

IVY DOS SANTOS OLIVEIRA

**INTEGRAÇÃO DO TRATAMENTO MICROBIOLÓGICO COM
CÉLULAS IMOBILIZADAS E TECNOLOGIAS EMERGENTES
(PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS) PARA O TRATAMENTO
DE EFLUENTES GERADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Tese (Doutorado) apresentada ao Programa de
Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia
USP/Instituto Butantan/IPT, para obtenção do
Título de Doutor em Biotecnologia

Área de Concentração: Biotecnologia

Orientador: Dr. José Geraldo da Cruz Pradella

São Paulo
2009

RESUMO

OLIVEIRA, I. S. **Integração do tratamento microbiológico com células imobilizadas e tecnologias emergentes (Processos Oxidativos Avançados) para o tratamento de efluentes gerados na indústria têxtil**. 2009. 198 p. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Este trabalho avaliou o efeito da integração de diferentes processos de tratamento na degradação de efluente têxtil. Utilizou-se a técnica de precipitação na etapa físico-química, processos oxidativos avançados (POA) e tratamento biológico aeróbio em reator de leito fluidizado com células imobilizadas. Em uma primeira fase, foram identificadas as principais características do efluente como DQO, pH, cor (verdadeira), turbidez e COT. Foram avaliados o tratamento físico químico com adição de agente precipitante, os processos oxidativos avançados (Ozônio/UV e reagente de Fenton/UV) foram realizados experimentos em bateladas de acordo com um planejamento fatorial L_{18} (Método Tagushi) em função da vazão de ozônio, concentração de reagente Fenton, radiação UV, pH e temperatura. Após essa etapa realizou-se o tratamento microbiológico do resíduo utilizando o tratamento aeróbio onde foi avaliado o processo contínuo utilizando um reator de leito fluidizado com células imobilizadas de zeólitas e avaliados parâmetros como presença ou ausência de pré-tratamento com POAs, vazão de aeração, taxa de diluição. Com os resultados obtidos concluiu-se que apesar do pré-tratamento físico-químico apresentar resultados bastante satisfatórios na redução da DQO e COT do efluente esse tratamento gerou uma quantidade desnecessária de lodo se comparada com a utilização de POA sem o pré-tratamento físico-químico. A integração lodo ativado/Reagente Fenton mostrou-se bastante adequada, principalmente na remoção da cor e turbidez do efluente; a variedade e frequência dos microrganismos observados durante o monitoramento biológico foram condizentes com os sistemas de lodo ativado operando eficientemente e o emprego de zeólitas como suporte mostrou-se significativo, visto que a porcentagem de imobilização do microrganismo no suporte foi da ordem 63,3%.

Palavras-chave: Processos oxidativos avançados. Reator de leito fluidizado. Zeólita. Efluente têxtil. Células imobilizadas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, I. S. **Integration of microbiological treatment with immobilized cells and emerging (Advanced Oxidation Process) technologies for wastewater treatment generated in the textile industry.** 2009. 198 p. Theory (Doctorate in Biotechnology). Institute of Biomedical Sciences, University of São Paulo, São Paulo , 2009.

This work evaluated the effect of the integration of different treatment processes in the degradation of textile wastewater. The precipitation technique was used in the physiochemical stage, advanced oxidation process (AOP) and aerobic biological treatment in bed fluidized reactor with immobilized cells. In a first phase, the main characteristics of the wastewater were identified such as COD, pH, color (true), turbidity and COT. Physiochemical treatment with addition of precipitant agent were evaluated. The advanced oxidation process (Ozone / UV and Fenton reagent/ UV) in batch experiments were accomplished with a factorial planning L_{18} (Method Tagushi) in function of the flow of ozone, Fenton reagent concentration, UV radiation , pH and temperature. After that stage the microbiological treatment of the residue was carried out using the aerobic treatment where the continuous process was evaluated using a bed fluidized reactor with immobilized cells of zeolites and parameters as presence or pre-treatment absence with AOPs, aeration flow, dilution tax were evaluated. With the obtained results it was concluded that in spite of the physiochemical pre-treatment presenting quite satisfactory results in the reduction of COD and TOC of the wastewater, the treatment generated an unnecessary amount of mud if compared with the use of AOP without the physiochemical pre-treatment. The integration activated sludge/ Fenton Reagent was shown quite appropriate, mainly in the removal of color and turbidity of the wastewater; the variety and frequency of the microorganisms observed during the biological monitoring were suitable with the systems of activated sludge operating efficiently and the use of zeolites as support was shown significant, because the percentage of immobilization of the microorganism in the support was of 63,3 %.

keywords: Advanced oxidation processes. Bed fluidized reactor. Zeolite. Textile effluent. Immobilized cells.

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental tem se agravado nas últimas décadas, particularmente, no que se refere à poluição dos recursos hídricos. A poluição do meio ambiente por efluentes industriais vem se caracterizando como uma das principais causas para o agravamento desse problema. Os resíduos produzidos, em geral, de composição diversificada, frequentemente contém poluentes que são tóxicos e resistentes aos tratamentos convencionais, como por exemplo, coagulação/floculação ou biodegradação (MULBRY et al., 2008; AL-MOMANI et al., 2007), sendo, geralmente, descartados inadequadamente, causando grandes danos.

O uso demasiado de água em seus processos é característica da indústria têxtil, gerando conseqüentemente uma grande quantidade de águas residuárias, as quais contém altas cargas de matéria orgânica, provenientes principalmente de moléculas complexas, os corantes. As substâncias corantes contribuem significativamente na poluição de ecossistemas hídricos devido à dificuldade imposta de penetração dos raios solares prejudicando o metabolismo fotossintético, além de serem substâncias recalcitrantes e potencialmente cancerígenas (EREMEKTAR et al., 2007).

Estão disponíveis várias técnicas para tratamento de efluentes (processos químicos, físicos e biológico) e bem como o uso de suas combinações para melhor efetivação do processo, porém cada processo tem suas limitações em aplicabilidade, eficiência e custo. Os processos biológicos, por exemplo, há muito tempo vêm sendo usados como alternativa de tratamento de efluentes, porém para muitos efluentes industriais não são satisfatórios devido a presença de alguns poluentes altamente recalcitrantes e tóxicos. Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias eficientes e baratas de tratamento constitui uma necessidade, e consideráveis esforços de pesquisa estão sendo dedicados nesse campo (REY et al., 2008).

O efluente derivado da indústria têxtil é altamente variável em composição, e contém um número grande de combinações diferentes como matérias-primas e produtos intermediários. Apresenta elevada carga orgânica, cor forte e resistente (corantes) como também alto conteúdo de sólidos dissolvidos. Devido ser um efluente de grande variabilidade, o setor têxtil busca novas tecnologias de tratamento (RODRIGUEZ et al., 2008).

Dentre os vários processos de tratamento os Processos Oxidativos Avançados (POAs) se destacam por efetivamente eliminar os componentes tóxicos presentes no efluente, promovendo a quebra das moléculas orgânicas poluentes a espécies inertes (CO_2 , H_2O e íons inorgânicos) em vez de simplesmente removê-las para outra fase (LIU et al., 2007).

O termo POA é usado para descrever o mecanismo de oxidação que consiste na produção de espécies ativas denominadas radicais hidroxilas (POULOPOULOS et al., 2006; KUSIC et al., 2007). Essas espécies de elevado poder oxidante e baixa seletividade, possibilitam a transformação de um grande número de contaminantes tóxicos, em tempos relativamente curtos. O peróxido de hidrogênio é a fonte mais comum desses radicais por sua decomposição catalítica, na presença de íons metálicos ou semicondutores, ou depois de ser irradiado com UV.

Os radicais $\bullet\text{OH}$ são extremamente reativos e fortes agentes oxidantes capazes de mineralizar contaminantes orgânicos por reações sucessivas de oxidação (GOGATE e PANDIT, 2004). Comparando os potenciais de oxidação de varias espécies, em volts, temos: $\bullet\text{OH}$ ($E^\circ = 2,8\text{V}$) > O_3 ($E^\circ = 2,07\text{V}$) > H_2O_2 ($E^\circ = 1,77\text{V}$) > HOCl ($E^\circ = 1,49\text{V}$) > Cl_2 ($E^\circ = 1,38\text{V}$). O tempo de vida médio de um radical hidroxila depende do meio reacional, sendo estimado da ordem dos 10 μs na presença de material orgânico dissolvido, bicarbonato e carbonato (OPPENLÄNDER, 2003).

7 CONCLUSÕES

- As atividades desenvolvidas neste projeto obtiveram resultados satisfatórios e bastante relevantes;
- A alta turbidez do efluente é uma condição restritiva para os processos fotoquímicos, pois ela reduz a capacidade de penetração da luz no efluente inibindo a produção de $\bullet\text{OH}$, prejudicando o processo de descoloração.
- A concentração residual de peróxido de hidrogênio é um parâmetro crucial no processo de degradação de contaminantes por reações de Fenton, visto que, uma vez consumido, a reação não prossegue, sendo necessária a reposição do oxidante.
- A utilização de pré-tratamento (coagulação/precipitação) gera uma quantidade desnecessária de lodo se comparada com a utilização de POA sem o pré-tratamento físico-químico, motivo pelo qual não se utilizou esse pré-tratamento na etapa de tratamento microbiológico;
- O tratamento físico-químico, exceto pela geração de lodo, mostrou-se bastante eficiente na remoção de DQO, cor e turbidez;
- Os POAs se aplicados após o tratamento físico-químico alteram pouco os resultados de remoção de DQO, cor e turbidez em relação ao efluente *in natura*;
- Os POAs são eficientes se aplicados sem pré-tratamento físico-químico e quase sem geração de lodo. O único lodo gerado é proveniente de material em suspensão removido por filtração do efluente *in natura*;
- Os resultados comprovam a eficiência da tecnologia fotoquímica para o tratamento de efluentes oriundos da indústria têxtil;
- A integração lodo ativado/Reagente Fenton mostrou-se bastante adequada, principalmente na remoção da cor e turbidez do efluente;
- A variedade e frequência dos microrganismos observados durante o monitoramento biológico foram condizentes com os sistemas de lodo ativado operando eficientemente;
- O emprego de zeólitas como suporte mostrou-se significativo, visto que a porcentagem de imobilização do microrganismo no suporte foi da ordem 63,3 %.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Análise Econômica Setorial**. http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=8&IDIOMA=PT.

ADAMSKI, R.; CARRIO, L.; ANDERSON, J. Comparative performance of suspended and attached growth nitrogen removal process on New York City wastewater. In: CONFERENCE ON BIOFILM SYSTEMS, 1999, New York. **Anais ...** New York: IAWQ/IWA, 1999.

AGUIAR, D.T.; GIUDICI, R.; WILL, I.B.S. **Sistema de degradação de efluentes industriais contendo polímeros utilizando o processo UV/H₂O₂**. PIC-EPUSP, n. 3, 2006.

ALEBOYEH, A.; KASIRI, M.B.; OLYA, M.E.; ALEBOYEH, H. Prediction of azo dye decolorization by UV/H₂O₂ using artificial neural networks. **Dyes and Pigments**, v. 77, p. 288–294, 2008.

AL-JAMAL, W.; MAHMOUD, N. Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 1061–1068, 2009.

ALMEIDA, C. R. O. **Tecnologia dos processos oxidativos avançados (POAs) combinados com sistemas biológico aeróbio aplicada ao tratamento de efluentes provenientes da fabricação de resinas alquídicas e poliésteres**. 241 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, 2003.

AL-MOMANI, F.; TOURAUD, E.; DEGORCE-DUMAS, J.R.; ROUSSY, J.; THOMAS, O. Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by VUV photolysis. **Journal of Photochemistry and Photobiology, A: Chemistry**, v. 153, p. 191– 197, 2007.

ALVES, J. F. **Aplicação do Reagente de Fenton no tratamento de líquidos lixiviados de Aterros Sanitários**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

ANDRADE, F. **Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento de lodos ativados e um polieletrólito orgânico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental, Florianópolis, 2003.

*De acordo com :

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação: referências. Rio de Janeiro, 2002.

ANDRADE, L. S. **Estudo comparativo de técnicas para identificar fatores de ruídos em experimentos fatoriais**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14th. ed. Washington, DC: APHA, 1979. p. 412–415.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standart methods for examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington, DC: APHA-AWWA, American Water works association, 1998.

APLIN, R.; FEITZ, A. J.; WAITE, T. D. Effect of Fe(III)-ligand properties on effectiveness of modified photo-Fenton processes. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 23-30, 2001.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v. 78, p. 117 e 130, 2008.

ASSALIN, M. R.; DURÁN, N. Novas tendências para aplicação de ozônio no tratamento de resíduos: ozonização catalítica. **Revista Analytica**, n. 26, 2007.

BAILEY, J.E.; OLLIS, D.F. **Biochemical Engineering Fundamentals**. 2nd ed. New Youk: McGraw-Hill, 1986.

BARAN, W.; MAKOWSKI, A.; WARDAS, W. The effect of UV radiation absorption of cationic and anionic dye solutions on their photocatalytic degradation in the presence TiO₂. **Dyes and Pigments**, v. 76, p. 226–230, 2008.

BARROS, K. K.; FLORÊNCIO, L.; MORAIS, J. C.; GAVAZZA, S.; KATO, M. T. Avaliação da qualidade do lodo e do desempenho de sistemas de lodos ativados por aeração prolongada. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2-7 set. 2007. **Anais ...** Belo Horizonte: ABES, 2007.

BEHNAJADY, M.A.; MODIRSHAHLA, N., SHOKRI, M. Photodestruction of Acid Orange 7 (AO7) in aqueous solutions by UV/H₂O₂: influence of operational parameters. **Chemosphere**, p. 129-134; 2003.

BIGDA, R.J., Consider Fenton's Chemistry for Wastewater Treatment. **Chemical Engineering Progress**, p. 62-66, 1995.

BONDIOLI, F.; MANFREDINI, T.; OLIVEIRA, A. P. Pigmentos inorgânicos: projeto, produção e aplicação industrial. **Cerâmica Industrial**, v. 3, p. 4-6, 1998.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 2nd ed. São Paulo: CETESB, 1993.

BONHOMME, M., ROGALLA, F., BOISSEAU, G. E SIBONY, J. Enhancing nitrogen removal in activated sludge with fixed biomass - **Water Science & Technology**, v. 22, n. 1/2, p. 127-135, 1990.

BOSANDER, J.; WESTLUND, A.D. Denitrification in a full-scale fluidized bed. In: CONFERENCE ON BIOFILM SYSTEMS, 1999, New York, **Anais ...** New York: IAWQ/IWA, 1999. p. 284.

CAMPOS, J. R.; AKUTSU, J. Emprego de reator biológico de leito fluidificado no tratamento de despejos líquidos de indústrias de conservas. **Revista DAE**, v. 44, p. 329-334, 1984.

CAMPOS, J. R.; PEREIRA, J. A. R. Reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. J.R. Campos (coord.). Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, ABES, p.199-219, 1999.

CANILHA, L.; CARVALHO, W.; SILVA, J.B.A Biocatalizadores Imobilizados – Uso de células e enzimas imobilizadas em processos biotecnológicos. **Biociência & Desenvolvimento**. Ano IX – n. 36, 2006.

CARNEIRO, L. M.; SILVA, M. B.; IZARIO FILHO, H. J. **Utilização de processos oxidativos avançados na degradação de efluentes provenientes das indústrias de tintas**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Engenharia de Lorena EEL/USP, Lorena-SP, p. 37, 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Variáveis de Qualidade das Águas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#dbo>>, Acesso em: 09 fev. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Compilação de técnicas de prevenção à poluição para a indústria têxtil**. São Paulo, 2002.

CISNEROS, R. L., Espinoza, A. G., Litter, M. I., Photodegradation of an azo dye of the textile industry. **Chemosphere**, v. 48, p. 393-399, 2002.

COSTA, R. H. R. **Etude du Contrôle du Biofilm Developpé Dans un Lit Fluidisé Triphasique en Epuration Carbonée Aérobic.** 256 f. Ph. D. Thèse (Doctorat) - Institut National des Sciences Appliquées (INSA). Toulouse, 1989.

COSTA, H. S.; DANIEL, L. A. Experimental Study Using Ozone: applicability of DPD Method and interference in analytic methods for hydrogen peroxide. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 24, p. 39–47, 2007.

DANTAS, T. L. P. **Decomposição de Peróxido de Hidrogênio em um Catalisador Híbrido e Oxidação Avançada de Efluente Têxtil por Reagente Fenton Modificado .** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2005.

DOMÈNECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogênea, cap. 1, **Rede CYTED**, La Plata, 2001.

EDWARDS, J. C. **Investigation of color removal by chemical oxidation for three reactive textile dyes and spent textile dye wastewater .** 156 f. Master thesis (Master in Environmental Science and Engineering) - Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.

EREMEKTARA, G.; SELCUKB, H.; MERICC, S. Investigation of the relation between COD fractions and the toxicity in a textile finishing industry wastewater: **Desalination**, v. 211 p. 314–320, 2007.

ENGİN, A.B.; ÖZDEMİR, Ö.; TURAN, M.; TURAN, A.Z. Color removal from textile dyebath effluents in a zeolite fixed bed reactor: Determination of optimum process conditions using Taguchi method. **Journal Hazardous Materials**, 2008.

ESCOBAR, F. A. M.; BATISTA, M. S.; URQUIETA-GONZALES, E. A. Desproporcionamento de tolueno sobre zeólitas tipo mordenita – atividade e seletividade na obtenção de xilenos. **Química Nova**, v. 23, p. 303-306, 2000.

FENG, W.; NANSHENG, D.; HELIN, H. Degradation mechanism of azo dye CI reactive red 2 by iron powder reduction and photooxidation in aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 41, p. 1233-1238, 2006.

FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, L. A. TiO_2 Heterogeneous Photocatalysis in Secondary Wastewater Treatment. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, 335-342, 2004.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2002.

GÖB, S. Optimierung und modellierung der photochemisch beschleunigten Fenton-Reaktion. Fulda: **Fakultät für Chemieingenieurwesen der Universität Fridericiana Karlsruhe**, 88 f., 2001.

GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. **Advances in Environmental Research**, v. 8, p. 501–551, 2004.

GUARATINI, C.; ZANONI, M. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, p. 71-75, 2000.

GUEDES, A. M. F. M. **Oxidação Química com Reagente de Fenton: Aplicação às águas de cozimento da cortiça**. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000.

GUIMARÃES, O. L. C.; AQUINO, H. O. Q.; OLIVEIRA, I. S.; SILVA, M. B.; IZÁRIO FILHO, H. J.; SIQUEIRA, A. F. Prediction via Neural Networks of the Residual Hydrogen Peroxide used in Pho-Fenton Processes for Effluent Treatment. **Chemical Engineering Technology**, v. 30, n. 8, p. 1134–1139, 2007.

GUIMÉNEZ, J.; ESPLUGAS, S.; CONTRERAS, S.; PASCUAL, E.; RODRÍGUEZ, M. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. **Water Research**, v. 36, p. 1034–1042, 2002.

GUISE, L. M. T. **Estudo da Degradação de Compostos Orgânicos Voláteis por Radiação Ultravioleta**. Dissertação (Mestrado em Química Têxtil) - Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal, 2003.

HARREMÖES, P. Criteria for nitrification in fixed film reactors. **Water Scienc & Technology**, v. 14, p. 167–187, 1982.

HASSEMER, M.E.N., LAPOLLI, F.R., AMORIM, M.T.S.P. **Oxidação Fotoquímica - UV/H₂O₂ - para Degradação de Poluentes em Efluentes da Indústria Têxtil**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

HEIN DE CAMPOS, R. **Utilização de reator de leito fluidizado trifásico aeróbio em sistema de tratamento combinado de águas residuárias**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2001.

HOLST, T. C.; TRUC, A.; PUJOL, R. Anaerobic Fluidized Beds: Ten Years of Industrial Experience. **Water Science Technology**, v. 36, p. 415–422, 1997.

HYDROGEN PEROXIDE. **Environmental application overview**. Disponível em: <<http://www.h2o2.com>>. Acesso em: 10 jun. 2005.

IDDOU, A.; OUALI, M. S. Waste-activated sludge (WAS) as Cr(III) sorbent biosolid from wastewater effluent. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 66, p. 240–245, 2008.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. **Caderno Temático: Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos**. IQ/Unicamp, UENF/RJ, 2004.

KANG e HWANG, Effect of Reaction Conditions on the Oxidation Efficiency in the Fenton Process. **Water Research**, v. 34, n. 10, p. 2786-2790, 2000.

KIWI, J.; LOPEZ, A.; NADTOCHENKO, V. Mechanism and kinetics of the OH⁻ radical intervention during Fenton oxidation in the presence of a significant amount of radical scavenger (Cl⁻). **Environmental Science Technology**, v. 34, p. 2162, 2000.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, p. 78, 2002.

KURBUS, T.; SLOKAR Y. M.; LE MERECHAL, A. M.; VONCINA, D. B. The use of experimental design for the evaluation of the influence of variables on the H₂O₂/UV treatment of model textile waste water. **Dyes And Pigments**, v. 58, p. 171, 2003.

KUSIC, H.; KOPRIVANAC, N.; SRSAN, L. Azo dye degradation using Fenton type processes assisted by UV irradiation: A kinetic study. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 181 p. 195–202, 2007.

KWON, B.G.; LEE, D.S.; KANG, N.; YOON, I. Characteristics of p. chloro phenoloxidation by Fenton's reagent. **Water Reserch**, v. 33, p. 2110-2118, 1999.

LANGE, L. C, ALVES, J. F., AMARAL, M. C. S., MELO JÚNIOR, W. R. Sanitary Landfill Leachate Treatment by Fenton Oxidation. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.11, n. 2, p. 175-183, 2006.

LAZAROVA, V.; MANEM, J. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. **Water Research**, v. 29, p.2227–2245, 1995.

LEDAKOWIEZ, S. and GONERA, M. Optimization of oxidants dose for combined chemical and biological treatment of textile wastewater. **Water Research**, v. 33, p. 2511–2516, 2006.

LEDAKOWICZ, S.; SOLECKA, M.; ZYLLA, R. - Biodegradation, decolourisation and detoxification enhanced by advanced oxidation processes. **Journal of Biotechnology**, v. 89, p.175–184, 2001.

LEE, B.; LIAW, W.; LOU, J. Photocatalytic decolorization of methylene blue in aqueous TiO₂ suspension. **Environmental Engineer Science**. v. 16, n. 3, p. 165–175, 1999.

LIMA, L. **Degradação de corantes reativos via processo fotoeletroquímico aplicado na presença de eletrodo de titânio modificado: estudo da potencialidade na remediação de efluentes têxteis**. 191 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LIU, R.; CHIU, H. M.; SHIAU, C.; YEH, R. Y.; HUNG, Y. Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes. **Dyes and Pigments**, v. 73, p. 1–6, 2007.

LUCAS, M.; JEREMIAS, P. F. P. T.; ANDREAUS, J.; BARCELLOS, I. O.; PERALTA-ZAMORA, P. Reutilização de Efluente de Tingimentos de Fibras Acrílicas Pós -Tratamento Fotoeletroquímico. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1362–1366, 2008.

LUPATINI, M. P. **As Transformações Produtivas na Indústria Têxtil-Vestuário e seus Impactos sobre a Distribuição Territorial da Produção e a Divisão do Trabalho Industrial**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

LUZ, A. B. Zeólitas: propriedades e usos industriais. **Série Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro, n. 68, 1994.

MALATO S.; BLANCO J.; FERNANDEZ-ALBA A. R.; AGUERA A. Solar photocatalytic mineralization of commercial pesticides: acrinathrin. **Chemosphere**, 2002a.

MALATO, S.; BLANCO, J.; VIDAL, A.; RICHTER, C. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: An overview. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 37, p. 1-15, 2002b.

MALIK, P. K.; SANYAL, S. K. Kinetics of decolourisation of azo dyes in wastewater by UV/H₂O₂ process. **Separation and Purification Technology**, v. 36, p.167-175, 2004.

MANUAIS AMBIENTAIS CETESB: **Compilação de técnicas de prevenção à poluição nas indústrias do setor têxtil**, 2005.

MARECHAL, A., M.; SOLKAR, Y. M.; TAUFER, T. Decoloration of chlorotriazine reactive azo dyes with H₂O₂/UV. **Dyes and Pigments**, v. 33, n. 4, p. 298, 1997.

MARIET, C. Une station d'épuration de nouvelle génération. **TSM**, v. 4, p. 2-4, 1997.

METCALF and EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3rd ed. Nova York, Estados Unidos, 2003.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being : wetlands and water. Synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment**. Disponível em <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>.

MORAIS, J. L. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrado com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MULBRY, W.; KONDRAD, S.; PIZARRO, C.; KEBEDE-WESTHEAD, E. Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: Algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8137–8142, 2008.

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

ONG, S.; TOORISAKA, E.; HIRATA, M.; HANO, T. Combination of adsorption and biodegradation processes for textile effluent treatment using a granular activated carbon - biofilm configured packed column system. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 952–956, 2008.

OODEGARD, H.; RUSTEN, B.; WESTRUM, T. A new moving bed biofilm reactor – applications and results. In: 2ND INTERNATIONAL CONF. SPECIALIZED ON BIOFILM REACTORS, 1993, Paris. **Anais ... France**, 1997. p. 221 – 229.

OPPENLÄNDER, T. **Photochemical Purification of Water and Air**. Weinheim: Wiley-Vch Verlag, Germany, 2003.

PARSONS, S. **Advanced oxidation processes for water treatment**. 2nd ed. United Kingdom, 2005.

PEIXOTO, A. L. C.; BRITO, R. A.; SALAZAR, R. F. S; GUIMARÃES, O. L. C.; IZÁRIO FILHO, H. J. Prediction of chemical oxygen demand in mature landfill leachate doped with Fenton's reagent, using empirical mathematical model obtained by full factorial design. **Química Nova**, v. 31, n.7, 2008.

PERALTA-ZAMORA, P.; KUNZ, A.; MORAES, S.G.; PELEGRINI, R.; MOLEIRO, P.C.; REYES, J.; DURÁN,N.. **Chemosphere**, v. 38, p. 835, 2002.

PEREIRA, W.S.; FREIRE, R.S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Química Nova**, v. 28, p. 130-136, 2005.

PETALA, M.; SAMARAS, P.; ZOUBOULIS, A.; KUNGOLOS, SAKELLAROPOULOS, G.P. Influence of ozonation on the in vitro mutagenic and toxic potential of secondary effluents. **Water Research**, v. 42, p. 4929-4940, 2008.

PHADKE, M. S. **Quality engineering using robust design**. 2nd ed. Editora Prentice Hall. 1989.

PINHEIRO, H. M.; TOURAUD, E.; THOMAS, O. - Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. **Dyes and Pigments**, v. 61, p.121-139, 2004.

POLEZI, M.e GUIMARÃES, J. R. **Aplicação de Processo Oxidativo Avançado (H₂O₂/UV) no Efluente de uma ETE para Fins de Reuso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas. 2003.

PONCELET, D.; BINOT, R.; BOL, T.; NAVEAU, H.; J-NYNS, E. Biotechnologie des lits fluidisés en réacteur cylindrique et tronc-conique. **Trib. Cebedeau**, v. 38, p. 3-12, 1985.

POULOPOULOS, S.G.; ARVANITAKIS, F.; PHILIPPOPOULOS, C.J. Photochemical treatment of phenol aqueous solutions using ultraviolet radiation and hydrogen peroxide. **Journal of Hazardous Materials**, v. 129, p. 64-68, 2006.

RAJ, C.B.; QUEN, H.L. Advanced oxidation processes for wastewater treatment optimization of UV/H₂O₂ process through a statistical technique. **Chemical Engineering Science**, v. 60, p. 5305 – 5311, 2005.

RATHI, A.; RAJOR, H. K.; SHARMA, R. K. Photodegradation of direct yellow -12 using UV/H₂O₂/Fe²⁺. **Journal of Hazardous Materials**, v. 102, p. 231, 2003.

RAUF, M.A.; MARZOUKIA, N.; BAHADIR K. KÖRBAHT., I. Photolytic decolorization of Rose Bengal by UV/H₂O₂ and data optimization using response surface method. **Journal of Hazardous Materials**, v. 110, p. 236-239, 2008.

REUSCHENBACH, P.; PAGGA, U.; STROTMANN, U. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. **Water Research**, v. 37, n. 7, p. 1571-1582, 2003.

REY, A.; FARALDOS, M.; CASAS, J. A.; ZAZO, J. A.; BAHAMONDE, A.; RODRYGUEZ, J. J. Catalytic wet peroxide oxidation of phenol over Fe/AC catalysts: Influence of iron precursor and activated carbon surface. **Applied Catalysis B: Environmental**, 2008.

ROBINSON, T.; McMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. - Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 247-255, 2001.

RODRYGUEZ, J.; OVEJERO, A. G.; ROMERO, M. D.; DYAZ, C.; BARREIRO, M.; GARCYA, J. Catalytic wet air oxidation of textile industrial wastewater using metal supported on carbon nanobers. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 46, p. 163–172, 2008.

ROSA, J. L.; ROBIN, A.; SILVA, M. B.; BALDAN, C. A.; PERES, M. P. Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design app roach. **Journal of Materials Processing Technology**, v. inpres, p. 1-31, 2009.

RIBEIRO, F. A. L.; FERREIRA, M. M. C. Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados. **Química Nova**, v. 31, n.1, p.164-171, 2008.

RUFINO, E. C. G.; FARIA, L. A. Degradação de corantes têxteis através de ozônio gerado eletroquimicamente sob eletrodos de B-PbO₂. **Horizonte Científico**, v. 1, p. A- Artigo 9, 2007.

SAGBERG, P.; DAUTHUILLE, P.; HAMON, M. Biofilm reactors: a compact solution for the upgrading of waste water treatment plants. **Water Science Technology**, v. 26, p. 733-742, 1992.

SALAZAR, R. F. S. **Aplicação de processos oxidativos avançados como pré-tratamento de efluentes de laticínios para posterior tratamento biológico**. Qualificação (Dissertação de Mestrado) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2008.

SANTOS, J. C. **Processo fermentativo de obtenção de xilitol a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar em reator de leito fluidizado: avaliação das condições operacionais**. 159 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo, Lorena, 2005.

SAUER, T.; MOREIRA, R. F. P. M. **Degradação fotocatalítica de corante e efluente têxtil**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

SEMON, J.; SADICK, T.; PALUMBO, D.; SANTORO, M.; KEENAN, P. Biological upflow fluidized bed denitrification reactor demonstration project – Stamford, CT, USA. **Water Science & Technology**, v. 36, p. 139-146, 1997.

SHANG, N.; CHEN, Y.; YANG, Y.; CHANG, C.; YU, Y. [Ozonation of Dyes and Textile Wastewater in a Rotating Packed Bed](#). **Journal of Environmental Science and Health**, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, v. 41, p. 2299-2310, 2006.

SILVA FILHO, M. N. - Produtos Químicos Utilizados na Indústria Têxtil e a Questão Ecológica. **Nova Têxtil**, v. 34, p. 35-46, 1994.

SILVA FILHO, E. B.; BRANDER JUNIOR, W.; SILVA, V.L.; ALVES, M.C.; MOTTA, M. Tratamento de Efluentes Têxteis por Adsorção em Lama Vermelha. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental: “Saneamento Ambiental Brasileiro : Utopia ou realidade”**. Campo Grande/MS, 18 a 23 de setembro de 2005.

SILVA FILHO, P. A.; ARAUJO, A. L. C; MEDEIROS, F. B. B.; ANDRADE NETO, C. O.; DUARTE, M.A.C. Diagnóstico construtivo e operacional de lagoas de estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte, 2007.

SOARES, G. M. B.; AMORIM, T. M. S. P.; FERREIRA, M. J. C. **Aplicação de Sistemas Enzimáticos a Degradação de Corantes Têxteis**. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2001.

SOMENSI, C.A.; FENDRICH, L.J.; SIMIONATTO, E.L. Estudo da Ozonização de Efluente Têxtil em Escala Piloto como Alternativa no Processo de Descontaminação Ambiental. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro, 2008. 13-16 out. 2008.

SOTTORIVA, P. R. S. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2002.

SOTTORIVA, P. R. S. **Remediação de Efluentes Têxteis por Processos Oxidativos Avançados Integrados a Lodos Ativados**. 192 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2006.

SPERLING, M V. **Lodos Ativados**. 2nd ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.

SWITZENBAUM, M. S. A comparison of the anaerobic filter and the anaerobic expanded/fluidized bed processes. **Water Science and Technology**, v. 15, p. 345-358, 1983.

TANAKA, T.; TSUZUKI, K.; NISHIJIMA, N.; TAKAGI, T. Algae-removal performance of a fluidized-bed biofilm reactor system for lake water treatment. **Water Science and Technology**, v. 43, p. 277-283. 2001.

TAVARES, C. R. G. **Tratamento Aeróbio de Efluentes em Bio-reatores de Leito Fluidizado Trifásico**. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

TOBALDI, D. M.; TUCCI, A.; CAMERA-RODA, G.; BALDI D, G.; ESPOSITO, L. Photocatalytic activity for exposed building materials. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 28, p. 2645–2652, 2008.

US PEROXIDE. **BOD and COD redution using hydrogen peroxide**. Disponível em: <http://h2o2.com>. 2001-2003.

VAZOLLÉR, R., F.; GARCIA, M, A., R.; GARCIA, A.,D.; NETO, J. C. **Microbiologia de lodos ativados**. Série Manuais, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 23p, São Paulo-SP, 1989.

ZHANG, F.; YEDILER, A.; LIANG, X.; KETTRUP, A.; Effects o f dye additives on the ozonation process and oxidation by-products: a comparative study using hydrolyzed C.I. Reactive Red 120. **Dyes and Pigments**, v. 60, p. 1, 2004.