



## AVALIAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS DAS TECNOLOGIAS DE OSMOSE REVERSA E NANOFILTRAÇÃO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

**Luciana Ely Bacher**-Luciana\_bacher@yahoo.com.br  
Universidade Feevale  
Endereço: ERS 239, nº 2755, bairro Vila Nova  
CEP: 93525-075 - Novo Hamburgo- Rio Grande do Sul

**Carla Denize Venzke** - carladenize@gmail.com  
Universidade Feevale

**Shaiane Tasquetto Pozzebon** - shaiane.pozzebon@hotmail.com  
Universidade Feevale

**Cristiano de Oliveira** - cristiano@feevale.br  
Universidade Feevale

**Marco Antônio Siqueira Rodrigues** - marcoantonio.marco@gmail.com  
Universidade Feevale

**Resumo:** O Rio dos Sinos, um dos rios mais poluídos da bacia hidrográfica de mesmo nome, é responsável pelo abastecimento da Estação de Tratamento de Água (ETA) estudada neste trabalho. Devido a preocupação com a futura qualidade da água produzida pelo tratamento físico-químico desta ETA, estão sendo estudadas novas tecnologias para complementar, ou até mesmo substituir este tratamento. Portanto, no presente estudo, equipamentos de Osmose Reversa (OR) e Nanofiltração (NF), foram avaliados como alternativas para tratamento desta água. Os experimentos consistiram em aplicar diferentes pressões e também diferentes vazões de rejeito em ambas as tecnologias. Após o término de cada ensaio, os permeados foram encaminhados para análise físico-química dos seguintes parâmetros: fluoreto, nitrato, sulfato e sólidos totais. A tecnologia de OR apresentou taxas de remoções acima de 79% para a maioria dos parâmetros analisados, sendo que a pressão de 12 bar apresentou eficiências mais satisfatórias quando comparada com as demais pressões. Já a NF apresentou uma TR% mais elevada na pressão de 4 bar e na vazão de rejeito estabelecida em 150 L.h<sup>-1</sup>. Conclui-se que, a OR e a NF figuram como tecnologias deveras promissoras na produção de água potável, posto que ambos os processos demonstraram ser eficientes na remoção dos contaminantes.

**Palavras-chave:** Osmose Reversa, Nanofiltração, Tratamento de água.

## ASSESSMENT OF EFFICIENCIES OF OSMOSIS REVERSE TECHNOLOGY AND NANOFILTRATION IN A WATER TREATMENT PLANT

**Abstract:** *Rio dos Sinos, one of the most polluted rivers in the basin of the same name, is responsible for supplying the Water Treatment Plant (WTP) studied in this work. Because of concern about the future quality of the water produced by the physical-chemical treatment of WTP, they are being studied new technologies to complement or even replace this treatment. Therefore, in this study, osmosis reverse equipment (OR) and Nanofiltration (NF) have been evaluated as alternatives to treat this water. The experiments consisted of applying different pressures and different flow rates of waste in both technologies. After the end of each test, the permeate were referred for physical and chemical analysis of the following parameters: fluoride, nitrate, sulfate and total solids. OR technology presented above 79% removal rates for the majority of parameters, and the 12 bar pressure had more satisfactory efficiencies compared with the other pressures. NF already presented a higher TR% in pressure of 4 bar and tailings flow set at 150 Lh<sup>-1</sup>. Conclui that the OR and NF appear as promising technologies truly in the production of drinking water, since both processes have proved to be efficient in removing contaminants.*

**Keywords:** *Osmosis Reverse, Nanofiltration,, Water treatment.*

### 1. INTRODUÇÃO

A escassez de água torna-se cada vez mais preocupante em todo o mundo. Segundo informações divulgadas pela Organização das Nações Unidas (2015), um bilhão e duzentos milhões de pessoas não têm acesso à água tratada. No Brasil, a escassez de água em regiões metropolitanas e industrializadas ocorreu devido à degradação dos rios por várias fontes de poluição e pela crescente demanda para muitas atividades, tais como abastecimento público, industrial e agrícola (MATSUMURA e MIERZWA, 2008).

Entre os rios mais poluídos do Brasil, o Rio dos Sinos está entre aqueles que recebem milhões de litros de esgoto por dia, e por isso é considerado o rio mais poluído do Estado do RS (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 - 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.

Dessa maneira, Kraemer (2009) salientam que novas tecnologias estão surgindo para o tratamento de água com altas concentrações de contaminantes, dentre elas, destacam-se os processos de separação por membranas como a Osmose Reversa (OR) e a Nanofiltração (NF), que despontam como recentes alternativas para promover a qualidade da água necessária para o abastecimento público.

De acordo com Garud et al. (2011) e Shenvi et al. (2015), a denominação “osmose reversa” é o processo onde ocorre a inversão do fenômeno natural da osmose, aplicando-se uma pressão superior à pressão osmótica na solução concentrada, forçando a passagem da água através de uma membrana semipermeável. A OR remove íons e praticamente toda matéria orgânica de baixa massa molar (<200 Da). Por sua vez, a tecnologia é bastante utilizada na dessalinização da água do mar e da água salobra, bem como no tratamento de água e na recuperação de águas residuais – tudo isso devido à qualidade de água produzida ser altamente purificada.

Já a nanofiltração (NF) é um processo intermédio entre a ultrafiltração e a OR, sendo considerada uma tecnologia eficiente na remoção de solutos orgânicos de baixo peso molecular (200 - 1.000 Da), e se diferencia por separar íons bivalentes e trivalentes. No entanto, utiliza pressão mais

baixa quando comparada com a OR. Estudos mostram que a NF é um sistema eficiente para tratamento de águas, principalmente para produção de água potável (ANDRADE et al., 2014).

O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação da OR e da NF na água tratada do rio dos Sinos, na Estação de tratamento de água e esgoto - COMUSA, comparando as duas tecnologias, em condições diversas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma estação de tratamento de água municipal (ETA), situada na região do Vale dos Sinos. Esta ETA promove o abastecimento para uma população de cerca de 1,2 milhões de pessoas. O sistema da ETA é realizado de forma convencional, passando por processos de coagulação/decantação, logo a seguir por filtros de areia e desinfecção. A osmose reversa (OR) e a nanofiltração (NF) foram instaladas, logo após o processo de filtração, sem passar pela desinfecção. O fluxograma da ETA está representado na Figura 1.

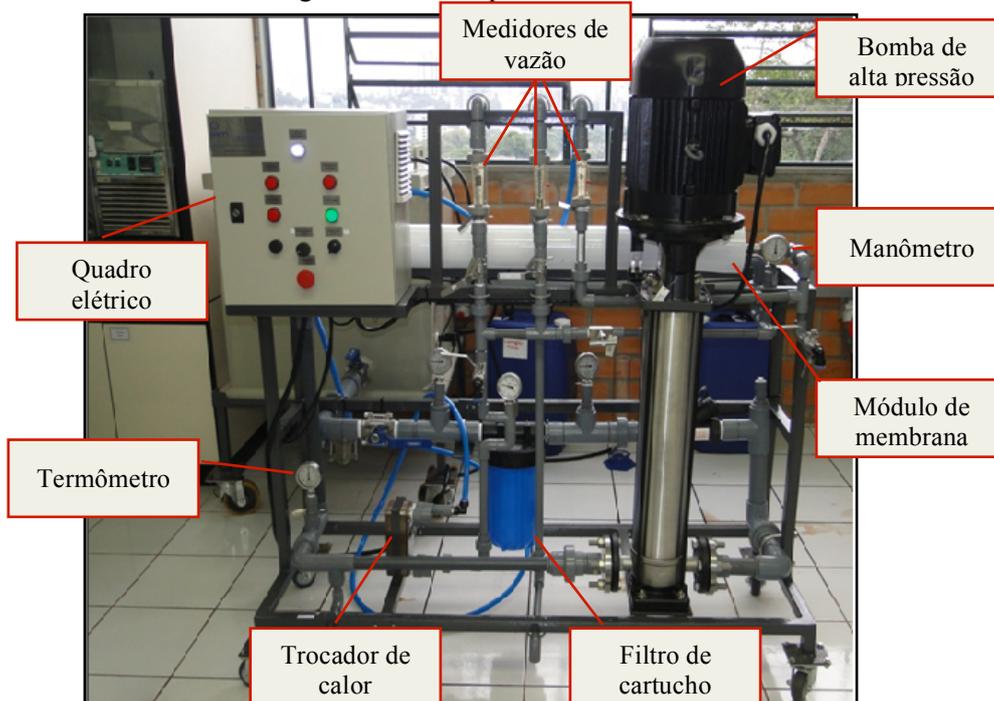
Figura 1. Fluxograma do processo da ETA



### 2.1. Osmose Reversa (OR)

Os testes foram realizados em um sistema piloto de OR, da marca PAM, com capacidade produtiva de 250 L.h<sup>-1</sup>. Este equipamento é composto por um módulo de membrana da marca *Dow Filmtec Membranes*, modelo BW30-4040, com área de 7,2 m<sup>2</sup>, cujo material de camada ativa é de poliamida. O sistema foi avaliado em vazões de rejeito de 150, 300 e 600 L.h<sup>-1</sup>. Para cada vazão de rejeito foram utilizadas as pressões de 4, 8 e 12 bar. Para cada condição foi mantido um período de 20 min. Após este período, foram coletadas amostras e os parâmetros avaliados foram: fluoreto, nitrato, sulfato e sólidos totais. O sistema piloto de OR está demonstrado na Figura 2.

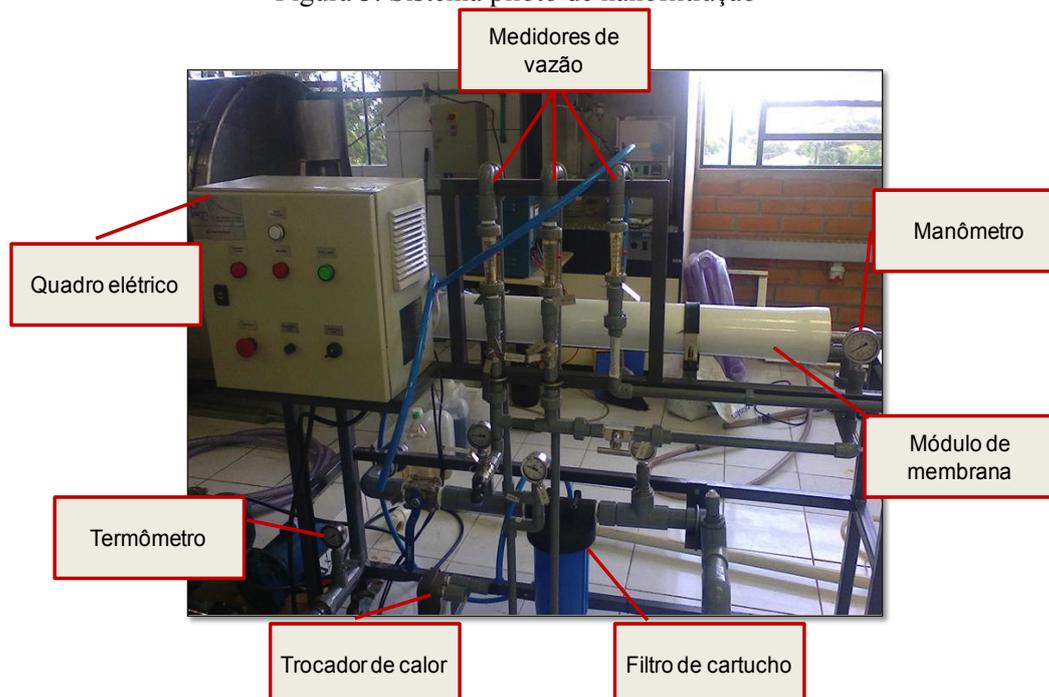
Figura 2. Sistema piloto de osmose reversa



## 2.2. Nanofiltração (NF)

Os testes para NF, foram realizados em um sistema piloto de NF, de marca PAM, com capacidade produtiva de  $250 \text{ L.h}^{-1}$ . Neste equipamento, foi utilizada a membrana NF 90(4040), marca *Dow Filmtec Membranes*, com área de  $7,5 \text{ m}^2$ , cujo material da camada ativa é poliamida. O sistema foi avaliado em vazões de rejeito de 150, 300 e  $600 \text{ L.h}^{-1}$ . Para cada vazão de rejeito foi utilizada as pressões de 2, 4 e 8 bar. Para cada condição foi mantido um período de 20 min. Após este período, foram coletadas amostras e foram avaliados os parâmetros de fluoreto, nitrato, sulfato e sólidos totais. O sistema piloto de NF está demonstrado na Figura 3.

Figura 3. Sistema piloto de nanofiltração



## 2.3. Desempenho dos sistemas OR e NF

O desempenho dos sistemas de OR e NF foram avaliados através da taxa de remoção (TR%) para os parâmetros fluoreto, nitrato, sulfato e sólidos totais, respectivamente. Segue a equação utilizada (1):

onde  $C_i$  e  $C_f$  são as concentrações dos íons antes e depois do tratamento da OR e NF, respectivamente.

$$TR\% = (1 - C_f/C_i) \times 100 \quad (1)$$

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 DISCUSSÃO

### 3.1. Experimento na OR

A Tabela 1 apresenta os resultados do experimento da OR nas diferentes pressões aplicadas (4, 8 e 12 bar) e as variações na vazão de rejeito ( $V_{rej}$ ) de 150 L.h<sup>-1</sup> para 300 e 600 L.h<sup>-1</sup>.

Tabela 1. Experimentos da OR em pressões 4, 8 e 12 bar e vazões de rejeito de 150, 300 e 600 L.h<sup>-1</sup>

P= 4bar				
Vrej (L.h <sup>-1</sup> )	TR% Fluoreto	TR% Nitrato	TR% Sulfato	TR% Sólidos Totais
150	70,0	80,2	78,2	90,2
300	58,7	81,9	78,2	91,6
600	27,8	84,7	79,3	69,4
P= 8 bar				
Vrej (L.h <sup>-1</sup> )	TR% Fluoreto	TR% Nitrato	TR% Sulfato	TR% Sólidos Totais
150	54,3	82,7	79,5	86,6
300	63,9	83,8	79,7	73,7
600	33,9	87,1	79,3	90,0
P = 12 bar				
Vrej (L.h <sup>-1</sup> )	TR% Fluoreto	TR% Nitrato	TR% Sulfato	TR% Sólidos Totais
150	64,7	83,1	81,6	90,5
300	59,1	94,0	80,9	94,4
600	58,2	88,6	81,9	90,3

De acordo com a Tabela 1, pode-se observar que ocorreram variações nas taxas de remoção (TR%) entre os parâmetros analisados para cada pressão e vazão de rejeito estabelecida. Para o fluoreto as TR% de remoções foram menores quando comparada com os demais parâmetros analisados - percebe-se, nessas circunstâncias, que os íons maiores, como nitrato e sulfato, apresentaram uma remoção mais elevada, quando comparado com os íons menores, tais como fluoreto. Segundo Hoang et al. (2010), os íons maiores são mais rejeitados pela membrana de OI pelo fato de apresentarem uma estrutura molecular mais elevada – por isso, os íons menores, tendo menor estrutura molecular, passam a ser menos rejeitados pela membrana.

Para os parâmetros de nitrato, sulfato e sólidos totais as TR% de remoções foram acima de 79%. Logo, observou-se que para as diferentes pressões aplicadas (4, 8 e 12 bar) os resultados demonstraram que para a pressão de 12 bar as TR% foram mais elevadas. De acordo com Mulder (1996), a seletividade das membranas de OR aumenta com o aumento da pressão. Outros autores relataram que, o aumento da pressão pode elevar o fenômeno de polarização por concentração (Déon et al., 2103), de tal modo que um perfil de concentração é formado na interface da membrana/solução.

Desta forma, quanto maior a pressão, o aumento de concentração de soluto na superfície da membrana torna-se mais pronunciado, podendo, assim, atuar como uma barreira mais seletiva,

aumentando as rejeições de soluto. Mas, Fortino (2012) salienta que, este aumento de concentração do soluto na interface da membrana/solução pode provocar a queda do fluxo do permeado, o que reduz a força motriz para a separação. Nesse caso, como o tempo de ensaio foi de apenas 20 min. para cada vazão estabelecida, não se observou, durante esse período, nenhuma queda no fluxo para as vazões de 150 L.h<sup>-1</sup>, 300 L.h<sup>-1</sup> e 600 L.h<sup>-1</sup> razão pela qual, para se avaliar o comportamento do fluxo, faz-se necessário um ensaio mais prolongado.

Dessa maneira, McGovern et al. (2014) recomendam manter uma taxa de recuperação do permeado entre 40 e 60%, para evitar danos à membrana. Além disso, Battacharya et al. (2013) observaram que, ao manter-se a recuperação do permeado na faixa apropriada, garante-se o aumento de vida útil da membrana, preservando o seu desempenho e minimizando a formação de incrustações por precipitação na sua superfície.

### 3.2. Experimento na NF

A Tabela 2 apresenta os resultados do experimento da NF nas diferentes pressões aplicadas (2, 4 e 8 bar) e as variações na vazão de rejeito (Vrej) de 150 L.h<sup>-1</sup> para 300 e 600 L.h<sup>-1</sup>.

Tabela 2. Experimentos da NF em pressões 2, 4 e 8 bar e vazões de rejeito de 150, 300 e 600 L.h<sup>-1</sup>

P= 2bar				
Vrej (L.h <sup>-1</sup> )	TR% Fluoreto	TR% Nitrato	TR% Sulfato	TR% Sólidos Totais
150	50,0	65,3	80,1	89,6
300	58,7	69,8	79,8	83,3
600	62,1	77,4	82,7	86,6
P= 4 bar				
Vrej (L.h <sup>-1</sup> )	TR% Fluoreto	TR% Nitrato	TR% Sulfato	TR% Sólidos Totais
150	23,9	86,1	85,7	89,8
300	51,7	71,9	77,2	84,0
600	66,5	79,1	79,8	70,8
P = 8 bar				
Vrej (L.h <sup>-1</sup> )	TR% Fluoreto	TR% Nitrato	TR% Sulfato	TR% Sólidos Totais
150	51,7	59,5	78,1	66,6
300	54,3	59,6	72,4	60,7
600	58,7	76,2	77,3	68,7

Conforme a Tabela 2, nota-se que os resultados dos ensaios realizados na NF apresentaram TR% menores quando comparado com as remoções obtidas na OR – esse fenômeno explica-se devido ao tamanho dos poros das membranas, uma vez que a NF apresenta poros maiores, permitindo, assim, a maior passagem dos solutos. Igualmente, Bueno (2013) aplicou a NF e a OR para tratar águas de abastecimento público, do mesmo modo o autor constatou que a membrana de OR apresentou uma eficiência de remoção mais efetiva na remoção dos contaminantes.

Nos experimentos realizados na NF também se observou TR% menores para o parâmetro fluoreto, conforme já explicado, os íons menores são menos rejeitados pela membrana pelo fato de apresentarem uma menor estrutura molecular. No entanto, para os parâmetros nitrato, sulfato e sólidos totais, os resultados apresentaram uma TR% mais elevada na pressão de 4 bar e na vazão de rejeito estabelecida em 150 L.h<sup>-1</sup>. Por outro lado, embora, a remoção tenha sido elevada, vazões de rejeito menores tendem a aumentar as concentrações de solutos na superfície da membrana, formando incrustações, as quais provocadas pelo *fouling*, *scaling* e o *biofouling*, diminuem a vida útil da membrana, fator este condicionado pelo aumento da frequência de limpeza (DRAZEVIC et al., 2014; KOO et al., 2011).

Depois, para este experimento também não se observou queda do fluxo do permeado, uma vez que o ensaio foi realizado durante 20 min. No entanto, para avaliar as incrustações na superfície da membrana, faz-se necessário um ensaio mais prolongado.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, ressalta-se que a OR e a NF figuram como tecnologias deveras promissoras no tratamento de água para abastecimento, posto que ambos os processos são capazes de remover os contaminantes satisfatoriamente.

Os resultados da OR demonstraram uma eficiência de remoção satisfatória para os parâmetros de nitrato, sulfato e sólidos totais, pois se obteve uma remoção acima de 79%. Para as diferentes pressões aplicadas, os resultados evidenciaram que a pressão de 12 bar apresentou as TR% mais elevadas.

Para a NF, a vazão de rejeito estabelecida em 150 L.h<sup>-1</sup> e a pressão de 4 bar, apresentaram as taxas de remoções mais elevadas, mas vazões de rejeito menores tendem a aumentar a concentrações de solutos na superfície da membrana, formando as incrustações. No entanto, para avaliar o comportamento das membranas de OR e NF sobre possíveis incrustações (*fouling*, *scaling* e *biofouling*), longos períodos de monitoramento devem ser empregados.

Ambas as tecnologias de OR e NF apresentaram TR% menores para o parâmetro fluoreto pelo fato deste ânion apresentar uma menor estrutura molecular.

#### *Agradecimentos*

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

### 4. REFERÊNCIAS

ANDRADE, L.H.; MENDES, F.D.S.; ESPINDOLA, J.S.; AMARAL, M.C.S. Nanofiltration as tertiary treatment for the reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor. **Separation and Purification Technology**.v. 126,p. 21–29, 2014.

BHATTACHARYA, P. et al. Combination technology of ceramic microfiltration and reverse osmosis for tannery wastewater recovery. **Water Resources and Industry**, v. 3, p. 48-62, 2013.

BUENO, M, Z. **Nanofiltração e osmose inversa aplicadas à remoção de agrotóxicos (carbamatos) em águas de abastecimento: avaliação em escala de bancada**. Florianópolis, 194p., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

DÉON, S. et. al. Concentration polarization phenomenon during the nanofiltration of multi-ionic solutions: Influence of the filtrated solution and operating conditions. **Water Research**, v. 47, p. 2260-2272, 2013.

DRAZEVIC, E. et. al. Mass transfer of differently sized organic solutes at spacer covered and permeable nanofiltration wall. **Chemical Engineering Journal**, v. 244, p. 152-159, 2014.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, RS. **Relatório da Qualidade da Água**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade>>. Acesso em: 09 out. 2015

FORTINO, P. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas**. Porto Alegre, 98p., 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GARUD, R. M.; KORE, S. V.; KULKARNI, G. S. A short review on Process and Application of Reverse Osmosis. **Universal Journal of Environmental Research and Technology**, v. 1, p. 233-238, 2011.

HOANG T. et al. The effect of feed pH on the performance of a reverse osmosis membrane. **Desalination**, v.261, p. 99-103, 2010.



KOO, C.H.; MOHAMMAD, A.W.; SUJÁ, F. Recycling of oleochemical wastewater for boiler feed water using reverse osmoses membranes - A case study. **Desalination**, v. 271, p. 178-186, 2011.

KRAEMER, C. F. **Construção e operação de uma planta piloto de osmose reversa e nanofiltração na indústria**. Porto Alegre, 183p., 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MATSUMURA, E.M.; MIERZWA, J.C. Water conservation and reuse in poultry processing plant - A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 6, p. 835-842, 2008.

MCGOVERN, R. K.; ZUBAIR, S. M.; JOHN H. L. The benefits of hybridising electro dialysis with reverse osmosis. **Journal of Membrane Science**, v. 469, p.326-335, 2014.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e a água**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br>>. Acesso em 05 out. 2015.

SHENVI, S. S.; ISLOOR, A. M.; ISMAIL, A. F. A review on RO membrane technology: Developments and challenges. **Desalination**, v. 368 p. 10-26, 2015.