

## II-170 – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO QUÍMICO PROVENIENTE DA LIMPEZA QUÍMICA DE MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA

**Mariana Espindola de Souza<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR/SENAI e Universität Stuttgart. Engenheiro Ambiental da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná.

**Arislete Dantas de Aquino**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Ceará. Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Associado da Universidade Federal do Paraná.

**Ronald Gervasoni**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tuiuti do Paraná. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR/SENAI e Universität Stuttgart. Engenheiro da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná.

**Alcely José Wosniack**

Bacharel em Química pela Universidade Federal do Paraná. Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR/SENAI e Universität Stuttgart. Coordenador do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana, da Unidade de Serviço de Produção e Distribuição da Companhia de Saneamento do Paraná.

**Marcio Arakaki**

Engenheiro Químico pela Universidade de São Paulo. Engenheiro Químico da Unidade de Serviço de Produção e Distribuição da Companhia de Saneamento do Paraná.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Engenheiros Rebouças, 1376 – Rebouças – Curitiba – Paraná – CEP: 80215-900 – Brasil – Tel +55 (41) 3330-7262 – Fax: +55 (41) 3330-7259 - e-mail: [mariana.souza@sanepar.com.br](mailto:mariana.souza@sanepar.com.br).

### RESUMO

Os procedimentos de limpeza química possuem o objetivo de remover os materiais depositados sobre a superfície da membrana. O resíduo produzido por esta limpeza se denomina de resíduo químico e a caracterização deste possui fundamental importância para o tratamento de disposição final além de auxiliar em quais produtos poderão remover a maior quantidade de incrustações com a menor agressão a superfície da membrana. A revisão da literatura revelou as incrustações podem ser formadas por diferentes tipos de compostos. Este trabalho teve como objetivo caracterizar o resíduo químico proveniente da limpeza química de membranas de osmose reversa utilizada para o polimento da água fornecida às indústrias. Nele foram descritas de forma resumida as características do sistema piloto de osmose reversa, as condições e os procedimentos para a realização da limpeza química. Dos 23 parâmetros analisados apenas 12 possuem regulamentação de restrição de lançamento em corpos hídricos conforme o CONAMA 430/2011 e destes apenas dois ultrapassaram o limite imposto pela legislação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Limpeza química, processo de separação por membranas, Osmose inversa.

### INTRODUÇÃO

As membranas de osmose reversa necessitam de limpeza química, o procedimento possui como finalidade remover os materiais depositados sobre a superfície da membrana. A determinação do produto, da quantidade e da ordem da limpeza (ácida – básica; básica – ácido) utilizada varia de acordo com as características da água de alimentação. O resíduo produzido por esta limpeza se denomina de resíduo químico e a caracterização deste possui fundamental importância para o tratamento de disposição final além de auxiliar em quais produtos poderão remover a maior quantidade de incrustações com a menor agressão a superfície da membrana. Este trabalho teve como objetivo caracterizar dois procedimentos de limpeza química de membranas de osmose reversa utilizadas para o tratamento de água para fins industriais.

## REVISÃO DA LITERATURA

A eficiência de qualquer sistema de filtração depende dos materiais que compõem a camada filtrante e das características dos fluidos que o atravessarão. Ambos são essenciais para a ocorrência ou não da colmatção, também conhecido como “*fouling*” quando ocorre em membranas de filtração (COHEN & PROBSTEN, 1986).

De acordo com Qureshi *et al.* (2013) as incrustações que ocorrem no interior da membrana provocam a redução da qualidade e da vazão de permeado. Devido aos altos custos de energia e substituição da membrana muitas vezes faz-se necessário o tratamento da causa da incrustação, isto é, pré-tratamento, que varia de acordo com a combinação e composição dos elementos de cada água. Esta combinação pode causar redução no desempenho das membranas filtrantes, tanto em água salina, salobra ou doce. As fontes de incrustações podem ser divididas em quatro categorias:

- i. partículas inorgânicas;
- ii. bactérias e outros organismos;
- iii. compostos orgânicos; e
- iv. compostos incrustantes.

Em uma planta pode ocorrer mais de uma categoria de “*fouling*”, dependendo da qualidade do fluido a ser tratado. A colmatção, que inclui a formação da matéria orgânica e biológica e das partículas coloidais pode ser evitada com o uso de pré-tratamento que deverá remover o material que seria colmatado (QURESHI *et al.* 2013; COHEN & PROBSTEN, 1986).

A utilização de produtos anti-incrustantes e dispersantes podem ocorrer na corrente de alimentação da OR e visam à redução da colmatção e da formação de depósitos (BRADLEY, 1992). A adição destes produtos possui o objetivo de retardar o processo de precipitação, mantendo as partículas repelidas e dispersas, inibindo o crescimento de cristais e micro-organismos.

A fim de minimizar a incrustação orgânica em membranas de osmose reversa usadas para o tratamento de águas salinas normalmente são utilizados pré-tratamentos, que podem ser filtros de areia e de duas camadas para a remoção dos sólidos suspensos, a velocidade de filtração no filtro de fibras é cerca de 10 vezes maior que o filtro de areia ou o de dupla camada (LEE *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2011). A fixação de bactérias, partículas e compostos orgânicos, por exemplo, o óleo pode prejudicar mais intensamente os módulos iniciais dos sistemas de membranas, planta. Em decorrência da colmatção ocorre a formação de um precipitado composto normalmente por íons metálicos fracos e solúveis. Este precipitado aumenta e ocasiona a redução da vazão à medida que a concentração de íons na água de alimentação aumenta (QURESHI *et al.*, 2013).

Ang & Elimelech (2008) estudaram a influência da matéria orgânica do efluente para o “*fouling*”, colmatção orgânica em membranas de OR. Para o experimento foi utilizado ácido octanóico que simulou a concentração do íon cálcio. Os objetivos foram investigar como a alimentação com solução química contribuiu para a incrustação de membranas de OR. Para isto foi utilizado a membrana LFC-1 da Hydranautics e o ácido octanóico foi escolhido por representar melhor os ácidos graxos presentes na matéria orgânica do efluente doméstico. Os resultados obtidos evidenciaram que a operação da OR com o ácido octanóico, em pH ácido foi mais significativo devido às alterações do pKa.

Neste contexto Antony *et al.* (2012) compararam perfis de colmatção provenientes de quatro estações de tratamento de efluentes municipais e de uma estação de tratamento de efluente industrial, localizadas na costa leste da Austrália. Das quatro ETE's duas tratavam o efluente por meio de digestão anaeróbica e o pós-tratamento ocorria aerobicamente, uma ETE municipal recebia tratamento terciário e outra o convencional. A estação de tratamento de efluentes industrial tratava o efluente de uma planta piloto de moinho de trigo, que era misturado com efluente doméstico para o tratamento biológico. Os efluentes foram filtrados com membranas de fibra oca, hidrofílicas de 0,04µm de poro, produzidas a partir de fluoreto de polivinilideno (PVDF). Os resultados obtidos para carbono orgânico dissolvido (COD) das quatro ETE's municipais variou de 5 a 8 mgL<sup>-1</sup>, enquanto o efluente industrial continha 59mgL<sup>-1</sup> de COD.

De acordo com Zhu & Elimelech (1997) durante a incrustação os colóides podem se acumular na superfície e dentro dos poros da membrana de OR e assim prejudicar a capacidade de filtração e da vazão além de prejudicar quanto à qualidade do permeado. Ao analisar a incrustação coloidal de membranas foi possível fazer a distinção entre dois casos. O primeiro se aplica para membranas de osmose reversa, de nanofiltração e de ultrafiltração, pois a incrustação ocorre pela acumulação de partículas sobre a superfície das membranas em uma camada denominada de torta de filtração (cake). Esta camada ocasiona o aumento da resistência hidráulica

da membrana e, assim, reduz a vazão de água. Devido às membranas de osmose reversa serem consideradas isentas de poros, o mecanismo de formação coloidal ocasiona a formação da torta (XU *et al.*, 2013).

Para Qureshi *et al.* (2013) a fim de compreender e modelar o início da formação da colmatção superficial, pode-se fazer a previsão da polarização da concentração de solutos que possui importância para a concepção de processos de OR. Para isso tem-se utilizado a teoria da camada limite como indicador confiável para a concepção de processos em parte das aplicações práticas. A magnitude da concepção de processos possui quatro fatores principais:

- i. Espessura da camada limite;
- ii. Vazão de permeado;
- iii. Enriquecimento da membrana; e
- iv. Coeficiente de difusão do soluto no fluido da camada limite.

De acordo com Pessoa *et al.* (2014), que estudaram a utilização de uma membrana de osmose reversa para a produção de água industrial em uma indústria têxtil, a limpeza química nas membranas aumentou a quantidade de permeado disponível para o processo. Essa quantidade era reduzida com o decorrer do uso do equipamento, devido à colmatção causada por agentes biológicos e físicos. Após a realização da limpeza química e a remoção dos agentes incrustantes a quantidade de permeado era superior àquela existente antes da limpeza química, mantidas as mesmas condições de trabalho.

Lin *et al.* (2014) estudaram membranas de OR (XLE) e nanofiltração (NF90 e NF270), que foram colmatadas com sílica para avaliar os efeitos da redução de vazão, bem como avaliar a remoção de seis micropoluentes. As membranas foram caracterizadas pelas propriedades físico-químicas que inclui a hidrofília, a morfologia da superfície e a capacidade de remoção dos micropoluentes avaliados com e sem a presença de sílica. A hidrofília proporcionou a adsorção de três dos seis micropoluentes testados, que foram o ibuprofeno, o triclosan e o sulfametazina.

A incrustação com sílica resultou na diminuição dos poros das membranas e esta pode ter sido a causa da adsorção de parte dos micropoluentes nas membranas. A fim de se controlar a colmatção faz-se necessário à limpeza regular das membranas (LIN, 2014; QURESHI, 2013).

Madaeni & Samieirad (2010) estudaram os efeitos dos produtos de limpeza química utilizados em membranas de OR, para tanto o mecanismo da colmatção foi estudado. O objetivo era encontrar produtos com maior capacidade de limpeza e definir as condições ótimas de operação de membranas de OR incrustadas por compostos orgânicos e minerais provenientes do efluente doméstico. Os efeitos dos produtos adstringentes foram elucidados, ácido, base e surfactantes.

## OBJETIVO DO TRABALHO

Caracterizar o resíduo químico proveniente da limpeza química de membranas de osmose reversa utilizada para o polimento da água fornecida às indústrias.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Em geral membranas de osmose reversa necessitam de limpeza para a remoção de materiais que nela aderem. O resíduo químico é produzido a partir da limpeza química, que é a limpeza de um material com a utilização de produtos químicos. Os materiais aderidos podem ser orgânicos e/ou inorgânicos, variando de acordo com as características da água a de alimentação. Para o caso estudado a recomendação do fornecedor do equipamento, que altera de acordo com as características da água, foi de realizar primeiro à limpeza básica com hidróxido de sódio e posteriormente a limpeza ácida, com ácido clorídrico. A limpeza química envolve o conjunto de limpezas, ácida e básica. As limpezas correram com 564 e 1250 horas de operação.

A unidade piloto utilizada para a realização dos procedimentos experimentais deste trabalho é constituída por uma unidade de purificação de água que utiliza membranas de osmose reversa e possui capacidade de tratamento líquida de 0,3m<sup>3</sup>/h com vazão máxima de entrada no equipamento de 0,4m<sup>3</sup>/h na temperatura de 25°C, com taxa de recuperação de 0,75. Estes valores foram recomendados pelos fornecedores do equipamento devido às características da água a ser tratada e foram aferidos antes e durante os experimentos.

A membrana utilizada foi a Hydranautics ESPA1- 4040 produzida pela Nitto Denko. A área de filtração total era de 15,8m<sup>2</sup> e os valores máximos para a operação da membrana, especificados pelo fabricante, pressão de 4,16 MPa, temperatura de 45°C, SDI de 5,0 e turbidez na água de alimentação de 1,0 NTU.

A água de alimentação do sistema é a água tratada pela ETA, foi construída uma tomada da água do reservatório apoiado para o equipamento. É importante destacar que essa estação não produz água potável, e sim água industrial para indústrias que utilizam a água para o processo industrial e outros fins menos nobres.

## CONDIÇÕES PARA A LIMPEZA QUÍMICA

As membranas de filtração necessitam de limpeza mecânica e as de osmose reversa necessitam apenas de limpeza química, de acordo com a recomendação do fornecedor. De acordo com o fornecedor a necessidade de limpeza química é evidenciada de acordo com o tipo da membrana e das características do fluido filtrado, pelos seguintes parâmetros:

- i. quando a redução na capacidade de filtração da membrana for igual ou superior a 10%;
- ii. quando o aumento da diferença de pressão entre os 2 manômetros for igual ou superior a 15%; e
- iii. quando o aumento da condutividade elétrica for superior a 10%.

## PROCEDIMENTO PARA A LIMPEZA QUÍMICA

Para a realização do procedimento de limpeza química o sistema de membranas deve ser desligado e esta deverá ser realizada inicialmente com uma solução alcalina e posteriormente com uma solução ácida.

A válvula que direciona o permeado para o reservatório deverá ser invertida para que o permeado seja direcionado ao tanque de limpeza química. O sistema de membranas deve ser programado para não realizar o enxague “*rinsing*” tanto ao ligar quanto no desligar do sistema. A unidade piloto deverá ser ligada e o permeado será armazenado no tanque de limpeza química, após o armazenamento (30L) o sistema deverá ser desligado. Após o armazenamento deverão ser invertidas as válvulas do concentrado, criando assim um sistema fechado para a recirculação do fluido presente no tanque de limpeza química. A válvula do rotâmetro do concentrado deverá ser totalmente aberta.

Com o tanque de limpeza química cheio (30 L) deverá ser realizada a primeira limpeza, a alcalina, nesta será utilizado 60 mL de solução de hidróxido de sódio a 50% (1N), que equivale a 0,01%. podendo a solução alcançar temperatura máxima de 40°C e pH em torno de 12, a bomba de baixa pressão deverá ser acionada e o o procedimento tem duração de aproximadamente de 1 hora. Após este período a bomba de baixa pressão deverá ser desligada e o tanque de limpeza química deverá ser esgotado através da abertura da válvula dreno. Na saída deste tanque foi coletado o resíduo da limpeza básica.

Após a limpeza ácida o tempo de enxague deverá ser programado para 10 minutos (tempo máximo), a inversão das válvulas do concentrado para o tanque de limpeza química deverá ser desfeita. Apenas o permeado continuará direcionado ao tanque de limpeza química, com a finalidade de higienizar este. A bomba de alta pressão deverá ser ligada por cerca de 20 minutos para contribuir com a higienização do tanque de limpeza química, com a válvula dreno aberta.

Depois deste período a válvula dreno deverá ser fechada para armazenar permeado no tanque de limpeza química para iniciar a limpeza ácida. Com o tanque de limpeza química cheio (30L) a unidade piloto deverá ser desativada, as válvulas de direcionamento do concentrado deverão ser invertidas para o direcionamento do concentrado ao tanque de limpeza química. Deverá ser adicionado 200 mL de solução de ácido clorídrico a 33% (0,33N) a temperatura mínima para este procedimento será de 30°C, pH em torno de 2 e a duração de aproximadamente uma hora. Após este período a bomba de baixa pressão deverá ser desligada e o tanque de limpeza química deverá ser esgotado através da abertura da válvula dreno. Na saída deste tanque foi coletado o resíduo da limpeza básica.

Após a limpeza ácida o tempo de enxague deverá ser programado para 10 minutos (tempo máximo), a inversão das válvulas do concentrado para o tanque de limpeza química deverá ser desfeita. Apenas o permeado continuará direcionado ao tanque de limpeza química, com a finalidade de higienizar este. A bomba de alta pressão deverá ser ligada por cerca de 20 minutos para contribuir com a higienização do tanque de limpeza química, com a válvula dreno aberta.

O sistema deverá ser desligado para a inversão de válvulas do permeado e reiniciado normalmente.

As amostras dos resíduos foram coletadas em frascos, dispostos em caixas térmicas e encaminhadas aos laboratórios para as análises e determinações analíticas constantes no Quadro 1. As análises foram definidas de acordo com a disponibilidade existente no contrato de análises vigente. Os laboratórios seguiram a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW, 2012) e a International Standard Organization. A versão da norma utilizada pode ser visualizada no QUADRO 1.

**Quadro 1 – Parâmetros analisados no resíduo químico**

Parâmetro	Unidade	Limite de quantificação	Método de análise
Carbono Orgânico	mgL <sup>-1</sup>	0,1	SMWW:2012 4110
Cálcio	mgCaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup>	1	SMWW:2012 3500-Ca
Nitrogênio Kjeldahl total	mgN.L <sup>-1</sup>	0,1	SMWW:2012 4500-Norg
Nitrogênio total	mgN. L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 4500-NO2
Fósforo total	mgP.L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 4500-P
Enxofre	mgS. L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3500-S
Sódio	mgNa. L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3500-Na
Potássio	mgK. L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3500-K
Magnésio	mgCaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup>	1	SMWW:2012 3500-Mg
Alumínio	mgL <sup>-1</sup>	0,5	ISO 10566 E30
Arsênio	mg As.L <sup>-1</sup>	0,1	SMWW:2012 3111
Bário total	mgBa.L <sup>-1</sup>	1,0	SMWW:2012 2012
Cádmio Total	mgCd.L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3500-Cd
Cromo total	mgCr.L <sup>-1</sup>	0,1	SMWW:2012 3500-Cr
Cobre total	mgCu.L <sup>-1</sup>	0,05	SMWW:2012 3500-Cu
Ferro total	mgFe.L <sup>-1</sup>	0,5	SMWW:2012 3500-Fe
Mercúrio Total	mgHg.L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3111
Molibdênio Total	mgMo.L <sup>-1</sup>	1,0	SMWW:2012 3500-Mo
Níquel Total	mgNi.L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3500-Ni
Chumbo Total	mgPb.L <sup>-1</sup>	0,1	SMWW:2012 3500-Pb
Selênio Total	mgSe. L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3111
Estanho Total	mgSn.L <sup>-1</sup>	1,0	SMWW:2012 3500-Sn
Zinco total	mgZn.L <sup>-1</sup>	0,01	SMWW:2012 3500-Zn

AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012). SMWW

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados da caracterização do resíduo proveniente da limpeza química estavam de acordo com a metodologia apresentada no QUADRO 1 e podem ser visualizados na TABELA 1. Esta apresenta os resultados obtidos do resíduo químico proveniente da limpeza química. Durante o período de operação foram realizadas dois procedimentos de limpeza e cada procedimento englobou uma limpeza alcalina e outra ácida. Os métodos utilizados para as determinações constam na coluna método de análise. Os parâmetros foram determinados em decorrência da disponibilidade e do custo das análises laboratoriais. Como foram realizadas apenas duas limpezas não seria vantajosa, neste momento, a elaboração de gráficos, pois os resultados gerariam alta correlação ( $R^2=1$ ). Para essa caracterização se recomenda maior quantidade de coletas desse resíduo durante todo o período de operação da membrana.

**Tabela 1 – Análises do efluente após a limpeza química das membranas**

PARÂMETRO	Limpeza Alcalina 550 horas	Limpeza Ácida 550 horas	Limpeza Alcalina 1250 horas	Limpeza Ácida 1250 horas	Unidade	CONAMA 430/2011
Carbono Orgânico	19,7	19,6	12	10	mgL <sup>-1</sup>	
Cálcio	8,01	16,03	6	18,3	mgCaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup>	



(continua)

**Tabela 1 – Análises do efluente após a limpeza química das membranas (continuação)**

PARÂMETRO	Limpeza Alcalina 550 horas	Limpeza Ácida 550 horas	Limpeza Alcalina 1250 horas	Limpeza Ácida 1250 horas	Unidade	CONAMA 430/2011
Nitrogênio Kjeldahl total	4,2	1,12	3,64	2,8	mgN.L <sup>-1</sup>	
Nitrogênio total	5,04	10,08	4,48	3,36	mgN. L <sup>-1</sup>	20
Fósforo total	7,22	1,14	19,2	50,1	mgP.L <sup>-1</sup>	
Enxofre	121	47,2	103	49,5	mgS. L <sup>-1</sup>	
Sódio	489	59,7	432	60,8	mgNa. L <sup>-1</sup>	
Potássio	2,77	2,42	234	2,86	mgK. L <sup>-1</sup>	
Magnésio	7,8	25,3	7,5	23,4	mgCaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup>	
Alumínio	6	3	3,2	3,2	mgL <sup>-1</sup>	
Arsênio	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	mg As.L <sup>-1</sup>	0,5
Bário total	< 1,0	< 1,0	< 1,0	2,5	mgBa.L <sup>-1</sup>	5,0
Cádmio Total	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	mgCd.L <sup>-1</sup>	0,2
Cromo total	0,17	0,9	0,1	3,5	mgCr.L <sup>-1</sup>	0,1 Cr+3;1,0 Cr+6
Cobre total	0,78	1,04	0,1	0,66	mgCu.L <sup>-1</sup>	1,0 – dissolvido
Ferro total	14,38	41,38	0,84	20,08	mgFe.L <sup>-1</sup>	15,0 – dissolvido
Mercúrio Total	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	mgHg.L <sup>-1</sup>	0,01
Molibdênio Total	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mgMo.L <sup>-1</sup>	
Níquel Total	0,24	0,5	0,08	1,02	mgNi.L <sup>-1</sup>	2,0
Chumbo Total	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,36	mgPb.L <sup>-1</sup>	
Selênio Total	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	mgSe. L <sup>-1</sup>	0,3
Estanho Total	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mgSn.L <sup>-1</sup>	4,0
Zinco total	0,46	0,63	0,06	0,92	mgZn.L <sup>-1</sup>	5,0

AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012). SMWW

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Durante os procedimentos de limpeza química foi verificado que este contribui para o processo de “rejuvenescimento” das membranas, no entanto, dependendo do grau e do tipo do “fouling” o rejuvenescimento nada mais seria que o aumento dos poros da membrana, e a cada nova limpeza os poros ficariam maiores. O emprego de dispersantes e anti-incrustantes poderiam evitar o acúmulo de materiais sobre a superfície da membrana tais como micro-organismos, metais e depósitos de materiais orgânicos e inorgânicos.

O resíduo químico, que foi caracterizado neste trabalho, poderia ser tratado com polímeros, coagulantes para posterior precipitação de elementos e de compostos químicos, em especial a precipitação de metais. Os elementos e compostos restantes poderiam ser adsorvidos em torre de carvão ativado granular.

Como continuidade neste trabalho recomenda-se caracterizar o concentrado com base na legislação vigente, isto é, Resolução CONAMA 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005, Seção II, art. 16, Inciso I e II.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANG, Wui Seng.; ELIMELECH, Menachem. Fatty acid fouling of reverse osmosis membranes: Implications for wastewater reclamation. **Water Research** v. 42 pg. 4393-4403, ago 2008, mensal.
2. ANTONY A., SUBHI N., HENDERSON R.K., KHAN S.J., STUETZ R.M., LE-CLECH P., CHEN V., and LESLIE G. (2012) Comparison of reverse osmosis, membrane fouling profiles from Australian water recycling plants. **Journal of Membrane Science**, 407–408, 8–16.
3. BRADLEY, R.; In: AMJAD, Z. Reverse Osmosis – Membrane Technology, Water Chemistry and Industrial Applications, Chapman & Hall, Chapter 4, 1992.
4. COHEN, R. D.; PROBSTEN, R. F. Colloidal fouling of reverse osmosis membranes. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 114, p. 194-207, 1986. Mensal
5. DIALYNAS, Emmanuel; MANTZAVINOS, Dionissios; DIAMADOPOULOS, Evan. Advancent treatment of the reverse osmosis concentrate produced during reclamation of municipal wastewater. **Water Research** v.42, p.4603-4608, ago 2008 Mensal
6. FARIAS, Elizabeth L.; HOWE, Kerry J.; THOMSON, Bruce M. EFFECT OF MEMBRANE BIOREACTOR SOLIDS RETENTION TIME ON REVERSE OSMOSIS MEMBRANE FOULING FOR WASTEWATER REUSE. **Water Research** v.49, p.53-61, Nov 2013. Mensal
7. KARKHANECHI, Hamed; TAKAGI, Ryosuke; MATSUYAMA, Hideto. Biofouling resistance of reverse osmosis membrane modified with polydopamine. **Desalination**, Swansea, v. 336, n. 336, p.87-96, 24 jan. 2014.
8. LEE, J.J. ; JOHIR K.H.; SHON, H.K.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J.; KIM, C.W.; SHAW, K. Novel pre-treatment method for seawater reverse osmosis: fibre media filtration. **Desalination**, Swansea, v. 250, p. 557-561, 2010. Mensal.
9. LIN, Yi-Li.; CHIOU, Jheng-Hong.; LEE, Chung-Hsiang. Effect of silica fouling on the removal of pharmaceuticals and personal care products by nanofiltration and reverse osmosis membranes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 277, p. 102-109, 2014. Mensal.
10. LIU, Meihong.; LÜ, Zhenhua.; CHEN Zhihai.; YU, Sanchuan.; GAO.; Congjie. Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse. **Desalination**, Swansea, v. 281, p.372-378, 2011. Mensal.
11. MADAENI, S.S.; SAMIEIRAD, S.; Chemical cleaning of reverse osmosis membrane fouled by wastewater. **Desalination**, v.257, p. 80-86, 2010.
12. MOLINA, Verónica García; CASANAS, Antonio. Reverse osmosis, a key technology in combating water scarcity in Spain. **Desalination**, Swansea, v.250, p.950-955, 2010. Mensal.
13. MOTTA, Albérico Ricardo Passos da; BORGES, Cristiano Piacksek; ESQUERRE, Karla Patrícia de Oliveira; KIPERSTOK.; Ascher; FLORES, Rafaela Oliveira. Tratamento de efluentes oleosos por processos de separação por membranas visando o reuso: considerações experimentais. Trabalho apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Goiânia GO, 2013.
14. MULDER, Marcel, Basic Principle of Membrane Technology, Netherlands, Kluwer Academic Publishers Groups, 1996.
15. PESSOA, Julyanna Damasceno.; PEREIRA, Deybedy Illan dos Santos.; SILVA, Robson Rogaciano Fernandes da.; FERNANDES NETO, José Theódulo.; GUIMARÃES, Bruna da Silveira. LIMPEZA QUÍMICA NAS MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA E SEUS EFEITOS. In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XII, 2014, Natal – RN Brasil. Anais do XII SIBESA. 2014. Meio digital.
16. QURESHI, Bilas A.; ZUBAIR, Syed M.; Sheikh, Anwar K.; BHUJLE, Aditya; DUBOWSKIY, Steven. Design and performance evaluation of reverse osmosis desalination systems: An emphasis on fouling modeling. **Applied Thermal Engineering**, v. 60, p. 208-217, 2013. Mensal.
17. WEF – Water Environment Federation. Membrane Systems for Wastewater Treatment. McGraw-Hill: Alexandria, Virginia, 2006.
18. XU, Pei.; CAPITO, Marissa.; CATH, Tzahi Y. Selective removal of arsenic and monovalent ions from brackish water reverse osmosis concentrate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 260, p 885-891, 2013. Mensal.
19. ZHU, Xiaohua.; ELIMELECH, Manachem. Colloidal fouling of reverse osmosis membranes: Measurements and fouling mechanisms. **Environmental Science & Technology**, v. 31, p.3654-3662, 1997. Mensal