

# Avaliação do processo eletrolítico para o tratamento de esgotos sanitários, em locais de clima frio

**Capitão-de-Fragata (T) Carmen Josefa Miguelez Rodriguez**

*Encarregada da Divisão de Apoio Técnico da DOCM. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro e pós-graduada (M.Sc.) em Engenharia Ambiental – Saneamento Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.*

## Introdução

O Processo Eletrolítico, classificado como não-convencional, vem sendo estudado pela comunidade científica nacional (GIORDANO; BARBOSA FILHO, 2000; CRESPILO; RESENDE, 2004) e internacional (CHEN et al., 2005; HOLT et al., 2005) para tratamento de diversos efluentes, inclusive esgotos domésticos, apresentando várias vantagens que estimulam a verificação de sua aplicabilidade para locais em que os processos biológicos apresentam restrições, como locais de clima frio e/ou com grande variação de população (GIORDANO; BARBOSA FILHO, 2000).

Em 2005, foi solicitada pela Secretaria Interministerial de Recursos do Mar (SECIRM) à Diretoria de Obras Civis da Marinha (DOCM), uma avaliação do processo eletrolítico (com eletrodos reativos) como uma das possíveis soluções para o tratamento dos efluentes da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Na época, considerando que era uma técnica não-convencional, foi realizada uma visita à Estação por um integrante do corpo técnico da DOCM, a fim de realizar levantamento das condições locais e, posteriormente, realizar um extenso levantamento junto a algumas instituições, empresas e universidades nacionais, quanto à viabilidade da solução e estimativa de custos para

implantação do mesmo. O processo eletroquímico utilizado no âmbito da Marinha do Brasil (MB) em alguns navios, por módulos importados, utiliza eletrodos inertes (AMRJ, 2005), sendo distinto do referido processo. Tal levantamento resultou em uma especificação que previa a operação do sistema em container climatizado a 10°C. Entretanto, devido a limitações de tempo e de disponibilidade para pesquisas aplicadas, o trabalho realizado não incluía pesquisas experimentais que comprovassem a adequabilidade do processo.

Assim, houve a escolha deste tema para o desenvolvimento deste artigo, visando a complementar o trabalho realizado, incluindo pesquisas experimentais em bancada de laboratório e ensaios químicos, contribuindo para um melhor conhecimento sobre essa técnica. Na EACF, local onde a temperatura ambiente é muito baixa (temperatura média anual de -1,8 °C (1986-2005)), a flutuação de população e o consumo energético (inclusive os gastos com climatização) são fatores limitantes, o processo eletrolítico foi considerado como uma opção interessante a ser investigada (RODRIGUEZ, 2008). No âmbito da Marinha do Brasil (MB), o mesmo poderá ter aplicabilidade na Instituição, em locais com flutuação de população e, principalmente, em instalações de apoio marítimo no tratamento de efluentes contendo águas salinas, comumente utilizadas

como veículo de diluição e de transporte nos sistemas de esgotos sanitários das embarcações. Recentemente, a concessionária Águas de Niterói, responsável pela operação da ETE de Mocanguê, apresentou interesse em desenvolver um estudo de viabilidade para tratamento dos efluentes das embarcações atracadas com a utilização do processo eletrolítico, devido às limitações dos processos biológicos para tratamento de tais efluentes. Do ponto de vista acadêmico, na área de Tratamento de Águas Residuárias, a pesquisa amplia os estudos relativos à eficiência e consumo de energia do processo eletrolítico, para o tratamento de esgotos domésticos, em uma faixa de temperatura mais baixa (7°C a 22°C). Os resultados encontrados podem ser aplicados em locais de clima frio e/ou em locais sujeitos a grandes variações populacionais.

### **Propósito do Artigo**

O estudo teve por propósito verificar a adequabilidade do processo eletrolítico com eletrodos reativos para o tratamento dos efluentes da EACF, identificando as suas vantagens, limitações e impactos associados. Para tal, um dos objetivos específicos consistiu na verificação da eficiência do processo eletrolítico, considerando faixa de temperaturas abaixo dos valores recomendados para o uso de processos biológicos (7°C a 21°C +/- 1°C) e aspectos associados de consumo de energia e eficiência de redução de carga orgânica. Assim, a pesquisa buscou informações relativas à influência da temperatura no processo e no consumo de energia, de forma a verificar as mínimas temperaturas adequadas para operação do processo, visando a minorar a demanda energética, considerando o consumo do processo e da climatização.

### **Desenvolvimento**

O processo eletrolítico baseia-se nos fenômenos da eletrólise, estudados por Faraday no século XIX, e a aplicação inicial de seus fundamentos

para tratamento de efluentes, especificamente esgotos, é atribuída aos químicos ingleses Leeds e Webster no final daquele século (WIENDL, 1998). No início do século XX, o processo eletrolítico foi aplicado no tratamento de esgotos em várias localidades dos EUA, e divulgado no Brasil em 1909, pelo engenheiro sanitário Saturnino de Brito, após sua visita à ETE de Santa Mônica, Califórnia.

Os artigos científicos apresentavam várias vantagens do processo, relacionadas principalmente a qualidades organolépticas (baixa turbidez, reduzida coreausência de odor) e sanitárias, tais como: produzir sedimentos imputrescíveis, evitar o desprendimento de gases fétidos, não permitir a proliferação de moscas e reduzir a presença de microorganismos (GIORDANO, 1999).

Entretanto, na década de 20, o processo eletrolítico caiu em desuso, sendo o fato associado provavelmente a dificuldades insuperáveis para a época (NETTO et al., 1985), bem como possivelmente por estar relacionado ao desenvolvimento e disseminação dos processos biológicos, talvez por fatores econômicos: “a degradação biológica de efluentes líquidos ainda é o método mais econômico para a eliminação de poluentes orgânicos” (BILA, 2006). Apesar dessa descontinuidade em seu uso, encontram-se na literatura referências (GIORDANO, 1999) que demonstram a manutenção de interesse no processo, podendo-se destacar: a publicação de estudos realizados em 1959 por Foyn, com o primeiro registro da utilização da água do mar em escala de laboratório para aumento da condutividade do esgoto (SIFUENTES, 1992); a implantação de ETE's eletrolíticas, a partir de 1963 na Noruega (WIENDL, 1998); e a divulgação dos resultados de uma planta de tratamento eletrolítico associada à tecnologia de flotação por ar difuso, para a remoção de óleo do efluente da Ford Motor Company (OBLINGER et al., 1986 apud (GIORDANO, 1999).

Os processos biológicos, ainda os mais difundidos, de modo geral, tentam reproduzir por processos tecnológicos (em condições controladas e em taxas mais elevadas) os fenômenos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento de despejos, ou seja, a autodepuração, no qual a matéria orgânica é convertida, por mecanismos naturais, em produtos mineralizados inertes (VON SPERLING, 1996). Participa do processo um conjunto de microorganismos, formado principalmente por bactérias, além de protozoários, fungos, algas e vermes, havendo a necessidade, para o bom funcionamento do sistema, de um equilíbrio dinâmico estabelecido por interações ecológicas na comunidade microbiana, em função dos processos de transformação ocorridos no meio, além de condições de temperatura e pH adequadas. “De maneira geral, a taxa ótima de crescimento das bactérias ocorre dentro de faixas de temperatura e pH relativamente limitadas, embora a sua sobrevivência possa ocorrer dentro de faixas bem mais amplas” (VON SPERLING, 1996). Segundo Jordão e Pessoa (1995), a faixa ideal para a atividade biológica é 25° a 35°C, sendo ainda 15°C a temperatura abaixo da qual as bactérias formadoras do metano se tornam inativas na digestão anaeróbia.

A partir do final do século XX (década de 80), intensificaram-se as pesquisas de forma que atualmente o processo eletrolítico pode ser classificado como uma tecnologia com grande potencial de incremento para tratamento de diversos tipos de efluentes. Apresenta diversas características que atendem a vários fatores limitantes inerentes a situações específicas nem sempre atendidas por processos biológicos: requer pouco espaço, permite implantação modular, a sua operação independe de organismos sensíveis às variações abruptas de temperatura e carga, fácil automação, entre outras.

Segundo Smith e Riddle (2007), os fatores locais na Antártica que mais interferem no uso de

processos biológicos são: as baixas temperaturas e as variações repentinas de carga orgânica decorrentes da flutuação nas populações das estações de pesquisa, de forma similar ao problema enfrentado nos balneários (GIORDANO, 1999; GIORDANO; BARBOSA FILHO, 2000). As baixas temperaturas reduzem a eficiência do tratamento biológico e, como consequência, facilidades de aquecimento devem ser incorporadas ao sistema de tratamento. Logo, o consumo de energia inerente aos processos biológicos (bombas, aeradores (sistemas aeróbios), equipamentos de controle e auxiliares) é ainda aumentado pela necessidade de aquecimento e climatização em faixas de temperatura bem superiores à ambiente.

O aumento da demanda energética na Antártica implica em um maior consumo de combustível fóssil, principal componente da matriz energética local, com aumento de custos e de riscos ambientais. Apesar disto, a tendência de adoção de processos biológicos também é reproduzida na Antártica, sendo o processo adotado na maioria das estações (THOMSEN, 2004; HUGHES, 2004). Entretanto, estudos recentes como os publicados por Thomsen (2004) e por Smith e Riddle (2007) já divulgam as dificuldades associadas ao uso de processos biológicos na região. Thomsen (2004) pesquisou uma solução para o tratamento de efluentes da Estação antártica sueca Wasa (operada durante o verão). Realizou um extenso levantamento das soluções implantadas na região e diante das limitações, considerou uma solução modular com precipitação química, usada anteriormente pela Suécia em operações militares em outro país, como não a ideal, mas a mais adequada para Wasa. Entretanto, a melhor solução para cada estação depende de suas peculiaridades, as quais devem ser avaliadas criteriosamente, considerando-se a tecnologia disponível, desempenho, disponibilidade de água doce na forma líquida, custos e principalmente facilidade e confiabilidade de operação e de manutenção.

Thomsen não avaliou em seu estudo a opção do processo eletrolítico, mas de acordo com o seu levantamento, encontrava-se em funcionamento na estação russa Progress (77 residentes no verão e 20 no inverno) o processo eletrolítico, implantado em 2004, com a previsão de instalação desse tipo de sistema até 2010 nas demais seis estações russas na Antártica, inclusive na estação Vostok (25 residentes no verão e 13 no inverno) localizada no interior do continente.

### Metodologia Utilizada

Os experimentos com o processo eletrolítico utilizaram amostras de esgoto bruto coletadas em um condomínio residencial, no RJ, com consumo de água per capita da ordem de 300 a 350 L/hab/dia (similar ao da EACF em condições normais), e foram realizadas em laboratório credenciado pelo INMETRO, no decorrer de 2007. Neste estudo, foram adotadas condições experimentais com dois reatores com capacidade de 4L, e cujas variáveis foram: temperatura (7°C, 12°C, 17°C e 22°C ± 1°C), distância entre as placas (0,9 cm e 1,8 cm), material dos eletrodos (Al e Fe), tensão aplicada (2,1 V a 12,1 V) e tempo de retenção na câmara (10 a 46 min.), sendo investigado principalmente o efeito da variação da temperatura na eficiência do processo e no consumo de energia (Figura 1).



Figura 1- Equipamentos utilizados durante os ensaios.

Para avaliação da eficiência do processo eletrolítico no tratamento do esgoto doméstico, foram realizadas análises dos parâmetros DQO, sólidos em suspensão (SST), DBO5, turbidez e volume de lodo gerado, utilizando como referência o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st edition”. Inicialmente os testes foram realizados com o pH e condutividade do esgoto bruto coletado (da ordem de 500 µS/cm). Posteriormente, foi realizado um ajuste da condutividade para valores da ordem de 900 µS/cm, estimado a partir de análises de condutividade da água utilizada na EACF.

### Resultados Obtidos

Na faixa de temperatura ( $\Theta$ ) de 7°C a 22°C, o principal efeito observado foi a redução do consumo de energia e aumento da temperatura, conforme Figura 2 e coerente com informações constantes na literatura (CRESPILHO; RESENDE, 2004).

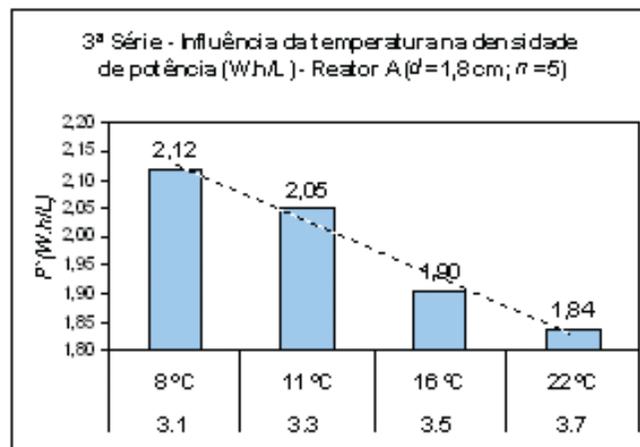


Figura 2 - 3ª série de ensaios - Influência da variação de temperatura no consumo de energia nos processos eletrolíticos no reator A (anodos de Al (n=5), i=2,9 A e t=15 min).

Foi possível verificar-se a eficiência dos eletrodos de desgaste de alumínio (Al), e de aço carbono (Fe), nos reatores A (distância entre placas (d) = 1,8 cm) e B (d=0,9 cm), em temperatura de 12°C, aplicando-se o processo durante 15 min (Reator A) e 20 min (Reator B), tendo sido obtidos os resultados mostrados na Figura 3:

### Comparação entre eletrodos alumínio (3ª série) x eletrodos de aço carbono (4ª série)

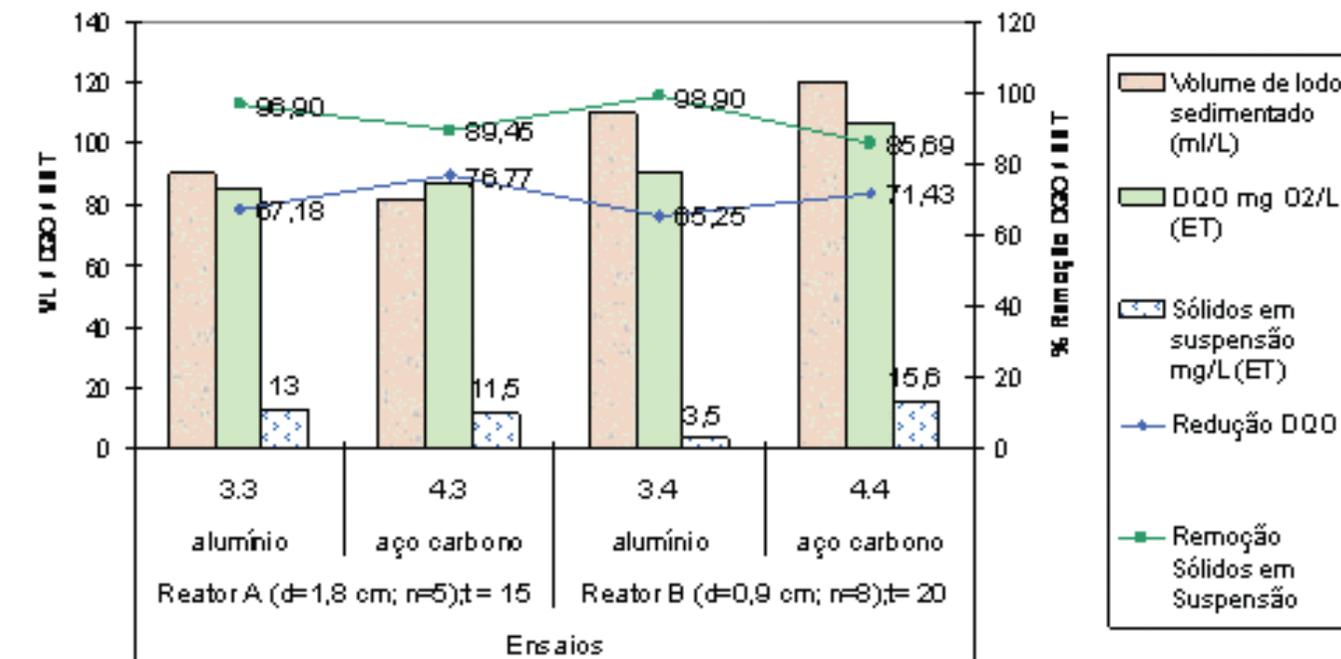


Figura 3 - Resultados obtidos com eletrodos de desgaste de alumínio (Ensaios 3.3 e 3.4) e de aço carbono (Ensaios 4.3 e 4.4).

Os índices alcançados, em temperatura de 12°C nos reatores A e B respectivamente, para redução de DQO foram de 77% e 71% (eletrodos de Fe) e 67% e 65% (eletrodos de Al); e os índices de remoção de Sólidos em Suspensão Totais (SST) alcançados foram de 97% e 99% (eletrodos de Al) e 70% e 86% (eletrodos de Fe). Sob temperatura de 15°C e condições de condutividade da ordem de 900  $\mu$ S/cm, aplicando densidade de corrente de 22,9 A/m<sup>2</sup>, 4,5 V, tempo de retenção de 25 min, e usando eletrodos de desgaste de Fe, os resultados apresentaram valores de DQO no efluente tratado de 65 mg/L (redução de 89%), DBO de 56 mg/L (redução de 64%), SST de 8 mg/L, com turbidez de 11,3 uT e, após filtração, turbidez de 3,2 uT, consumo de energia de 0,8 Wh/L. O aspecto é límpido e a qualidade final obtida é compatível para ser submetida a tratamento de desinfecção (Figura 4).



Figura 4 - Amostras de Efluente tratado e tratado e filtrado (direita). O processo eletrolítico como solução de engenharia.

A seguir é apresentado o fluxograma do modelo conceitual do sistema de tratamento de esgotos com o processo eletrolítico, conforme a Figura 5 e o Quadro 1. O sistema é feito com módulos opcionais de automação e monitoramento à distância. Entretanto, isto não dispensa um acompanhamento diário da ETE.

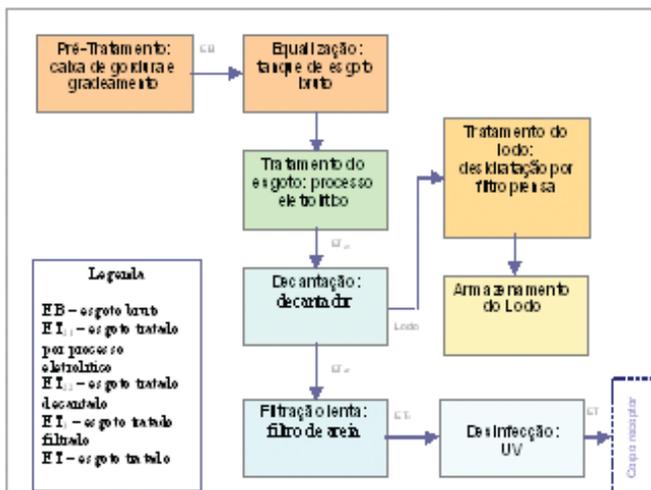


Figura 5 - Fluxograma da ETE com processo eletrolítico (RODRIGUEZ, 2008).

Operação	Descrição
Pré-Tratamento	Composto de gradeamento, com o objetivo de separar os sólidos grosseiros, além de contribuir para a integridade dos equipamentos e módulos subsequentes do sistema. Considera a existência de caixa de gordura.
Processo eletrolítico	Responsável pela eletrofloculação, eletrocoagulação e oxidação da matéria orgânica.
Decantação	Destinada à sedimentação dos flocos, separação do lodo e clarificação do efluente tratado, sendo utilizada uma unidade de decantação.
Tratamento do lodo	Realiza o adensamento do lodo gerado por meio de equipamentos do tipo filtro prensa. Após a redução de volume, pela redução da umidade, os resíduos gerados (lodo desaguado), podem ser acondicionados em tambores ou bolsas específicas para resíduos (BIG BAG'S).
Filtração	Fase do tratamento destinada à retenção de sólidos em suspensão e diminuição da turbidez, realizada por meio de um filtro de areia.
Desinfecção	Etapa destinada a garantir a eliminação dos agentes patogênicos no efluente tratado, diminuindo o risco de contaminação da fauna e flora locais e pode ser realizado por meio da aplicação de ultravioleta.
Armazenamento do lodo	Guarda temporária dos resíduos até a sua retirada da área.

Quadro 1 - Descrição das etapas apresentadas no fluxograma da Figura 5.

A Figura 6 ilustra a ETE de Glicério, localizada no município de Macaé (RJ) e administrada pela EMHUSA (Empresa Pública Municipal de Habitação, Urbanização, Saneamento e Águas de Macaé), que utiliza o processo eletrolítico com resultados satisfatórios. Em 2005, durante o levantamento realizado pela DOCM, foi efetuada visita técnica ao local por equipe do AMRJ e da DOCM. A Figura 7 ilustra uma calha eletrolítica vazia.



Figura 6 – Calha eletrolítica – ETE de Glicério, Macaé (DOCM, 2005).



Figura 7 - Calha eletrolítica vazia (GIORDANO, 1999).

## Conclusões

A eficiência da redução de matéria orgânica é influenciada por diversos parâmetros, ou seja: pela densidade de corrente aplicada (J), pela tensão (U), pelo tempo de aplicação do processo eletrolítico (t), todos relacionados à potência aplicada (P), além dos materiais do eletrodo e da temperatura do efluente. As variáveis tempo, intensidade de corrente e condutividade, também influenciam no consumo de energia.

Para  $\Theta = 7^{\circ}\text{C}$  a  $22^{\circ}\text{C}$ , o principal efeito observado foi a redução linear do consumo de energia com o aumento da temperatura, com um aumento médio no consumo de energia de 1 a 2 % por  $^{\circ}\text{C}$  diminuído a partir de  $22^{\circ}\text{C}$ .

Assim, os resultados obtidos recomendam a operação do processo eletrolítico com efluentes em temperaturas acima de  $12^{\circ}\text{C}$ , embora o processo seja operacional na faixa de temperatura avaliada ( $7^{\circ}$  a  $22^{\circ}\text{C}$ ), constituindo-se em uma alternativa para locais de clima frio.

A qualidade final do efluente, alcançada em escala de laboratório, atende aos parâmetros de redução de matéria orgânica estabelecidos pela legislação nacional (Resolução CONAMA nº 357/2005) e em legislações estaduais mais restritivas, como a do Estado de Minas Gerais (D.N. 10/86), que estabelece valores de DQO inferiores a 90 mg/L, de DBO5 inferiores a 60 mg/L e SST inferiores a 60 mg/L. O aspecto visual do efluente tratado após decantação era límpido e os valores de SST obtidos abaixo de 12 mg/L, compatíveis para serem submetidos a tratamento de desinfecção, conforme recomendado por Smith e Ridle (2007) para o ambiente antártico.

O consumo de energia estimado para o processo eletrolítico, com base nos resultados obtidos nos ensaios em bancada de laboratório, e na estimativa de efluentes gerados, foi de 0,24 kW/hab.dia. O mesmo sofre acréscimos em função dos demais equipamentos da ETE e, principalmente, da climatização do ambiente. Uma das grandes vantagens do processo eletrolítico consiste no mesmo ter apresentado resultados favoráveis a partir de 12 °C, muito inferior ao recomendado para os processos biológicos (25°C a 30°C), permitindo a manutenção das redes de esgoto e climatização do container nessa faixa de temperatura.

A faixa ideal de operação no processo eletrolítico envolve o equilíbrio entre: eficiência de remoção de matéria orgânica, menor geração de volume de lodo possível e menor consumo energético, sendo recomendável, nas demais aplicações, o estudo prévio de tratabilidade com o efluente a ser tratado ou similar para determinação dos parâmetros mais adequados de operação.

## Referencias Bibliográficas

- AMRJ. Parte de manual de ETE com equipamento "Omnipure - Severn Trent de Nora". 2005. Manual Técnico.
- BILA, D. M. Notas de aula da disciplina Tratamento de Águas Residuárias - FEN-07723. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ambiental: Saneamento Ambiental. UERJ, Rio de Janeiro, 2006.

- CHEN, J. P.; CHANG, S-Y.; HUNG, Y-T. Electrolysis. In: WANG L. K.; HUNG Y-T.; SHAMMAS N. K. *Physicochemical Treatment Processes*. Humana Press, 2005. Chapter 10, p. 359-378. (*Handbook of Environmental Engineering*, v. 3).

- CRESPILO, F. N., REZENDE, M. O. O. *Eletroflotação: princípios e aplicações*. São Carlos: RiMa, 2004.

- DOCM/AMRJ. Relatório da visita efetuada na Estação de Tratamento de Esgotos de Glicério - Macaé, em 11 mar. 2005. Rio de Janeiro, 14 mar. 2005.

- GIORDANO, G. Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos. 1999. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

- Giordano, G.; Barbosa Filho, O. *O processo eletrolítico aplicado ao saneamento ambiental de balneários*. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Rio Grande do Sul. Anais eletrônicos... [s.l.]: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-055.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2008.

- HOLT, P. K.; BARTON, G. W.; MITCHELL, C. A. *The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology*. Chemosphere, v. 59, p. 355-367, apr. 2005.

- HUGHES, Kevin.A. *Reducing sewage pollution in the Antarctic marine environment using a sewage treatment plant*. Marine Pollution Bulletin, Cambridge, UK, n. 49, p. 850-853, 2004.

- JORDÃO E. P.; PESSÔA C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

- NETTO, J. B. P.; NOGUEIRA, W. A.; RAMOS, W. *Experiência Capixaba na Aplicação do Processo de Coagulação elétrica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13, Maceió, 1985. Anais.... Rio de Janeiro: ABES, 1985, Tema - água, p.1-23.

- RODRIGUEZ, C. J. M. *Tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico*. 2008. 251f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental: Saneamento Ambiental) – UERJ, Rio de Janeiro, 2008.

- SIFUENTES, E. L. S. E. Estudo do Tratamento Eletrolítico das Águas Residuárias de uma Indústria de Doces. 1992. 172p. Tese Doutorado (Engenharia de Alimentos): Universidade Estadual de Campinas, 1992.

- SMITH, J. J.; RIDDLE, M. (2007) Sewage disposal and wildlife health in Antarctica, in Kerry, K.; Shellam, M.; Riddle, M., Eds. *Diseases of Antarctic Wildlife*, chapter Unknown. Springer-Verlag.

- THOMSEN, A. Waste water treatment in Antarctica: a feasibility study for grey water at Wasa station. 2004. 66f. Thesis (Master of Science Industrial Ecology). KTH, Stockholm, 2005.

- VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

- WIENDL, W.G. *Processo Eletrolítico no Tratamento de Esgotos Sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 1998. 368p.