



## Eletrodiálise Reversa e Nanofiltração como tratamento de água para abastecimento público

Luciana Ely Bacher<sup>1</sup>, Carla Denize Venzke<sup>2</sup>, Alexandre Giacobbo<sup>3</sup>, Júlia Striving<sup>4</sup>, Marco Antônio Siqueira Rodrigues<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Feevale (luciana\_bacher@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Feevale (carladenize@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (alexandre\_giacobbo@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Universidade Feevale (juliastriving@yahoo.com)

<sup>5</sup> Universidade Feevale (marcoantonio.marco@gmail.com)

### Resumo

Um sistema piloto de eletrodiálise reversa (EDR) da Hidrodex, modelo EDR 0,25-100 1E 1s1e e um sistema piloto de nanofiltração (NF) da marca PAM, foram instalados na estação de tratamento de água, Serviços de Água e Esgoto de Novo-Hamburgo-COMUSA. Neste município, a coleta de água para abastecimento público é proveniente do Rio dos Sinos, o qual é considerado o mais poluído do estado do Rio Grande do Sul. Foi avaliada a água tratada de um sistema convencional na COMUSA, após o tratamento de EDR e de NF. Na EDR, aplicou-se dois potenciais, 185 V e 400 V, com densidade de corrente elétrica de 0,14 mA.cm<sup>-2</sup> e 0,07 mA.cm<sup>-2</sup>, respectivamente e vazão de produto de 250 L.h<sup>-1</sup>. Para a NF, utilizou-se duas pressões, 1 bar e 2 bar, com vazão de rejeito de 6 L.min<sup>-1</sup> e 7,5 L.min<sup>-1</sup>. Obteve-se resultados de Ep% para EDR acima de 80% e redução da condutividade em 80%. Com a NF, obteve-se taxas de remoção acima de 95% para íons cloreto, fluoretos, nitrato e sulfato, acima de 75% para magnésio e potássio e redução de condutividade em torno de 90%. Conclui-se que ambas as tecnologias são promissoras para a melhora da qualidade da água de abastecimento público, em vista da má condição da água dos rios onde a COMUSA capta água bruta.

Palavras-chave: Eletrodiálise-reversa. Nanofiltração. Tratamento de água.

Área temática: Tecnologias Limpas

### Abstract

A reverse electrodialysis pilot plant (RED) of Hidrodex, model EDR 0.25-100 1E 1s1e and nanofiltration pilot plant (NF) brand PAM, were installed at the water treatment plant, Water Services and sewer to Novo Hamburgo-COMUSA. In this municipality the collection of water for public supply is from the Rio dos Sinos, which is considered the most polluted in the state of Rio Grande do Sul. Treated water was evaluated in a conventional system in COMUSA after treatments by RED and NF. In RED was applied two electrical potentials, 185 V and 400 V, with current density of 0.14 mA.cm<sup>-2</sup> and 0.07 mA.cm<sup>-2</sup>, respectively, and with a product flow rate of 250 Lh<sup>-1</sup>. For NF, it was evaluated two pressures, 1 bar and 2 bar, with a rejection flow rate of 6 L.min<sup>-1</sup> and 7.5 L.min<sup>-1</sup>. Getting up results of Ep% RED above 80% and the reduction of conductivity of 80%. The NF yielded removal rates above 95% for chloride ions, fluoride, sulfate and nitrate, above 75% for magnesium and potassium and reducing conductivity nearby 90%. We conclude that both technologies are promising for the improvement of public drinking water quality, due to the poor condition of water from rivers where the COMUSA collects the raw water.

Keywords: Electrodialysis reverse. Nanofiltration. Convencional treatment.

Thematic area: Clean Technologies



## 1. Introdução

A problemática da água é mundial, onde alternativas como a dessalinização da água vem crescendo afim de sanar este problema (THAKUR, 2014). O Brasil, possui uma disponibilidade hídrica invejável, possuindo 13% de água doce do planeta (ANA, 2014). No entanto, nossos rios padecem, por receberem despejos industriais e domésticos sem tratamento adequado.

O Rio dos Sinos, hoje é considerado o mais poluído do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2009). Este rio é responsável pelo abastecimento de água para cerca de 1,2 milhões de habitantes. Na região do vale dos Sinos o abastecimento da cidade de Novo Hamburgo é garantido através da estação de tratamento de água, Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo-COMUSA. Nesta empresa, realiza-se o tratamento convencional (físico – químico), mas este tratamento pode, em breve, não atender a qualidade de água para o abastecimento.

Alguns autores salientam a presença de cromo hexavalente nas águas dos Sinos, em concentrações de até  $0,075 \text{ mg L}^{-1}$ , como possível contribuinte para o efeito tóxico e genotóxico (FRONER, 2012; KONZEN, 2013; BENVENUTI *et al.*, 2015a; Costa *et al.*, 2014, BENEVENUTI *et al.*, 2015b; KIELING-RUBBIO *et al.*, 2015). Ultimamente, tem-se estudado e aplicado tecnologias de separação por membranas no tratamento de água, de modo que estas tecnologias estão em crescente aplicação na produção de água potável (MONTANÃ *et al.*, 2013). Dentre os principais processos de separação por membranas estão: microfiltração, nanofiltração, osmose reversa, ultrafiltração e eletrodiálise reversa.

Neste trabalho, avaliou-se a eletrodiálise reversa (EDR) e a nanofiltração (NF), operando em sistemas piloto na estação de tratamento de água da COMUSA. A EDR, baseia-se em uma aplicação de diferencial de potencial elétrico entre dois eletrodos de platina (cátodo e ânodo) para gerar um gradiente de potencial, onde os sais dissolvidos na forma iônica migram para os eletrodos de cargas opostas (GOODMAN *et al.*, 2013). Os íons presentes na água são transportados através de membranas ión-seletivas, que por ação de um campo elétrico, migram de uma solução para outra, originando duas novas soluções: uma mais diluída e outra mais concentrada (SOLT, 1971; STRATHMANN, 1995; BERNARDES *et al.*, 2008a; BERNARDES *et al.*, 2008b; TANAKA (2009), RODRIGUES *et al.*, 2008).

Na NF, a força motriz é o gradiente de pressão. Com propriedades entre as da ultrafiltração (UF) e osmose reversa (OR), as membranas de NF possuem tamanho de poro tipicamente de 1 nm que corresponde ao peso molecular de corte de 300-500 Da (ALEXSANDROVA, 2006). Semelhantes às membranas e OR, as membranas de NF são eficazes na separação de sais inorgânicos e pequenas moléculas orgânicas. As características principais que diferem as membranas de NF em relação as membranas de osmose reversa (OR), são baixos índices de rejeição a íons monovalentes, alta rejeição a íons bivalentes e maior fluxo comparado com as membranas de OR. Essas propriedades têm permitido à NF ser aplicada em nichos em áreas variadas, especialmente para tratamento de água e águas residuais, com aplicações nas indústrias farmacêutica, de biotecnologia e engenharia de alimentos (MOHAMMAD *et al.*, 2014; ALEXSANDROVA, 2006; STREIT, 2011).

A primeira planta de tratamento de água, utilizando a EDR, foi instalada em Washington (EUA), em 1993, onde foi autorizado o estudo para determinar o custo efetivo e uma maneira de remoção do rádio, bem como melhorar a qualidade da água tratada (HAYS, 2000).

A NF surge como processo eficaz na remoção de compostos carcinogênicos (trihalometanos) derivados da etapa de cloração, comumente empregada para a desinfecção da água pós-tratamento convencional, quando compostos orgânicos reagem com o cloro. A NF



## 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

remove matéria orgânica de forma eficiente e, dependendo da membrana, também apresenta uma elevada recuperação de água, bem como uma elevada rejeição a sais multivalentes, com a vantagem de apresentar um menor consumo de energia que a OR (GARCÍA-VAQUERO *et al.*, 2014).

O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação da EDR e NF como tratamento terciário da água de abastecimento público fornecida pela COMUSA.

### 2. Materiais e Métodos

Para a realização dos experimentos foi utilizado um sistema piloto de EDR da Hidrodex, modelo EDR 0,25-100 1E 1s1e, instalado na COMUSA. O *stack* contém 100 membranas, sendo 50 catiônicas, MC 40 Hidrodex® e 50 aniônicas, MA 40 Hidrodex®. O *stack*, também é composto por espaçadores de polipropileno e dois eletrodos de titânio/platinizado. Os experimentos de tratamento da água foram realizados utilizando dois potenciais: 185 V e 400 V, com densidade de corrente elétrica de  $0,14 \text{ mA.cm}^{-2}$  e  $0,07 \text{ mA.cm}^{-2}$ , respectivamente. O processo foi realizado em tratamento contínuo, com uma vazão de diluído de  $250 \text{ L.h}^{-1}$  e a alimentação com uma condutividade de  $75 \mu\text{S.cm}^{-1}$ . A água utilizada na alimentação da EDR foi a água pós-tratamento físico-químico da COMUSA, sendo captada antes dela passar pelos processos de desinfecção (cloro) e fluoretação.

O sistema piloto de EDR aplicado na COMUSA está representado na Figura 1.

Figura 1: Sistema piloto EDR 0,25-100 1E 1s1e.



Foi utilizado um equipamento piloto de NF fabricado pela PAM, com capacidade produtiva de  $250 \text{ L.h}^{-1}$ . Neste equipamento, foi utilizada a membrana NF 90(4040), marca Filmtec-DOW, com área de  $7,5 \text{ m}^2$ , cujo material da camada ativa é poliamida. O equipamento é composto por um quadro elétrico, manômetro, termômetro, bomba de alta pressão, filtro de cartucho, trocador de calor e um módulo de membrana, como apresentado na Figura 2.



## 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

Figura 2: Sistema piloto de Nanofiltração.



Na NF utilizou-se duas pressões, 1 e 2 bar, com vazões de rejeito de  $6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  e  $7,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , respectivamente.

Os parâmetros avaliados foram: condutividade, cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, magnésio e potássio. As amostras foram analisadas por cromatografia iônica no equipamento Dionex – ICS 5000. Os parâmetros para a caracterização da água, seguem a metodologia do Standard Methods (2005).

### 3. Resultados e Discussões

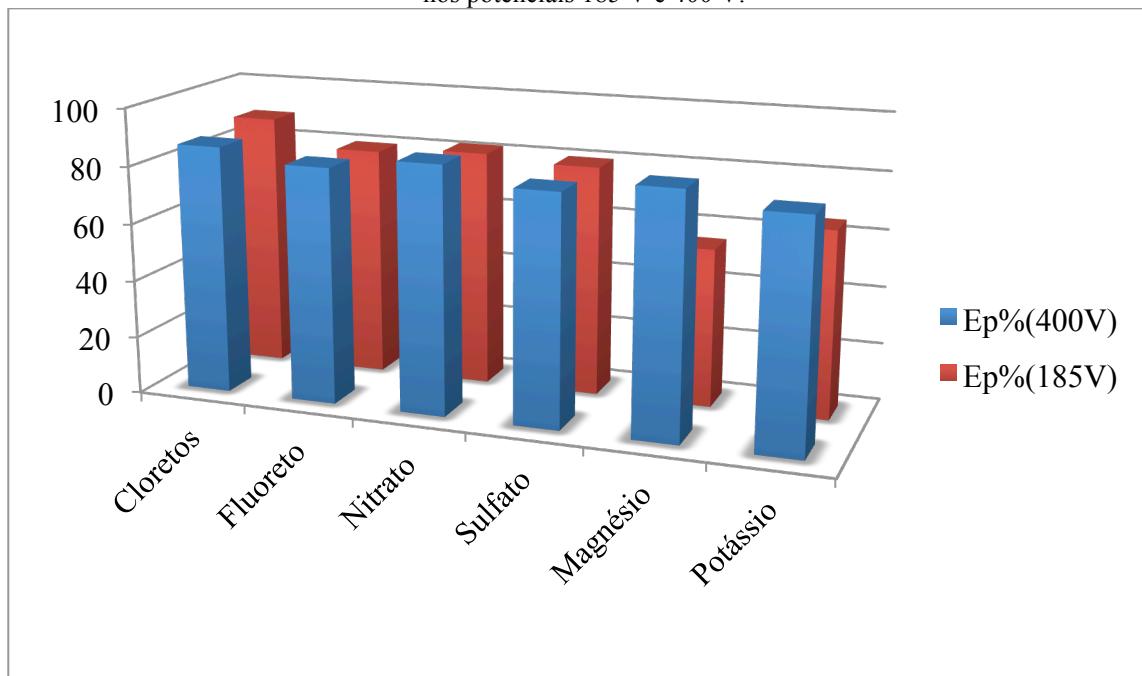
De acordo com a Figura 3, as extrações percentuais ( $Ep\%$ ) dos íons nos potenciais de 185 V e 400 V, percebe-se extrações semelhantes, acima de 80%. Apenas, em relação ao magnésio, houve uma extração menor, de 55%. Goodman *et al* (2013) encontraram valores de extração de cloreto e fluoreto na ordem de 76% e 59% respectivamente, enquanto que neste trabalho foram obtidas extrações de cloreto de 89% e de fluoreto de 82%.



## 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

Figura 3: Extrações percentuais (Ep%) da EDR, dos íons cloretos, fluoreto, nitrato, sulfato, magnésio e potássio, nos potenciais 185 V e 400 V.



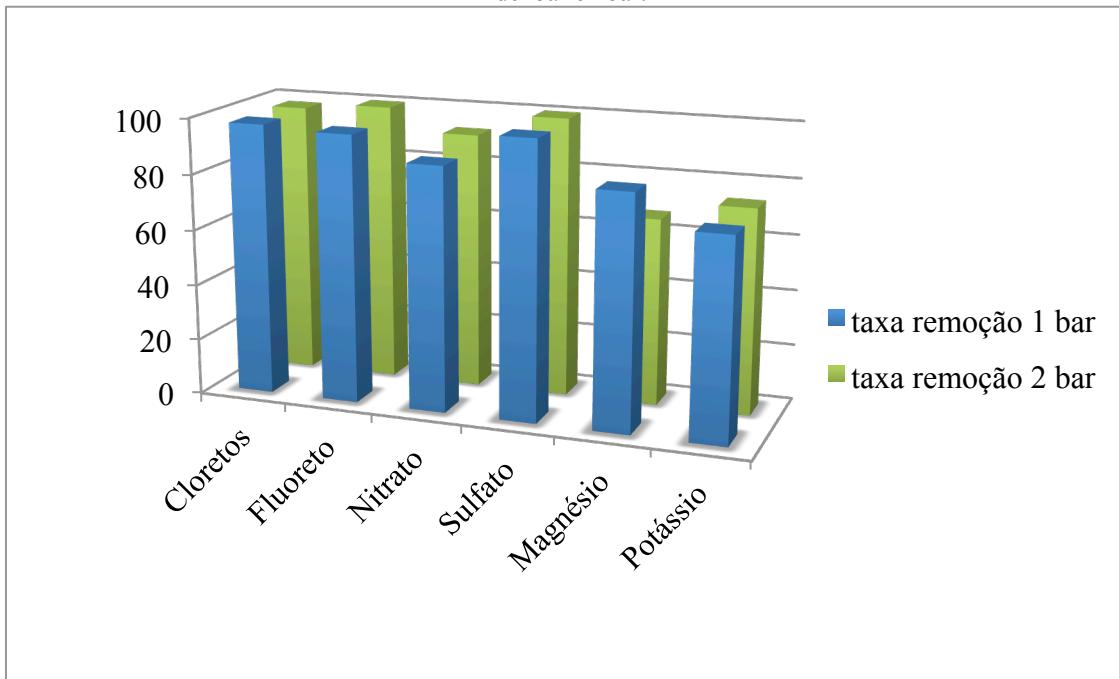
Na Figura 4 são apresentadas as taxas de remoções obtidas com a NF. Embora houve um aumento na pressão de operação, de 1 para 2 bar, também foi alterada concomitantemente a vazão de rejeito de  $6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  para  $7,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ . Ambas as condições avaliadas proporcionaram um tratamento eficiente, com remoções de cloretos, fluoreto, nitrato e sulfato superiores a 95% e remoções acima de 75% para magnésio e potássio. Corroborando com este trabalho, García-Vaquero *et al* (2014), obtiveram remoções de 97% para íons e cerca de 80% para metais, o que evidencia a eficiência da NF.



## 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

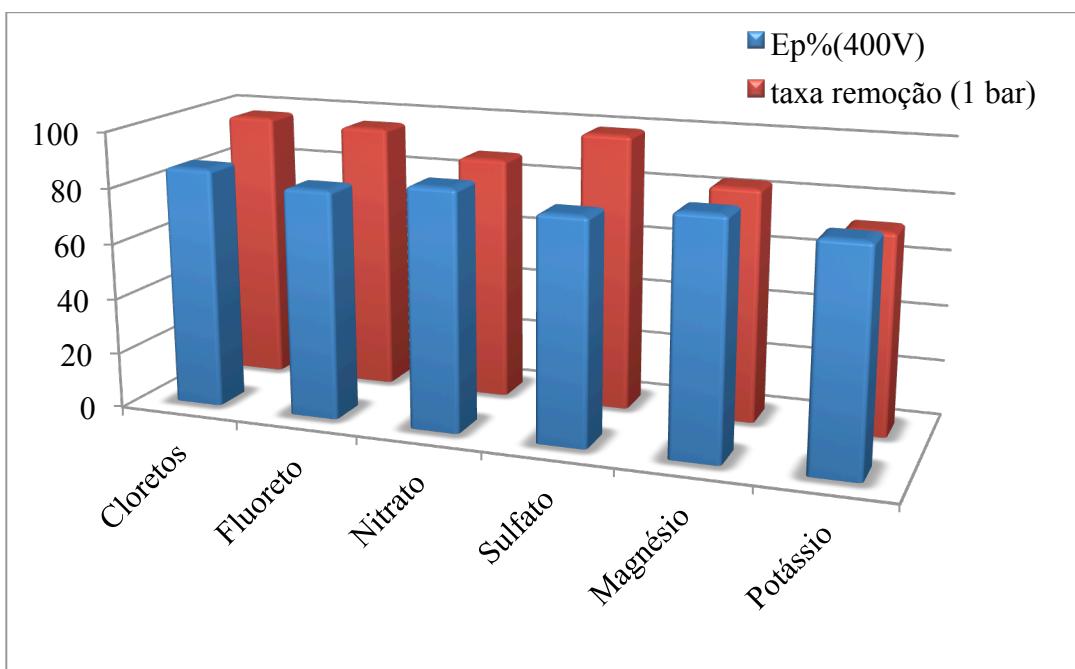
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

Figura 4: Taxas de remoção da NF, dos íons cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, magnésio e potássio nas pressões de 1bar e 2bar.



Na Figura 5 são apresentados os resultados obtidos com a NF trabalhando na pressão de 1 bar e com a EDR trabalhando com potencial elétrico de 400 V. Observa-se que as duas tecnologias de membranas foram eficientes, mas NF apresentou maiores rejeições a cloreto, fluoreto e sulfato. Em termos de condutividade, a NF proporcionou reduções em torno de 90% nas duas pressões estudadas, enquanto que a EDR proporcionou reduções por volta de 80% em ambos os potenciais elétricos avaliados.

Figura 5: Eficiências de remoção das tecnologias de NF (1 bar) e EDR (400V).





## 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

### 5. Conclusões

Conclui-se que as tecnologias se comportaram de maneira muito eficiente no tratamento água, em relação à remoção de cloretos, fluoreto, nitrato, sulfato, magnésio e potássio, bem como na redução da condutividade. Desta forma, estas tecnologias se mostraram como uma excelente alternativa para a remoção de íons, em vista da má condição da água dos rios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento (FINPE, CAPES, SCIT/RS, CNPq e FAPERGS) pelo apoio financeiro.

### Referências

- ALEXSANDROVA, S. et al: **Nitrate ions elimination from drinking water by nanofiltration Separation and Purification technology**, p. 196-200, 2006.
- BERNARDES, A. M., RODRIGUES, M.A. S, AMADO, F D R, FERREIRA, J Z FERREIRA, C A: High Impact Polystyrene/Polyaniline Membranes for the Treatment of Acidic Solutions by Electrodialysis: Preparation, Evaluation And Chemical Calculation. **Journal of Colloid and Interface Science** , v.320, p.52 - 61, 2008b.
- BERNARDES, AM., KORSENOWSKI, C., RODRIGUES, M.A., BRESCANI, L, FERREIRA, J.Z.: Purification of spent chromium bath by membrane electrolysis. **Journal of Materials**., v. 152, p.960-967, 2008a.
- Comparison of drinking water pollutant removal using a nanofiltratin pilot plant powered by energy and a convencional treatment facility. **Desalination**, v. 347, p. 94 – 102, 2014.
- COSTA, G.M.; CASSANEGO, M. B. B.; PETRY, C. T.; BENVENUTI, T.; RUBIO, M.A.K. ;RODRIGUES, M.A. S; DROSTE, A. Monitoramento químico e do potencial genotóxico para o diagnóstico da qualidade de corpos hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais(online)**, v. 32, p. 65-75, 2014.
- FEPM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, RS. Relatório da Qualidade da Água, 2009. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_sinos/sinos.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp)> Acesso em: maio de 2015.
- FRONER, D. Dissertação de mestrado: **Análise da Qualidade e do Potencial genotóxico das Águas do Arroio Luiz Rau no município de Novo Hamburgo, RS**. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS. 2012.
- GARCÍA – VAQUERO, N., LEE, E., CASTAÑEDA, J., CHO, J., LOPEZ – RAMÍREZ, J.A. GOODMAN, N.B., TAYLOR, R.J., XIE, Z., GOZUKARA, Y., CLEMENTS, A. A feasibility study of municipal wastewater desalination using electrodialysis reversal to provide recycled water for horticultural irrigation. **Desalination**, v. 317, p. 77-83, 2013.
- KIELING - RUBIOL, M. A.; BENVENUTI, T.; COSTA, G. M.; RODRIGUES, M.A.S; PETRY, C. T.; SCHMITT, J. L.; DROSTE, A. Integrated environmental assessment of streams in the Sinos river basin in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 105-113, 2015.
- KONZEN, G. B. Dissertação de Mestrado: **Gestão dos Recursos Hídricos: Elaboração de Modelos Estatísticos, para a Estimativa de Cenários Futuros – O Caso do Rio dos Sinos – RS**. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS. 2013.



## 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

MOHAMMAD, A.W., TEOW, Y.H., ANG, W.L., CHUNG, Y.T., OATTLEY-RADCLIFFE, HILAL, N. Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, vol. 356, p. 226-254, 2015.

MONTANÃ, M., CAMACHO A., SERRANO I., DEVESA R., MATIA L., VALLÉS I., Removal of radionuclides in drinking water by membrane treatment using ultrafiltration, reverse osmosis and electrodialysis reversal. **Journal of Environmental Radioactivity**. v.125. p.86-92. 2013.

SOLT, G.S.; 1971. Electrodialysis. In: Industrial Electrochemical Processes. Amsterdam: Elsevier, p. 467-496.

STRATHMANN, H.; 1995. Electrodialysis and related process. In: **Membrane Science and Technology**. v. 2, Cap. 6. p. 213-381.

STREIT, K.F. “**Estudo da aplicação de separação com membranas no tratamentos de efluentes de curtume: Nanofiltração e Eletrodiálise.**” Tese de doutorado em Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais – PPGE3M –UFRGS. Porto Alegre, 2011.

TANAKA, Y.; 2009. A computer simulation of continuos ion exchange membrane electrodialysis for desalination of saline water. *Desalination*, p. 809-821.