



TRATAMENTO FOTOQUÍMICO DE PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO

PHOTOCHEMICAL TREATMENT OF LANDFILL LEACHATE

Núbia Natália de Brito¹, José Euclides S. Paterniani², Giovani A. Brota³, Ronaldo T. Pelegrini⁴

Recebido em 28 de julho de 2010; recebido para revisão em 29 de julho de 2010; aceito em 16 de setembro de 2010;
disponível on-line em 11 de outubro de 2010

PALAVRAS CHAVES:

Fotocatálise;

Percolado;

Aterro Sanitário.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo estudar um sistema de tratamento fotocatalítico para o percolado proveniente do aterro sanitário da cidade de Limeira-SP. O sistema consistiu em um tratamento fotocatalítico utilizando H_2O_2/TiO_2 com radiação na faixa do visível, realizado em um reator de vidro Pyrex com capacidade volumétrica de 1,7 L (com dimensões de: 100 mm de diâmetro interno, 145 mm de diâmetro externo e altura total de 300 mm) equipado com refrigeração à água e sistema de recirculação interna do percolado. Após algumas otimizações verificou-se que a máxima eficiência na redução de cor (87%) foi na condição experimental: volume de H_2O_2 35 mL (concentração: 205 $mg.L^{-1}$ H_2O_2) adicionados ao reator em alíquotas de 15 mL (início); 10 mL (30 minutos) e 10 mL (60 minutos), concentração de TiO_2 700 $mg.L^{-1}$, temperatura 45°C, vazão de ar de 15 $L.min^{-1}$, radiação na faixa do visível e tempo de tratamento de 180 minutos. Trata-se de um resultado bastante promissor, principalmente levando-se em consideração a elevada resistência da matriz em estudo.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de oxidantes fortes para tratamento e desinfecção de água é antiga. O primeiro trabalho utilizando ozônio como desinfetante foi feito por De Meritens em 1886. Entretanto, somente em 1973, durante o primeiro Simpósio Internacional em Ozônio para tratamento de águas e efluentes foi usada a terminologia “Tecnologias de Oxidação Avançada”. Neste trabalho era utilizada a combinação entre ozônio e radiação ultravioleta para oxidar complexos de cianeto. Além disso, Fujishima e Honda (1972), descrevem a oxidação da água em suspensão de TiO_2 gerando hidrogênio e oxigênio e, em 1976 foi publicado o primeiro trabalho utilizando fotocatalise heterogênea na degradação de contaminantes, tanto em fase aquosa quanto gasosa (Teixeira e Jardim, 2004).

Processos oxidativos avançados são aqueles em que a principal via reacional é medida por radical hidroxila ($\cdot OH$). Em função de seu elevado poder oxidante ($E_0 = 2,8$ V), o radical hidroxila é extremamente reativo, o que faz com que reaja rápida e

* Contato com os autores:

¹ e-mail : nubiabrito@quimica.ufg.br (N. N. Brito)

Professora Dra. Instituto de Química - Universidade Federal de Goiás

² e-mail : pater@feagri.unicamp.br (J.E. S. Paterniani)

Professor Dr. Livre Docente – FEAGRI – UNICAMP

³ e-mail : (G. A. Brota)

Tecnólogo em Saneamento Ambiental – FEAGRI – UNICAMP

⁴ e-mail : pelegrini@cca.ufscar.br (R. T. Pelegrini)

Professor PhD. Centro de Ciências Agrárias - UFSCAR

ISSN: 0000-0000 (em processo de registro)

© 2010 REEC - Todos os direitos reservados.

doi: 00.0000/r.eleengcivil.2010.01.010 (em processo de registro)

indiscriminadamente com inúmeros substratos orgânicos, promovendo a sua completa degradação ou transformando-os em produtos de maior degradação biológica. A sua elevada reatividade impede a sua estocagem, o que obriga a utilização de sistemas de geração *in situ*. Existem várias formas de produzir esse radical, sendo os mais extensivamente estudados: fotocatalise heterogênea, processos baseados na reação de Fenton, sistemas do tipo UV/H₂O₂, processos fotoeletroquímicos e processos baseados nas reações com ozônio (Pacheco e Peralta-Zamora, 2004)

Os POA's em associação com processos biológicos convencionais podem resultar em economia e eficiência no tratamento de efluentes. Como já dito anteriormente o princípio do POA consiste na geração de radical hidroxila conforme Equações 1 e 2, capazes de mineralizar poluentes orgânicos a formas não tóxicas, como CO₂ e H₂O (Brito e Paterniani, 2008).



Neste estudo foi realizado o tratamento de percolado de aterro com TiO₂ na ausência de radiação, H₂O₂ na presença de radiação visível e TiO₂ com H₂O₂ na presença de radiação visível, a fim de se verificar a máxima eficiência na redução da absorvância.

2. MATERIAL e MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET (UNICAMP), onde foi construído e instalado um reator fotocatalítico para tratamento do percolado pós filtração lenta proveniente do aterro sanitário de Limeira-SP localizado na via Tatuibi Km 5,5, distante 10 Km do centro da cidade. O local é limitado ao norte pelo kartódromo, a leste pelo ribeirão Tatu, ao sul pela Rodovia Municipal de Limeira - Tatuibi, e a oeste pela área de cultivo municipal.

Os laboratórios utilizados para realização das análises foram os laboratórios de físico-química e de tratamento de efluentes.

O aterro sanitário da cidade de Limeira-SP iniciou sua atividade em 1984 (fase I) com características de um lixão e recebia apenas resíduos domésticos até o ano de 1998. Em 1989 iniciaram-se os estudos para implantação de um aterro sanitário, conforme as normas da CETESB. A partir de 1998 iniciou-se a fase II do aterro já com características de um aterro sanitário e preparado para receber resíduos domésticos e resíduos industriais classe IIA não inertes e IIB inertes. A área utilizada atualmente para fase II está em estágio de finalização e uma fase III já está sendo preparada para receber os resíduos sólidos urbanos e industriais apresentando vida útil em média, de 15 anos (GUIZARD, et al., 2004).

Segundo NBR 10.004 (2004), os resíduos classe

IIA não inertes compreendem os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, mas não se enquadram nas classificações de resíduos classe I perigosos. Os resíduos classe IIB inertes são aqueles que por suas características intrínsecas não oferecem riscos à saúde ou ao meio ambiente.

O aterro sanitário de Limeira possui uma área total de aproximadamente 500.000 m², sendo que 190.000 m² são destinados para a disposição dos resíduos domésticos e resíduos industriais classe IIA não inertes e IIB inertes Diariamente são gerados cerca de 53 a 85 m³/d de percolado. (GUIZARD et al., 2004).

No aterro sanitário de Limeira o percolado de resíduos é tratado por uma lagoa anaeróbia com dimensões de 30 x 30 x 3,5 metros seguida de uma facultativa com dimensões de 30 x 70 x 1,5 metros. Após o tratamento o percolado é recirculado para a massa de resíduos. A lagoa anaeróbia é responsável pelo tratamento primário da água residuária e é dimensionada para receber cargas orgânicas elevadas, que impedem a existência de oxigênio dissolvido no meio líquido. O aterro dispõe ainda de uma lagoa facultativa que é responsável pelo tratamento secundário do percolado e refere-se à dualidade ambiental característica desse tipo de lagoa: aeróbia na superfície e anaeróbia no fundo. Uma foto do aterro pode ser vista na Figura 1, na qual podem ser visualizadas as duas lagoas de tratamento.



Figura 1: Aterro sanitário de Limeira – SP.

2.1 Reagentes para o tratamento fotocatalítico

O semicondutor utilizado no processo fotocatalítico heterogêneo Dióxido de Titânio - Degussa P25 (TiO₂).

O peróxido de hidrogênio utilizado no processo fotocatalítico homogêneo foi o da marca Lafan - Química Fina, 10% m/m padronizado por titulação permanganométrica.

2.2 Tratamento fotocatalítico

Amostras de percolado para os testes foram coletadas em garrafas de polipropileno e mantidas a

4°C, protegidas da luz. (as amostras foram coletadas de janeiro a junho de 2008 no período vespertino, a amostra de chorume é composta de diversas substâncias tais como: papel, papelão, plástico, vidro, alumínio, metais, tecidos resíduos orgânicos e outros provenientes de resíduos domésticos)

O tratamento fotocatalítico foi realizado em um reator de vidro Pyrex com capacidade volumétrica de 1,7 L (100 mm de diâmetro interno, 145 mm de diâmetro externo e altura total de 300 mm) equipado com refrigeração à água e recirculação do percolado, conforme esquema apresentado na Figura 2.

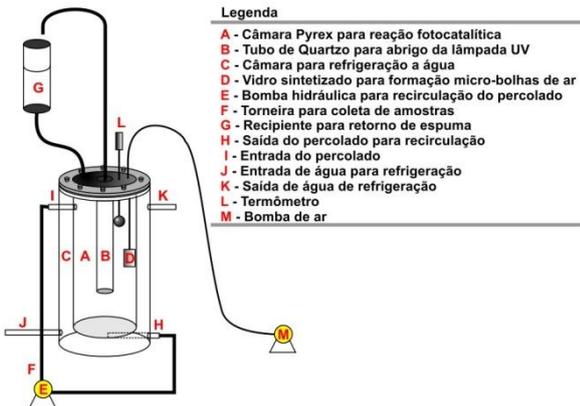


Figura 2: Esquema do reator fotocatalítico.

A fonte de radiação foi provida por uma lâmpada de alta pressão de mercúrio (Philips HPL-N 400 W) pela remoção do bulbo exterior localizado no centro do reator com capacidade para emitir comprimentos de onda na região do UV.

Os experimentos foram processados utilizando refrigeração à água permitindo controlar a temperatura. A agitação do processo foi mantida contínua por meio da recirculação do percolado através de uma bomba hidráulica (Invensys Bav 1115-02U 220 V 60 Hz 34 W). O fornecimento de oxigênio para o processo fotocatalítico foi mantido por borbulhamento de ar através de um vidro sinterizado localizados na parte inferior do reator, utilizando para isso um compressor com válvula controladora de vazão (Inalar Compact).

700 mg.L⁻¹ de TiO₂ e 35 mL de H₂O₂ foram adicionadas às amostras de percolado, as quais foram agitadas mediante recirculação e irradiadas em determinados tempos (por otimização). Para o controle analítico, alíquotas foram retiradas em intervalos convenientes e centrifugadas. Em geral o tempo de tratamento fotocatalítico foi suficiente para degradar o peróxido de hidrogênio residual. Uma foto do reator pode ser visualizada na Figura 3.

O tratamento de percolado por meio do sistema de filtração lenta foi constituído por um tanque cilíndrico de polipropileno com altura útil de 1000 mm, diâmetro de 580 mm e seção circular de 0,26 m².



Figura 3: Foto do reator fotocatalítico em funcionamento.

O tempo de detenção hidráulica do percolado dentro do filtro lento foi em média 8 horas. O material filtrante utilizado dentro do filtro foi areia comum utilizada em construção civil e mantas sintéticas não tecidas (Figura 4).

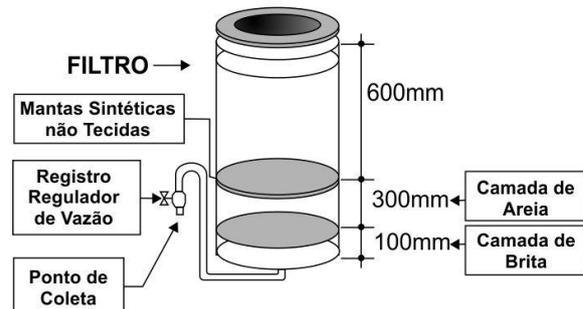


Figura 4: Esquema do filtro lento

O sistema de coleta foi constituído por um tubo de PVC o qual tem origem junto ao sistema de drenagem e segue até 10 cm acima da camada de areia, evitando assim a ocorrência de pressão negativa e conseqüentemente, acúmulo de ar no interior do meio filtrante, além de garantir a presença constante de percolado no interior do filtro.

Durante os estudos manteve-se o filtro lento com nível constante mediante utilização de uma bóia hidráulica fixa na parte superior e taxa de filtração constante por meio de registro regulador de vazão na parte inferior (após sistema de drenagem). A taxa adotada foi de 3 m³/m²d sendo monitorada periodicamente através do método volumétrico. (Brito e Paterniani, 2006).

2.3 Avaliação da eficiência do tratamento fotocatalítico

Na avaliação da eficiência do tratamento fotocatalítico do percolado, o peróxido de hidrogênio residual foi determinado de acordo com procedimento

adaptado de Oliveira et al. (2001), baseado na reação entre peróxido de hidrogênio e o íon vanadato (VO_3^-) em meio ácido. A reação leva à formação de íon peroxovanádio (VO_{23}^+) de coloração avermelhada que absorve fortemente em 446 nm (Oliveira et al., 2001). A coloração verdadeira do percolado foi determinada de acordo com a absorvância no comprimento de onda máximo na região do visível (400 nm) utilizando espectrofotômetro DR 2000 da HACH.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira otimização consistiu em não utilizar radiação, H_2O_2 10%, tempo de tratamento de 90 minutos, temperatura de 25°C, sem vazão de ar. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Observou-se uma baixa eficiência na remoção da cor (26,97%) em 90 minutos de tratamento, apresentando alta concentração de H_2O_2 residual.

Posteriormente realizou-se um novo ensaio utilizando vazão de ar máxima de 15 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ (Tabela 2).

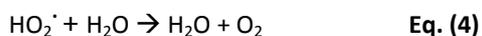
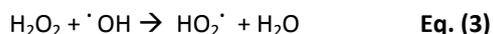
Tabela 1: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento H_2O_2 sem radiação e temperatura a 25°C.

	Tempo min	Volume de H_2O_2 (mL)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)	Absorbância H_2O_2	Conc. ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
0	0	15	0,582	-	-	-
1	30	10	0,441	24,22	0,355	0,213
2	60	10	0,438	24,74	0,351	0,209
3	90	-	0,425	26,97	0,412	0,253

Tabela 2: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando H_2O_2 sem radiação, temperatura a 25°C, vazão de ar de 15 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$.

	Tempo min	Volume de H_2O_2 (mL)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)	Absorbância H_2O_2	Conc. ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
0	0	15	0,586	-	-	-
1	30	10	0,407	30,54	0,239	0,131
2	60	10	0,429	26,80	0,243	0,134
3	90	-	0,414	29,35	0,240	0,132

Observou-se uma baixa eficiência na remoção da cor (29,35%) em 90 minutos de tratamento, apresentando alta concentração de H_2O_2 residual. A diminuição da eficiência do processo com o aumento da concentração de peróxido, podem ser explicados pelo caráter sequestrante (scavenger) de radicais hidroxila (Equações 3 e 4) apresentado pelo peróxido de hidrogênio e ainda pelo processo de recombinação de radicais gerados em excesso (Equação 5).



Diante dos dados alcançados realizou-se uma nova otimização que consistiu em utilizar lâmpada de 400 W, H_2O_2 10%, Tempo de 90 min, temperatura de 45°C, sem vazão de ar e radiação visível.

Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

A máxima porcentagem de redução da coloração encontrada foi de 65% em 90 minutos de tratamento.

O aumento da temperatura e a utilização de radiação na faixa do visível contribuíram para melhoria do tratamento. McGuiga et al. (1998) afirmam que para a temperatura da água acima de 45°C, há um forte

efeito sinérgico entre os mecanismos ópticos e térmicos na inativação de microrganismos. Wei et al. (1994) observaram este efeito em experimentos de desinfecção fotocatalítica com TiO_2 onde *E.coli* foi o microrganismo alvo. A temperatura da água atingiu valores acima de 40°C e a fonte de radiação foi à luz solar.

Além disto, a reação do radical hidroxila é mais eficiente porque seu potencial de oxidação ($E^\circ = +2,8 \text{ V}$) é mais elevado que o do peróxido de hidrogênio molecular ($E^\circ = +1,78 \text{ V}$), podendo promover uma oxidação mais eficiente.

Posteriormente foi realizada uma variação no volume de H_2O_2 conforme Tabela 4.

A porcentagem de redução da coloração encontrada foi de 51,84% em 90 minutos de tratamento. Demonstrando assim a diminuição da eficiência quando comparado ao ensaio referente à Tabela 3.

Conseqüentemente foi realizado um novo ensaio utilizando: lâmpada de 400 W, H_2O_2 10%, Tempo de 90 min, temperatura de 45°C, radiação visível através da utilização de um tubo pyrex para abrigo da lâmpada e vazão de ar de 15 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$. Os resultados encontrados na Tabela 5 mostram que a máxima porcentagem de redução da coloração encontrada foi de 59,96% inferior aos 65,00% encontrados no ensaio referente à Tabela 3, sem a utilização de vazão de ar. Importante ressaltar que todos os ensaios resíduos de H_2O_2 na ordem de 0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 5).

Tabela 3: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento fotoquímico com H₂O₂ e radiação visível.

	Tempo (min)	Volume de H ₂ O ₂ (mL)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)	Absorbância H ₂ O ₂	Conc. (mg.L ⁻¹)
0	0	15	0,581	-	-	-
1	30	10	0,335	42,34	0,244	0,130
2	60	10	0,258	55,59	0,210	0,110
3	90	-	0,203	65,09	0,198	0,102

Tabela 4: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento fotoquímico com H₂O₂ e radiação visível (volume de H₂O₂ 25 mL).

	Tempo (min)	Volume de H ₂ O ₂ (mL)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)	Absorbância H ₂ O ₂	Conc. (mg.L ⁻¹)
0	0	15	0,569	-	-	-
1	30	10	0,334	41,3	0,229	0,124
2	60	-	0,279	50,96	0,213	0,113
3	90	-	0,274	51,84	0,178	0,088

Tabela 5: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento fotoquímico com H₂O₂ e radiação visível (vazão de ar de 15 L.min⁻¹).

	Tempo (min)	Volume de H ₂ O ₂ (mL)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)	Absorbância H ₂ O ₂	Conc. (mg.L ⁻¹)
0	0	15	0,577	-	-	-
1	30	10	0,344	40,38	0,239	0,131
2	60	10	0,278	51,81	0,205	0,107
3	90	-	0,231	59,96	0,197	0,101

A porcentagem de redução da coloração encontrada foi de 51,84% em 90 minutos de tratamento. Demonstrando assim a diminuição da eficiência quando comparado ao ensaio referente à Tabela 3.

Conseqüentemente foi realizado um novo ensaio utilizando: lâmpada de 400 W, H₂O₂ 10%, Tempo de 90 min, temperatura de 45°C, radiação visível através da utilização de um tubo pyrex para abrigo da lâmpada e vazão de ar de 15 L.min⁻¹. Os resultados encontrados na Tabela 5 mostram que a máxima porcentagem de redução da coloração encontrada foi de 59,96% inferior aos 65,00% encontrados no ensaio referente à Tabela 3, sem a utilização de vazão de ar. Importante ressaltar que todos os ensaios resíduos de H₂O₂ na ordem de 0,1 mg.L⁻¹ (Tabela 5). Este experimento demonstra que para o processo fotoquímico utilizando H₂O₂ não é necessária a presença de oxigênio para oxidar a matéria orgânica, isto é devido ao caráter extremamente oxidativo do peróxido de hidrogênio. Além disso, o oxigênio pode diminuir o transporte de massa de radical hidroxila em direção a matéria orgânica.

Com o propósito de verificação dos estudos realizou-se o mesmo ensaio, utilizando 25 mL de H₂O₂ conforme Tabela 6.

A porcentagem de redução da coloração foi inferior (51,58%) quando utilizados os 25 mL de H₂O₂ referentes à Tabela 5.

Diante dos resultados alcançados foi possível

observar que as melhores condições para o tratamento fotoquímico do percolado de aterro foram:

- 35 mL de H₂O₂ 10%,
- tempo de 90 min, temperatura de 45°C,
- radiação visível através da utilização de um tubo pyrex para abrigo da lâmpada de 400 W,
- sem vazão de ar.

Mediante os dados alcançados realizou-se um ensaio com todas as condições experimentais otimizadas, no entanto, no lugar do H₂O₂ acrescentou-se 700 mg.L⁻¹ de TiO₂ em um tempo de 180 minutos (Tabela 7).

A porcentagem de redução da coloração (44,8% em 180 minutos) foi a menor alcançada em todo o estudo, levando-se em consideração o tempo de tratamento. Diante disto resolveu-se fazer um planejamento fatorial 3³ + 3², com as seguintes condições experimentais (Tabela 8):

- Volume de H₂O₂ 10% adicionado: 15, 10 e 10 mL (Tempo: 0' ; 30' e 60');
- Concentração TiO₂ 700mg/L;
- Temperatura 45°C;
- Radiação na faixa do visível.

Com os dados obtidos foi possível concluir que com a máxima vazão de ar, máxima temperatura e radiação visível obteve-se uma redução da coloração de 87,1% com baixa concentração de H₂O₂ residual (0,009 mg.L⁻¹), demonstrando a importância da vazão de

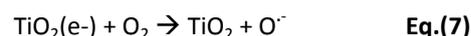
ar quando se utiliza TiO_2 já que a fotomineralização só ocorrerá na presença de O_2 , de acordo com a Equação 6.

semicondutor

Pol. orgânico + $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ácidos minerais}$ Eq.(6)

Para a manutenção do processo oxidativo durante a absorção de fótons pelo semicondutor, o acúmulo de elétrons na banda de condução, que aumenta a recombinação do par elétron/lacuna (e-/h+), deve ser evitado na superfície do semicondutor. Então o oxigênio age como receptor de elétron gerando íon

superóxido, com mostrado na Equação 7:



Importante ressaltar também que o uso de peróxidos inorgânicos tem demonstrado excelentes resultados no aumento das taxas de degradação fotocatalíticas de diferentes contaminantes. Em estudos sobre a degradação de chorume por fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio constataram aumento na remoção de DQO de 40% para 60% quando o peróxido de hidrogênio foi adicionado como receptor de elétrons (Ferreira e Daniel, 2005).

Tabela 6: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento fotoquímico com H_2O_2 e radiação visível (volume de H_2O_2 25 mL).

	Tempo (min)	Volume de H_2O_2 (mL)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)	Absorbância H_2O_2	Conc. (mg.L^{-1})
0	0	15	0,568	-	-	-
1	30	10	0,321	43,48	0,368	0,221
2	60	-	0,294	48,23	0,240	0,132
3	90	-	0,275	51,58	0,184	0,093

Tabela 7: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento fotoquímico com TiO_2

	Tempo (min)	Absorbância (400 nm)	Redução de cor (%)
0	0	0,596	0
1	30	0,488	18,1
3	90	0,456	23,5
4	120	0,373	37,4
5	150	0,353	40,8
6	180	0,329	44,8

Tabela 8: Redução da coloração do percolado de aterro utilizando tratamento fotoquímico com H_2O_2 e TiO_2

Variáveis	Nível (•)	Nível (0)	Nível (+)
Vazão ar	5,0 L/min	0,0	15,0 L/min
Tempo Tratamento	90 min	-	180 min

Experimento	Vazão ar	Tempo Tratamento	Redução de cor (%)	Concentração H_2O_2 (mg.L^{-1})
1	•	•	85,9	0,017
2	•	+	84,5	0,021
3	0	•	78,8	0,015
4	0	+	86,8	0,014
5	+	•	85,4	0,009
6	+	+	87,1	0,009

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento em estudo apresentou redução da coloração do chorume (87%), através de condições experimentais otimizadas tais como: volume de peróxido de hidrogênio 35 mL adicionados ao reator em alíquotas de 15, 10, 10 mL; concentração de TiO_2 700 mg.L^{-1} ; Temperatura 45°C, lâmpada de 400 Watts (radiação na faixa do visível) e tempo de tratamento de

180 minutos, sendo que nestas condições o tratamento fotocatalítico não deixou resíduos de peróxido de hidrogênio detectáveis após o tratamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica – (CNPq) pelas bolsas concedidas e suporte técnico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. Amostragem de Resíduos, 2004: Dispõe sobre a classificação de resíduos sólidos.

BRITO, N.N.; PATERNIANI, J.E.S. **Sistema de Filtração Lenta no Tratamento de Percolado do Aterro Sanitário de Limeira-SP**. 77p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas (UNICAMP), 2006.

BRITO, N.N.; PATERNIANI, J.E.S. **Fotocatálise de Percolado de Aterro Sanitário Tratado por Filtração Lenta**. 108p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas (UNICAMP), 2008.

FERREIRA, I.V.L.; DANIEL, L.A. **Fotocatálise Heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário**. 160p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Universidade Estadual de São Paulo (USP), 2005.

GUIZARD, J.B.R.; PERES, C.R.; BRONZEL, D.; FERREIRA, E.R.; PONTES, F.F.F.; RAFALDINI, M.E. Aterro Sanitário de Limeira. 57 p. **Relatório Técnico** - Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, Curso de Engenharia Ambiental, 2004.

MC GUIGAN, K.G.; JOYCE, T.M.; CONROY, R.M.; GILLESPIE, J.B.; ALMORE-MEEGAN, M. **Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process**. Journal of Applied Microbiology, v.84, p.1138-48, 1998.

OLIVEIRA, M.C.; NOGUEIRA, R.F.P.; NETO, J.A.G.; JARDIM, W.F.; ROHWEDDER, J.J.R. **Sistema de injeção em fluxo espectrofotométrico para monitorar peróxido de hidrogênio em processo de fotodegradação por reação foto-fenton**. Química Nova, v.24, n.2, p. 188-190, 2001.

PACHECO, J.R.; PERALTA-ZAMORA, P. **Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 306-311, 2004.

TEIXEIRA, C.P.A.B; JARDIM, W.F. **Processos Oxidativos Avançados - Conceitos Teóricos**. Caderno Temático, v.3, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2004

WEI, C.; LIN, W-Y.; ZAINA, Z.; WILLIAMS, N.E.; ZHU, K.; KRUZIC, A.P. **Bactericidal Activity of TiO₂ Photocatalyst in Aqueous Media: Toward a Solar- Assisted Water Disinfection System**. Environmental Science and Technology, v. 28, n.5, p.934-938, 1994.