



## II-019 – ELETROFLOTAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

### **Jorge Matheus Hoeltz<sup>(1)</sup>**

Químico Industrial pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental pela UNISC. Bolsista/Pesquisador pela ARACRUZ CELULOSE S.A Unidade de Guaíba/RS.

### **Clovis Zimmer**

Químico Industrial pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Engenharia de Processamento e Produção de Celulose pela USP. Especialização em Engenharia da Qualidade pela PUC/RS. Gerente da Qualidade e Meio Ambiente da ARACRUZ CELULOSE S.A Unidade de Guaíba/RS.

### **Delcio Leonam Froes Arndt**

Técnico em Papel e Celulose pela Escola Gomes Jardim, Guaíba/RS. Arquiteto e Urbanista pela PUC/RS.

### **Enio Leandro Machado**

Químico Industrial pela UFSM, Doutor em Engenharia pela UFRGS. Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Professor Adjunto do Departamento de Química e Física Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC/RS.

### **Lourdes Teresinha Kist**

Química pela UFSM. Doutora em Química pela UFSC. Professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Professora Titular do Departamento de Química e Física da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC/RS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** UNISC / Av. Independência, 2293 - Caixa Postal 188 – Universidade de Santa Cruz do Sul - Bairro Universitário – Santa Cruz do Sul – RS – CEP 96.815-900 – Brasil – Tel: 0xx (51) 3717-7545 email: [jmhoeltz@aracruz.com.br](mailto:jmhoeltz@aracruz.com.br), [matheushoeltz@yahoo.com.br](mailto:matheushoeltz@yahoo.com.br)

### **RESUMO**

A indústria de papel e celulose tem grande importância para a economia da América do Sul devido a enorme disponibilidade de recursos florestais, sendo o Brasil e o Chile os maiores produtores de celulose da região. Contudo, estas indústrias apresentam alto consumo de água no processo de produção para obtenção da celulose, gerando grandes volumes de efluentes líquidos a serem tratados com característica refratária e contendo poluentes tóxicos que apresentam poluentes orgânicos persistentes (POP's), assim, apresentando alta contaminação ambiental. A eletroflotação (EF) foi estudada utilizando-se amostra real e o desenvolvimento do trabalho e suas respectivas análises laboratoriais foram realizadas na própria indústria. A técnica de EF foi utilizada como pós-tratamento primário com o objetivo de reduzir principalmente DQO para os processos subsequentes da estação de tratamento de efluentes (ETE). Para os testes em planta foi utilizado um reator de EF em escala semi-piloto de volume útil de 100L, executando-se os testes sempre em fluxo contínuo e com variações no tempo de retenção hidráulico (TRH) no reator de 40, 60 e 80 minutos. Utilizou-se cinco diferentes densidades de corrente que variaram entre 10,7 a 53,5 A/m<sup>2</sup>. Os parâmetros pré-estabelecidos para as análises laboratoriais são os seguintes: pH, DQO, cor, turbidez, cloretos, condutividade e temperatura. A partir de uma densidade de corrente de 32,1 A/m<sup>2</sup> o efluente tratado saindo do reator começa a apresentar significativas reduções de DQO. Obtiveram-se reduções superiores a 50% quando aplicadas densidades de corrente acima de 53,5 A/m<sup>2</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de efluentes, Eletrooxidação, Eletroflotação, Celulose e Papel.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria de papel e celulose tem grande importância para a economia da América do Sul devido a enorme disponibilidade de recursos florestais, sendo o Brasil e o Chile os maiores produtores de celulose da região. No Brasil, usa-se preferencialmente madeira *Eucalyptus grandis*, com uma produção ao redor de 6 milhões de toneladas de polpa por ano (ALMEIDA, 2004).

A indústria da celulose de mercado é altamente competitiva e também sensível às alterações da capacidade da indústria, estoques dos produtores e alterações cíclicas das economias mundiais, tendo uma importância



indiscutível da parcela econômica mundial (ARACRUZ, 2007). Contudo, as empresas de papel e celulose apresentam um elevado potencial de contaminação ambiental, não somente pela geração de poluentes tóxicos que apresentam poluentes orgânicos persistentes (POP's) que têm características de compostos refratários, mas também pelo alto consumo de água no processo de produção para obtenção da celulose (KREETACHAT, 2006).

Sabe-se que há dificuldades em tratar grandes volumes de efluentes líquidos produzidos em pequenas áreas, sendo necessário grandes áreas para instalação de estações de tratamento de efluentes (ETE). Em função deste panorama, muitos estudos tem sido realizados buscando desenvolver tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos efluentes industriais. Devido a complexidade dos efluentes industriais e a diversidade de compostos altamente tóxicos, cada estudo de viabilidade deve ser realizado de forma separada e previamente a concepção de planta de tratamento (BERTAZZOLI, 2001; LANKFORD, 1990).

Assim sendo, neste trabalho foi investigada a utilização da eletroflotação e eletrooxidação como processo integrado aos tratamentos primário, secundário e terciário já existentes na ETE da fábrica produtora de celulose e papel localizada no RS, Brasil.

O presente trabalho contém estudos realizados em planta, com amostra real e simulando-se uma situação de processo que possa vir a integrar parte do tratamento de efluente da indústria gerando menos custos e para que o descarte para o lago Guaíba ocorra de forma a não ultrapassar os parâmetros legislados pela FEPAM, órgão que fiscaliza as leis ambientais vigentes para o estado do Rio Grande do Sul.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Coleta e Caracterização

As coletas para caracterização do efluente primário se deram pós os trocadores de calor da ETE da ARACRUZ CELULOSE, Unidade de Guaíba. Acondicionadas, as amostras foram levadas para o Laboratório Meio Ambiente da fábrica para realização das análises laboratoriais. Onde os parâmetros gerais analisados foram os seguintes: DQO, turbidez, cor aparente 410nm, condutividade, cloretos, pH e temperatura. Os procedimentos de análise e preservação das amostras foram feitos conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21<sup>o</sup> ed., 2005. As análises foram realizadas em triplicata em três dias distintos.

### Reator de Eletroflotação (EF)

O conjunto de equipamentos utilizado para a realização dos testes em fluxo contínuo é constituído de um reator de EF de volume útil de 100L compartimentado com chicanas para agitação hidráulica do efluente sem que perda-se a composição dos flocos formados, dois eletrodos (positivo e negativo) dispostos dentro das células (6) do reator de EF e fonte de alimentação (CC) para fornecimento de energia. Ver Figura 1.

### Eletroflotação em fluxo contínuo

O efluente primário foi transferido diretamente de uma válvula de um dos trocadores de calor da ETE e adicionado ao reator de EF através de uma mangueira SBR de 3/4" adaptada a válvula de entrada do reator de EF com regulação de vazão.

Os ensaios de tratamento foram realizados em unidade semi-piloto, como as configurações apresentadas na Figura 1. Os tratamentos em fluxo contínuo foram avaliados em três vazões diferentes com tempos de retenção hidráulico (TRH) no reator em aproximadamente 40, 60 e 80 minutos e cinco densidades de correntes distintas entre 10,7 e 53,5 A/m<sup>2</sup>. O pH e a temperatura de estudo não foram alterados, ficando o pH próximo a neutralidade e a temperatura próxima a 38° C.

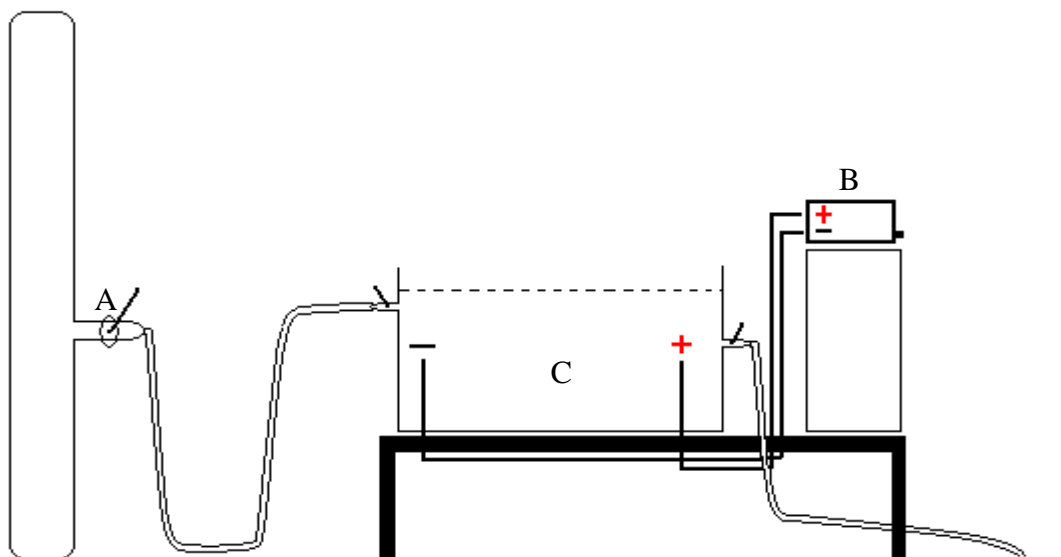
### Parâmetros operacionais de controle

Os parâmetros fixos para os testes foram: intensidade de corrente (I), densidade de corrente (i), TRH (min) e vazão (L/h). E os parâmetros de controle foram: ddp (V) e potência aplicada no reator (kWh m<sup>-3</sup>).

A partida dos ensaios de tratamento via eletroflotação envolveram o enchimento total das células compartimentadas do reator e o acionamento da fonte com as intensidades de corrente pré-estabelecidas. O tempo de EF iniciava-se somente após o reator estar estável em suas condições de vazão (Q) e intensidade de corrente (i).



Figura 1: Sistema semi-piloto para estudos dos métodos de eletroflotação em fluxo contínuo: A – Trocador de calor; B – Fonte de alimentação; C - Reator de eletroflotação.



## RESULTADOS

Na Tabela 1, estão dipostos os resultados da caracterização do efluente bruto que foi coletado na válvula pós-trocador de calor na ETE. As coletas ocorreram em três dias distintos e observa-se a efetividade de equalização do efluente bruto.

Tabela 1: Caracterização do efluente primário pós-trocador de calor da ETE da ARACRUZ – UG.

Parâmetros	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Média	%variação
pH	7,20	7,48	7,60	<b>7,4</b>	5,3
Temperatura °C	43	42	40	<b>41,7</b>	7,0
Condutividade mS cm <sup>-1</sup>	3,13	3,01	3,01	<b>3,1</b>	3,8
Turbidez UT	230	135	129	<b>164,7</b>	43,9
Cloretos mg L <sup>-1</sup>	512	482	472	<b>488,7</b>	7,8
DQO mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	1187	1143	1194	<b>1174,7</b>	4,3
Cor 410nm mg L <sup>-1</sup> PtCo	2090	2398	1907	<b>2131,7</b>	20,5

O efluente apresenta repetibilidade dos valores nos parâmetros analisados. O maior percentual de variação está na turbidez do efluente bruto, sendo que este parâmetro não influencia quando aplicado o tratamento por EF.

Os ensaios de tratamento nas diferentes densidades de corrente apresentam reduções gradativas nos parâmetros analisados assim que aumenta-se a densidade corrente aplicada. As Tabela 2, 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para as três diferentes vazões utilizadas para avaliar o processo.



Tabela 2: Resultados obtidos para a condição de 72 L/h, TDH = 80 minutos.

Parâmetros	Densidade de corrente A/m <sup>2</sup>					
	Bruta	10,7	21,4	32,1	42,9	53,5
pH	6,76	7,31	8,48	10,19	10,30	10,46
Temperatura °C	36 - 42	35	35	38	37	42
Condutividade mS cm <sup>-1</sup>	2,24 - 2,82	2,48	2,53	2,23	2,20	2,19
Turbidez UT	183	305	251	27	12	13
Cloretos mg L <sup>-1</sup>	444 - 508	387	393	436	434	438
DQO mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	1222	905	805	802	696	616

Tabela 3: Resultados obtidos para a condição de 100 L/h, TDH = 60 minutos.

Parâmetros	Densidade de corrente A/m <sup>2</sup>					
	Bruta	10,7	21,4	32,1	42,9	53,5
pH	7,02	7,80	8,50	9,20	9,61	9,95
Temperatura °C	38 - 40	35	35	35	39	39
Condutividade mS cm <sup>-1</sup>	2,49 - 2,82	2,85	2,84	2,65	2,49	2,51
Turbidez UT	111	351	283	37	36	19
Cloretos mg L <sup>-1</sup>	433 - 517	411	417	537	527	510
DQO mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	1086	1099	937	719	717	659

Tabela 4: Resultados obtidos para a condição de 150 L/h, TDH = 40 minutos.

Parâmetros	Densidade de corrente A/m <sup>2</sup>					
	Bruta	10,7	21,4	32,1	42,9	53,5
pH	6,35	6,66	9,01	9,16	7,52	9,66
Temperatura °C	35 - 40	35	36	38	37	36
Condutividade mS cm <sup>-1</sup>	2,50	2,65	2,60	2,56	2,52	2,52
Turbidez UT	126	153	131	53	65	29
Cloretos mg L <sup>-1</sup>	508	568	526	512	525	511
DQO mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	925	958	723	620	606	578

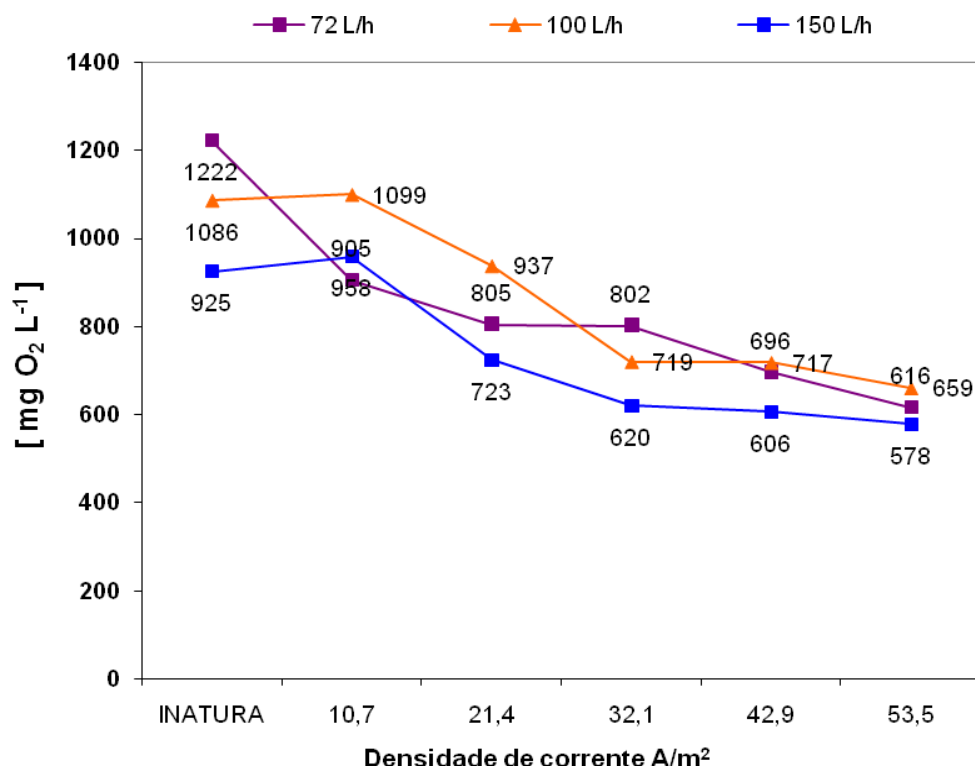
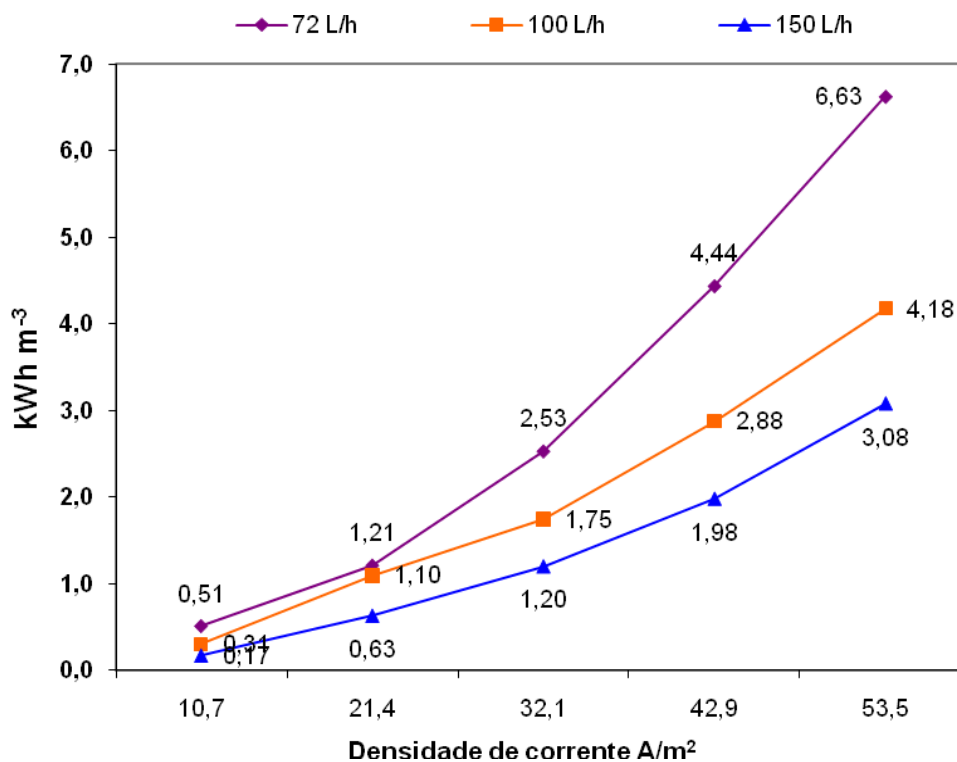
Figura 2: Evolução da redução de DQO ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ) para as diferentes vazões testadas.

Figura 3: Potência do reator de EF nos diferentes métodos avaliados.





Nas figuras 2 e 3, podemos observar as reduções de DQO e a potência do reator nas combinações de métodos utilizados para avaliar a melhor condições operacional do reator de EF para com o efluente oriundo do tratamento primário pós trocador de calor da ETE.

O estudo nos mostra que com o aumento do TRH há um ganho na redução de DQO, mas já a diminuição do TRH tem-se uma menor potência aplicada no reator, então, tem que se correlacionar as variáveis para encontrar as melhores condições operacionais sem gasto excessivo de energia e desgaste dos eletrodos, que dependem diretamente da intensidade de corrente aplicada nas células eletrolíticas do reator.

Até a densidade de corrente de  $21,4 \text{ A/m}^2$  tem-se uma baixa geração de coagulante *in situ* fazendo com que o efluente tratado não apresente uma boa separação de fase, mas, a partir de  $32,1 \text{ A/m}^2$  o processo começa a apresentar uma boa separação de fase e conseqüentemente um percentual representativo de redução de DQO acima de 35% para os métodos estudados. Ultrapassando os  $53,5 \text{ A/m}^2$  com uma vazão de  $72 \text{ L/h}$  se tem reduções de DQO acima de 50%, mas, não sendo viável neste caso, pois, a potência aplicada é muito elevada quando transposta para escala industrial.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O efluente oriundo de indústria de celulose e papel tem condições de ser tratado *via* Eletroflotação (EF), sendo que o ponto utilizado para a aplicação da técnica foi determinante para um bom desempenho do processo que consiste basicamente em separação de fases e pré-oxidação para posteriores etapas dos processos de tratamentos do efluente na ETE.

O estudo para a melhor aplicação do método foi correlacionando-se as variáveis dos processos: % redução de DQO ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ), densidade de corrente ( $\text{A/m}^2$ ) e potencia do reator de EF ( $\text{kWh m}^{-3}$ ). A utilização de um processo intermediário que possam se oscilar as variáveis quanto às características do efluente a ser tratado foi definida.

A entrada do efluente no tratamento secundário com uma menor carga de DQO facilitaria o processo de oxidação biológica, onde na indústria é utilizado o reator UNOX para este fim. Consequentemente o tratamento secundário e o tratamento terciário seriam mais eficientes em termos consumo de energia, insumos e melhor desempenho nos parâmetros legislados pela FEPAM para descarte de efluentes ao corpo receptor, principalmente quanto a DQO.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E. et al. *Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos avançados na presença de ozônio*. Quim. Nova, vol. 27, n. 5, p. 818-824, jul/ago 2004.
2. APHA/AWWA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21º ed, Washington, 2005.
3. ARACRUZ CELULOSE. *Mercado global de celulose*. Disponível em: <[http://www.aracruz.com.br/show\\_inv.do](http://www.aracruz.com.br/show_inv.do)> Acesso em: 05 abril de 2007.
4. BAYRAMOGLU, M.; KOBAY, M.; CAN, O. T.; SOZBIR, M. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*, Vol. 37, 117-125, 2004.
5. BERTAZZOLI, Rodnei.; PELEGRINI, Ronaldo. *Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico*. Quim. Nova, vol. 25, n. 3, p. 477-482, jan/fev 2001.
6. CRESPILO, F. N., REZENDE, M. O. O. *Eletroflotação: princípios e aplicações*. São Paulo: Rima Editora, 2004.
7. FOGLER, H.S. *Elements of chemical reaction engineering*. 2<sup>nd</sup> ed, Prentice Hall International Inc., New Jersey, USA, 1992.
8. GUTIÉRREZ, M.C., LÓPEZ-GRIMAU V. *Decolourisation of simulated reactive dyebath effluents by electrochemical oxidation assisted by UV light*. Chemosphere, vol. 62, p. 106-112, 2006.



9. HOLT, P. K., BARTON, G. W., MITCHELL, C. A. *The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology*. Chemosphere, vol. 59, pag. 355-367, 2005.
10. KREETACHAT, T. et al. *Effects of ozonation process on lignin-derived compounds in pulp and paper mill effluents*. Journal of Hazardous Materials, p. 250-257, agosto 2006
11. LANKFORD, P.W.; ECKENFELDER, W.W. *Toxicity reduction in industrial effluents*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
12. RIBORDY, P.; PULGARIN, C.; KIWI, J.; PÉRINGER P. *Electrochemical versus Photochemical pretreatment of industrial wastewaters*. Wat. Sci. Tech. Vol. 35, Nº 4, 293-302, 1997.
13. SINOTI, A. L. L. ; DE SOUZA, M. A. A. *Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários : estudo da sua aplicabilidade e mecanismos associados*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.
14. VIRARAGHAVAN, T.; POKHREL, D. *Treatment of pulp and paper mill wastewater – a review*. Science of the total environment, vol. 333, p. 37-58, maio 2004.