

Avaliação da Redução da Poluição do Chorume Tratado por Processo Fotoquímico

Evaluation of Leachate Pollution Reduction Treated with a Photochemical Process

Núbia Natália de Brito-Pelegri^{1,2*}, José Euclides Stipp Paterniani², Giovani Archanjo Brota², Ronaldo Teixeira Pelegri³

Palavras chaves:
Aterro Sanitário,
Fotoquímico,
Percolado.

Keywords:
Sanitary Landfill,
Leachate,
Photochemistry

ABSTRACT

This work was aimed at evaluating leachate pollution reduction in the sanitary landfill of Limeira-SP city through a photochemical treatment using UV/H₂O₂ process. The treatment was accomplished in a Pyrex glass reactor of approximately 1.7 L (internal diameter: 100 mm, external diameter: 145 mm, total height:300 mm). The experiments were carried out through water refrigeration and internal recirculation system of the leachate. The best reduced values for environmental control parameters were: 46 % of total organic carbon (TOC), 93 % total of phenols and 97 % of ammoniacal nitrogen and 91% of leachate color reduction. These results were obtained through the following optimized experimental conditions: H₂O₂ 35 mL added to the reactor in aliquots of 15 mL (starting), 10 mL (30 minutes), 10 mL (60 minutes), 45°C temperature, 400 Watts lamp and 90 minute treatment time.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a redução da poluição do chorume proveniente do aterro sanitário da cidade de Limeira-SP, através de tratamento por processo fotoquímico utilizando H₂O₂/UV. Os estudos foram realizados em um reator de vidro Pyrex de capacidade volumétrica de 1.7 L (100 mm de diâmetro interno, 145 mm de diâmetro externo e altura total de 300 mm) equipado com sistema de refrigeração à água e recirculação do chorume. Os melhores resultados de reduções dos valores de alguns parâmetros de controle ambiental foram: 46 % de Carbono Orgânico Total (COT), 93 % de fenóis totais, 97 % de nitrogênio amoniacal e 91 % de redução da cor do chorume. Estes resultados foram alcançados utilizando as seguintes condições experimentais otimizadas: volume de H₂O₂ 35 mL, adicionados ao reator em alíquotas de 15, 10, e 10 mL, temperatura 45°C, lâmpada de 400 Watts e tempo de tratamento de 90 minutos.

Recibido 29 de Abril de 2010; Aceptado 17 de octubre de 2011

¹ Instituto de Química IQ - Universidade Federal de Goiás (UFG). Rodovia Campus Samambaia, CP 131 CEP 74001-970 - Goiânia - Goiás, fone: 62- 3521-1094- ramal 240 e-mail: nubiabrito@quimica.ufg.br

² Faculdade de Engenharia Agrícola- Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Cidade Universitária Zeferino Vaz, C. P. 6011 CEP:13083- 875 Campinas-SP.

³ Centro de Ciências Agrárias CCA - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Rodovia Anhanguera, Km 174 - Campus de Araras/ SP, fone: 19-3543-2586, e-mail: nnatalia@cca.ufscar.br

* Autor para correspondência: Fone 62-3521-1094 ramal 240. Email: nubiabrito@quimica.ufg.br

INTRODUÇÃO

O chorume gerado nos aterros sanitários é o resultado da passagem da água através dos resíduos sólidos oriundos de resíduos domésticos e industriais em processo de decomposição (Lin & Chang, 2000). O chorume pode conter altas concentrações de compostos orgânicos, metais pesados, amônia, cloretos e muitos outros compostos solúveis (Cabeza, 2007). A composição físico-química é extremamente variável dependendo de fatores que vão desde as condições pluviométricas, tempo de disposição, idade do aterro, condições ambientais e características do próprio despejo (Bertazzoli & Pelegrini, 2002; Jeong-Hoon et al., 2001; Marnie et al., 2005).

No presente trabalho, foi estudado diversas metodologias de tratamento do chorume da cidade de Limeira SP. Para verificar a eficiência das metodologias foram estudados parâmetros de grande importância ambiental como: nitrogênio amoniacal, fenóis totais, concentração de matéria orgânica e coloração, que estão intimamente ligados aos efeitos tóxicos interferentes no meio aquático.

Tratamento Fotoquímico H₂O₂/UV

O emprego do peróxido de hidrogênio e radiação UV gera o radical hidroxila que é o agente químico de grande poder de oxidação (eq. 1). Radiações abaixo de 400 nm são capazes de fotolisar o peróxido de hidrogênio provocando a cisão da molécula em dois radicais hidroxilas (Xu et al., 2005). O mecanismo aceito para a fotólise de peróxido de hidrogênio é a clivagem da molécula para radicais hidroxilas de acordo com a reação (1):



A reação do radical hidroxila é muito 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 oxidação mais energética (Pelegrini et al., 1999). Além disso, reage com quase todo tipo de substância subtraindo dela elétrons ou átomos de hidrogênio ou ainda adicionando-se às duplas ligações (Dominguez et al., 2005). Desta forma, o emprego do peróxido de hidrogênio combinado com a radiação UV tem despertado grande interesse para uso em processos ambientais.

Radiação Ultravioleta

O aumento da intensidade da luz resulta no aumento de taxas de fotodegradação de compostos orgânicos. A intensidade da luz a partir da qual a taxa de degradação diminui depende do sistema redox que está sendo investigado, todavia, para (Nogueira & Jardim, 1998) este valor corresponde a intensidades acima de 6×10^{14} fótons.cm².s⁻¹.

No estudo da efetividade em que os fótons são utilizados para as reações fotoquímicas dois conceitos são importantes: o rendimento quântico, e a fotoeficiência ou eficiência fotônica. O primeiro é a razão da taxa de reação observada e a taxa de absorção dos fótons, já a eficiência fotônica refere-se à razão entre a taxa de reação observada e o fluxo de fótons que atinge o reator. Na prática a eficiência fotônica tem validade devida aos fatores que dificultam a determinação do rendimento quântico como: espalhamento da luz por pequenas partículas, transmissão parcial e absorção da luz por componentes que não são fotoativos (Ferreira, 2005).

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de chorume foram obtidas de um aterro sanitário municipal com mais de 14 anos de idade localizado na cidade de Limeira SP. Este aterro recebe resíduos sólidos municipais e resíduos industriais classe IIA não inertes e IIB inertes (NBR 10.004, 2004). As amostras foram coletadas em garrafas de polipropileno e mantidas a 4°C, protegidas da luz.

Operóxido de hidrogênio utilizado no processo fotoquímico refere-se à marca Lafan-Química Fina, 10 % m/m e foi padronizado por titulação permanganométrica.

Tratamento fotoquímico

O tratamento fotoquímico foi realizado em um reator de vidro Pyrex com capacidade de 1.7 L (100 mm de diâmetro interno, 145 mm de diâmetro externo e altura total de 300 mm) equipado com sistema de refrigeração à água e recirculação do chorume. Conforme esquema apresentado na Figura 1.

A radiação ultravioleta-UV foi provida por uma lâmpada de alta pressão de mercúrio (Philips HPL-N 250 e 400 W) com capacidade para emitir comprimentos de onda na região do UV pela remoção do bulbo exterior localizado no centro do reator.

Os experimentos foram processados

REFERÊNCIAS

- A. Câmara Pyrex para reação fotocatalítica
- B. Tubo de Quartzo para abrigo da lâmpada UV
- C. Câmara para refrigeração a água
- D. Vidro sinterizado para formação micro-bolhas de ar
- E. Bomba hidráulica para recirculação do efluente
- F. Torneira para coleta de amostras
- G. Recipiente para retorno de espuma
- H. Saída do chorume para recirculação
- I. Entrada do chorume
- J. Entrada de água para refrigeração
- K. Saída de água de refrigeração
- L. Termômetro
- M. Bomba de ar

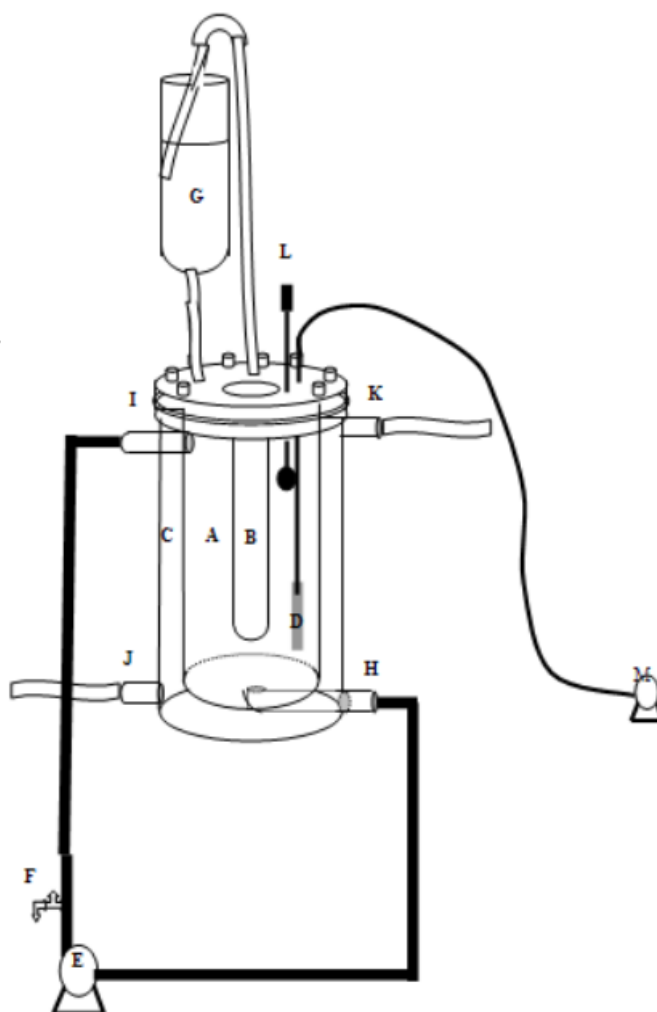


Figura 1 Esquema do reator fotoquímico.

Figure 1 Schematic experimental apparatus

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

Alíquotas de H_2O_2 foram adicionadas ao meio pela parte superior do reator (G). O peróxido de hidrogênio foi incorporado mediante recirculação do chorume. Para o controle analítico, alíquotas foram retiradas em intervalos convenientes e centrifugadas. A otimização do volume da solução de H_2O_2 bem como as alíquotas adicionadas foi realizada em função da redução da coloração do chorume conforme trabalho publicado por De Brito-Pelegrini & Paterniani (2008).

Para realização do processo fotoquímico o chorume passou por um tratamento primário por meio do sistema de filtração lenta de acordo com estudos desenvolvidos por De Brito-Pelegrini & Paterniani (2006).

Equipamentos e metodologias analíticas

A concentração de peróxido de hidrogênio residual foi determinada de acordo com procedimento adaptado de Oliveira et al., (2001), baseado na reação entre peróxido de hidrogênio e o íon metavanadato (VO_3^-). A reação leva à formação de íon peroxovanadato (VO_3^+), que absorve fortemente em 446 nm (Oliveira et al., 2001).

A coloração do chorume foi determinada de acordo com a absorbância no comprimento de onda máximo na região do visível (400 nm) utilizando espectrofotômetro DR 2000 da HACH.

A determinação dos valores de pH do chorume foi realizada de acordo com método potenciométrico utilizando medidor de pH TEC-3M da Tecnal. As análises de fenóis totais foram realizadas de acordo com o método colorimétrico fundamentada na reação com o reagente de Folin-Ciocalteu. A análise de nitrogênio amoniacal foi realizada de acordo com o método colorimétrico empregando espectrofotômetro DR 2000 da HACH. O desenvolvimento desses parâmetros obedeceu normas analíticas padronizadas conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, (APHA, 1998). A análise de Carbono Orgânico Total (COT) foi realizada de acordo com a metodologia descrita na norma ISO 8245 (1999), utilizando aparelho TOC 5000 da Shimadzu.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Otimização do processo fotoquímico utilizando H_2O_2 /UV

O volume otimizado da solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a uma concentração de 10 % (33.25 volumes) adicionado ao reator fotoquímico foi de 35 mL (em alíquotas de 15 mL no início, 10 mL no tempo 30 minutos e 10 mL no tempo de 60 minutos). A partir disto, com o objetivo de otimizar vazão de ar, temperatura e potência da lâmpada realizou-se um planejamento fatorial $3^2 + 3^1$ (Tabela 1), onde foram experimentados dois níveis para as variáveis temperatura e potência da lâmpada, sendo um nível menor (•) e outro maior (+). Para a variável vazão de ar foram experimentados 3 níveis: vazão menor (•), sem adição de ar (0) e nível maior (+). Para o desenvolvimento deste planejamento fatorial foi avaliada a redução da cor do chorume na região do visível e

a concentração de peróxido de hidrogênio residual.

Por meio do Planejamento Fatorial (Tabela 1), pôde-se observar, no experimento 12, onde foi empregado temperatura de 45°C, lâmpada de 400 W e sem injeção de ar, que a porcentagem de redução da cor do chorume atingiu 90.70 %, a maior descoloração conseguida. Também foi verificado que a concentração de peróxido de hidrogênio residual foi de 0.0 mg.L⁻¹. Este experimento demonstra que para o processo fotoquímico com aplicação de H₂O₂ nas condições do teste 12 apresenta o melhor resultado e não é necessária a presença de oxigênio devido ao caráter altamente oxidativo do peróxido de hidrogênio.

Outros parâmetros de grande importância ambiental como: cor, pH, fenóis totais, nitrogênio amoniacal e matéria orgânica, também foram estudados neste trabalho. Os resultados das reduções dos parâmetros estão apresentados na Tabela 2.

Redução da Cor

Para o estudo da coloração do chorume foi realizada uma varredura de comprimento de onda de 800 nm a 200 nm. O comprimento de onda de máxima absorção do chorume na região do visível (400 nm) foi escolhido para avaliação da cor.

Muitos estudos têm sido desenvolvidos com objetivo de reduzir a coloração do

Variáveis	Nível (•)	Nível (0)	Nível (+)
Vazão ar	5,00 L.min ⁻¹	0,00	15,00 L.min ⁻¹
Temperatura	35°C	-----	45 °C
Lâmpada	250 W	-----	400 W

Experimento	Vazão ar	Temperatura	Lâmpada	Redução Cor (%)	H ₂ O ₂ residual (mg.L ⁻¹)
1	•	•	•	51.6	0.143
2	•	•	+	86.9	0.007
3	•	+	•	51.1	0.094
4	•	+	+	86.0	0.026
5	+	•	•	56.9	0.045
6	+	•	+	83.9	0.003
7	+	+	•	53.3	0.068
8	+	+	+	89.0	0.008
9	0	•	•	58.6	0.075
10	0	•	+	89.2	0.045
11	0	+	•	54.5	0.089
12	0	+	+	90.7	0.000

Tabela 1. Planejamento Fatorial 3² + 3¹. Otimização do tratamento fotocatalítico do chorume pós filtração lenta. Condições: metodologia de aplicação de H₂O₂ 10%, 35 mL: (15; 10; 10); Tempo de tratamento 90 min.

Table 1. Factor planning 3² + 3¹. Optimization of leachate photochemical treatment after slow filtration. Conditions: applied methodology: H₂O₂, 10 %, 35 mL: (15; 10; 10), treatment time: 90 minutes.

Parâmetros	Chorume pós Filtração		Chorume pós Tratamento	Redução (%)
	Lenta	Fotoquímico		
Cor (Abs 400 nm)	2.260	0.194		91.42
pH	9.06	8.54		5.74
Fenóis Totais (mg.L ⁻¹)	22.40	1.65		92.63
Nitrogênio (N-NH ₄ ⁺) (mg.L ⁻¹)	431.00	13.30		96.91
Carbono Orgânico (mg.L ⁻¹)	1588.88	858.05		46.00

Tabela 2. Caracterização do chorume pós-tratamento por filtração lenta e por processo fotoquímico empregando H₂O₂/UV.

Table 2. Landfill leachates characterization after slow land filtration treatment and after the photochemical process using H₂O₂/UV.

chorume. Lin & Chang (2000), por exemplo, empregaram coagulação química utilizando PAC (polyaluminum chloride) e polímeros através do ensaio de Jar test conseguindo reduções da cor do chorume em torno de 50 %, sendo considerado um excelente resultado. Pacheco (2004), utilizando um volume de 100 mL de chorume, empregou um tratamento químico usando 600 mg.L⁻¹ de H₂O₂ para obter reduções da coloração na ordem de 50 % durante 60 minutos de tratamento. Para alcançar 97 % de redução da coloração foi necessário realizar uma precipitação química utilizando valor de pH 1 (condição imposta pelo meio precipitante) e concentração de H₂O₂ de 1000 mg.L⁻¹ iniciais mais 3 vezes de 200 mg.L⁻¹ (30, 60 e 90 min) em um tempo total de tratamento de 120 minutos.

Com o processo fotoquímico (H₂O₂/UV), desenvolvido no tratamento do chorume,

pôde-se observar redução da coloração em torno de 91.42 % em apenas 90 minutos de tratamento. Este resultado indica um favorecimento na degradação de macromoléculas cromóforas presentes no chorume, o que pode ter favorecido a biodegradabilidade desta matriz e contribuído para redução da toxicidade avaliada.

Redução dos valores de pH

A redução dos valores de pH é sempre observada em quase todos os tratamentos por processos oxidativos avançados indicando que estas técnicas geram ácidos. Uma das possibilidades de geração de ácidos é através da degradação da matéria orgânica que apresenta carbonos insaturados, conforme apresentada na Figura 2 (Hoffmann *et al.*, 1995).

O controle dos valores de pH é extremamente

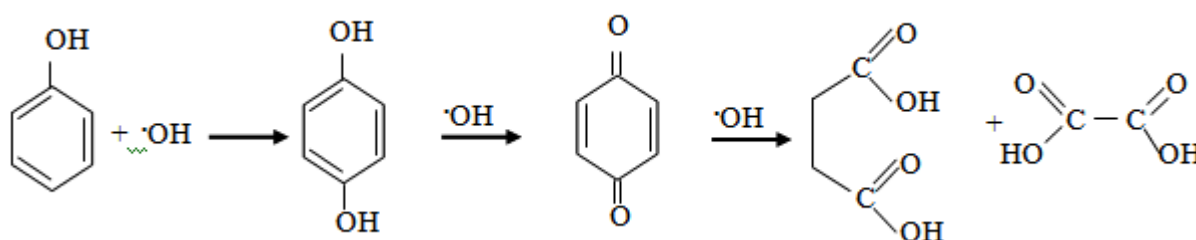


Figura 2. Sequência de reações da oxidação fotoquímica do fenol.

Figure 2. Sequence of reactions in phenol photochemical oxidation.

importante para o desenvolvimento de ensaios toxicológicos. Muitos organismos não podem proliferar em níveis de pH abaixo de 4.0 ou acima de 9.5 sendo que, geralmente, o pH ótimo para o desenvolvimento de organismos está entre 6.5 e 7.5 (Werker & Hall, 1999). Isto exige um rigoroso controle dos níveis de pH, já que o equilíbrio dos ecossistemas é muitas vezes frágil e qualquer alteração no meio químico pode ser drástico ao desenvolvimento microbiano.

Redução de Fenóis Totais

Os fenóis presentes no chorume são gerados através da degradação de macromoléculas orgânicas em decomposição no aterro sanitário. A solubilidade do fenol em água é elevada sendo facilmente arrastado e acumulado no chorume, por isso mesmo o controle dessa classe de poluente é muito importante.

A degradação do fenol pode ocorrer por diversas maneiras. Segundo Mansouri *et al.*, (2007), em degradações por processos oxidativos avançados o radical .OH ataca a molécula de fenol nas posições 2 e 4 em relação ao grupo OH do anel aromático. A existência de intermediários alifáticos na mistura da reação sugere que a estrutura do anel benzênico foi degradada para a forma intermediária de ácidos carboxílicos conforme foi discutido na Figura 2.

Pelegrini *et al.*, (2001), estudando a degradação de fenóis, obtiveram reduções de concentração na ordem de 20% após 90 minutos de tratamento utilizando a tecnologia de fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV), com o tratamento eletroquímico obtiveram 30 % de redução de fenóis e com o tratamento fotoeletroquímico obtiveram em torno de 90 % de redução de fenóis. Todas essas metodologias são consideradas processos oxidativos avançados.

Desta forma, os estudos desenvolvidos neste trabalho, através do processo fotoquímico,

comprovaram a importância desta técnica na degradação do fenol. As reduções encontradas na ordem de 92.63 %, em 90 minutos de tratamento, representam um excelente resultado em função da necessidade de controle da concentração dessa espécie química para proteção dos sistemas ambientais.

Redução do Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal é resultante da matéria orgânica em degradação, apresenta toxicidade para todos os vertebrados expostos ao meio contaminado (aquático) interagindo com o sistema nervoso central causando convulsões, coma e morte (Randall & Tsui, 2002). Por isso, o controle dessa categoria de composto químico é extremamente importante em processos ambientais.

Neste estudo, utilizando o tratamento fotoquímico, foi possível observar reduções de nitrogênio amoniacal em torno de 96.91 % em 90 minutos de tratamento. A concentração de amônia no chorume é muito elevada, em torno de 431 mg.L^{-1} , e com a metodologia de tratamento aplicada as concentrações reduziram para 13.3 mg.L^{-1} . Este processo representa uma grande inovação no tratamento de amônia presente no chorume, entretanto, a concentração final ainda é considerada elevada nos valores de pH do chorume (RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005) e para maior segurança o tratamento deve ser estendido acima de 90 min.

Redução do Carbono Orgânico Total

As reduções da matéria orgânica na ordem de 46 %, comprovadas pela diminuição do teor de Carbono Orgânico Total (COT) do chorume após tratamento fotoquímico ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), demonstra que o processo é eficiente não apenas para degradar

compostos orgânicos, mas também para conduzir a degradação até uma completa mineralização. Sugerindo desta forma, maiores eficiência de degradações de COT se melhorado a otimização do processo.

Reduções similares de matéria orgânica, em torno de 50 %, foram encontradas com o emprego da coagulação química utilizando PAC (polyaluminum chloride) e polímeros através do ensaio de Jar test (Lin & Chang, 2000). Perez *et al.* (2004), empregando um processo de floculação-coagulação do chorume, seguido de tratamento por filtro biológico conseguiram resultados em torno de 9 % e 17 % de redução da matéria orgânica. De Moraes & Peralta-Zamora (2005), empregando o processo foto-fenton obtiveram redução de COT de 33.7 % durante 30 minutos de tratamento do chorume.

Comparando com dados da literatura, o processo fotocatalítico homogêneo empregado neste trabalho apresentou-se altamente eficiente em função de não produzir resíduos para posterior tratamento e da rapidez do processo de degradação reduzindo 46 % da matéria orgânica total com um tempo de residência de apenas 90 minutos.

CONCLUSÃO

O processo fotoquímico apresentou redução da coloração do chorume (91%), através de condições experimentais otimizadas tais como: volume de H₂O₂ 35 mL adicionados ao reator em alíquotas de 15, 10, 10 mL; Temperatura 45°C, lâmpada de 400 Watts e tempo de tratamento de 90 minutos, sendo que nestas condições a o processo fotoquímico não deixou resíduos de peróxido de hidrogênio detectável após o

tratamento.

Através do processo fotoquímico foi possível verificar elevada eficiência na redução do COT 46 %, fenóis totais 93 % e nitrogênio amoniacal 97 %. Esses parâmetros são de grande importância para avaliações ambientais e são resultados bastante promissores, principalmente levando-se em consideração a elevada resistência da matriz em estudo.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition APHA, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, DC: 1998. CD room.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas- *NBR 10.004*. Amostragem de Resíduos, 2004: Dispõe sobre a classificação de resíduos sólidos. <http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>
- Bertazzoli R & Pelegrini R. 2002. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. *Química Nova*, 25 (3): 477-482
- Cabeza A, Urriaga A, Rivero MJ & Ortiz I. 2007. Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. *Journal Hazardous Materials*, 144: 715 – 719
- De Brito-Pelegrini NN & Paterniani JES. 2006. *Sistema de Filtração Lenta no Tratamento de Percolado do Aterro Sanitário de Limeira-SP*. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas (UNICAMP), Brasil: 77p
- De Brito-Pelegrini NN, Pelegrini RT & Paterniani JES. 2007. Filtração Lenta no Tratamento de Percolado de Aterro Sanitário. *Minerva*, 4 (1): 85-93
- De Brito-Pelegrini NN & Paterniani JES. 2008. *Fotocatálise de Percolado de Aterro Sanitário Tratado por Filtração Lenta*. Tese Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas (UNICAMP), Brasil: 130p
- De Moraes JL & Peralta-Zamora P. 2005. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, 123 (1-3):181-186
- Dominguez JR, Beltrán J & Rodriguez O. 2005. Vis and UV photocatalytic detoxification methods (using TiO_2 , TiO_2/H_2O_2 , TiO_2/O_3 , $TiO_2/S_2O_8^{2-}$, O_3 , H_2O_2 , $S_2O_8^{2-}$, Fe^{3+}/H_2O_2 and $Fe^{3+}/H_2O_2/C_2O_4^{2-}$) for dyes treatment. *Catalysis Today*, 101, (3-4) 389-395
- Ferreira IVL. 2005. *Fotocatálise heterogênea com TiO_2 aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: 160p
- Hoffmann MR, Martin ST, Choi W & Bahnemann DW. 1995. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemical Reviews*, 95 (1): 69-96

- International Standard Organization-ISO 8245. 1999. Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC)
- Jeong-Hoon IM, Hae-Jin W, Myung-Won C, Ki-Back H & Chang-Won, K. 2001. Simultaneous organic and nitrogen removal from municipal landfill leachate using an anaerobic-aerobic system. *Water Research*, 35 (10): 2043-2410
- Lin SH & Chang CC.2000. Treatment of landfill leachate by combined electron-fenton oxidation and sequencing bath reactor method. *Water Research*, 34 (17): 4243-4249
- Mansouri L, Bousselmi L & Ghrabi A. 2007. Degradation of recalcitrant organic contaminants by solar photocatalysis. *Water Science and Technology*, 55 (12): 119-125
- Marnie LW, Bitton G & Townsend T. 2005. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates. *Chemosphere*, 60 (2): 206-215
- Nogueira RFP & Jardim WF. 1998. Heterogeneous photocatalysis and its environmental application. *Química Nova*, 21 (1): 69-72
- Oliveira MC, Nogueira RFP, Neto JAG, Jardim WF & Rohwedder JJR. 2001. Sistema de injeção em fluxo espectrofotométrico para monitorar peróxido de hidrogênio em processo de fotodegradação por reação foto-fenton. *Química Nova*, 24 (2): 188-190
- Pacheco JR. 2004. *Estudo das Potencialidades de Processos Oxidativos Avançados para o Tratamento de Percolado de Aterro Sanitário*. Dissertação (Mestrado em Química Analítica), Universidade Federal do Paraná, Brasil: 81p
- Pelegriani R, Peralta-Zamora P, Andrade AR, Reyes D & Duran N. 1999. Electrochemically assisted photocatalytic degradation of reactivities dyes. *Applied Catalysis B Environmental*, 22 (2): 83-90
- Pelegriani RT, Freire RS, Durán N & Bertazzoli R. 2001. Photoassisted electrochemical degradation of organic pollutants on a DAS type oxide electrode: process test for a phenol synthetic solution and its application for the E1 bleach kraft mill effluent. *Environmental Science Technology*, 35 (13): 2849-2853
- Perez A, Ramos A, Moreno B & Zamorano T. 2004. Coagulation-flocculation as a submerged biological filter pré-treatment with landfill leachate. *Waste Management and the Environment*, 2 (2): 213-222

- Randall DJ & Tsui TKN. 2002. Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45 (1-12): 17-23
- Resolução Conama N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_357_05.pdf
- Xu T, Xiao MM & Liu HY. 2005. Advanced oxidation degradation of dichlorobenzene in water by the UV/H₂O₂ process. *Journal of Environmental Science and Health- A*, 40 (4): p. 751-765
- Werker AG & Hall ER. 1999. Limitations for biological removal of resin acids from pulp mill effluent. *Water Science and Technology*, 40 (11-12): 281-288