

## Referências bibliográficas

ADHOUM, N. *et al.* **Treatment of electroplating wastewater containing  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Cr(VI)}$  by electrocoagulation.** Journal of Hazardous Materials B112 (2004) 207-213. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

ADHOUM, N. e MONSER, L. **Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation.** Chemical Engineering and Processing 43 (2004) 1281-1287. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 09 nov. 2005.

AL-MALACK, M. H.; ABUZAID, N. S. e EL-MUBARAK, A. H. **Coagulation of polymeric wastewater discharged by a chemical factory.** Water Research 33 (1999) 521-529. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 jun. 2007.

AL-MUTAIRI, N.Z. **Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant.** Ecotoxicology and Environmental Safety 65 (2006) 74-83. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 11 fev. 2007.

AMUDA, O.S. e ALADE, A. **Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater.** Desalination 196 (2006) 22-31. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 11 fev. 2007.

AMUDA, O.S. e AMOO, I.A. **Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment.** Journal of Hazardous Materials xxx (2006) xxx-xxx. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 11 fev. 2007.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 27 ago. 2007.

AOP (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE OPERADORES DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS). Disponível em: <<http://www.aop.es>>. Acesso em: 11 jun. 2007.

AVSAR, Y., KURT, U e GONULLU, T. **Comparison of classical chemical and electrochemical processes for treating rose processing wastewater.** Journal of Hazardous Materials 148 (2007) 340-345. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 ago. 2007.

AWWA. **Operational control of coagulation and filtration processes.** AWWA Manual – M37. 2ª Edição. Denver, 2000.

BARD, A. J. e FAULKNER, L. R. **Electrochemical methods – Fundamentals and applications.** New York: John Wiley and Sons, 2001.

BAYRAMOGLU, M.; EYVAZ, M. e KOBYA, M. **Treatment of textile wastewater by electrocoagulation: economical evaluation.** Chemical Engineering Journal 128 (2007) 155–161. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 04 jun. 2007.

BELZONA. **Página eletrônica.** Disponível em: < <http://www.belzona.com/>> Acesso em: 12 jun. 2007.

BEKRI-ABBES, I.; BAYOUDHN, S. e BAKLOUTI, M. **A technique for purifying wastewater with polymeric flocculant produced from waste plastic.** Desalination 204 (2007) 198-203. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

BEKTAS, N. *et al.* **Removal of phosphate from aqueous solutions by electro-coagulation.** Journal of Hazardous Materials 106B (2004) 101–105. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G.K. e CHAUDHARI, S. **Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant.** Journal of Hazardous Materials xxx (2006) xxx-xxx. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 11 fev. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2007.

CAN, O.T.; BAYRAMOGLU, M. e KOBAY, M. **Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes**. Ind. Eng. Chem. Res. 42 (2003) 3391-3396. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

CAN, O.T. *et al.* **Treatment of Textile Wastewater by Combined Electrocoagulation**. Chemosphere xxx (2005) xxx-xxx. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 08 nov. 2005.

CARMONA, M. *et al.* **A simple model to predict the removal of oil suspensions from water using electrocoagulation technique**. Chemical Engineering Science 61 (2006) 1233-1242. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 09 nov. 2005.

CASEY, T. J. **Unit treatment process in water and wastewater engineering**. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 280 p.

CENKIN, V.E. e BELEVTSSEV, A.N. **Electrochemical treatment of industrial wastewater**. Effluent and Water Treatment Journal 25 (1985) 243-247.

CHEN, G. *et al.* **Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation**. Separation and Purification Technology 19 (2000) 65-76. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 09 nov. 2005.

CHEN, G. **Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment**. Separation and Purification Technology 38 (2004) 11-41. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 08 nov. 2005.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O. **Eletroflotação: princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa Editora, 2004. 96 p.

DANESHVAR, N.; SORKHABI, H. A. e KASIRI, M.B. **Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections**. Journal of Hazardous Materials B112 (2004) 55-62. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

DANESHVAR, N.; OLADEGARAGOZE, A. e DJAFARZADEH, N. **Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: an investigation of the effect of operational parameters**. Journal of Hazardous Materials B129 (2006) 116-122. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

DANESHVAR, N. *et al.* **Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC)**. Journal of Hazardous Materials xxx (2007) xxx-xxx. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

DENARO, A. R. **Fundamentos de eletroquímica**. São Paulo: ed. Edgard Blücher, 1974, 161p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Volume 1 – 2ª Edição. São Carlos: RiMa, 2005. 792 p.

DONINI, J. C. *et al.* **Operating cost of electrocoagulation**. Canadian Journal of Chemical Engineering 72 (6) (1994) 1007–1012.

ECKENFELDER, W.W. **Industrial water pollution control**. 2ª Edição. New York: McGraw-Hill, 1989. 400 p.

ESSADKI, A. H. *et al.* **Electrocoagulation/electroflotation in an external –loop airlift reactor – Application to the decolorization of textile dye wastewater: A case study.** Chemical Engineering and Processing xxx (2007) xxx-xxx. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 04 jun. 2007.

FAUST, S.D; ALY, O.M.. **Chemistry of water treatment.** 2ª Edição. USA: Lewis Publishers, 1998. 581 p.

FERREIRA, L. H. **Remoção de sólidos em suspensão de efluente da indústria de papel por eletroflotação.** 2006. 82p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, SP.

GAO, P. *et al.* **Removal of chromium(VI) from wastewater by combined electrocoagulation–electroflotation without a filter.** Sep. Purif. Technol. 43 (2004) 117–123. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

GE, J. *et al.* **New bipolar electrocoagulation–electroflotation process for the treatment of laundry wastewater.** Separation and Purification Technology 36 (2004) 33–39. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 09 nov. 2005.

GOTSI, M. *et al.* **Electrochemical oxidation of olive oil mill wastewaters.** Water Research 39 (2005) 4177–4187. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 03 nov. 2005.

GÜRSES, A. *et al.* **Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables.** Waste Management 22 (2002) 491–499. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 10 nov. 2005.

HAUSER, B.A. **Drinking water chemistry: a laboratory manual.** USA: Lewis Publishers, 2002. 202 p.

HOLT, P. K. **Electrocoagulation: unraveling and synthesising the mechanisms behind a water treatment process.** 2002. 221p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Química, Universidade de Sydney, Austrália.

HOLT, P. K. *et al.* **A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation.** *Colloids and Surfaces A* 211 (2002) 233-248. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 22 nov. 2006.

HOLT, P. K. *et al.* **The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology.** *Chemosphere* 59 (2005) 355-367. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 26 out. 2005.

HU, C. Y.; LO, S. L.; KUAN, W. H. **Effects of co-existing anions on fluoride removal in electrocoagulation (EC) process using aluminum electrodes.** *Water Research* 37 (2003) 4513-4523. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

IISRP - INTERNATIONAL INSTITUTE OF SYNTHETIC RUBBER PRODUCERS, INC. Disponível em: <<http://www.iisrp.com>>. Acesso em: 01 jun. 2007.

INAN, H. *et al.* **Olive oil mill wastewater by means of electrocoagulation.** *Separation and Purification Technology* 36 (2004) 23-31. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 29 nov. 2006.

INECE - THE INTERNATIONAL NETWORK FOR ENVIRONMENTAL COMPLIANCE AND ENFORCEMENT. **Página eletrônica.** Disponível em: <<http://www.inece.org>>. Acesso em: 23 mai. 2007.

IRDEMEZ, S.; DEMIRCIOGLU, N.; YILDIZ, Y. S. **The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with iron plate electrodes.** *Journal of Hazardous Materials B* 137 (2006) 1231-1235. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

JIAGIAN, J. **An anodic passivation of electrocoagulator in the process of water treatment.** *Water Treatment* 3 (1988) 344-352.

JIANG, J. Q. *et al.* **Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment.** Water Research 36 (2002) 4064-4078. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 26 out. 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 3ª Edição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995. 681 p.

KHEMIS, M. *et al.* **Treatment of industrial liquid wastes by electrocoagulation: experimental investigations and an overall interpretation model.** Chemical Engineering Science 61 (2006) 3602-3609. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 04 set. 2006.

KIM, T-H. *et al.* **Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process.** Desalination 150 (2002) 165-175. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 26 ago. 2007.

KOBYA, M.; CAN, O.T.; BAYRAMOGLU, M. **Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes.** Journal of Hazardous Materials B100 (2003) 163–178. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

KOBYA, M. *et al.* **Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation.** Desalination 190 (2006) 201-211. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 05 mai. 2006.

KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. **Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation.** Journal of Hazardous Materials B133 (2006) 172–176. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

KOPARAL, A. S. e ÖGÜTVEREN, U. B. **Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation.** Journal of Hazardous Materials B89 (2002) 83–94. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

KUMAR, P. R. *et al.* **Removal of arsenic from water by electrocoagulation.** Chemosphere 55 (2004) 1245-1252. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 29 nov. 2006.

LARUE, O. *et al.* **Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions.** Separation and Purification Technology 31 (2003) 177-192. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 27 dez. 2006.

LEE, W. J. e PYUN, S. I. **Effects of hydroxide ion addition on anodic dissolution of pure aluminium in chloride ion-containing solution.** Electrochimica Acta 44 (23) (1999) 4041-4049.

LENNTECH, Water purification and air treatment. **Indústria petroquímica.** Disponível em: <<http://www.lennotech.com>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

LU, C., CHEN, Z e YANG, X. **Espectroscopic study of aluminium speciation in removing humic substances by Al coagulation.** Water Research 33 (15) (1999) 3271-3280. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 ago. 2007.

LYKLEMA, J. **Surface chemistry of colloids in connection with stability stability.** In: The scientific basis of flocculation. The Netherlands: Sijthoff and Noordoff, 1978.

MAIA, M. G. S. F. **Integração universidade/empresa como fator de desenvolvimento regional: um estudo da região metropolitana de Salvador.** 2006. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia Física e Análise Geográfica Regional, Universidade de Barcelona, Espanha.

MAMERI, N. *et al.* **Defluoridation of septentrional of Sahara water of North Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminum electrodes.** Water Research 32 (1998) 1604–1612. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 13 nov. 2006.



MARIANO, J. B. **Impactos Ambientais do Refino de Petróleo**. 2001. 216p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

MATTESON, M. J. *et al.* **Electrocoagulation and separation of aqueous suspensions of ultrafine particles**. *Colloids and Surfaces* 104 (1995) 101-109. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 26 out. 2005.

METCALF & EDDY, INC. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4ª Edição / Revisada por Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D. Boston: McGraw-Hill, 2003, 1819p.

MOLLAH, M. Y. A. *et al.* **Electrocoagulation (EC) – science and applications**. *Journal of Hazardous Materials* B84 (2001) 29-41. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 10 nov. 2005.

MOLLAH, M. Y. A. *et al.* **Fundamentals, present and future of electrocoagulation**. *Journal of Hazardous Materials* B114 (2004) 199-210. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 27 dez. 2006.

MONDRAGÓN, A. J. **Petroquímica**, 2001. Universidad Autonoma de México, Departamento de Química Orgánica. Disponível em: <<http://fesc.cuautitlan2.unam.mx/organica/directorio/jaime/MeEt.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2007.

MORENO-CASILLAS, H. A. *et al.* **Electrocoagulation mechanism for COD removal**. *Separation and Purification Technology* 56 (2007) 204-211. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 ago. 2007.

MURUGANANTHAN, M.; RAJU, G. B. e PRABHAKAR, S. **Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation**. *Journal of Hazardous Materials* B109 (2004) 37–44. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 26 out. 2005.

NOVIKOVA, S. P., SHKORBATOVA, T. L. e SOKOL, E. Y. **Purification of effluents from the production of synthetic detergents by electrocoagulation.** Soviet Journal of Water Chemistry and Technology 4 (4) (1982) 353-357.

OFIR, E.; OREN, Y. e ADIN, A. **Comparing pretreatment by iron of electro-flocculation and chemical flocculation.** Desalination 204 (2007) 87-93. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 09 fev. 2007.

OGUTVEREN, U. B., GOENEN, N. e KOPARAL, S. **Removal of dye stuffs from waste water: Electrocoagulation of Acilan Blau using soluble anode.** Journal of Environmental Science and Health, Part A: Environmental Science and Engineering A27 (5) (1992) 1237-1247.

OSIPENKO, V. D. e POGORELYI, P. I. **Electrocoagulation neutralization of Chromium Containing effluent.** Metallurgist (English translation of Metallurg) 21 (9 – 10) (1977) 44-45.

PANIZZA, M. *et al.* **Electrochemical treatment of wastewaters containing organic pollutants on boron-doped diamond electrodes: Prediction of specific energy consumption and required electrode area.** Electrochemistry Communications 3 (2001) 336-339. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 14 ago. 2006.

PAUL, A. B. **Electrolytic treatment of turbid water in package plant.** Proceedings of the 22nd WEDC Conference on Water Quality and supply, New Dheli, Índia (1996) 286-288. Disponível em: <<http://www.wedc.ac.uk>>. Acesso em: 23 jun. 2007.

PETROFLEX. **Página eletrônica.** Disponível em: <<http://www.petroflex.com.br>> Acesso em: 12 fev. 2007.

PICARD, T. *et al.* **Cathodic dissolution in the electrocoagulation process using aluminium electrodes.** J. Environ. Monit. 2 (2000) 77-80. Disponível em: <<http://www.scopus.com>>. Acesso em: 30 ago. 2007.

PYUN, S. I. *et al.* **Effects of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  ions on anodic dissolution of pure aluminum in alkaline solution.** Corrosion Science 41 (1999) 653-667.

RAJKUMAR, D. e PALANIVELU, K. **Electrochemical treatment of industrial wastewater.** Journal of Hazardous Materials B113 (2004) 123-129. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 26 out. 2005.

RAJESHWAR, K.; IBANEZ, J. **Environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement.** San Diego, California: Academic Press, 1997. 776 p.

RASHEVA. T. **Introduction to Treatment of Industrial Waste Gases and Waters.** National Bank for Industrial Microorganisms and Cell Cultures. The Sofia University, Bulgaria, 2001.

REIS, J. L. R. *et al.* **Estudo do Tratamento de um Efluente da Indústria de Borracha Sintética.** In: 26º Congresso da AIDIS, 1999, Lima, Peru.

REIS, J. L. R. ; DEZOTTI, M. ; SANT'ANNA Jr, G. L. **Ecotoxicidade dos Efluentes Líquidos da Indústria de Borracha Sintética.** In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2003, Joinville – SC.

RIO DE JANEIRO. **FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente).** Legislação e Normas Técnicas. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br>> Acesso em: 08 jun. 2007.

ROYAL HASKONIG. **Water and wastewater in the petrochemical industry.** Disponível em: <<http://www.royalhaskoning.com>> Acesso em: 08 jun. 2007.

SANTOS, M. R. G. *et al.* **The application of electrochemical technology to the remediation of oily wastewater.** Chemosphere xxx (2006) xxx-xxx. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 02 mai. 2006.

SARACCO, G. *et al.* **Electrochemical oxidation of organic pollutants at low electrolyte concentrations.** *Electrochimica Acta* 46 (2000) 373-380. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 29 nov. 2006.

SIEMENS. **Wastewater treatment solutions for petroleum refineries and the petrochemical industry.** Disponível em: <<http://www.siemens.com>>. Acesso em: 29 mai. 2007.

SHEN, Z. M. *et al.* **Methods to improve electrochemical treatment effect of dye wastewater.** *Journal of Hazardous Materials* B131 (2006) 90-97. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 02 mai. 2006.

SLEPTSOV, G. V. *et al.* **Precipitation of electrocoagulation solids in the treatment of spent wash solution.** *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* 10 (2) (1988) 168-169.

SONG, S. *et al.* **Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters.** *Separation and Purification Technology* 55 (2007) 238-245. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 ago. 2007.

SONG, Z.; WILLIAMS, C. J. e EDYVEAN, R. G. J. **Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation.** *Desalination* 164 (2004) 249-259. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 jun. 2007.

SZKLARSKA-SMIALOWSKA, Z. **Pitting corrosion of aluminium.** *Corrosion Science* 41 (1999) 1743-1767.

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica.** 2ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, 220p.

VELIKAYA, L. P. e BATURIN, A. P. **Influence of ionic composition of lubricatingcooling liquids on dissolution of an aluminum anode in the process of electrocoagulation.** *Soviet Journal of Water Chemistry and Technology* 5 (3) (1983) 262-264.

VIK, E. A. *et al.* **Electrocoagulation of potable water.** Water Research 18 (11) (1984) 1355-1360.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 243p.

WEINTRAUB, M. H. *et al.* **Development of Electrolytic Treatment of Oily wastewater.** Environmental Progress 2 (1) (1983) 32-37.

WIENDL, W. G. **Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998. 368 p.

WILL, I. B. S. **Tratamento de efluentes da indústria de laticínios utilizando o processo eletrolítico.** 1999. 149p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.

WILLIAMS, R. A. **Colloids and surfaces engineering: application in the process industries.** 2ª Edição. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1994.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003, 166p.

WORLD BANK GROUP. **Pollution Prevention and Abatement Handbook, Cap: Petrochemicals manufacturing,** 1998. Disponível em: <<http://www.ifc.org>>. Acesso em: 23 mai. 2007.

YANG, C-L. e McGARRAHAN, J. **Electrochemical coagulation for textile effluent decolorization.** Journal of Hazardous Materials B127 (2005) 40–47. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 24 ago. 2007.

YILMAZ, A. E. *et al.* **The investigation of parameters affecting boron removal by electrocoagulation method.** Journal of Hazardous Materials B125 (2005) 160–165. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

## APÊNDICE A – Reagentes e materiais utilizados

- Sulfato de alumínio P.A. (ISOFAR)
- Ácido sulfúrico P.A. (VETEC)
- Hidróxido de sódio P.A. (VETEC)
- Dicromato de potássio P.A. (REAGEN)
- Sulfato de prata P.A. (MERCK)
- Sulfato de mercúrio P.A. (QUIMEX)
- Cloreto de potássio P.A. (REAGEN)
- Bécheres de 500 e 1000 mL
- Pipetas graduadas de 10 mL
- Pipetas volumétricas de 2 mL
- Cone de Imhoff
- Proveta de 1L
- Balões de vidro de 250, 1000 e 2000 mL

## APÊNDICE B – Equipamentos utilizados

- Aparelho de *Jar Test* – ÉTICA
- Medidor de pH – DIGIMED – DMPH-2
- Condutivímetro – ANALYSER – 600
- Turbidímetro
- Espectrofotômetro – COML. INDL. DOURADO LTDA – ESPEC 20 MV
- Estufa para esterilização – FAMO – MOD. FIC.O.5
- Agitador magnético – CORNING
- Fonte estabilizadora – TECTROL – Modelo TCA 15-30BR1A
- Reator de DQO – HACH
- Balança eletrônica – BIOPRECISA – FA2104N

## APÊNDICE C – Procedimento de *Jar Test*

O *Jar Test* é um método de tentativa e erro de determinação da dosagem química ótima de remoção de turbidez e cor aceito como procedimento de teste de bancada por muitos anos. A coagulação química e a floculação são processos complicados, nem sempre fáceis de serem otimizados, e ainda mais problemáticos quando o afluente é variável. Um dos metais mais utilizados como coagulante é o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). A dosagem de alumínio é ótima dentro de uma faixa de pH 5,5 – 8,5 (Hauser, 2002).

### 1º – Determinação da dosagem mínima aproximada de coagulante:

- Uma amostra de 200 mL é lentamente agitada em um bécher e adiciona-se coagulante ( $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]_{\text{estoque}} = 100 \text{ g/L}$ ) em incrementos de 1 mL, até que se observe as primeiras evidências de formação de floco.

### 2º – Determinação do pH ótimo de coagulação:

- Utilizando a dosagem mínima aproximada de coagulante, determinada no item anterior, 6 amostras de 1 L de efluente são colocadas no equipamento de *Jar Test*, onde o pH de cada uma é ajustado (com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N ou NaOH 1N) com diferentes valores de pH.
- Misturar cada amostra rapidamente por 2 minutos e então agitar lentamente por 15 minutos, de forma que a agitação não quebre os flocos. Após a floculação, interromper a agitação para haver sedimentação por 1h.
- Determinar os parâmetros residuais e construir curvas destes versus pH.
- Identificar o pH ótimo.



**3º – Determinação da dosagem ótima de coagulante:**

- Preparar novamente 6 béchers com 1 L de amostra cada.
- Adicionar a cada um deles coagulante, de modo que sua concentração varie entre 25% e 200% sobre a dosagem mínima de coagulante encontrada na 1ª etapa.
- Ajustar o pH com álcali ou ácido para atingir o valor de pH ótimo encontrado na 2ª etapa.
- Agitar as amostras rapidamente por 2 minutos e então lentamente por 15 minutos, de forma que a agitação não quebre os flocos.
- Após a floculação, interromper a agitação para haja sedimentação por 1h.
- Medir no sobrenadante os parâmetros de interesse.
- Construir curvas destes versus concentração de coagulante.
- Registrar a dosagem ótima de coagulante.
- Registrar o nível de material sedimentado.

## APÊNDICE D – Descrição da análise de DQO (Método HACH)

O método baseia-se na digestão da amostra a 150°C durante 2h e leitura direta no espectrofotômetro após a construção de uma curva de calibração com diferentes valores de padrão. Através da interpolação da mesma pode-se determinar a concentração de DQO da amostra.

### D.1. Equipamento utilizado

- Reator Hach (modelo 45600) - consiste de um bloco construído em aço com perfurações para encaixe de 25 tubos de amostra. Este bloco é aquecido à temperatura de digestão, controlada através de um termostato, por um determinado tempo, controlado por um *timer*.
- Espectrofotômetro permite que a leitura de absorbância, após a etapa de digestão, seja feita no próprio tubo de amostra.
- Tubos de amostra Hach - tubos de vidro com tampa rosqueável apropriados para a digestão e leitura de absorbância.
- Pipetas volumétricas e bécher para o preparo e medição das soluções.

### D.2. Reagentes utilizados

- Ftalato ácido de potássio ( $C_8H_5KO_4$ )
- Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ )
- Sulfato de Prata ( $Ag_2SO_4$ )
- Sulfato de Mercúrio ( $HgSO_4$ )
- Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )

### D.3. Preparação dos Reagentes:

- Solução padrão de ftalato ácido de potássio

Dissolver 850 mg do ftalato ácido de potássio, previamente seco a 103°C por pelo menos 2 horas, em água destilada e completar o volume para 1000 mL. Esta solução corresponde a uma DQO teórica de 1000

ppm. Fazer diluições para se obter os seguintes padrões de DQO (ppm): 100, 200, 400, 500, 600, 800 e 1000.

- Solução digestora para a faixa de DQO 0 -1000 mg/L

Dissolver 10,216 g de  $K_2Cr_2O_7$  (previamente seco a 103°C por pelo menos 2 horas) em 500 mL de água destilada. Adicionar 167 mL (140 mL\*) de  $H_2SO_4$  concentrado e 33,3 g (83\* g) de  $HgSO_4$ . Dissolver, à temperatura ambiente, e completar o volume para 1000 mL com água destilada. Cabe ressaltar que a quantidade de  $HgSO_4$  adicionada nesta solução é suficiente para complexar uma concentração de cloretos de até 2000 mg/L (6000 mg/L). Para concentrações maiores, pode-se aumentar a quantidade de sulfato.

- Solução catalítica

Dissolver 10,1196 g de  $Ag_2SO_4$  em  $H_2SO_4$  concentrado e completar o volume para 1000 mL com o ácido.

#### D.4. Procedimento:

##### 1) Etapa de digestão

São adicionados 2mL da amostra aos tubos de DQO e em seguida são adicionados 1,2 mL da solução digestora e 2,8 mL da solução ácida, fechando-se hermeticamente os tubos e homogeneizando-os por sucessivas inversões. As análises devem ser feitas em triplicata. Como a mistura das soluções leva ao desprendimento de calor e aquecimento dos tubos, deve-se ter o cuidado de manuseá-los segurando-os somente pela tampa. Os tubos são colocados no aparelho de digestão da Hach, previamente aquecido a uma temperatura de 150 °C, e a função *timer* do aparelho é acionada para um tempo de 2 horas. Imediatamente após o término da digestão, os tubos são novamente homogeneizados por sucessivas inversões (novamente tomando-se cuidado e segurando os tubos pela tampa) e deixados esfriar em banho de água à temperatura ambiente.

## 2) Preparo da curva padrão

Empregando-se as diluições preparadas no item de reagentes, e procedendo da forma anteriormente explicada, monta-se uma curva de absorbância a 600 nm contra a concentração de DQO. Esta curva pode ser armazenada na memória do espectrofotômetro. Quando da determinação da DQO das amostras, pode-se ler diretamente a concentração de DQO obtida ao invés do valor da absorbância.

## 3) Leitura da Absorbância

Os tubos resfriados são levados ao espectrofotômetro para leitura da absorbância a 600 nm contra um branco preparado da mesma forma que as amostras. O valor é dado diretamente pela interpolação na curva de calibração.

### D.5. Interferências:

Compostos alifáticos de cadeia linear, hidrocarbonetos aromáticos (como benzeno e tolueno) e piridina não fornecem uma boa oxidação. Os compostos de cadeia linear são mais efetivamente oxidados quando sulfato de prata é adicionado como catalisador, entretanto, o sulfato de prata reage com cloretos, brometos ou iodetos produzindo precipitados que são parcialmente oxidados pelo processo.

A oxidação e outras dificuldades causadas pela presença de cloretos na amostra, podem ser superadas pelo emprego de um método que consiste de uma técnica de complexação para eliminar os cloretos da reação. Isto é feito com a adição de sulfato mercúrico à amostra antes do refluxo. Desta maneira, o íon cloreto é retirado sob a forma de um complexo solúvel de cloreto mercúrico, que apresenta reatividade muito menor do que o íon cloreto.

Nitrogênio do nitrito exerce uma DQO de 1,14 mg por mg de N de nitrito. Para eliminar sua interferência ácido sulfâmico deve ser adicionado (na proporção de 10 mg para cada mg de N de nitrito presente) à solução de dicromato.

Amostras instáveis devem ser logo testadas e aquelas que contêm sólidos sedimentados devem ser homogeneizadas, de modo a permitir que a amostra seja representativa. Caso ocorra algum atraso antes da análise, a amostra deve ser conservada por acidificação com ácido sulfúrico (1 a 2 gotas

para cada 20 -30 mL de amostra). Resíduos com um alto valor de DQO devem ser submetidos a diluições iniciais em balões volumétricos com o objetivo de reduzir o erro devido à medida de pequenos volumes.

## APÊNDICE E – Resultado dos testes preliminares de coagulação química (Amostra 23.08.2006)

Tabela E.1 – Característica das amostras de efluente antes dos ensaios de coagulação química com sulfato de alumínio

| PARÂMETROS                 | VALOR  |
|----------------------------|--------|
| pH                         | 3,8    |
| [Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)  | 571,7  |
| Condutividade (μS/cm)      | 1786   |
| Cor (uC)                   | 149    |
| Turbidez (UNT)             | 429,2  |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L) | 1226,8 |
| RFT ou SDT (mg/L)          | 1298   |
| RFF ou SDF (mg/L)          | 1102   |
| RFV ou SDV (mg/L)          | 196    |
| RNFT ou SST (mg/L)         | 158    |
| RNFF ou SSF (mg/L)         | 2      |
| RNFV ou SSV (mg/L)         | 156    |
| SVT (mg/L)                 | 352    |
| SFT (mg/L)                 | 1104   |
| ST (mg/L)                  | 1456   |

Tabela E.2 – Ensaio de coagulação química com sulfato de alumínio –  
Determinação do pH ótimo

| Experimento | [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]<br>(g/L) | [Al]<br>(g/L) | pH  | DQO<br>final<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | % R<br>DQO | Cor<br>final<br>(uC) | % R<br>Cor | Turbidez<br>final<br>(UNT) | % R<br>Turbidez |
|-------------|-------------------------------------------------------------|---------------|-----|----------------------------------------|------------|----------------------|------------|----------------------------|-----------------|
| JT 1        | 1,5                                                         | 0,121         | 5,0 | 453,9                                  | 63,0       | 36                   | 75,8       | 7,06                       | 98,4            |
| JT 2        | 1,5                                                         | 0,121         | 6,0 | 421,1                                  | 65,7       | 29                   | 80,5       | 5,02                       | 98,8            |
| JT 3        | 1,5                                                         | 0,121         | 7,0 | 416,1                                  | 66,1       | 27                   | 81,9       | 3,52                       | 99,2            |
| JT 4        | 1,5                                                         | 0,121         | 8,0 | 398,4                                  | 67,5       | 32                   | 78,5       | 2,91                       | 99,3            |

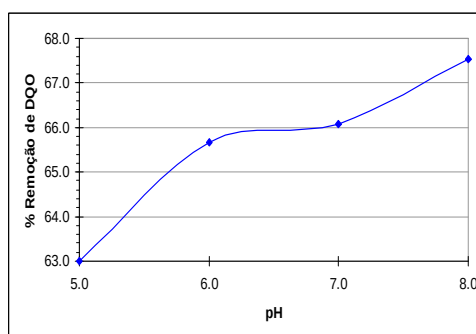
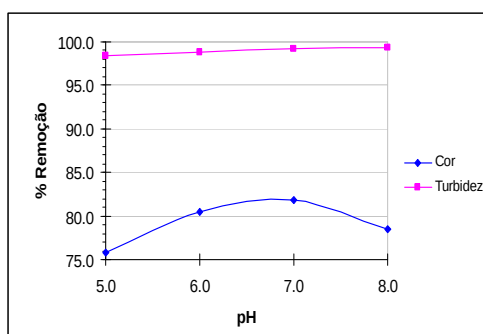


Tabela E.3 – Ensaio de coagulação química com sulfato de alumínio – Análise  
de sólidos com sobrenadante dos ensaios de determinação do  
pH ótimo

| Experimento | RFT<br>ou<br>SDT<br>(mg/L) | RFF<br>ou<br>SDF<br>(mg/L) | RFV<br>ou<br>SDV<br>(mg/L) | RNFT<br>ou<br>SST<br>(mg/L) | RNFF<br>ou<br>SSF<br>(mg/L) | RNFV<br>ou<br>SSV<br>(mg/L) | SVT<br>(mg/L) | SFT<br>(mg/L) | ST<br>(mg/L) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|
| JT 1        | 2338                       | 2122                       | 216                        | 30                          | 20                          | 10                          | 226           | 2142          | 2368         |
| JT 2        | 2232                       | 2056                       | 176                        | 34                          | 26                          | 8                           | 184           | 2082          | 2266         |
| JT 3        | 2648                       | 2362                       | 286                        | 34                          | 24                          | 10                          | 296           | 2386          | 2682         |
| JT 4        | 2390                       | 2208                       | 182                        | 22                          | 16                          | 6                           | 188           | 2224          | 2412         |

Tabela E.4 – Ensaio de coagulação química com sulfato de alumínio –  
Determinação da dosagem ótima de coagulante

| Experimento | [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]<br>(g/L) | [Al]<br>(g/L) | pH<br>final | DQO<br>final<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | % R<br>DQO | Cor<br>final<br>(uC) | % R<br>Cor | Turbidez<br>final<br>(UNT) | % R<br>Turbidez |
|-------------|-------------------------------------------------------------|---------------|-------------|----------------------------------------|------------|----------------------|------------|----------------------------|-----------------|
| JT 5        | 0,625                                                       | 0,051         | 7,0         | 378,2                                  | 69,2       | 34                   | 77,2       | 12,71                      | 97,0            |
| JT 6        | 0,750                                                       | 0,061         | 7,0         | 358,0                                  | 70,8       | 35                   | 76,5       | 6,13                       | 98,6            |
| JT 7        | 1,500                                                       | 0,121         | 7,0         | 373,1                                  | 69,6       | 30                   | 79,9       | 2,54                       | 99,4            |
| JT 8        | 3,000                                                       | 0,243         | 7,0         | 362,2                                  | 70,5       | 27                   | 81,9       | 0,56                       | 99,9            |

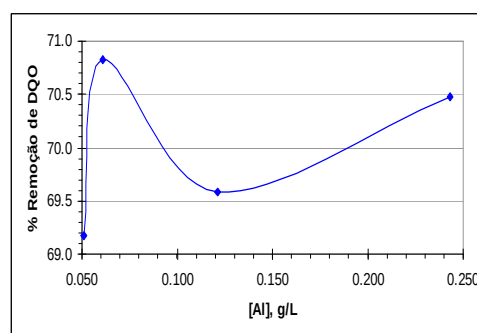
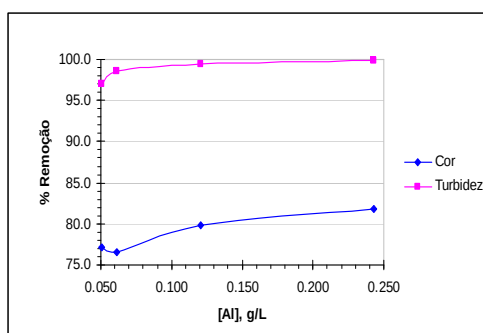


Tabela E.5 – Ensaio de coagulação química com sulfato de alumínio – Análise  
de sólidos com sobrenadante dos ensaios de determinação da  
dosagem ótima de coagulante

| Experimento | RFT<br>ou<br>SDT<br>(mg/L) | RFF<br>ou<br>SDF<br>(mg/L) | RFV<br>ou<br>SDV<br>(mg/L) | RNFT<br>ou<br>SST<br>(mg/L) | RNFF<br>ou<br>SSF<br>(mg/L) | RNFV<br>ou<br>SSV<br>(mg/L) | SVT<br>(mg/L) | SFT<br>(mg/L) | ST<br>(mg/L) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|
| JT 5        | 1986                       | 1674                       | 312                        | 50                          | 14                          | 36                          | 348           | 1688          | 2036         |
| JT 6        | 2230                       | 2038                       | 192                        | 38                          | 28                          | 10                          | 202           | 2066          | 2268         |
| JT 7        | 2568                       | 2076                       | 492                        | 12                          | 10                          | 2                           | 494           | 2086          | 2580         |
| JT 8        | 3218                       | 2960                       | 258                        | 28                          | 24                          | 4                           | 262           | 2984          | 3246         |



## APÊNDICE F – Resultados dos testes finais de coagulação química (Amostra 10.07.2007)

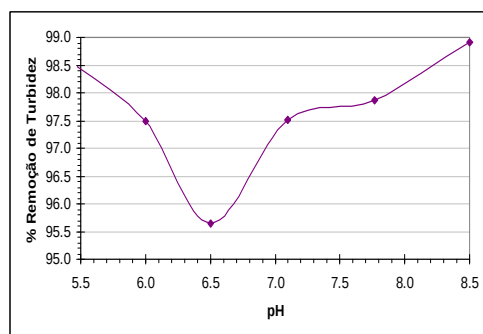
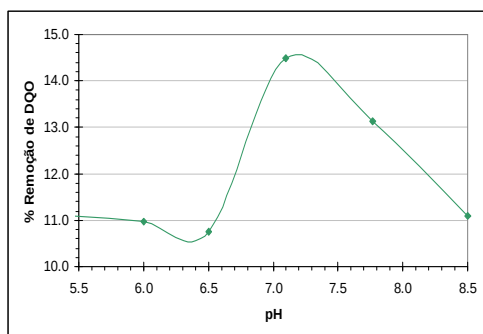
### F.1. Determinação do pH ótimo

Tabela F.1 – Característica das amostras de efluente antes dos ensaios de coagulação química com sulfato de alumínio

| PARÂMETROS                 | VALOR  |
|----------------------------|--------|
| pH                         | 11,6   |
| [Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)  | 43,8   |
| Turbidez (UNT)             | 168    |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L) | 1486,9 |

Tabela F.2 – Ensaios de coagulação química com sulfato de alumínio – Determinação do pH ótimo

| Experimento | [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]<br>(g/L) | [Al]<br>(g/L) | pH  | DQO<br>final<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | % R<br>DQO | Turbidez<br>final<br>(UNT) | % R<br>Turbidez |
|-------------|-------------------------------------------------------------|---------------|-----|----------------------------------------|------------|----------------------------|-----------------|
| CQ 1        | 1,000                                                       | 0,081         | 6,0 | 1323,6                                 | 10,98      | 4,2                        | 97,5            |
| CQ 2        | 1,000                                                       | 0,081         | 6,5 | 1327,0                                 | 10,8       | 7,3                        | 95,7            |
| CQ 3        | 1,000                                                       | 0,081         | 7,1 | 1271,4                                 | 14,5       | 4,2                        | 97,5            |
| CQ 4        | 1,000                                                       | 0,081         | 7,8 | 1291,6                                 | 13,1       | 3,6                        | 97,9            |
| CQ 5        | 1,000                                                       | 0,081         | 8,5 | 1321,9                                 | 11,1       | 1,8                        | 98,9            |
| CQ 6        | 1,000                                                       | 0,081         | 5,5 | 1321,9                                 | 11,1       | 2,6                        | 98,5            |



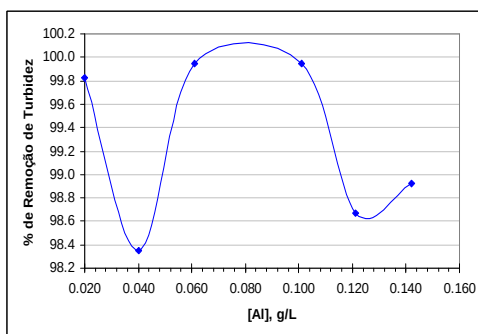
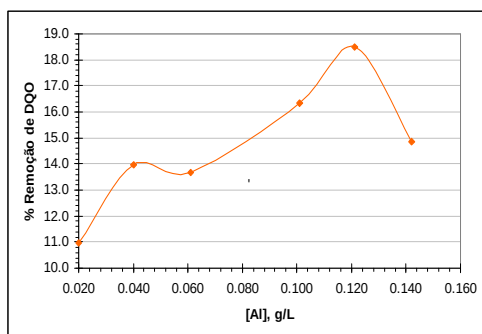
## F.2. Determinação da dosagem ótima de coagulante

Tabela F.3 – Característica das amostras de efluente antes dos ensaios de coagulação química com sulfato de alumínio

| PARÂMETROS                 | VALOR  |
|----------------------------|--------|
| pH                         | 11,6   |
| [Cl] (mg/L)                | 43,8   |
| Turbidez (UNT)             | 220    |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L) | 1564,3 |

Tabela F.4 – Ensaios de coagulação química com sulfato de alumínio – Determinação da dosagem ótima de coagulante

| Experimento | [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] (g/L) | [Al] (g/L) | pH  | DQO final (mg O <sub>2</sub> /L) | % R DQO | Turbidez final (UNT) | % R Turbidez |
|-------------|----------------------------------------------------------|------------|-----|----------------------------------|---------|----------------------|--------------|
| CQ 7        | 0,250                                                    | 0,020      | 7,1 | 1392,6                           | 11,0    | 0,4                  | 99,8         |
| CQ 8        | 0,500                                                    | 0,040      | 7,1 | 1345,5                           | 14,0    | 3,6                  | 98,4         |
| CQ 9        | 0,750                                                    | 0,061      | 7,1 | 1350,5                           | 13,7    | 0,1                  | 99,95        |
| CQ 10       | 1,250                                                    | 0,101      | 7,1 | 1308,4                           | 16,4    | 0,1                  | 99,95        |
| CQ 11       | 1,500                                                    | 0,121      | 7,1 | 1274,8                           | 18,5    | 2,9                  | 98,7         |
| CQ 12       | 1,750                                                    | 0,142      | 7,1 | 1332,0                           | 14,9    | 2,4                  | 98,9         |



## APÊNDICE G – Resultado dos testes preliminares do processo eletrolítico (Amostra 23.08.2006)

### G.1. EFEITO DA DIFERENÇA DE POTENCIAL APLICADA

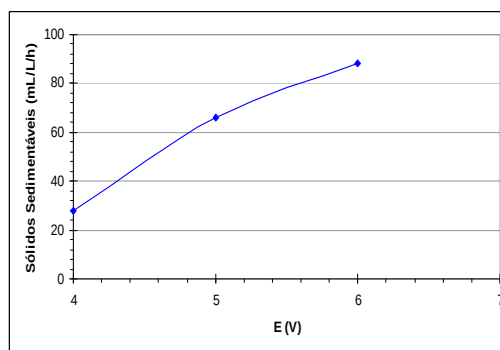
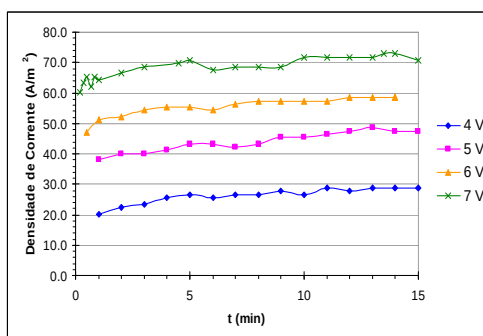
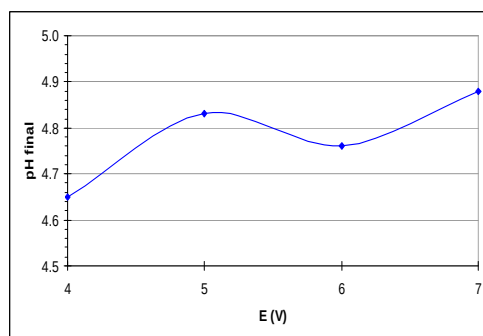
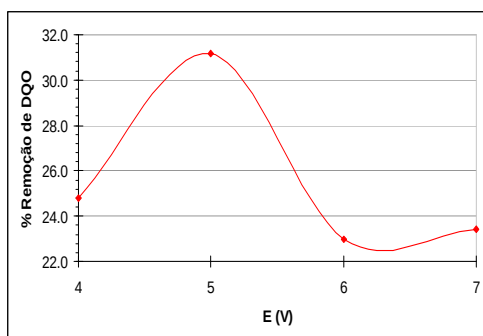
#### Condições experimentais:

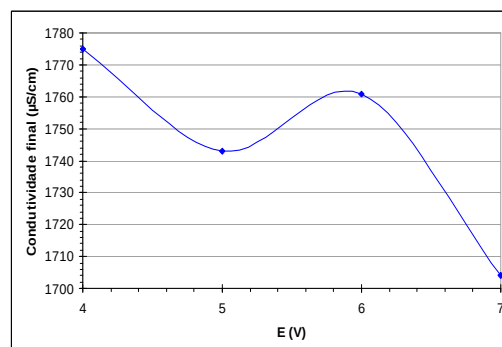
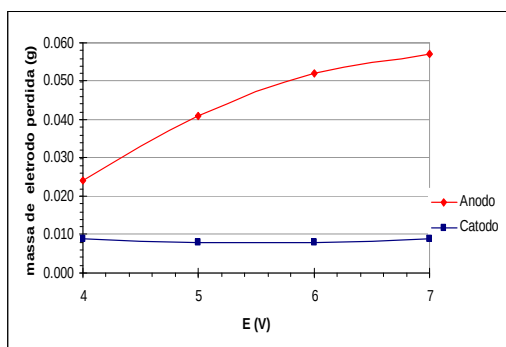
| PARÂMETROS                         | VALOR  |
|------------------------------------|--------|
| pH                                 | 3,8    |
| Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ ) | 1812   |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L)       | 0,4    |
| Distância entre eletrodos (cm)     | 1,5    |
| Tempo de eletrólise (min)          | 15     |
| Nº de eletrodos                    | 2      |
| DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )   | 1275,4 |
| Cor ( $\mu\text{C}$ )              | 149    |
| Turbidez (UNT)                     | 429,2  |

#### Ensaio:

| Experimento | E (V) | %R DQO | pH final | Condutividade final ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-------------|-------|--------|----------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
|             |       |        |          |                                          |                                | Anodo                     | Catodo |
| T1A         | 4     | 24,8   | 4,65     | 1775                                     | 28                             | 0,024                     | 0,009  |
| T2A         | 5     | 31,2   | 4,83     | 1743                                     | 66                             | 0,041                     | 0,008  |
| T3A         | 6     | 23,0   | 4,76     | 1761                                     | 88                             | 0,052                     | 0,008  |
| T4A         | 7     | 23,4   | 4,88     | 1704                                     | > 40                           | 0,057                     | 0,009  |

| t (min) | j (A/m <sup>2</sup> ) |        |        |        |
|---------|-----------------------|--------|--------|--------|
|         | E = 4V                | E = 5V | E = 6V | E = 7V |
| 0.17    |                       |        |        | 60.04  |
| 0.33    |                       |        |        | 63.25  |
| 0.5     |                       |        | 46.95  | 65.40  |
| 0.67    |                       |        |        | 62.18  |
| 0.83    |                       |        |        | 65.40  |
| 1       | 20.28                 | 37.98  | 51.12  | 64.33  |
| 2       | 22.41                 | 40.09  | 52.16  | 66.47  |
| 3       | 23.48                 | 40.09  | 54.25  | 68.61  |
| 4       | 25.62                 | 41.15  | 55.29  |        |
| 4.5     |                       |        |        | 69.69  |
| 5       | 26.68                 | 43.26  | 55.29  | 70.76  |
| 6       | 25.62                 | 43.26  | 54.25  | 67.54  |
| 7       | 26.68                 | 42.20  | 56.34  | 68.61  |
| 8       | 26.68                 | 43.26  | 57.38  | 68.61  |
| 9       | 27.75                 | 45.37  | 57.38  | 68.61  |
| 10      | 26.68                 | 45.37  | 57.38  | 71.83  |
| 11      | 28.82                 | 46.42  | 57.38  | 71.83  |
| 12      | 27.75                 | 47.48  | 58.42  | 71.83  |
| 13      | 28.82                 | 48.53  | 58.42  | 71.83  |
| 13.5    |                       |        |        | 72.90  |
| 14      | 28.82                 | 47.48  | 58.42  | 72.90  |
| 15      | 28.82                 | 47.48  | 58.42  | 70.76  |





## G.2. EFEITO DO pH INICIAL

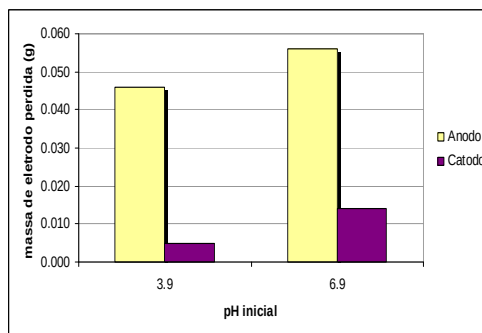
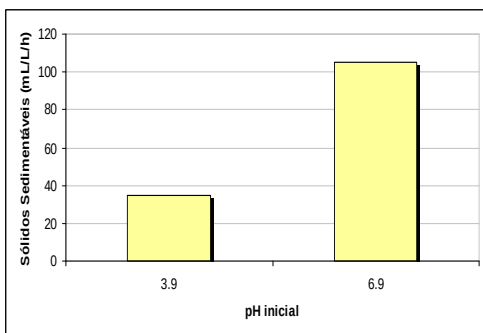
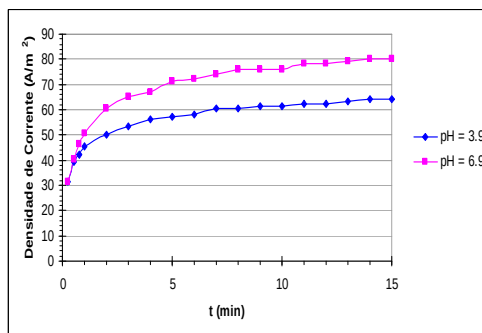
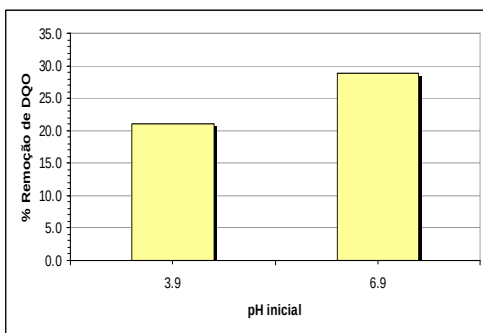
### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                     | VALOR  |
|--------------------------------|--------|
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | 0,4    |
| Distância entre eletrodos (cm) | 1,0    |
| Tempo de eletrólise (min)      | 15     |
| Nº de eletrodos                | 2      |
| E (V)                          | 5      |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)     | 1214,2 |
| Cor (uC)                       | 149    |
| Turbidez (UNT)                 | 429,2  |
| Condutividade inicial (µS/cm)  | 1939   |

### Ensaio:

| Experimento | pH inicial | %R DQO | pH final | Condutividade final (µS/cm) | Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-------------|------------|--------|----------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
|             |            |        |          |                             |                                | Anodo                     | Catodo |
| T10A        | 6, 9       | 28,8   | 7,5      | 1974                        | 105                            | 0,056                     | 0,014  |
| T6B         | 3,9        | 21,1   | 4,7      | 1699                        | 35                             | 0,046                     | 0,005  |

| t (min) | j (A/m <sup>2</sup> ) |           |
|---------|-----------------------|-----------|
|         | pH = 3.87             | pH = 6.89 |
| 0.25    | 31.19                 | 31.63     |
| 0.5     | 39.23                 | 40.53     |
| 0.75    | 42.25                 | 46.46     |
| 1       | 45.27                 | 50.42     |
| 2       | 50.30                 | 60.30     |
| 3       | 53.32                 | 65.24     |
| 4       | 56.34                 | 67.22     |
| 5       | 57.34                 | 71.17     |
| 6       | 58.35                 | 72.16     |
| 7       | 60.36                 | 74.14     |
| 8       | 60.36                 | 76.12     |
| 9       | 61.37                 | 76.12     |
| 10      | 61.37                 | 76.12     |
| 11      | 62.37                 | 78.09     |
| 12      | 62.37                 | 78.09     |
| 13      | 63.38                 | 79.08     |
| 14      | 64.38                 | 80.07     |
| 15      | 64.38                 | 80.07     |



## APÊNDICE H – Resultado dos testes finais do processo eletrolítico (Amostra 10.07.2007)

### H.1. EFEITO DA TEMPERATURA

#### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                                | VALOR  |
|-------------------------------------------|--------|
| E (V)                                     | 5      |
| pH                                        | 7,1    |
| Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 4960   |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h)            | 0,3    |
| Distância entre eletrodos (cm)            | 1,0    |
| Tempo de eletrólise (min)                 | 15     |
| Nº de eletrodos                           | 2      |
| DQO ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )          | 1540,7 |
| Turbidez (UNT)                            | 168    |
| Anodo                                     | Novo   |
| Catodo                                    | Novo   |
| [Cl]                                      | 43,8   |

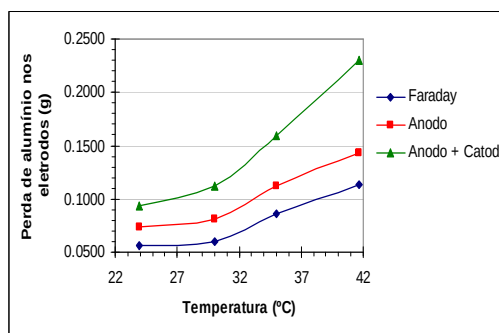
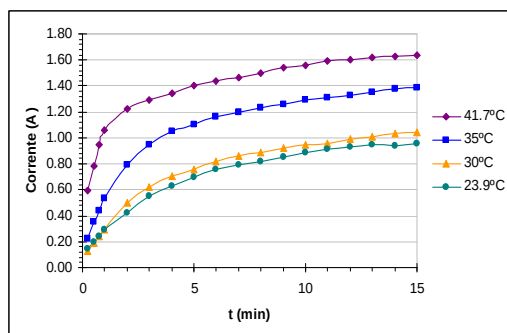
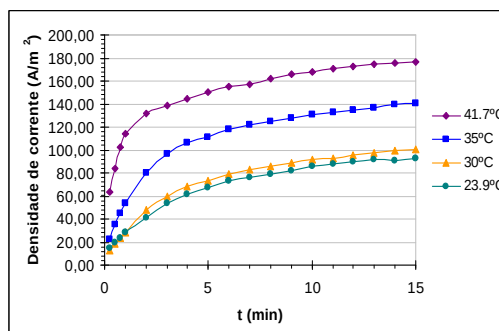
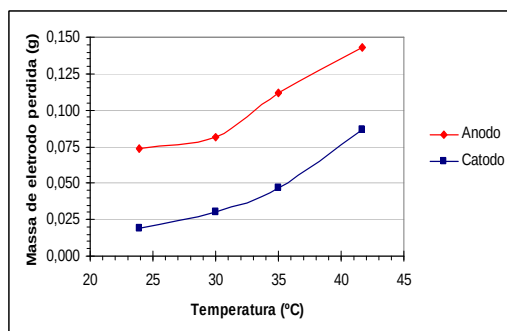
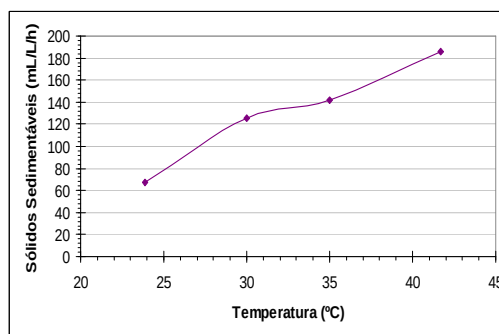
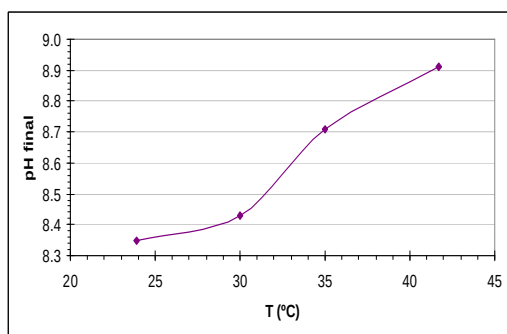
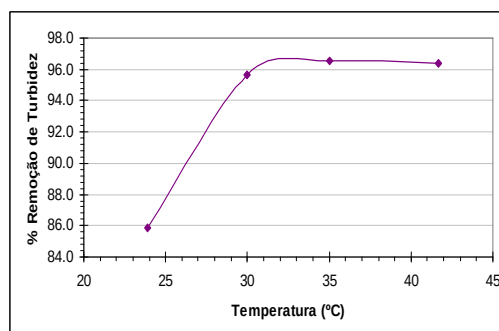
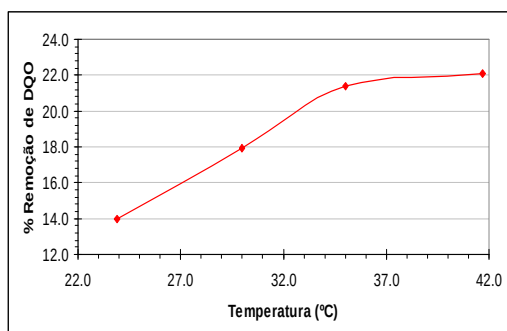


**Ensaio:**

| Experimento | T (°C) | % R DQO | % R Turbidez | pH final | Condutividade final (μS/cm) | Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-------------|--------|---------|--------------|----------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
|             |        |         |              |          |                             |                                | Anodo                     | Catodo |
| E1          | 41,7   | 22,1    | 96,4         | 8,91     | 4060                        | 186                            | 0,1427                    | 0,0871 |
| E2          | 35,0   | 21,4    | 96,6         | 8,71     | 4050                        | 142                            | 0,1121                    | 0,0469 |
| E3          | 30,0   | 17,9    | 95,7         | 8,43     | 4040                        | 126                            | 0,0816                    | 0,0300 |
| E4          | 23,9   | 14,0    | 85,8         | 8,35     | 3970                        | 37                             | 0,0741                    | 0,0190 |

| t (min) | Densidade de corrente (A/m <sup>2</sup> ) |            |            |            |
|---------|-------------------------------------------|------------|------------|------------|
|         | T = 41,7°C                                | T = 35,0°C | T = 30,0°C | T = 23,9°C |
| 0.25    | 63,51                                     | 22,30      | 12,55      | 14,53      |
| 0.5     | 83,97                                     | 35,48      | 18,34      | 19,37      |
| 0.75    | 102,27                                    | 44,61      | 23,16      | 23,24      |
| 1       | 114,11                                    | 53,73      | 27,99      | 28,08      |
| 2       | 131,33                                    | 80,09      | 48,25      | 40,67      |
| 3       | 138,87                                    | 96,31      | 59,83      | 53,26      |
| 4       | 144,25                                    | 106,45     | 68,52      | 61,01      |
| 5       | 150,71                                    | 111,52     | 73,35      | 67,79      |
| 6       | 155,02                                    | 117,60     | 79,14      | 73,60      |
| 7       | 157,17                                    | 121,65     | 83,00      | 76,50      |
| 8       | 161,48                                    | 124,70     | 85,89      | 79,41      |
| 9       | 165,78                                    | 127,74     | 88,79      | 82,31      |
| 10      | 167,94                                    | 130,78     | 91,68      | 86,18      |
| 11      | 171,17                                    | 132,81     | 92,65      | 88,12      |
| 12      | 172,24                                    | 134,83     | 95,54      | 90,06      |
| 13      | 174,39                                    | 136,86     | 97,47      | 91,99      |
| 14      | 175,47                                    | 139,90     | 99,40      | 91,03      |
| 15      | 176,55                                    | 140,92     | 100,37     | 92,96      |

| Exp | Temperatura (°C) | % R DQO | Corrente média (A) | m Faraday (g) | m anodo (g) | m catodo (g) | m anodo + catodo (g) |
|-----|------------------|---------|--------------------|---------------|-------------|--------------|----------------------|
| E1  | 41,7             | 22,1    | 1,35               | 0,1133        | 0,1427      | 0,0871       | 0,2298               |
| E2  | 35,0             | 21,4    | 1,02               | 0,0856        | 0,1121      | 0,0469       | 0,1590               |
| E3  | 30,0             | 17,9    | 0,72               | 0,0604        | 0,0816      | 0,0300       | 0,1116               |
| E4  | 23,9             | 14,0    | 0,67               | 0,0562        | 0,0741      | 0,0190       | 0,0931               |



## H.2. EFEITO DO pH INICIAL

### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                     | VALOR  |
|--------------------------------|--------|
| Temperatura (°C)               | 42,0   |
| E (V)                          | 5      |
| Condutividade (μS/cm)          | 4350   |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | 0,3    |
| Distância entre eletrodos (cm) | 1,0    |
| Tempo de eletrólise (min)      | 15     |
| Nº de eletrodos                | 2      |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)     | 1468,3 |
| Turbidez (UNT)                 | 288,8  |
| Anodo                          | Novo   |
| Catodo                         | Novo   |
| [Cl]                           | 43,8   |

### Ensaios:

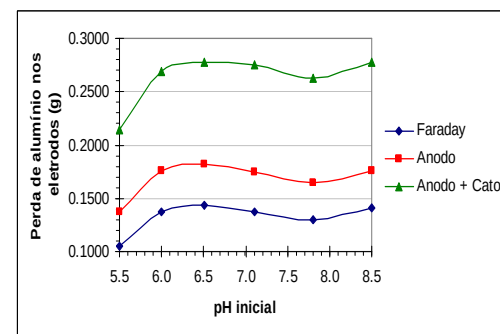
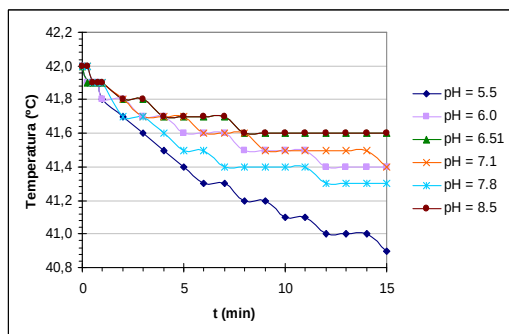
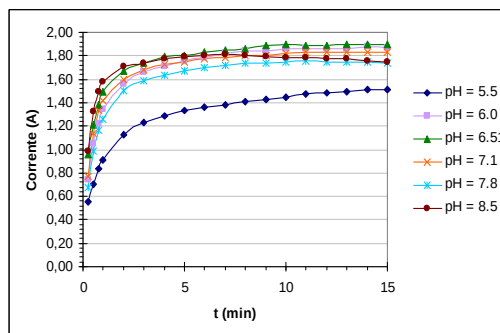
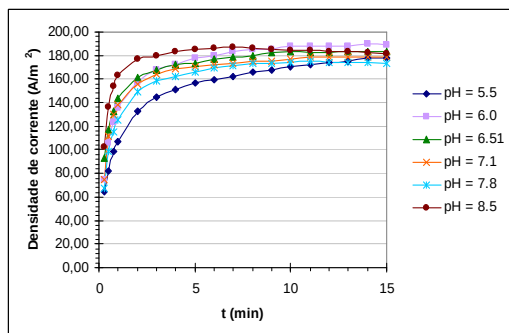
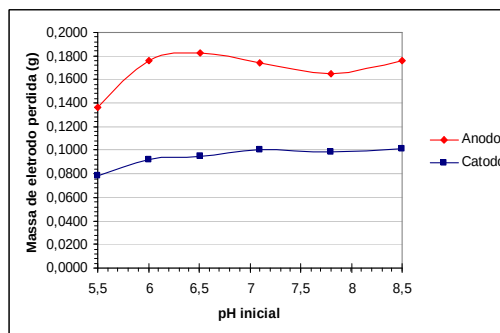
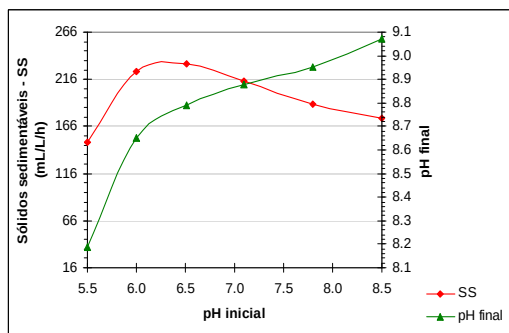
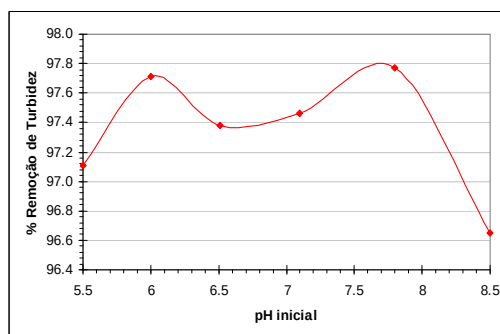
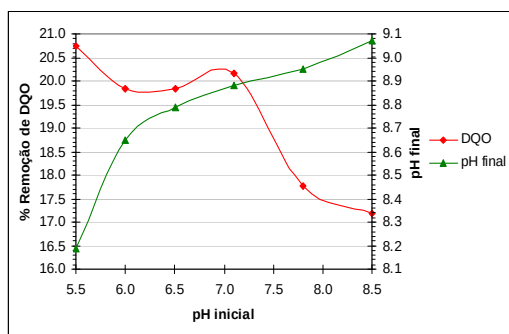
| Experimento | pH inicial | % R DQO | % R Turbidez | pH final | Condutividade final (μS/cm) | Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-------------|------------|---------|--------------|----------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
|             |            |         |              |          |                             |                                | Anodo                     | Catodo |
| E20         | 5,5        | 20,75   | 97,11        | 8,19     | 3790                        | 149                            | 0,1367                    | 0,0781 |
| E21         | 6,0        | 19,83   | 97,71        | 8,65     | 3750                        | 224                            | 0,1742                    | 0,0923 |
| E22         | 6,5        | 19,83   | 97,38        | 8,79     | 3810                        | 232                            | 0,1825                    | 0,0953 |
| E23         | 7,1        | 20,17   | 97,46        | 8,88     | 3790                        | 214                            | 0,1745                    | 0,1008 |
| E24         | 7,8        | 17,77   | 97,77        | 8,95     | 3780                        | 190                            | 0,1650                    | 0,0982 |
| E25         | 8,5        | 17,19   | 96,65        | 9,07     | 3820                        | 175                            | 0,1762                    | 0,1015 |

| t<br>(min) | Densidade de corrente (A/m <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |
|------------|-------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|            | pH = 5,5                                  | pH = 6,0 | pH = 6,5 | pH = 7,1 | pH = 7,8 | pH = 8,5 |
| 0,25       | 64,64                                     | 74,65    | 92,63    | 75,05    | 67,69    | 102,48   |
| 0,5        | 82,27                                     | 105,93   | 116,76   | 111,12   | 98,54    | 136,65   |
| 0,75       | 98,72                                     | 123,08   | 133,16   | 129,64   | 115,47   | 154,24   |
| 1          | 106,95                                    | 135,19   | 143,77   | 138,41   | 125,42   | 163,56   |
| 2          | 132,80                                    | 157,38   | 161,14   | 155,95   | 149,31   | 177,02   |
| 3          | 144,55                                    | 167,47   | 167,90   | 163,75   | 158,27   | 180,12   |
| 4          | 151,61                                    | 172,51   | 172,72   | 168,62   | 162,25   | 183,23   |
| 5          | 156,31                                    | 177,56   | 173,69   | 170,57   | 166,23   | 185,30   |
| 6          | 159,83                                    | 179,57   | 176,58   | 172,52   | 169,22   | 186,34   |
| 7          | 162,18                                    | 183,61   | 178,51   | 173,50   | 171,21   | 187,37   |
| 8          | 165,71                                    | 185,63   | 179,48   | 175,45   | 173,20   | 186,34   |
| 9          | 168,06                                    | 185,63   | 182,37   | 175,45   | 173,20   | 185,30   |
| 10         | 170,41                                    | 187,65   | 183,34   | 177,40   | 174,19   | 184,27   |
| 11         | 172,76                                    | 187,65   | 182,37   | 178,37   | 175,19   | 184,27   |
| 12         | 173,94                                    | 187,65   | 182,37   | 178,37   | 174,19   | 183,23   |
| 13         | 175,11                                    | 187,65   | 183,34   | 178,37   | 174,19   | 183,23   |
| 14         | 177,46                                    | 189,66   | 183,34   | 178,37   | 174,19   | 182,19   |
| 15         | 177,46                                    | 188,65   | 183,34   | 178,37   | 173,20   | 181,16   |

| t<br>(min) | Corrente (A) |          |          |          |          |          |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|            | pH = 5,5     | pH = 6,0 | pH = 6,5 | pH = 7,1 | pH = 7,8 | pH = 8,5 |
| 0,25       | 0,55         | 0,74     | 0,96     | 0,77     | 0,68     | 0,99     |
| 0,5        | 0,70         | 1,05     | 1,21     | 1,14     | 0,99     | 1,32     |
| 0,75       | 0,84         | 1,22     | 1,38     | 1,33     | 1,16     | 1,49     |
| 1          | 0,91         | 1,34     | 1,49     | 1,42     | 1,26     | 1,58     |
| 2          | 1,13         | 1,56     | 1,67     | 1,60     | 1,50     | 1,71     |
| 3          | 1,23         | 1,66     | 1,74     | 1,68     | 1,59     | 1,74     |
| 4          | 1,29         | 1,71     | 1,79     | 1,73     | 1,63     | 1,77     |
| 5          | 1,33         | 1,76     | 1,80     | 1,75     | 1,67     | 1,79     |
| 6          | 1,36         | 1,78     | 1,83     | 1,77     | 1,70     | 1,80     |
| 7          | 1,38         | 1,82     | 1,85     | 1,78     | 1,72     | 1,81     |
| 8          | 1,41         | 1,84     | 1,86     | 1,80     | 1,74     | 1,80     |
| 9          | 1,43         | 1,84     | 1,89     | 1,80     | 1,74     | 1,79     |
| 10         | 1,45         | 1,86     | 1,90     | 1,82     | 1,75     | 1,78     |
| 11         | 1,47         | 1,86     | 1,89     | 1,83     | 1,76     | 1,78     |
| 12         | 1,48         | 1,86     | 1,89     | 1,83     | 1,75     | 1,77     |
| 13         | 1,49         | 1,86     | 1,90     | 1,83     | 1,75     | 1,77     |
| 14         | 1,51         | 1,88     | 1,90     | 1,83     | 1,75     | 1,76     |
| 15         | 1,51         | 1,87     | 1,90     | 1,83     | 1,74     | 1,75     |

| t<br>(min) | Temperatura (°C) |          |          |          |          |          |
|------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|            | pH = 5,5         | pH = 6,0 | pH = 6,5 | pH = 7,1 | pH = 7,8 | pH = 8,5 |
| 0          | 42,0             | 42,0     | 42,0     | 42,0     | 42,0     | 42,0     |
| 0,25       | 41,9             | 41,9     | 41,9     | 42,0     | 42,0     | 42,0     |
| 0,5        | 41,9             | 41,9     | 41,9     | 41,9     | 41,9     | 41,9     |
| 0,75       | 41,9             | 41,9     | 41,9     | 41,9     | 41,9     | 41,9     |
| 1          | 41,8             | 41,8     | 41,9     | 41,9     | 41,9     | 41,9     |
| 2          | 41,7             | 41,8     | 41,8     | 41,8     | 41,7     | 41,8     |
| 3          | 41,6             | 41,7     | 41,8     | 41,7     | 41,7     | 41,8     |
| 4          | 41,5             | 41,7     | 41,7     | 41,7     | 41,6     | 41,7     |
| 5          | 41,4             | 41,6     | 41,7     | 41,7     | 41,5     | 41,7     |
| 6          | 41,3             | 41,6     | 41,7     | 41,6     | 41,5     | 41,7     |
| 7          | 41,3             | 41,6     | 41,7     | 41,6     | 41,4     | 41,7     |
| 8          | 41,2             | 41,5     | 41,6     | 41,6     | 41,4     | 41,6     |
| 9          | 41,2             | 41,5     | 41,6     | 41,5     | 41,4     | 41,6     |
| 10         | 41,1             | 41,5     | 41,6     | 41,5     | 41,4     | 41,6     |
| 11         | 41,1             | 41,5     | 41,6     | 41,5     | 41,4     | 41,6     |
| 12         | 41,0             | 41,4     | 41,6     | 41,5     | 41,3     | 41,6     |
| 13         | 41,0             | 41,4     | 41,6     | 41,5     | 41,3     | 41,6     |
| 14         | 41,0             | 41,4     | 41,6     | 41,5     | 41,3     | 41,6     |
| 15         | 40,9             | 41,4     | 41,6     | 41,4     | 41,3     | 41,6     |

| Exp | pH inicial | % R DQO | Corrente média (A) | m Faraday (g) | m anodo (g) | m catodo (g) | m anodo + catodo (g) |
|-----|------------|---------|--------------------|---------------|-------------|--------------|----------------------|
| E20 | 5,5        | 20,8    | 1,25               | 0,1049        | 0,1367      | 0,0781       | 0,2148               |
| E21 | 6,0        | 19,8    | 1,64               | 0,1376        | 0,1762      | 0,0923       | 0,2685               |
| E22 | 6,5        | 19,8    | 1,71               | 0,1435        | 0,1825      | 0,0953       | 0,2778               |
| E23 | 7,1        | 20,2    | 1,64               | 0,1376        | 0,1745      | 0,1008       | 0,2753               |
| E24 | 7,8        | 17,8    | 1,55               | 0,1300        | 0,1650      | 0,0982       | 0,2632               |
| E25 | 8,5        | 17,2    | 1,68               | 0,1409        | 0,1762      | 0,1015       | 0,2777               |



### H.3. EFEITO DO POTENCIAL APLICADO

#### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                     | VALOR  |
|--------------------------------|--------|
| Temperatura (°C)               | 42,0   |
| pH                             | 5,5    |
| Condutividade (μS/cm)          | 4350   |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | 0,3    |
| Distância entre eletrodos (cm) | 1,0    |
| Tempo de eletrólise (min)      | 15     |
| Nº de eletrodos                | 2      |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)     | 1624,9 |
| Turbidez (UNT)                 | 312,8  |
| Anodo                          | Novo   |
| Catodo                         | Novo   |
| [Cl]                           | 43,8   |

#### Ensaio:

| Experimento | E (V) | % R DQO | % R Turbidez | pH final | Condutividade e final (μS/cm) | Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-------------|-------|---------|--------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
|             |       |         |              |          |                               |                                | Anodo                     | Catodo |
| E26         | 2     | 26,0    | 93,7         | 6,8      | 3560                          | 70                             | 0,0185                    | 0,0231 |
| E27         | 3     | 27,7    | 97,4         | 7,6      | 3550                          | 151                            | 0,0619                    | 0,0492 |
| E28         | 4     | 26,9    | 97,6         | 8,2      | 3550                          | 167                            | 0,1259                    | 0,0737 |
| E29         | 5     | 26,1    | 96,2         | 6,6      | 3540                          | 226                            | 0,1817                    | 0,0976 |
| E30         | 6     | 25,6    | 97,1         | 8,8      | 3540                          | 240                            | 0,2072                    | 0,0989 |
| E31         | 7     | 25,2    | 97,5         | 9,0      | 3560                          | 227                            | 0,2641                    | 0,1163 |
| E32         | 8     | 26,1    | 96,7         | 8,7      | 3630                          | 163                            | 0,1682                    | 0,0859 |

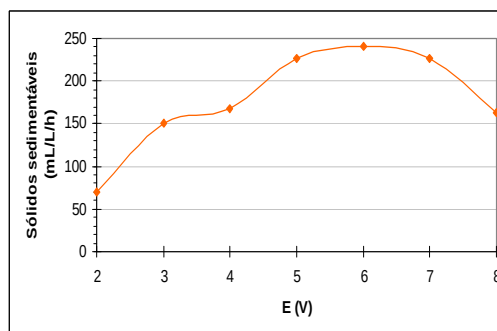
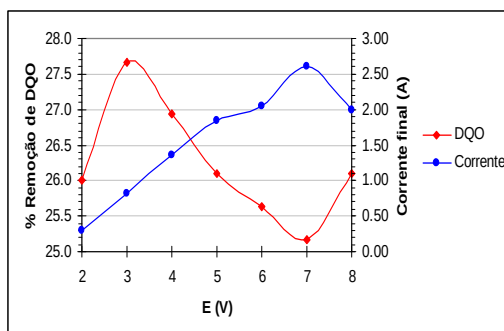
| t<br>(min) | Densidade de corrente (A/m <sup>2</sup> ) |        |        |        |        |        |        |
|------------|-------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | pH = 5,5                                  |        |        |        |        |        |        |
|            | E = 2V                                    | E = 3V | E = 4V | E = 5V | E = 6V | E = 7V | E = 8V |
| 0,25       | 2,01                                      | 9,99   | 51,86  | 124,11 | 139,88 | 132,50 | 67,92  |
| 0,5        | 3,02                                      | 14,53  | 69,14  | 145,78 | 161,71 | 176,35 | 91,69  |
| 0,75       | 4,03                                      | 17,26  | 80,33  | 156,62 | 173,61 | 200,71 | 103,01 |
| 1          | 6,04                                      | 19,98  | 87,44  | 161,54 | 179,56 | 214,35 | 110,93 |
| 2          | 10,07                                     | 30,88  | 106,76 | 169,42 | 191,47 | 237,73 | 132,44 |
| 3          | 12,09                                     | 38,14  | 114,90 | 175,33 | 196,43 | 245,52 | 148,28 |
| 4          | 15,11                                     | 46,32  | 121,00 | 179,28 | 199,40 | 250,39 | 159,60 |
| 5          | 16,12                                     | 50,86  | 124,05 | 181,25 | 200,40 | 252,34 | 172,06 |
| 6          | 19,14                                     | 55,40  | 128,11 | 183,22 | 201,39 | 254,29 | 181,11 |
| 7          | 20,15                                     | 58,12  | 130,15 | 184,20 | 200,40 | 255,27 | 189,03 |
| 8          | 21,16                                     | 61,76  | 132,18 | 185,19 | 202,38 | 256,24 | 194,69 |
| 9          | 23,17                                     | 63,57  | 134,21 | 185,19 | 203,37 | 255,27 | 201,49 |
| 10         | 25,19                                     | 67,21  | 135,23 | 185,19 | 202,38 | 256,24 | 207,15 |
| 11         | 26,19                                     | 68,11  | 135,23 | 184,20 | 204,37 | 255,27 | 211,67 |
| 12         | 26,19                                     | 70,84  | 137,26 | 184,20 | 201,39 | 256,24 | 216,20 |
| 13         | 28,21                                     | 72,65  | 138,28 | 183,22 | 204,37 | 255,27 | 221,86 |
| 14         | 29,22                                     | 73,56  | 138,28 | 183,22 | 203,37 | 254,29 | 222,99 |
| 15         | 30,22                                     | 74,47  | 138,28 | 182,23 | 203,37 | 254,29 | 226,39 |

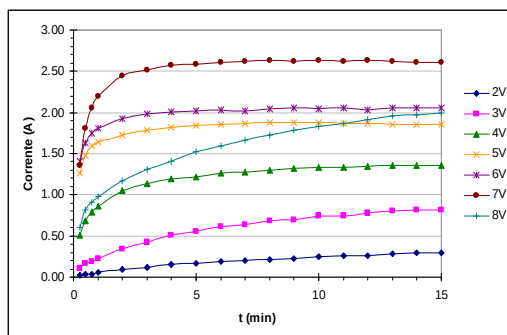
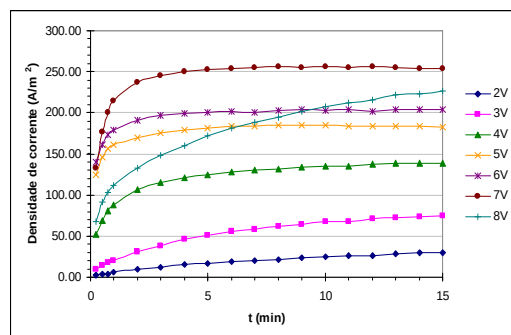
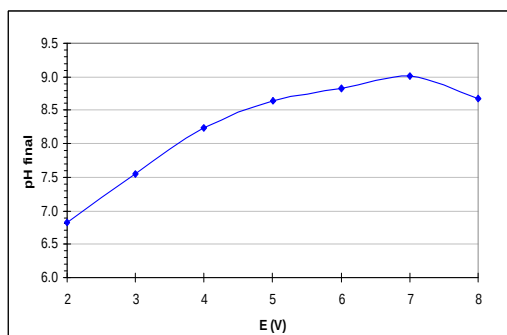
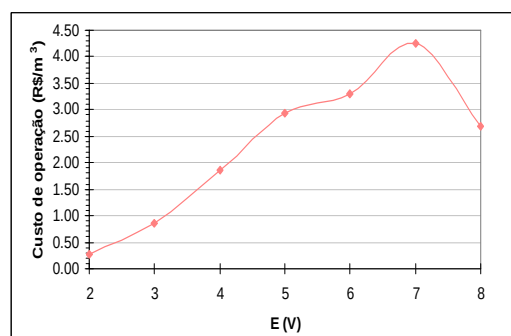
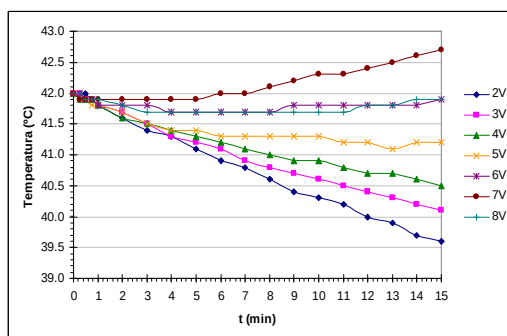
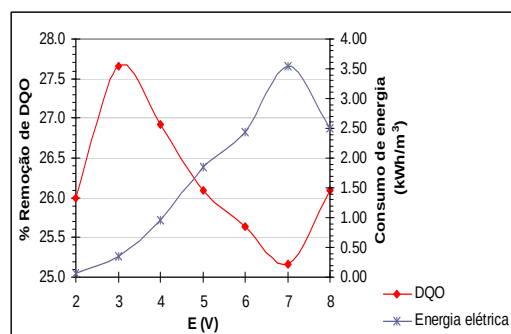
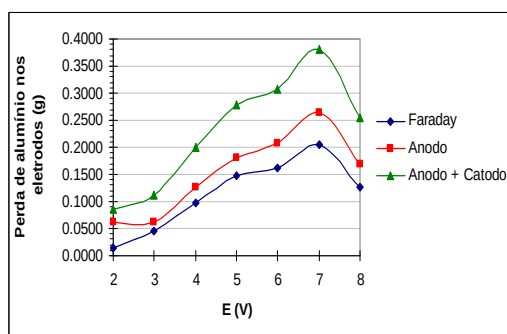
| t<br>(min) | Corrente (A) |        |        |        |        |        |        |
|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | pH = 5,5     |        |        |        |        |        |        |
|            | E = 2V       | E = 3V | E = 4V | E = 5V | E = 6V | E = 7V | E = 8V |
| 0,25       | 0,02         | 0,11   | 0,51   | 1,26   | 1,41   | 1,36   | 0,60   |
| 0,5        | 0,03         | 0,16   | 0,68   | 1,48   | 1,63   | 1,81   | 0,81   |
| 0,75       | 0,04         | 0,19   | 0,79   | 1,59   | 1,75   | 2,06   | 0,91   |
| 1          | 0,06         | 0,22   | 0,86   | 1,64   | 1,81   | 2,20   | 0,98   |
| 2          | 0,10         | 0,34   | 1,05   | 1,72   | 1,93   | 2,44   | 1,17   |
| 3          | 0,12         | 0,42   | 1,13   | 1,78   | 1,98   | 2,52   | 1,31   |
| 4          | 0,15         | 0,51   | 1,19   | 1,82   | 2,01   | 2,57   | 1,41   |
| 5          | 0,16         | 0,56   | 1,22   | 1,84   | 2,02   | 2,59   | 1,52   |
| 6          | 0,19         | 0,61   | 1,26   | 1,86   | 2,03   | 2,61   | 1,60   |
| 7          | 0,20         | 0,64   | 1,28   | 1,87   | 2,02   | 2,62   | 1,67   |
| 8          | 0,21         | 0,68   | 1,30   | 1,88   | 2,04   | 2,63   | 1,72   |
| 9          | 0,23         | 0,70   | 1,32   | 1,88   | 2,05   | 2,62   | 1,78   |
| 10         | 0,25         | 0,74   | 1,33   | 1,88   | 2,04   | 2,63   | 1,83   |
| 11         | 0,26         | 0,75   | 1,33   | 1,87   | 2,06   | 2,62   | 1,87   |
| 12         | 0,26         | 0,78   | 1,35   | 1,87   | 2,03   | 2,63   | 1,91   |
| 13         | 0,28         | 0,80   | 1,36   | 1,86   | 2,06   | 2,62   | 1,96   |
| 14         | 0,29         | 0,81   | 1,36   | 1,86   | 2,05   | 2,61   | 1,97   |
| 15         | 0,30         | 0,82   | 1,36   | 1,85   | 2,05   | 2,61   | 2,00   |



| t<br>(min) | Temperatura (°C) |        |        |        |        |        |        |
|------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | pH = 5,5         |        |        |        |        |        |        |
|            | E = 2V           | E = 3V | E = 4V | E = 5V | E = 6V | E = 7V | E = 8V |
| 0          | 42,0             | 42,0   | 42,0   | 42,0   | 42,0   | 42,0   | 42,0   |
| 0,25       | 42,0             | 42,0   | 41,9   | 41,9   | 42,0   | 41,9   | 42,0   |
| 0,5        | 42,0             | 41,9   | 41,9   | 41,9   | 41,9   | 41,9   | 41,9   |
| 0,75       | 41,9             | 41,9   | 41,9   | 41,8   | 41,9   | 41,9   | 41,9   |
| 1          | 41,8             | 41,8   | 41,8   | 41,8   | 41,8   | 41,9   | 41,9   |
| 2          | 41,6             | 41,7   | 41,6   | 41,7   | 41,8   | 41,9   | 41,8   |
| 3          | 41,4             | 41,5   | 41,5   | 41,5   | 41,8   | 41,9   | 41,7   |
| 4          | 41,3             | 41,3   | 41,4   | 41,4   | 41,7   | 41,9   | 41,7   |
| 5          | 41,1             | 41,2   | 41,3   | 41,4   | 41,7   | 41,9   | 41,7   |
| 6          | 40,9             | 41,1   | 41,2   | 41,3   | 41,7   | 42,0   | 41,7   |
| 7          | 40,8             | 40,9   | 41,1   | 41,3   | 41,7   | 42,0   | 41,7   |
| 8          | 40,6             | 40,8   | 41,0   | 41,3   | 41,7   | 42,1   | 41,7   |
| 9          | 40,4             | 40,7   | 40,9   | 41,3   | 41,8   | 42,2   | 41,7   |
| 10         | 40,3             | 40,6   | 40,9   | 41,3   | 41,8   | 42,3   | 41,7   |
| 11         | 40,2             | 40,5   | 40,8   | 41,2   | 41,8   | 42,3   | 41,7   |
| 12         | 40,0             | 40,4   | 40,7   | 41,2   | 41,8   | 42,4   | 41,8   |
| 13         | 39,9             | 40,3   | 40,7   | 41,1   | 41,8   | 42,5   | 41,8   |
| 14         | 39,7             | 40,2   | 40,6   | 41,2   | 41,8   | 42,6   | 41,9   |
| 15         | 39,6             | 40,1   | 40,5   | 41,2   | 41,9   | 42,7   | 41,9   |

| Exp | E (V) | Corrente média (A) | m Faraday (g) | m anodo + catodo (g) | C <sub>energia</sub> (kWh/m <sup>3</sup> ) | Faraday                                    |                                             |
|-----|-------|--------------------|---------------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
|     |       |                    |               |                      |                                            | C <sub>eletrodo</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | C <sub>operação</sub> (R\$/m <sup>3</sup> ) |
| E26 | 2     | 0,18               | 0,0151        | 0,0850               | 0,08                                       | 0,01                                       | 0,27                                        |
| E27 | 3     | 0,55               | 0,0461        | 0,1111               | 0,34                                       | 0,04                                       | 0,86                                        |
| E28 | 4     | 1,15               | 0,0965        | 0,1996               | 0,96                                       | 0,08                                       | 1,86                                        |
| E29 | 5     | 1,77               | 0,1485        | 0,2793               | 1,84                                       | 0,12                                       | 2,94                                        |
| E30 | 6     | 1,94               | 0,1628        | 0,3061               | 2,43                                       | 0,14                                       | 3,31                                        |
| E31 | 7     | 2,43               | 0,2039        | 0,3804               | 3,54                                       | 0,17                                       | 4,25                                        |
| E32 | 8     | 1,50               | 0,1258        | 0,2541               | 2,50                                       | 0,10                                       | 2,69                                        |





#### H.4. EFEITO DO TEMPO DE ELETROCOAGULAÇÃO

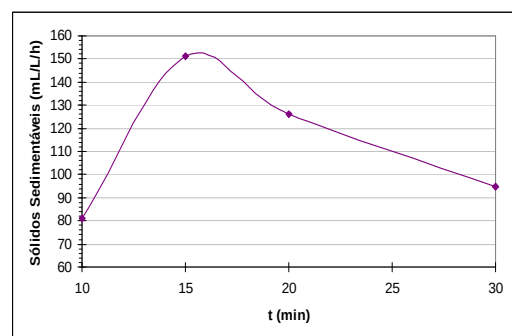
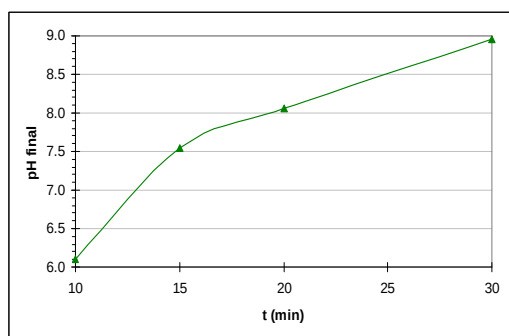
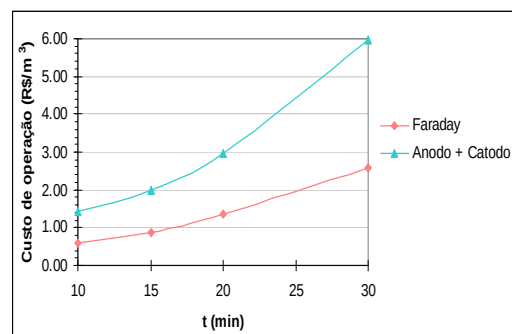
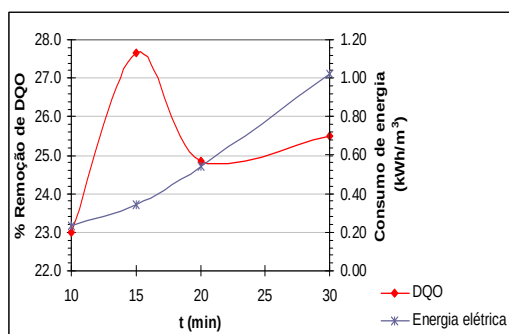
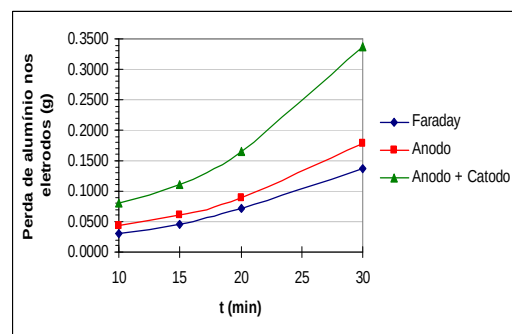
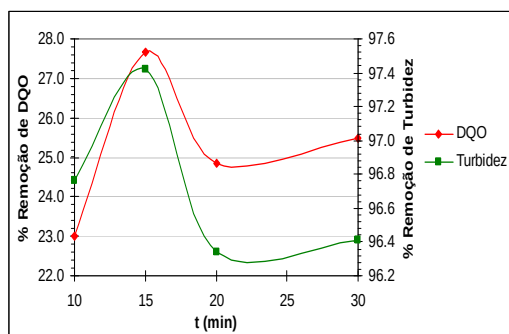
##### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                     | VALOR  |
|--------------------------------|--------|
| Temperatura (°C)               | 42,0   |
| E (V)                          | 3      |
| Condutividade (μS/cm)          | 4350   |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | 0,3    |
| Distância entre eletrodos (cm) | 1,0    |
| pH inicial                     | 5,5    |
| Nº de eletrodos                | 2      |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)     | 1624,9 |
| Turbidez (UNT)                 | 312,8  |
| Anodo                          | Novo   |
| Catodo                         | Novo   |
| [Cl]                           | 43,8   |

##### Ensaio:

| Experimento | t<br>(min) | % R<br>DQO | % R<br>Turbidez | pH<br>final | Condutividade<br>final<br>(μS/cm) | Sólidos<br>sedimentáveis<br>(mL/L/h) | Consumo dos<br>eletrodos (g) |        |
|-------------|------------|------------|-----------------|-------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------|
|             |            |            |                 |             |                                   |                                      | Anodo                        | Catodo |
| E33         | 10         | 23,00      | 96,76           | 7,10        | 3670                              | 81                                   | 0,0444                       | 0,0360 |
| E27         | 15         | 27,66      | 97,42           | 7,55        | 3550                              | 151                                  | 0,0619                       | 0,0492 |
| E34         | 20         | 24,86      | 96,34           | 8,06        | 3690                              | 126                                  | 0,0896                       | 0,0759 |
| E35         | 30         | 25,48      | 96,41           | 8,95        | 3580                              | 95                                   | 0,1776                       | 0,1586 |

| Exp | t (min) | Corrente média (A) | m Faraday (g) | m anodo + catodo (g) | C <sub>energia</sub> (kWh/m <sup>3</sup> ) | Faraday                                    |                                             | A + C                                      |                                             |
|-----|---------|--------------------|---------------|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
|     |         |                    |               |                      |                                            | C <sub>eletrodo</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | C <sub>operação</sub> (R\$/m <sup>3</sup> ) | C <sub>eletrodo</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | C <sub>operação</sub> (R\$/m <sup>3</sup> ) |
| E33 | 10      | 0,56               | 0,0313        | 0,0804               | 0,23                                       | 0,03                                       | 0,59                                        | 0,07                                       | 1,43                                        |
| E27 | 15      | 0,55               | 0,0461        | 0,1111               | 0,34                                       | 0,04                                       | 0,86                                        | 0,09                                       | 1,98                                        |
| E34 | 20      | 0,65               | 0,0727        | 0,1655               | 0,54                                       | 0,06                                       | 1,36                                        | 0,14                                       | 2,95                                        |
| E35 | 30      | 0,82               | 0,1376        | 0,3362               | 1,03                                       | 0,11                                       | 2,58                                        | 0,28                                       | 5,98                                        |



## H.5. EFEITO DA DISTÂNCIA ENTRE ELETRODOS

### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                     | VALOR  |
|--------------------------------|--------|
| Temperatura (°C)               | 42,0   |
| E (V)                          | 3      |
| Condutividade (μS/cm)          | 4430   |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | 0,3    |
| Nº de eletrodos                | 2      |
| pH inicial                     | 5,5    |
| Tempo (min)                    | 15     |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)     | 1523,9 |
| Turbidez (UNT)                 | 306,7  |
| Anodo                          | Novos  |
| Catodo                         | Novos  |
| [Cl]                           | 43,8   |

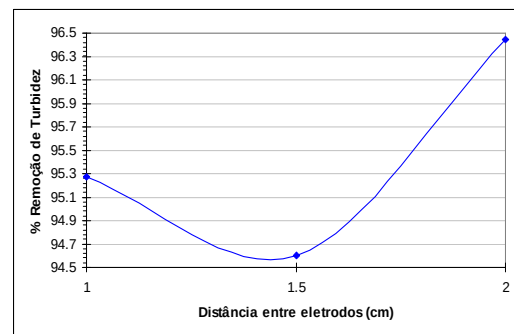
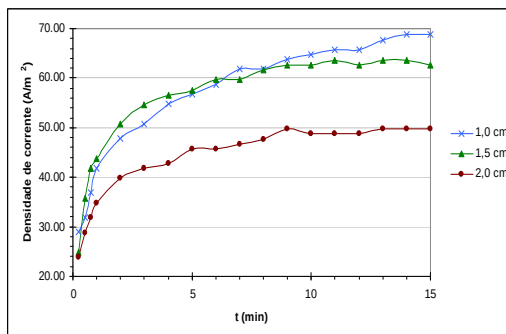
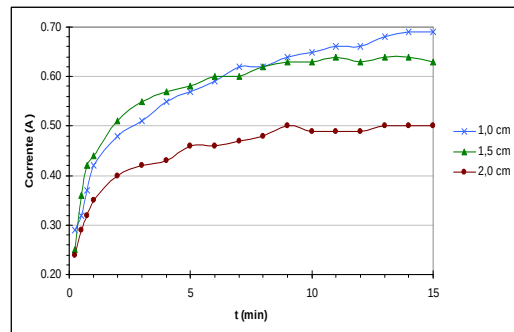
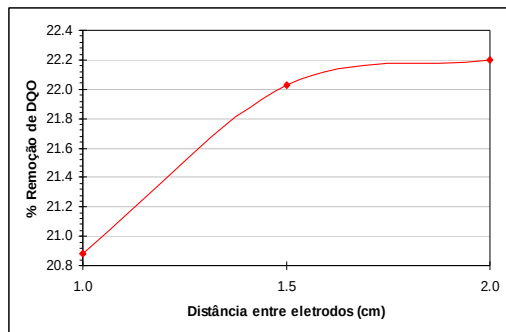
### Ensaio:

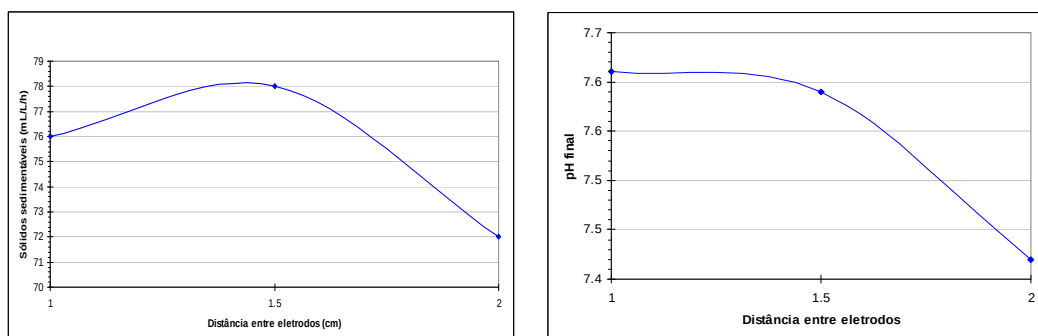
| Experimento | Distância entre eletrodos | % R DQO | % R Turbidez | pH final | Condutividade final (μS/cm) | Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-------------|---------------------------|---------|--------------|----------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
|             |                           |         |              |          |                             |                                | Anodo                     | Catodo |
| E38         | 1,0                       | 20,9    | 95,8         | 7,61     | 3830                        | 76                             | 0,0656                    | 0,0573 |
| E39         | 1,5                       | 22,0    | 94,6         | 7,59     | 3750                        | 78                             | 0,0594                    | 0,0559 |
| E40         | 2,0                       | 22,2    | 96,4         | 7,42     | 3760                        | 72                             | 0,0459                    | 0,0495 |

| t<br>(min) | Densidade de corrente (A/m <sup>2</sup> ) |         |         |
|------------|-------------------------------------------|---------|---------|
|            | E = 3V, pH = 5,5                          |         |         |
|            | D = 1,0                                   | D = 1,5 | D = 2,0 |
| 0,25       | 28,90                                     | 24,84   | 23,86   |
| 0,5        | 31,89                                     | 35,77   | 28,83   |
| 0,75       | 36,87                                     | 41,73   | 31,81   |
| 1          | 41,85                                     | 43,71   | 34,79   |
| 2          | 47,83                                     | 50,67   | 39,76   |
| 3          | 50,82                                     | 54,64   | 41,75   |
| 4          | 54,81                                     | 56,63   | 42,74   |
| 5          | 56,80                                     | 57,62   | 45,72   |
| 6          | 58,79                                     | 59,61   | 45,72   |
| 7          | 61,78                                     | 59,61   | 46,72   |
| 8          | 61,78                                     | 61,60   | 47,71   |
| 9          | 63,78                                     | 62,59   | 49,70   |
| 10         | 64,77                                     | 62,59   | 48,71   |
| 11         | 65,77                                     | 63,58   | 48,71   |
| 12         | 65,77                                     | 62,59   | 48,71   |
| 13         | 67,76                                     | 63,58   | 49,70   |
| 14         | 68,76                                     | 63,58   | 49,70   |
| 15         | 68,76                                     | 62,59   | 49,70   |

| t<br>(min) | Corrente (A)     |         |         |
|------------|------------------|---------|---------|
|            | E = 3V, pH = 5,5 |         |         |
|            | D = 1,0          | D = 1,5 | D = 2,0 |
| 0,25       | 0,29             | 0,25    | 0,24    |
| 0,5        | 0,32             | 0,36    | 0,29    |
| 0,75       | 0,37             | 0,42    | 0,32    |
| 1          | 0,42             | 0,44    | 0,35    |
| 2          | 0,48             | 0,51    | 0,40    |
| 3          | 0,51             | 0,55    | 0,42    |
| 4          | 0,55             | 0,57    | 0,43    |
| 5          | 0,57             | 0,58    | 0,46    |
| 6          | 0,59             | 0,60    | 0,46    |
| 7          | 0,62             | 0,60    | 0,47    |
| 8          | 0,62             | 0,62    | 0,48    |
| 9          | 0,64             | 0,63    | 0,50    |
| 10         | 0,65             | 0,63    | 0,49    |
| 11         | 0,66             | 0,64    | 0,49    |
| 12         | 0,66             | 0,63    | 0,49    |
| 13         | 0,68             | 0,64    | 0,50    |
| 14         | 0,69             | 0,64    | 0,50    |
| 15         | 0,69             | 0,63    | 0,50    |

| t<br>(min) | Temperatura (°C) |         |         |
|------------|------------------|---------|---------|
|            | E = 3V, pH = 5,5 |         |         |
|            | D = 1,0          | D = 1,5 | D = 2,0 |
| 0          | 42,0             | 42,0    | 42,0    |
| 0,25       | 41,9             | 41,9    | 42,0    |
| 0,5        | 41,8             | 41,8    | 41,9    |
| 0,75       | 41,7             | 41,8    | 41,8    |
| 1          | 41,6             | 41,7    | 41,7    |
| 2          | 41,4             | 41,6    | 41,5    |
| 3          | 41,2             | 41,4    | 41,3    |
| 4          | 41,0             | 41,2    | 41,1    |
| 5          | 40,9             | 41,1    | 41,0    |
| 6          | 40,7             | 40,9    | 40,8    |
| 7          | 40,7             | 40,8    | 40,7    |
| 8          | 40,5             | 40,7    | 40,5    |
| 9          | 40,4             | 40,5    | 40,4    |
| 10         | 40,3             | 40,4    | 40,3    |
| 11         | 40,2             | 40,3    | 40,1    |
| 12         | 40,0             | 40,2    | 40,0    |
| 13         | 39,9             | 40,1    | 39,9    |
| 14         | 39,8             | 40,0    | 39,7    |
| 15         | 39,7             | 39,9    | 39,6    |





## H.6. EFEITO DE ELETRODOS NOVOS E USADOS

### Condições experimentais:

| PARÂMETROS                     | VALOR   |
|--------------------------------|---------|
| Temperatura (°C)               | 42,0    |
| E (V)                          | 3       |
| Condutividade (μS/cm)          | 4430    |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L/h) | 0,3     |
| Nº de eletrodos                | 2       |
| Distância entre placas (cm)    | 1,0     |
| pH inicial                     | 5,5     |
| Tempo (min)                    | 15      |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)     | 1523,88 |
| Turbidez (UNT)                 | 306,68  |
| Anodo                          | Novos   |
| Catodo                         | Novos   |
| [Cl <sup>-</sup> ]             | 43,77   |



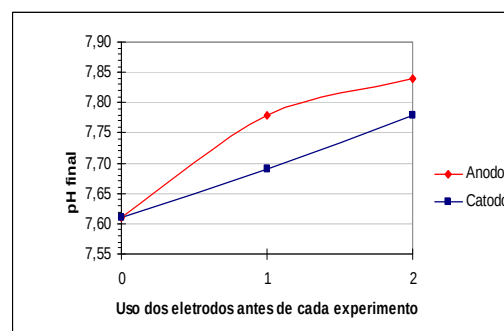
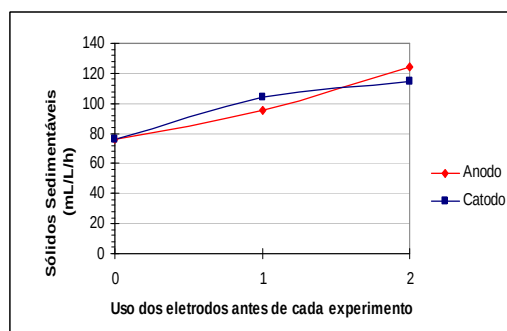
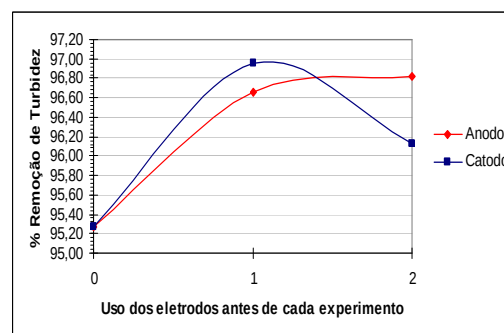
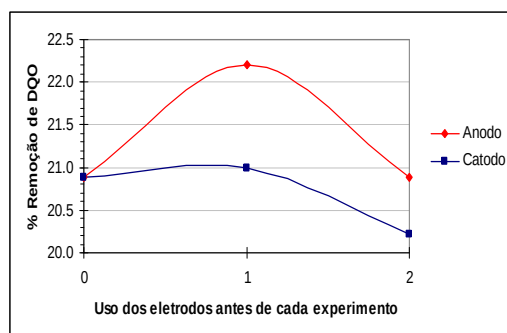
**Ensaio:**

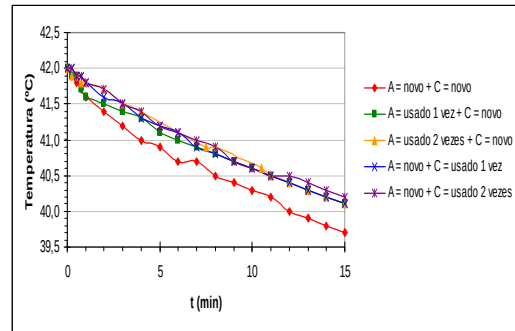
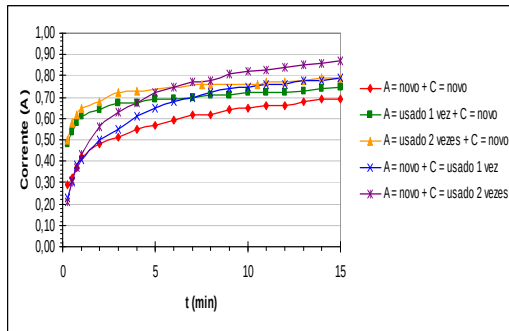
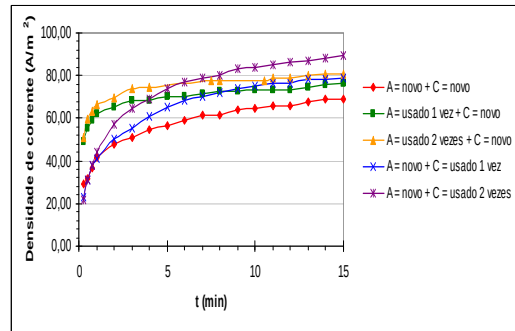
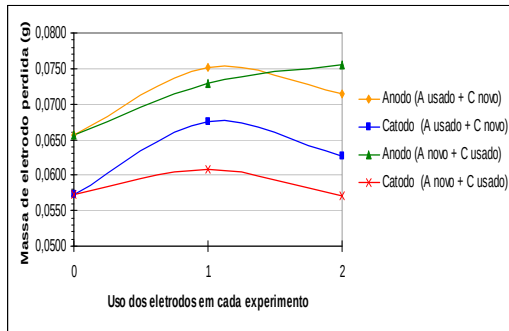
| Exp | Uso dos eletrodos |        | % R DQO | % R Turbidez | pH final | Condutividade final ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Sólidos sedimentáveis ( $\text{mL}/\text{L}/\text{h}$ ) | Consumo dos eletrodos (g) |        |
|-----|-------------------|--------|---------|--------------|----------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------|
|     | Anodo             | Catodo |         |              |          |                                                 |                                                         | Anodo                     | Catodo |
| E38 | 0                 | 0      | 20,88   | 95,27        | 7,61     | 3830                                            | 76                                                      | 0,0656                    | 0,0573 |
| E41 | 1                 | 0      | 22,20   | 96,65        | 7,78     | 3790                                            | 95                                                      | 0,0751                    | 0,0675 |
| E42 | 2                 | 0      | 20,88   | 96,82        | 7,84     | 3830                                            | 124                                                     | 0,0714                    | 0,0627 |
| E43 | 0                 | 1      | 20,99   | 96,96        | 7,69     | 3790                                            | 104                                                     | 0,0729                    | 0,0609 |
| E44 | 0                 | 2      | 20,21   | 96,13        | 7,78     | 3810                                            | 115                                                     | 0,0756                    | 0,0571 |

| t (min) | Densidade de corrente( $\text{A}/\text{m}^2$ ) |               |               |               |               |
|---------|------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|         | A = 0 + C = 0                                  | A = 1 + C = 0 | A = 2 + C = 0 | A = 0 + C = 1 | A = 0 + C = 2 |
| 0,25    | 28,90                                          | 49,00         | 51,22         | 23,05         | 21,53         |
| 0,5     | 31,89                                          | 55,13         | 59,42         | 31,07         | 30,75         |
| 0,75    | 36,87                                          | 59,21         | 63,52         | 38,08         | 37,93         |
| 1       | 41,85                                          | 62,27         | 66,59         | 41,09         | 44,08         |
| 2       | 47,83                                          | 65,34         | 69,66         | 50,11         | 57,41         |
| 3       | 50,82                                          | 68,40         | 73,76         | 55,12         | 64,59         |
| 4       | 54,81                                          | 68,40         | 74,79         | 61,13         | 68,69         |
| 5       | 56,80                                          | 70,44         | 0,00          | 65,14         | 73,81         |
| 6       | 58,79                                          | 70,44         | 0,00          | 68,15         | 76,89         |
| 7       | 61,78                                          | 71,46         | 0,00          | 70,15         | 78,94         |
| 7,5     | 0,00                                           | 0,00          | 77,86         | 0,00          | 0,00          |
| 8       | 61,78                                          | 72,48         | 77,86         | 72,16         | 79,96         |
| 9       | 63,78                                          | 72,48         | 0,00          | 74,16         | 83,04         |
| 10      | 64,77                                          | 73,50         | 0,00          | 75,16         | 84,06         |
| 10,5    | 0,00                                           | 0,00          | 77,86         | 0,00          | 0,00          |
| 11      | 65,77                                          | 73,50         | 78,88         | 76,16         | 85,09         |
| 12      | 65,77                                          | 73,50         | 78,88         | 76,16         | 86,11         |
| 13      | 67,76                                          | 74,52         | 79,91         | 78,17         | 87,14         |
| 14      | 68,76                                          | 75,54         | 80,93         | 78,17         | 88,16         |
| 15      | 68,76                                          | 76,57         | 80,93         | 79,17         | 89,19         |

| t<br>(min)  | Corrente (A)     |                  |                  |                  |                  |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|             | A = 0 + C<br>= 0 | A = 1 + C<br>= 0 | A = 2 + C<br>= 0 | A = 0 + C<br>= 1 | A = 0 + C<br>= 2 |
| <b>0,25</b> | 0,29             | 0,48             | 0,50             | 0,23             | 0,21             |
| <b>0,5</b>  | 0,32             | 0,54             | 0,58             | 0,31             | 0,30             |
| <b>0,75</b> | 0,37             | 0,58             | 0,62             | 0,38             | 0,37             |
| <b>1</b>    | 0,42             | 0,61             | 0,65             | 0,41             | 0,43             |
| <b>2</b>    | 0,48             | 0,64             | 0,68             | 0,50             | 0,56             |
| <b>3</b>    | 0,51             | 0,67             | 0,72             | 0,55             | 0,63             |
| <b>4</b>    | 0,55             | 0,67             | 0,73             | 0,61             | 0,67             |
| <b>5</b>    | 0,57             | 0,69             |                  | 0,65             | 0,72             |
| <b>6</b>    | 0,59             | 0,69             |                  | 0,68             | 0,75             |
| <b>7</b>    | 0,62             | 0,70             |                  | 0,70             | 0,77             |
| <b>7,5</b>  |                  |                  | 0,76             |                  |                  |
| <b>8</b>    | 0,62             | 0,71             | 0,76             | 0,72             | 0,78             |
| <b>9</b>    | 0,64             | 0,71             |                  | 0,74             | 0,81             |
| <b>10</b>   | 0,65             | 0,72             |                  | 0,75             | 0,82             |
| <b>10,5</b> |                  |                  | 0,76             |                  |                  |
| <b>11</b>   | 0,66             | 0,72             | 0,77             | 0,76             | 0,83             |
| <b>12</b>   | 0,66             | 0,72             | 0,77             | 0,76             | 0,84             |
| <b>13</b>   | 0,68             | 0,73             | 0,78             | 0,78             | 0,85             |
| <b>14</b>   | 0,69             | 0,74             | 0,79             | 0,78             | 0,86             |
| <b>15</b>   | 0,69             | 0,75             | 0,79             | 0,79             | 0,87             |

| t<br>(min) | Temperatura (°C) |                  |                  |                  |                  |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | A = 0 + C<br>= 0 | A = 1 + C<br>= 0 | A = 2 + C<br>= 0 | A = 0 + C<br>= 1 | A = 0 + C<br>= 2 |
| 0          | 42,0             | 42,0             | 42,0             | 42,0             | 42,0             |
| 0,25       | 41,9             | 41,9             | 41,9             | 42,0             | 42,0             |
| 0,5        | 41,8             | 41,9             | 41,9             | 41,9             | 41,9             |
| 0,75       | 41,7             | 41,7             | 41,8             | 41,9             | 41,9             |
| 1          | 41,6             | 41,6             | 41,8             | 41,8             | 41,8             |
| 2          | 41,4             | 41,5             | 41,7             | 41,6             | 41,7             |
| 3          | 41,2             | 41,4             | 41,5             | 41,5             | 41,5             |
| 4          | 41,0             | 41,3             | 41,4             | 41,3             | 41,4             |
| 5          | 40,9             | 41,1             |                  | 41,2             | 41,2             |
| 6          | 40,7             | 41,0             |                  | 41,1             | 41,1             |
| 7          | 40,7             | 40,9             |                  | 40,9             | 41,0             |
| 7,5        |                  |                  | 40,9             |                  |                  |
| 8          | 40,5             | 40,8             | 40,9             | 40,8             | 40,9             |
| 9          | 40,4             | 40,7             |                  | 40,7             | 40,7             |
| 10         | 40,3             | 40,6             |                  | 40,6             | 40,6             |
| 10,5       |                  |                  | 40,6             |                  |                  |
| 11         | 40,2             | 40,5             | 40,5             | 40,5             | 40,5             |
| 12         | 40,0             | 40,4             | 40,4             | 40,4             | 40,5             |
| 13         | 39,9             | 40,3             | 40,3             | 40,3             | 40,4             |
| 14         | 39,8             | 40,2             | 40,2             | 40,2             | 40,3             |
| 15         | 39,7             | 40,1             | 40,1             | 40,1             | 40,2             |





## APÊNDICE I – Cálculo dos custos de operação

$$C_{\text{operação}} = a \cdot C_{\text{energia}} + b \cdot C_{\text{eletrodo}}$$

Sendo:

$a$  = custo de energia = R\$215,20/MWh ou R\$0,2152/kWh

$$C_{\text{energia}} = \text{Consumo de energia} = \frac{E i t}{V}$$

Onde:  $E$  = [V];  $i$  = [A];  $t$  = [s];  $V$  = [m<sup>3</sup>]

$b$  = custo mássico da placa [R\$/kg<sub>Al</sub>]

Onde: Dimensões da placa = 2m × 1m × 1mm →  $V = 0,002\text{m}^3$

Valor da placa = R\$111,00

Densidade do alumínio:  $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Então:

$$b = \frac{R\$111,00}{2,7 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,002\text{m}^3} = R\$20,55556/\text{kg}_{\text{Al}}$$

$C_{\text{eletrodo}} = \text{Consumo de eletrodo} [\text{kg/m}^3]$

$$C_{\text{eletrodo}} = \frac{m}{1000 V}$$

Onde:  $m$  = massa de Faraday ou de eletrodo perdida [g]

$V$  = volume de efluente tratado [m<sup>3</sup>]