observado nas análises para o lixiviado em estudo. Além disso, nesse trabalho foi observada a interferência de H₂O₂ nas análises de DQO, o que tornou o método ainda mais questionável. Então, para avaliar as melhores condições para o processo oxidativo, a sua eficiência deve ser avaliada em termos de outro parâmetro, como por exemplo COT, menos susceptível a tais interferências. Entretanto, a análise de COT fornece apenas a remoção devida à oxidação total dos compostos orgânicos, devendo-se ter cuidado na interpretação dos resultados.
- A análise de DQO pode ser usada para saber se o tratamento é eficiente, pois as interferências presentes tendem a aumentar o valor de DQO, sendo então a eficiência de remoção real maior que a encontrada.
- No presente trabalho encontrou-se uma elevada remoção de DQO (60% a 90%) devida a etapa de oxidação,

mesmo sem ter otimizado o processo, o que pode levar a resultados ainda melhores. Para amostras neutralizadas com Ca(OH)_2 após a oxidação, obteve-se remoção da DQO de 83,0 a 98,6%. A remoção de COT foi de até 62,5% e de cor de até 90 %.

- Verificou-se que o pH, a dosagem de reagentes e o tempo de reação interferem na eficiência do tratamento, devendo-se fazer um estudo de otimização desses fatores. As melhores condições de reação para as condições avaliadas foram pH de 3 a 4, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3 e 4, e tempo de reação de 60 min para uma remoção efetiva de COT, DQO e cor.
- O Reagente de Fenton é eficiente na remoção de COT, DQO e cor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; LEONE, G. Possibilidades do Tratamento Físico-Químico para Redução de Carga Orgânica e Precipitação de Metais Pesados do Chorume Produzidos em Aterros Sanitários. In: IX SILUBESA – Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro, Brasil, abril de 2000.
2. IPT/CEMPRE. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2ª Edição. São Paulo, 2000.
3. STEENSEN, M. Chemical Oxidation for the Treatment of Leachate – Process Comparison and Results From Full-Scale Plants. *Water Science and Technology*, v. 35, n. 4, p. 249-256, 1997.
4. LOPEZ, A.; PAGANO, M.; VOLPE, A.; Di PINTO, A. C. Fenton's Pre-treatment of Mature Landfill Leachate. *Chemosphere*, v. 54, p. 1005-1010, 2004.
5. KANG, Y. W.; HWANG, K. Effects of Reaction Conditions on the Oxidation Efficiency in the Fenton Process. *Water Research*, v. 34, n. 10, p. 2786-2790, 2000.
6. ZAMORA, R. M. R.; MORENO, A. D.; VELÁSQUEZ, M. T. O.; RAMÍREZ, I. M. Treatment of Landfill Leachates by Comparing Advanced Oxidation and Coagulation-Flocculation Processes Coupled with Activated Carbon Adsorption. *Water Science and Technology*, v. 41, n. 1, p. 231-235, 2000.
7. GAU, S. -H.; CHANG, F., -S. Improved Fenton Method to Remove Recalcitrant Organics in Landfill Leachate. *Water Science and Technology*, v. 34, n. 7-8, p. 455-462, 1996.
8. BIDGA, R. J. Consider Fenton's Chemistry for Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Progress*, v. 91, n. 12, p. 62-66, 1995.
9. AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition. Washington, 1998.
10. OHLWEILER, O. A. *Teoria e Prática da Análise Quantitativa Inorgânica*. Editora Universidade de Brasília, 1968. Vol 4.
11. KIM, S-M.; GEISSEN, S-U.; VOLGELPOHL, A. Landfill Leachate Treatment by a Photoassisted Fenton Reaction. *Water Science and Technology*, v. 35, n.4, p. 239-249, 1997.
12. PACHECO, J. R.; SOUZA, C. R. L.; ZAMORA, P. P. Remediação de Percolado de Aterro Sanitário por Integração de Processos Físico-Químicos e Oxidativos Avançados. In: II Encontro Sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados. Campinas, agosto de 2003.