

Referências bibliográficas

APHA; **Standarts Methods for Examination of Water and Wastewater**, 19th ed., Amerericam. Publications. Ass: Washington, 1995.

BELL, L. et al. **A sequential zero valent iron and aerobic biodegradation treatment system for nitrobenzene**. Journal of Contaminant Hydrology, vol 66, pg 201-217, 2003.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York, Willey-Liss, Inc.1994.

BRAILE, P. M., Cavalcanti, A. W. E. J. **Manual de Tratamento de Águas Residuais Industriais**, CETESB, São Paulo, 1993.

BREMNER, D. H. Burgess, A.E.; Houllmare, D.; Namkung, K. C.;. **Phenol degradation using hydroxyl radicals generated from zero-valent iron and hydrogen peroxide**. Applied Catalysis B: Environmental, vol 63, pg 15-19, 2005.

BRIGDA, R. J. ;**Chemical Engineers. Program**. 91 (1995) 62-66.

BRITTO, J.M.; Oliveira, S. B.;, Rabelo, D Maria do Carmo Range, M.C.;| **Catalytic wet peroxide oxidation of phenol from industrial wastewater on activated carbon**. Sciece direct, Catalysis Today 133–135 (2008) 582–587, 2008.

BRITTO, J. M.; Rangel, M. C.; **Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes** Química. Nova, Vol. 31, No. 1, 114-122, 2008.

BUSCA, G., Berardinelli, S., Resini, C., Arrighi, L., **Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent development**. Journal of Hazardous Materials, pag. 265-288, 2008.

CAVALOTTI, L. F. R.; **Degradação de espécies nitroaromáticas e remediação de resíduos da indústria de explosivos por processos avançados envolvendo ferro metálico** Dissertação de mestrado, UFPR, Curitiba, 81 pag.; 2008.

CENTI, G. S. Perathoner, **Current Opinion Solid State - Material .Science**. N°4; 1999 74.

CESAR, A.; Luíz S.; da Silva R.; Santos, A.R.; - **Testes de Toxicidade Aquática no Controle da Poluição** / - Universidade Santa Cecília - UNISANTA - Santos, São Paulo, Brasil, fevereiro de 1997. 37 pag. 28cm.

CHEN, R.; Pignatello, J. J. **Role of quinone intermediates as electron shuttles in Fenton and photoassisted Fenton oxidation of aromatic compounds**. Environment. Science. Technology. 31 (1997) 2399.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.

CROOKER, P.J., K.S. Ahluwalia, Z. Fan, J. Prince, **Operating results from supercritical water oxidation plants**, Ind. Eng. Chemical. Research. 39 (2000) 4865–4870.

DE SOUZA, M.G.O.; **Utilização de nanopartículas de ferro na remediação de águas subterrâneas contaminadas por compostos orgânicos**. Dissertação de mestrado. Dep. Eng Metalúrgica. COPPE/UFRJ, 67 pag, 2007.

DECISÃO N° 2455/2001/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de novembro de 2001 Diario Oficial da Comunidade Européia L 331/1, 15/12/2001. www.regsega.cat/documents/legislacio/decisio-num-24552001ce acesso em 18/09/2010

DOMÈNECH, X. Jardim, W.F.; Litter, **M.I. Processos Avanzados de Oxidación para La eliminación de contaminantes**. In: CYTED. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogènea, 2001.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Toxicological Review of phenol** < <http://www.epa.gov/IRIS/toxreviews/0088-tr.pdf> >acesso feito em 20/05/2010.

EPA. 40 CFR, Part 423 App A. **Effluent guidelines and standard**, Federal Register. US GPO, Washington, DC, 1995.

ESPLUGAS, S.; Gimenez, J.; Contreras, S.; Pascual, E.; Rodriguez, M.; **Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation**. Water. Research., v. 36, p. 1034-1042, 2002.

FAENQUIL. **Mini-folhetos de Informações de segurança** (mini-fis) < http://www.faenquil.br/gsmc-cipa/3normalizacao/mini_fis/mini_pdf/fenol076.pdf >. Acesso em 15 de junho de 2010.

FONSECA, J. C. L. Silva, M. R. A. Bautitz, I. R. Nogueira, R. F. P. Marchi, M. R. R. **Avaliação da confiabilidade analítica das determinações de carbono orgânico total (COT)** Instituto de Química – UNESP – Araraquara – SP. Eclética química 2006

FREIRE, R. S.; Pelegrini, R.; Kubota, L. T.; Duran, N.; Peralta-Zamora, P.; **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**, Quimica. Nova, Volume 23, n° 4, 2000, Pag 504-511.

GILLHAM, R.W. e O'Hannesin, S.F., 1994, "**Enhanced degradation of halogenated aliphatics by zero-valent iron**", Ground Water, Vol.32, pp. 958-967.

GIORDANO, G. **Tratamento de Efluentes Industriais, Tratamento e Controle de efluentes industriais**. Apostila da ABES. Mato Grosso, 2004. http://www.ufmt.br/esa/Modulo_II_Efluentes_Industriais/Apost_EI_2004_1ABES_Mato_Grosso_UFMT2.pdf acesso em 05/08/2010.

GLAZE, W.H.; kang, J.W. and Chapin, D.H. **The Chemistry of water-Treatment Process Involving Ozone, Hydrogen-Peroxide and Ultraviolet-Radiation**. Ozone Science and Engineering, 1987, 9 (4), 335-352.

HACKBART, L. M.; **Equilíbrio líquido-líquido de sistemas contendo fenol-água-solvente: Obtenção e modelagem termodinâmica**. Dissertação de mestrado, Dep. Eng. Processo Químicos, Universidade Federal do Paraná 2007, 120 pag..

HANCOCK, F.E.; **Catalytic strategies for industrial water re-use** Catalysis Today Elsevier 53 (1999) pag 3–9.

KUSIC, H.; Koprivanac, N.;, Bozic, A. L.; Selanec, I.; **Photo-assisted Fenton type processes for the degradation of phenol: A kinetic study** Journal of Hazardous Materials B136 632–644, 2006.

LÁSZLÓ, K.; Podloscielny, P.; Dabrowski, A. **Heterogeneity of activated carbons with different surface chemistry in adsorption of phenol from aqueous solutions.** Applied Surface Science v.252 p.5752 – 5762, Setembro 2005.

LÁSZLÓ, K.; Nagy, L. G.; Bóta, A.; Cobasso, I. **Colloids and Surfaces: A Physicochemical and Engineering Aspects.** Science Direct, v. 151, p. 311 – 320, 1999.

LAVINE, B.; Auslander, G.; Ritter, J. **Polarographic studies of zero valent iron as a reductant for remediation of nitroaromatics in the environmental.** Microchemical Journal, vol 70, pg 69-83, 2001.

LÜCKING, F. ;H. Köser, M. Jank, A. Ritter, Water Res. 32 (1998) 2607

MALATO, S. J. Blanco, J. Cáceres, A. R. Fernández-Alba, A. Agüera, A. Rodríguez, **Photocatalytic treatment of water-soluble pesticides by photo-Fenton and TiO₂ using solar energy** Catal. Today 76 (2002) 209

MATOS, E. S.; **Sintetização, caracterização e aplicação do ferro metálico nanoparticulado na redução de compostos organoclorados para a recuperação ambiental.** Dissert. de Mestrado São Jose dos Campos INPE, 2010.82 pag.

MATTOS, I. L.; Shiraishi, K. A.; Braz, A. D.; Fernandes, J. R.; **Peróxido de hidrogênio: importância e determinação** Quim. Nova, Vol. 26, No. 3, 373-380, 2003

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria Nº 36/GM, DE 19 DE JANEIRO DE 1990

MORITA, Dione Mari; **Avaliação da toxicidade do fenol ao tratamento biológico de águas residuárias de coquearias pelo método do “Fed-Batch Reac-**

tor” (FBR) Modificado. 19º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

MOURA, F. C. C.; Araújo, M. H.; Dalmázio, I.; Alves, T. M. A.; Santos, L. S.; Eberlin, M N.; Augusti, R.; Lago, R. M. **Investigation of reaction mechanisms by electrospray ionization mass spectrometry: characterization of intermediates in the degradation of phenol by a novel iron/magnetite/hydrogen peroxide heterogeneous oxidation system** Rapid Communications In Mass Spectrometry 20(12), 2006, 1859-1863.

NOGUEIRA, R. F. P.; Trovó, A.G.; da Silva, M. R. A.; Villa; R. D.; **Fundamentos e Aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton** Quim. Nova, Vol. 30, No. 2, 400-408, 2007.

NUNES, J.A.; **Tratamento Físico-químico de águas residuárias industriais**, Aracajú. Gráfica Editora J. Andrade, 2ª Edição, 1996.

OTOKUNEFOR, T. V.; Obiukwu, C.; **Applied Ecology and Environmental Research** 3, 61, 2005.

PEIXE, T. S.; Nascimento, E. S.; **Análise de fenol em amostras de urinas de trabalhadores e no ar de fundição de metais.** Revista Brasileira de Toxicologia vol. 21, n. 2, 2008, 60-69.

PERA-TITUS, M.; Garcia-Molina, V.; Baños, M. A.; Giménez, J.; Esplugas, S. **Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review**, applied catalysis B. Environmental, v. 47, p. 219 – 256, 2004.

PEREIRA, W.; Freire, R.; **Ferro zero: Uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes.** Química Nova, vol 28, no 1, pg 130-136, 2005.

PÉREZ, M.; Torradesa, F.; Domènech, X.; Peral, J. **Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents.** Water Research Volume 36, Issue 11, June 2002, Pages 2703-2710.

PIERREHUMBERT, G.; Droz, P. O.; Tardif, R.; Tardif, G. C.; Truchon, G. **Impact of human variability on the biological monitoring of exposure to toluene, phenol, lead, and mercury: II. Compartmental based toxicokinetic modeling.** Elsevier Toxicology Letters, v. 134, p. 165-175, 2002.

PIGNATELLO, J. J.; E. Oliveros, A. MacKay, **Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 36, 1-84, 2006.

PIVELI, R. P. ; Kato, M. T.; **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos.** 01. ed. São Paulo/SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. 01.

POLAERT, I.; Wilhelm, A. M.; Delmas, H. **Phenol wastewater treatment by a two-step adsorption-oxidation process on activated carbon.** Chemical Engineer Science., 57, p 1585-1590, 2002.

RAMALHOR. S., **Tratamiento de Aguas Residuales**, Editorial Reverté S.A., Espanha, 1991.

RODRIGUÉZ, A.; Letón P.; Rosal R.; Dorado M.; Villar, S.; Sanz, J. M.; **Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.** Informe de vigilancia tecnológica VT2. Madrid 2006.

SANTOS, A.; Yustos, P.; Quintanilla, A.; Garcia-Ochoa, F., **Kinetic model of wet oxidation of phenol at basic pH using a copper catalyst.** Chemical Engineering Science 60 (2005) 4866 – 4878.

SANCHEZ, I. Stüber, F.; Font. J.; Fortuny, A.; Fabregat, A.; Bengoa, C.; **Elimination of phenol and aromatic compounds by zero valent iron and EDTA at low temperature and atmospheric pressure.** Chemosphere, vol 243, pg 325-332, 2007.

SCHEUNEMMANN, R.; **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton.** Dissertação de Mestrado, Dep. Eng. Química, UFSC, 85 pag, 2005.

SOEIRA, L. S.; **Estudo da degradação do p-nitrofenol por ferro de valência zero: Avaliação de processos redutivos e oxidativos** - dissertação de mestrado USP São Paulo, 90 pag, 2007.

SOLOMONS, T.W.G.; **Química orgânica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, volume 2, 7ª Ed., 2002.

SOUZA, C.; Peralta-Zamora, P.; **Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/H₂O₂**. Química Nova, vol 28, no 2, pg 226-228, 2005.

TEIXEIRA, Claudia Poli de Almeida Barêa - **Estudo Comparativo de Tipos Diferentes de Processos Oxidativos Avançados** - Tese de Doutorado engenharia civil UNICAMP 2002.

The United Nations World Water Development Report 2 – Water a shared responsibility. Unesco WWAP, 2006.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405E.pdf> acesso em 20/07/2010.

TIMUR, S., Pazarliouglu, N., Pilloton, R., Telefoncu, A. **thick film sensors based on laccases from different sources immobilized in polyaniline matrix**. Sensors and Actuators. 92; 132-136, 2004.

UNEP - United Nation Environment Programme Global Environment Monitoring System. **Water Programme Water Quality for Ecosystem and Human Health**.2006..

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES **Toxicological profile for Phenol** Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008.

U.S. Department of Labor - Occupational Safety and Health Administration Occupational Safety and Health Guideline for Phenol
<http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/phenol/recognition.html> acesso em 07/10/2010

VAN SCHIE, P. M.; Young, L. Y. (2000). **Biodegradation of fenol: mechanisms and applications**. Bioremediation Journal. 4; 1: 1-18

WANKAT, P. C. **Processos de Separação I**. Editora Elsevier. 1988.

ZAZO, J.A.; Casas,J.A.; Molina,C.B.; Quintanilla, A. and J.J. Rodriguez. **Evolution of ecotoxicity upon Fenton's oxidation of phenol in water** Environ. Sci. Technol. 41 (2007), pp. 7164–7170.

8

Apêndice

Tabela 10: Degradação de fenol em diferentes pHs iniciais. (Condições Experimentais: [fenol] = 200 mg L⁻¹; [H₂O₂] = 1,01 g L⁻¹; [Fe³⁺] = 5 g L⁻¹; pH₀ = 5,0; T = 25 °C ; agitação = 100 rpm.)

Tempo (min)	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0
0	200	200	200
30	200	200	200
60	190	198	200
90	165	170	198
120	48	51	190
150	4	10	184
180	0	6	178
210	0	0	158
240	0	0	56
300	0	0	6

Tabela 11: Comportamento do pH inicial no processo de degradação do fenol. Condições experimentais: [fenol] = 200 mg L⁻¹; [H₂O₂] = 1,02 g L⁻¹; [Fe^o] = 5 g L⁻¹; pH0 = 5,0; Temperatura = 25 °C ; agitação = 100 rpm.

Tempo (min)	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0	pH 8,0	pH 9,0
0	5,0	6,0	7,0	8	9
30	5,45	6,42	7,36	8,72	9,75
60	4,78	5,56	7,02	8,66	9,72
90	3,52	4,72	6,76	8,55	9,79
120	3,1	3,55	6,1	8,44	9,76
150		3,14	5,32	8,35	9,7
180		2,92	4,62	8,22	9,66
210			4,05	8,14	9,62
240			3,62	8,06	9,57
270			3,1	7,97	9,51
300			2,95	7,9	9,46

Tabela 12: Degradação de fenol utilizando diferentes dosagens de H₂O₂ Condições Experimentais: [fenol] = 200 mgL⁻¹; pH0 = 5,0; [Lã de aço] = 5 g L⁻¹; T= 25°C agitação = 100 rpm.

Tempo (min)	Massa de H ₂ O ₂ 1g	Massa de H ₂ O ₂ 2g	Massa de H ₂ O ₂ 3g
0	200	200	200
10	200	200	200
30	195	198	197
60	185	186	190
90	48	120	126
120	4	51	50
150	0	6	5

Tabela 13: Desaparecimento de H_2O_2 ao longo do tempo de reação de degradação de fenol, sob diferentes dosagens iniciais de $\text{H}_2\text{O}_2 = 1; 2$ e 3 g L^{-1} . $\text{pH} = 5,0$; $[\text{Fenol}]_0 = 200 \text{ mg L}^{-1}$; $[\text{Lã de aço}] = 5,0 \text{ g L}^{-1}$; $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ e agitação de 100 rpm .

Tempo (min)	Dosagem de H_2O_2 1 g L^{-1}	Dosagem de H_2O_2 2 g L^{-1}	Dosagem de H_2O_2 3 g L^{-1}
	$([\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{H}_2\text{O}_2]_0)$	$([\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{H}_2\text{O}_2]_0)$	$([\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{H}_2\text{O}_2]_0)$
0	1	1	1
30	0,9	0,98	0,99
60	0,56	0,78	0,85
90	0,35	0,6	0,71
120	0,27	0,53	0,65
150		0,49	0,60

Tabela 14: Comparação da degradação do fenol utilizando diferentes concentrações de lã de aço. Condições experimentais: $[\text{Fenol}]_0 = 200 \text{ mg L}^{-1}$; $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 1,01 \text{ g L}^{-1}$; pH inicial = 5,1; Temperatura = 25 °C ; agitação de 100 rpm.

Tempo (min)	1,0 g L ⁻¹	2,5 g L ⁻¹	5,0 g L ⁻¹	7,0 g L ⁻¹
0	200	200	200	200
30	200	198	197	196
60	198	185	180	178
90	190	78	65	60
120	180	26	6	4
150	171	4	0	0
180	102	0	0	0
210	64	0	0	0
240	23	0	0	0
270	8	0	0	0

Tabela 15: Degradação de Fenol em função da Concentração da Lã de Aço, no tempo de 120 minutos. $[\text{Fenol}]_0 = 200 \text{ mg/L}$; pH inicial da solução = 5,0 $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 1,01 \text{ g/L}$; Temperatura 25 °C; agitação de 100 rpm.

Massa de lã de aço (g L ⁻¹)	Degradação (%)
1	15
2,5	88
5	97
7	98

Tabela 16: Avaliação da degradação do fenol em diferentes Temperaturas. Condições do processo: [fenol] = 200mg L⁻¹; [Fe^o] = 5g L⁻¹ [H₂O₂] = 1,01g L⁻¹; pH₀ = 5,0, agitação de 100 rpm.

Tempo (min)	[Fenol] (mg L ⁻¹) 25 °C	[Fenol] (mg L ⁻¹) 35 °C	[Fenol] (mg L ⁻¹) 45 °C
0	200	200	200
10	200	198	188
30	192	178	137
60	174	74	8
90	55	6	0
120	6	0	0
150	0	0	0

Tabela 17: Degradação de fenol utilizando apenas lã de aço. Condições experimentais: [fenol] = 200mg L⁻¹; [Fe^o] = 5g L⁻¹; pH inicial = 5,0 Temperatura = 25 °C e agitação de 100 rpm.

Tempo (min)	[Fenol] (mg L ⁻¹)	pH
0	200	5,0
30	200	5,72
60	200	6,26
90	199	6,55
120	199	6,76
150	199	6,84
180	199	6,92
210	198	6,90
240	198	6,91
270	197	6,92
300	197	6,90

Tabela 18: Degradação de fenol apenas com peróxido de hidrogênio. Condições experimentais: [fenol] = 200 mg L⁻¹; [H₂O₂] = 1,01 g L⁻¹; pH inicial = 5,0 Temperatura = 25 °C e agitação de 100rpm.

Tempo (min)	[Fenol] (mg L ⁻¹)	[H ₂ O ₂] (mg L ⁻¹)
0	200	1000
30	200	1000
60	200	1000
90	198	980
120	196	970
150	192	960
180	190	950
210	187	950
240	185	950
270	186	950
300	183	940

Tabela 19: Mineralização do fenol em função da variação do pH no processo combinado peróxido de hidrogênio e ferro metálico. Condições do processo: [fenol] = 200 mg L⁻¹; [H₂O₂] = 1,01 g L⁻¹; [Fe⁰] = 5 g L⁻¹; pH 0 = 5,0; Temperatura = 25 °C ; agitação = 100 rpm.

Tempo (min)	Mineralização (%)	pH
0	0	5,0
10	1,35	5,5
30	6,72	5,1
60	12,47	4,7
90	29,53	3,6
120	33,28	3,1

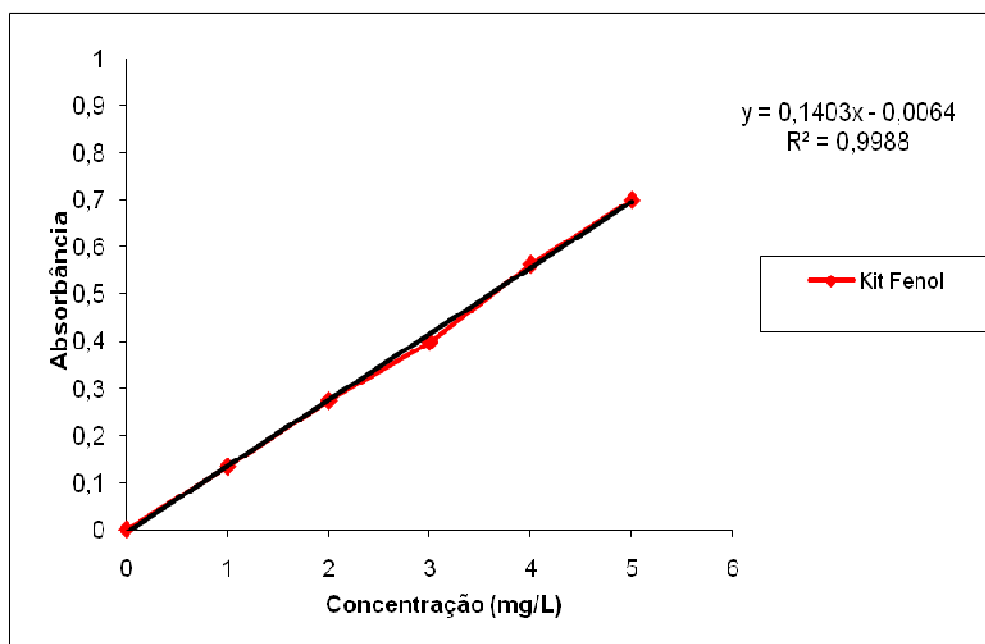


Figura 27: Curva de Calibração do Kit Merck para a determinação de fenol

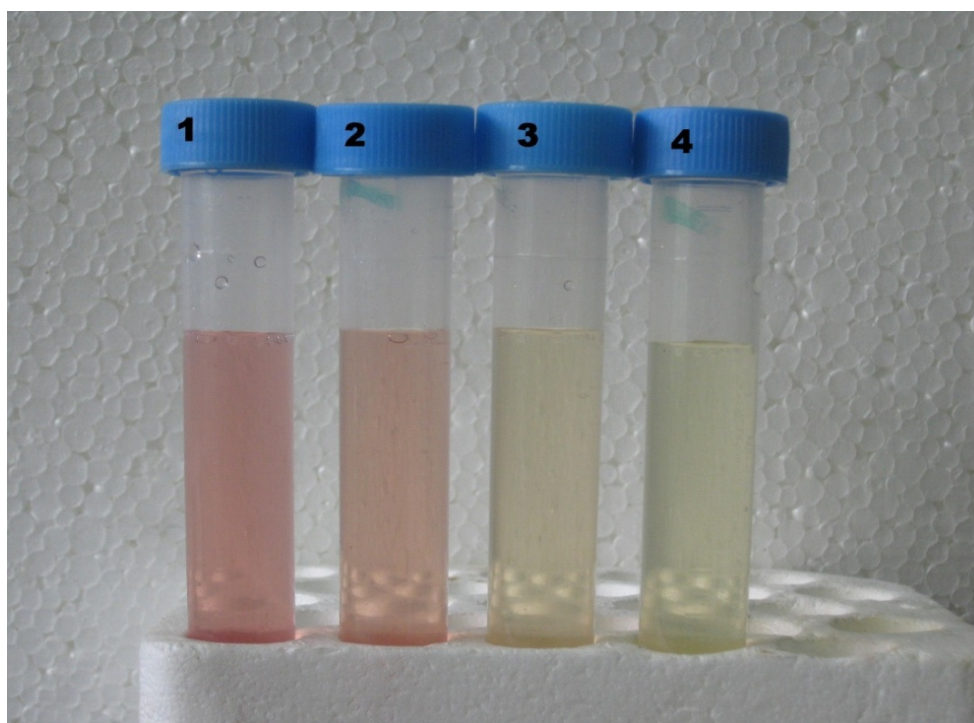


Figura 28: Degradação de fenol pelo Kit merck: (1) $t = 0$; (2) $t = 60$ min; (3) $t = 90$ min (4) $t = 120$ min. Condições Experimentais: $[\text{fenol}] = 200 \text{ mg L}^{-1}$; $[\text{H}_2\text{O}_2] = 1,01 \text{ g L}^{-1}$; $\text{pH}_0 = 5,0$; $[\text{Lã de aço}] = 5 \text{ g L}^{-1}$; $T = 25^\circ\text{C}$ agitação = 100 rpm

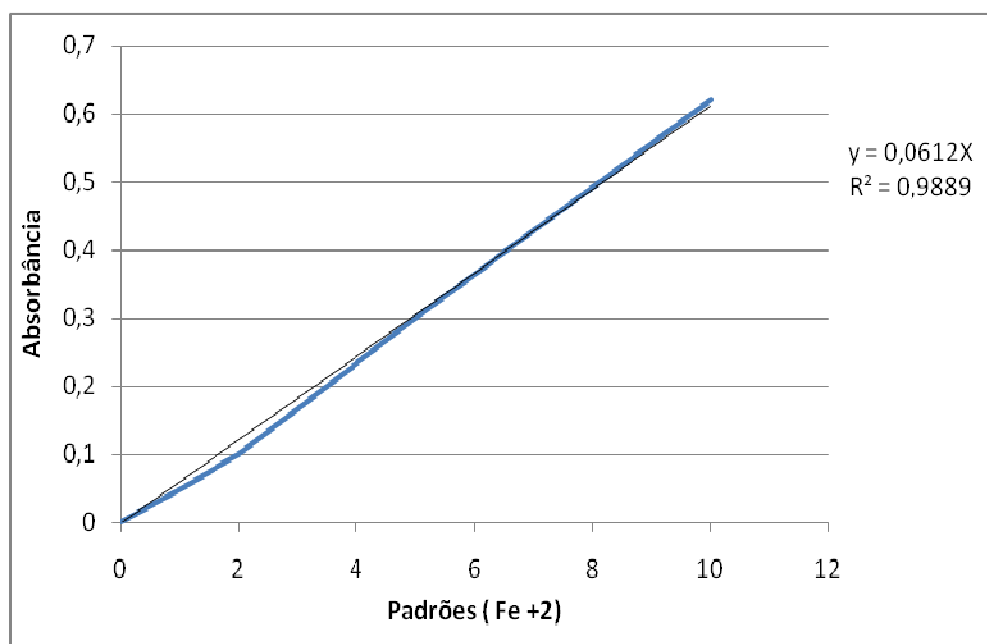


Figura 29: Curva de calibração para análise do ferro total

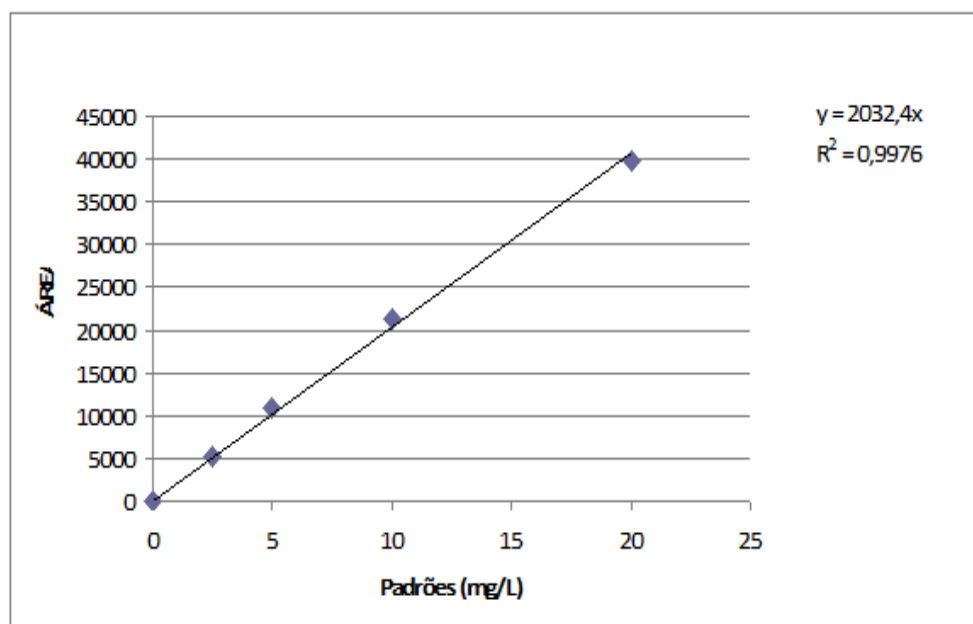


Figura 30: Curva de Calibração do COT

Tabela 20: Valores de COT na Degradação do Fenol

Curva de Calibração (COT)	
PPM	ÁREA
0	0
2,5	5313
5	10956
10	21399
20	39884