

Artigo

**Avaliação do Emissor de Ondas Eletromagnéticas Wellan2000®
como Pré-Tratamento de Unidade de Osmose Reversa****Nascimento Filho, D. G. N.;*** Almeida, E. S.; Santos, R. P. M.; de Brito, M. M.; Cavalcante, C. O.; Lima, R. S.*Rev. Virtual Quim.*, 2016, 8 (4), 1152-1165. Data de publicação na Web: 8 de agosto de 2016<http://rvq.s bq.org.br>**Evaluation of the Electromagnetic Waves Emitter Wellan2000® as Osmosis Reverse unit Pretreatment**

Abstract: Reverse osmosis (RO) is a technology widely used in regions where the available water is brackish, as semiarid region, islands and coastal regions. Desalination by reverse osmosis generates water for human consumption, however the operation of a unit by reverse osmosis include the high cost of operation due to fouling formed in the membranes, the use of pretreatment technologies is indispensable to prolong the life of the membranes. This article aims to test integrated processes for water treatment in reverse osmosis units, using as an alternative pretreatment wellan2000® ring, an electromagnetic waves emitter. A pilot plant was set up to operate with synthetic water that simulates the semi-arid saline conditions. To date, two experiments were performed: without any pretreatment and using wellan2000® as pretreatment. The preliminary results obtained point out that there were changes in all process parameters (pressure, flow rate and bounce rate), the analysis of the chemical composition of the currents and membrane autopsy indicating wellan2000® influence the formation fouling of the reverse osmosis membrane.

Keywords: Reverse osmosis; fouling; emitter electromagnetic waves.

Resumo

A osmose reversa (OR) é uma tecnologia muito utilizada em regiões onde a água disponível é salobra, como no semiárido, ilhas e regiões litorâneas. A dessalinização através de osmose reversa gera água com qualidade para o consumo humano, no entanto a operação de uma unidade de tratamento por OR possui elevado custo de operação em função da incrustação formada nas membranas, sendo imprescindível o uso de tecnologias de pré-tratamento da água para prolongar a vida útil das membranas. Este trabalho tem como objetivo testar processos integrados para tratamento de água em unidades de osmose reversa, empregando como alternativa de pré-tratamento um anel wellan2000®, emissor de ondas eletromagnéticas. Para avaliar a tecnologia, foi montada uma planta piloto para operar com água sintética que simula as condições de salinidade do semiárido. Foram realizados dois experimentos, um destes, sem qualquer pré-tratamento e outro utilizando o emissor de ondas eletromagnéticas wellan2000® como pré-tratamento. Os resultados preliminarmente obtidos apontam que houve alteração em todos os parâmetros de processo (pressão, vazão e taxa de rejeição), na análise da composição química das correntes e na autópsia da membrana indicando que o emissor de ondas eletromagnéticas influencia a formação de *fouling* na membrana de osmose reversa.

Palavras-chave: Osmose reversa; *fouling*; emissor de ondas eletromagnéticas.

* Water Wellan Treatment - WWT, Rodovia 512, Km 0 módulo 10, CEP 42810-440, Camaçari-BA, Brasil.

✉ dartagnam@wwt.com.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20160082](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160082)

Avaliação do Emissor de Ondas Eletromagnéticas Wellan2000® como Pré-Tratamento de Unidade de Osmose Reversa

D'Artagnam G. Nascimento Filho,^{a,*} Edna S. Almeida,^b Ricardo P. M. Santos,^b Marina M. de Brito,^b Caio O. Cavalcante,^a Robson S. Lima^a

^a Water Wellan Treatment - **WWT** - Rodovia 512, Km 0 módulo 10, Camaçari – BA, 42.810-440.

^b Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Unidade Cimatec, Av. Orlando Gomes, 1845 - Pirata, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

* dartagnam@wwt.com.br

Recebido em 6 de agosto de 2016. Aceito para publicação em 6 de agosto de 2016

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

2.1. Sistema de osmose reversa

2.2. Parâmetros de processo

2.3. Análise de água

2.4. Autópsia da membrana

3. Resultados e Discussão

3.1. Parâmetros de processo

3.2. Composição das correntes

3.3. Autópsia da membrana

4. Conclusões

1. Introdução

A crescente demanda por água potável associada ao uso inadequado e à distribuição irregular tem levado à escassez deste recurso vital em várias regiões do planeta. A osmose reversa, ou osmose inversa, é o processo de separação por membranas de maior número de aplicações industriais, sendo aplicada principalmente na dessalinização da água de mar em locais de difícil transporte e armazenamento de água potável, como ilhas

e plataformas de petróleo.¹⁻³ Também tem grande aplicação em regiões semiáridas onde a água disponível é de baixa qualidade para consumo humano.⁴

Durante o uso da membrana, ocorre a formação de *fouling*, uma incrustação, na sua superfície, o que leva à diminuição da vazão e da qualidade do permeado, aumento da pressão do sistema, do consumo de energia e da necessidade de paradas para troca/limpeza do elemento filtrante e/ou consumo de produtos químicos.^{5,6}

Existem três tipos de *fouling*. A

incrustação provocada pelo crescimento de microrganismos (bactérias, algas, fungos) chamada de *biofouling*.⁷ Já as incrustações provocadas pelo acúmulo de partículas são classificadas de acordo com sua natureza: *fouling* orgânico⁸ (ex. ácidos húmicos, proteínas) ou *fouling* inorgânico^{9,10} (ex. sílica coloidal, carbonatos e sulfatos).

O *biofouling* é um dos problemas mais graves já que, além do tamanho das partículas causadoras em relação às moléculas orgânicas e aos sais inorgânicos, uma vez que são espécies vivas, ocorre sua proliferação e o aumento da camada inibidora. Além disso, o metabolismo destes organismos leva ao aumento da concentração de espécies orgânicas na superfície da membrana. Por isso é importante analisar a quantidade de orgânicos dissolvidos na água, tanto pela prevenção do *biofouling* quanto do *fouling* orgânico. Na prática, os compostos mais críticos para as membranas são: sílica, sulfato de cálcio, estrôncio e bário, pois formam um tipo de incrustação irreversível.^{4,9,10}

Para minimizar estes problemas, muitas vezes são associadas unidades de pré-tratamento à unidade de osmose reversa.¹¹⁻¹³ O pré-tratamento mais adequado depende da natureza e da qualidade da água de alimentação, bem como da qualidade do permeado desejada. Podem ser usadas diferentes estratégias de prevenção como processos de coagulação, oxidação e sedimentação que removem contaminantes como Fe, Mn e Carbono Orgânico Total (COT). Outra estratégia é a partir da retro lavagem associada a produtos químicos que dissolvem a camada de incrustação a partir de reações químicas. Em ambos os casos, o custo com insumos químicos é bastante elevado.^{2,12,13}

Alternativas aos insumos químicos, processos de filtração também são utilizados como pré-tratamentos de água de alimentação, por exemplo, uso de abrandadores, filtros de areia ou filtros de carvão.¹¹ Estes são usados, principalmente, na remoção de materiais orgânicos solúveis e também ajudam no processo de decloração,

que evita a degradação da membrana.

Outros processos de filtração como a microfiltração e a ultrafiltração^{12,13} já são utilizados no pré-tratamento da água de alimentação da unidade de osmose reversa a fim de minimizar a formação de *fouling* na última unidade, já que as membranas de maior porosidade são mais baratas.

Novas propostas são baseadas no uso de radiação eletromagnética pelo uso de eletroímãs ou emissores de radiação eletromagnética.^{14,15} O uso de campo magnético ainda é pouco usado assim como pouco se sabe sobre como ele afeta as propriedades da água e dos sais nela dissolvidos.

A tecnologia wellan2000®, baseada nos princípios da mecânica quântica, é um emissor de ondas eletromagnéticas que estabilizam as impurezas da água e dificulta a formação de grandes aglomerados de partículas na superfície da membrana de osmose reversa.^{16,17} Uma vez que a formação de aglomerados de partículas na superfície da membrana é diminuída, espera-se que as incrustações ocorram de maneira mais lenta, minimizando a frequência de limpeza nas membranas em sistemas que usam o anel wellan2000®.

O presente artigo teve por objetivo relatar o uso da tecnologia wellan2000® como um pré-tratamento de um sistema de osmose reversa. Foram comparados parâmetros operacionais do sistema sem a utilização da tecnologia wellan2000® e a operação com a instalação desta tecnologia através de resultados de ensaios laboratoriais físico-químicos de qualidade da água, parâmetros operacionais como pressões de trabalho e vazão no sistema, além de imagens das membranas pós-teste obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2. Materiais e Métodos

2.1. Sistema de osmose reversa

Os experimentos foram realizados utilizando uma unidade de Osmose Reversa projetado pela PAM Membranas Seletivas Ltda em escala piloto para fins de pesquisa em tratamento de água. Foram utilizadas membranas de osmose reversa FILMTEC™ BW30-2540, de poliamida revestida por fibra de vidro, da marca Dow Chemical Company.

Com o intuito de operar a unidade 24 h dia⁻¹, foi montado um sistema de preparo de solução com concentração de 1000 mg L⁻¹ em Cl⁻ para ser alimentado no sistema de osmose reversa. Dois tanques de 500 L cada,

interligados, foram alimentados por fluxo de água da concessionária e por fluxo de solução aquosa concentrada de NaCl, alimentada por bomba dosadora, formando a solução com concentração aproximada de 1000 mg L⁻¹ em Cl⁻. O fluxo total passou por um sistema de filtração de 5 micras para remoção de material particulado e foi recirculada, passando através de uma bomba, donde desta, parte do fluxo foi destinada à alimentação de um segundo tanque para alimentar a unidade de osmose reversa (Figura 1).

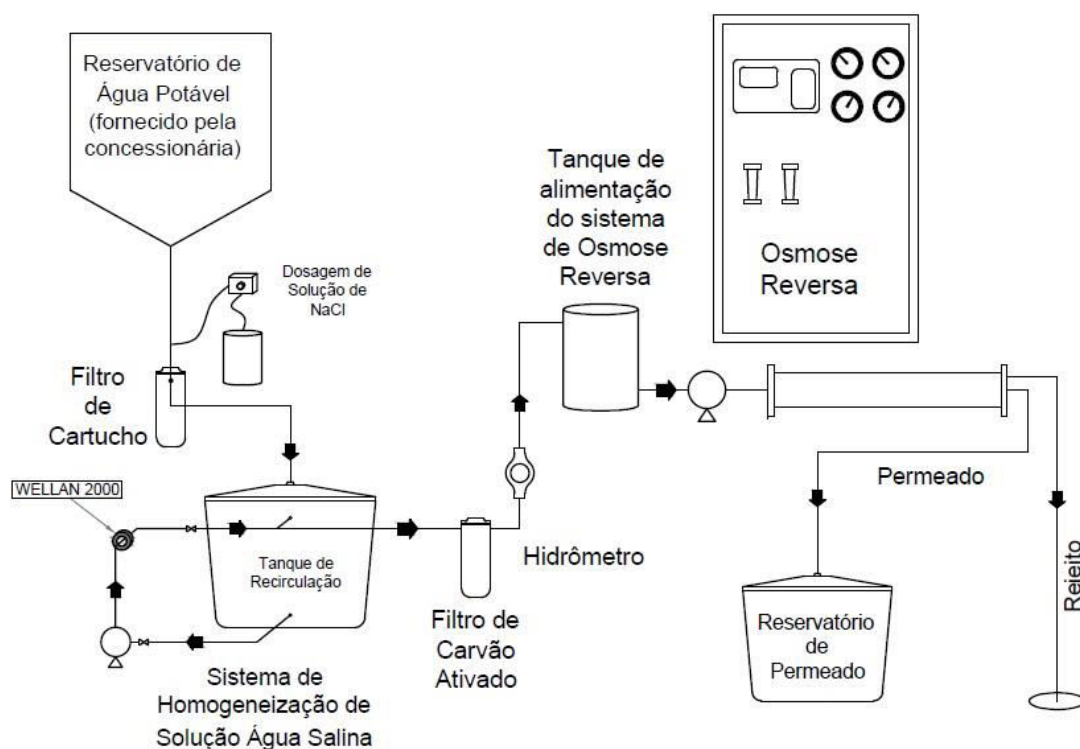


Figura 1. Diagrama esquemático da planta piloto de tratamento por OR por. Fonte: Próprio autor

A planta piloto dispõe de um sistema de monitoramento *on-line* da pressão nos tanques de água bruta, de alimentação do sistema Osmose reversa e de água tratada. A pressão de alimentação no vaso de pressão do equipamento e as vazões de alimentação e de permeado foram lidas diretamente no equipamento.

A solução retirada para alimentação do

sistema de osmose reversa passou também por outro sistema de filtração e por um hidrômetro. Esta, alimentou um tanque de 50 L de onde foi retirada a solução que alimentou o vaso de pressão do sistema de osmose reversa através de uma segunda bomba. A vazão de alimentação inicial foi de 348 L h⁻¹ com recuperação de 17%, ou seja, 60 L h⁻¹ de permeado e 288 L h⁻¹ de rejeito.

Foram realizados dois experimentos: no primeiro, o sistema de osmose reversa operou sem a tecnologia wellan2000® e, no segundo, o anel wellan2000® foi instalado em um ponto do sistema que garante que toda a solução receba a radiação emitida pelo mesmo.

2.2. Parâmetros de processo

Os parâmetros monitorados foram: pressão de alimentação e pressão de saída do rejeito (5,0 a 10,0 kgf cm⁻²), vazões de permeado e de rejeito (0,8 a 4,8 L min⁻¹) por leitura no próprio equipamento de osmose reversa. O volume de solução consumido foi acompanhado por um hidrômetro instalado antes do dessalinizador. O registro de dados foi feito diariamente até que se completasse o volume de 200 m³ de água alimentada, num período de 50 dias.

2.3. Análise de água

Foram coletadas amostras das correntes de processo (alimentação, permeado e rejeito) para análise da composição e de parâmetros físico-químicos com o objetivo de monitorar a eficiência de separação feita pela membrana e avaliar a tendência da natureza do *fouling* formado. Os parâmetros monitorados foram: cloretos, sulfatos, cálcio total, ferro total, dureza total, dureza em cálcio, bactérias heterotróficas, pH, turbidez, condutividade, cor aparente, carbono orgânico total, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, sílica e alumínio. As análises foram feitas em laboratório de ensaios acreditado pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 seguindo os métodos padrões de análise recomendados pela *American Public Health Association* (APHA) na publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.¹⁸

2.4. Autópsia da membrana

Após a alimentação de 200 m³ de solução, a membrana de osmose reversa foi retirada de operação e cortada para realização da autópsia. O corte das membranas foi feito a 15 cm da base inferior e foi retirada uma amostra com 2 cm de espessura. A amostra foi seca ao ar e foi preparada para análise com etapa de deposição de grafite. Após o preparo, a amostra foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com sonda de Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) para análise de composição num equipamento Thermo JSM-6510LV.

3. Resultados e Discussão

3.1. Parâmetros de processo

Os dados de vazão, pressão e o volume acumulado foram utilizados para construção das curvas pressão *versus* volume acumulado (Figura 2) e vazão *versus* volume acumulado (Figura 3).

Nos dois experimentos, a linha de tendência indica sempre um aumento da pressão e uma diminuição da vazão com o aumento do volume acumulado. Uma vez que as partículas presentes na corrente de alimentação se acumulam na superfície membrana, dois fatores são alterados devido à obstrução dos poros da membrana: pressão do sistema aumenta e a vazão de alimentação diminui. Os dois efeitos ocorrem porque não é possível fixar os parâmetros no sistema, nem manter a pressão constante para observar a variação da vazão nem manter a vazão e observar a variação da pressão no sistema.

Vale ainda ressaltar que esses parâmetros também dependem de outros fatores como a concentração da solução que alimenta o sistema, já que uma solução mais concentrada implica numa solução com maior pressão osmótica e, portanto, precisa

ser forçada para atravessar a membrana de osmose reversa com uma pressão maior.

Quando são comparadas as curvas dos dois experimentos, o sistema que operou

com a tecnologia wellan2000® indicou menor aumento de pressão no fim do experimento, o que indica menor obstrução da membrana por formação de *fouling* em sua superfície.

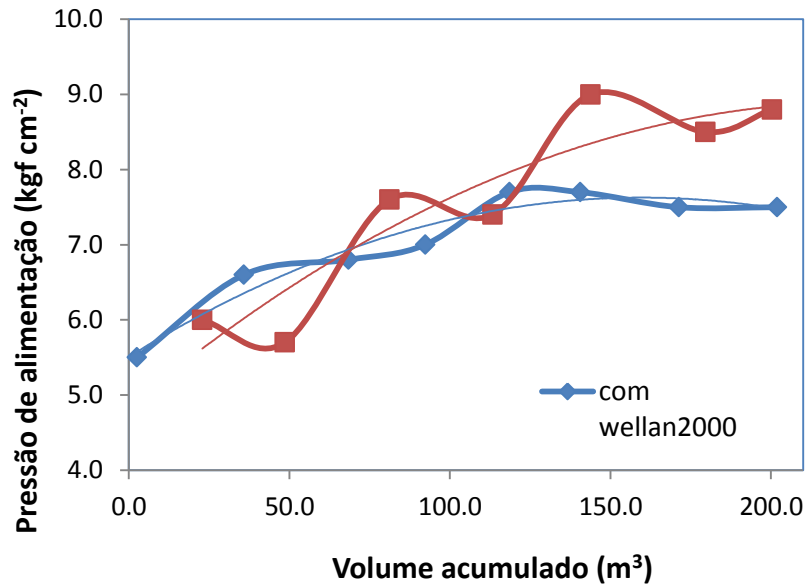


Figura 2. Curva pressão x volume acumulado dos experimentos com e sem pré-tratamento com wellan2000®

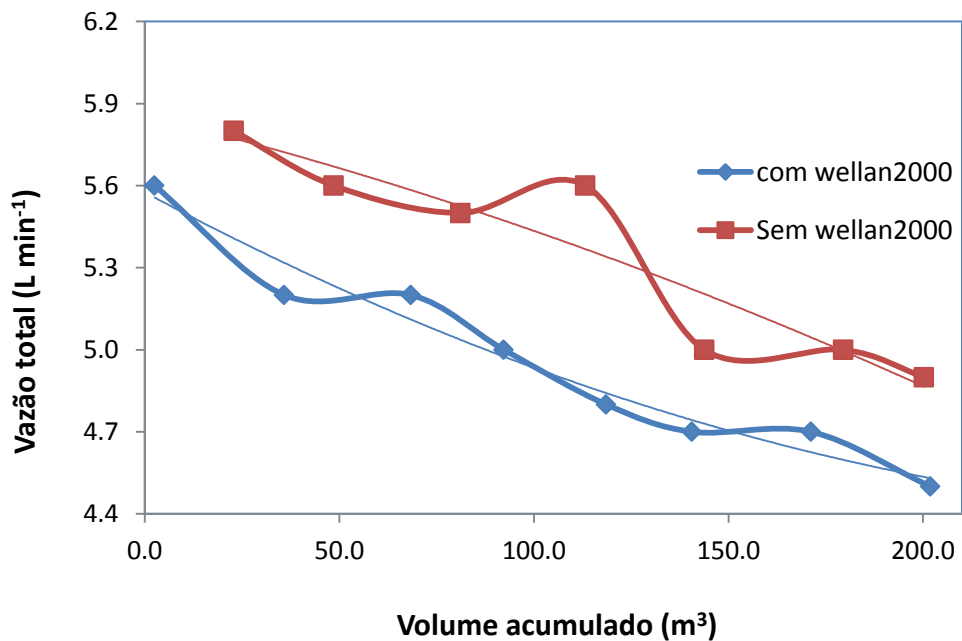


Figura 3. Curva vazão total x volume acumulado dos experimentos com e sem pré-tratamento com wellan2000®

A curva vazão total *versus* volume (Figura 3) mostra que a membrana utilizada no sistema que operou com wellan2000®, iniciou a operação com menor vazão de alimentação quando comparada a membrana utilizada no experimento sem a tecnologia. Esta diferença se deve a flutuações naturais na confecção da própria membrana e não uma interferência do anel no funcionamento do sistema.

A análise da curva mostra que durante toda a operação com as duas membranas, houve redução na vazão de alimentação do sistema devido à obstrução dos poros da membrana pelo acúmulo de partículas em sua superfície. Apesar de uma das membranas ter iniciado a operação com menor vazão, a diferença de vazão entre as duas membranas é praticamente constante, o que justifica que este efeito não se deve a influência do anel wellan2000®.

A composição química média da solução enriquecida com Cl^- utilizada nos testes de tratabilidade é apresentada na Tabela 1. Foram realizadas cinco coletas de água para a análise de composição. Esta solução apresenta apenas pequenas variações nos valores dos parâmetros devido às oscilações naturais dos mesmos. Apenas o cloreto é incrementado à água proveniente da concessionária, sendo os demais parâmetros característicos da fonte de água.

Os resultados mostram que a solução rica em cloretos foi obtida com concentração muito próxima à desejada, de 1000 mg L^{-1} . A adição do cloreto de sódio à água proveniente da concessionária local altera também os parâmetros: condutividade, sólidos totais e sólidos totais dissolvidos. Os demais parâmetros são de ocorrência e concentração naturais da água da concessionária.

3.2. Composição das correntes

Tabela 1. Composição química da solução de alimentação da OR

Ensaio	Média \pm Desvio	Unidade
Cloretos	1006 ± 169	mg L^{-1}
Sulfatos	$18,16 \pm 4,5$	mg L^{-1}
Dureza Total	$55,1 \pm 12,2$	$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$
Bactérias heterotróficas	$6,0 \times 10^3 \pm 5,1 \times 10^3$	UFC mL^{-1}
pH	$6,78 \pm 0,65$	--
Condutividade	3705 ± 587	$\mu\text{S cm}^{-1}$
Turbidez	$< 0,43 \pm 0$	NTU
Cálcio Total	$10,6 \pm 0,9$	mg L^{-1}
Ferro Total	$< 0,7 \pm 0$	mg L^{-1}
COT	$3,61 \pm 1,49$	mg L^{-1}
Sólidos Totais Dissolvidos	1762 ± 166	mg L^{-1}
Cor aparente	$< 5 \pm 0$	$\text{mg L}^{-1} \text{Pt-Co}$
Sólidos Totais	2734 ± 926	mg L^{-1}
Dureza Cálcio	$26,5 \pm 2,2$	$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$
Sílica*	$3,5 \pm 1,2$	$\text{mg L}^{-1} \text{SiO}_2$
Alumínio*	$< 0,10 \pm 0$	mg L^{-1}

*Medidos em apenas duas coletas.

O parâmetro Bactérias Heterotróficas mostrou valores muito elevados e em diferentes ordens de grandeza. Uma vez que

as bactérias, como organismos vivos, proliferam em ambientes com condição adequada de temperatura, umidade, pH,

nutrientes etc., é natural que os valores variem bastante, principalmente, quando não há rotina de limpeza^{7,11}.

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise de todos os parâmetros para os três

pontos (alimentação, permeado e rejeito), referentes ao experimento de referência, sem pré-tratamento com wellan2000®. Nesse experimento, foi feita apenas uma coleta de água para análise.

Tabela 2. Resultados de análise das correntes de processo sem a tecnologia wellan2000®

Ensaio	Resultados		
	Alimentação	Permeado	Rejeito
Cloretos (mg L ⁻¹)	874	36,6	1160
Sulfatos (mg L ⁻¹)	12,4	0,03	15,9
Dureza total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	60,6	2,8	75,6
Bactérias heterotróficas (UFC mL ⁻¹)	1,7x10 ³	1,1x10 ²	1,8x10 ²
pH	7,09	7,01	7,05
Condutividade (µS cm ⁻¹)	3639	432	5151
Turbidez (NTU)	< 0,43	< 0,43	< 0,43
Cálcio total (mg L ⁻¹)	9,56	< 0,65	11,9
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,07	< 0,07	< 0,07
COT (mg L ⁻¹)	3,08	0,73	3,37
Sólidos totais dissolvidos (mg L ⁻¹)	1750	83	2900
Cor aparente (mg L ⁻¹ Pt-Co)	< 5	< 5	< 5
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	2820	109	3580
Dureza Cálcio (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	23,9	< 1,6	29,7

As membranas de osmose reversa são bastante seletivas ao tamanho das partículas dissolvidas na água de alimentação, separando microrganismos, sólidos finamente dispersos, moléculas orgânicas e até íons de com baixo volume hidratado como o íon sódio (Na⁺).¹³ Devido a esta característica, a análise de composição das três correntes de processo mostrou que houve redução de todos os parâmetros medidos quando são comparados os resultados para a água de alimentação e para a água tratada (permeado), exceto para os parâmetros Turbidez, Cor aparente e ferro total, que em ambos já se encontram num valor abaixo do limite de quantificação.

Os ensaios referentes aos íons cloreto e sulfato mostram que a membrana de osmose reversa rejeita esses íons, o que também contribui para a diminuição da condutividade quando comparados os resultados da alimentação de do permeado. A análise de cálcio está diretamente associada aos ensaios de dureza, que indicam a presença de íons

bivalentes no meio. Uma vez que o cálcio também é rejeitado pela membrana, os valores apresentados para dureza total e dureza de cálcio seguem a mesma linha.

Os ensaios de bactérias heterotróficas e COT indicam a presença de material de origem orgânica, seja pela presença de microrganismos ou de moléculas de origem orgânica. Os resultados para tais parâmetros também diminuem quando comparadas a alimentação e o permeado, ainda que as bactérias possam se reproduzir e não entrar no balanço de massa do sistema. Os demais parâmetros (pH, sólidos totais e sólidos totais dissolvidos) são influenciados pela presença de muitas espécies e também indicam rejeição de partículas pela membrana de osmose reversa.

Para o experimento com a tecnologia wellan2000® como pré-tratamento, foram feitas duas coletas. Os resultados são apresentados na Tabela 3 como média dos valores obtidos nas duas coletas.

Tabela 3. Resultados de análise das correntes de processo com a tecnologia wellan2000®

Ensaio	Média dos resultados		
	Alimentação	Permeado	Rejeito
Cloretos (mg L ⁻¹)	991	37,7	1335
Sulfatos (mg L ⁻¹)	16,5	0,1	23,3
Dureza Total* (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	37,1	43,4	78,1
Bactérias heterotróficas (UFC mL ⁻¹)	1,2x10 ⁴	1,4x10 ²	1,0x10 ²
pH	6,89	6,35	6,82
Condutividade (µS cm ⁻¹)	4092	157	5143
Turbidez (NTU)	< 0,43	< 0,43	< 0,43
Cálcio Total (mg L ⁻¹)	10,55	< 0,65	13,2
Ferro Total (mg L ⁻¹)	< 0,07	< 0,07	< 0,07
COT (mg L ⁻¹)	3,38	1,99	3,42
Sólidos Totais Dissolvidos (mg L ⁻¹)	1905	126	2255
Cor aparente (mg L ⁻¹ Pt-Co)	< 5	< 5	< 5
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	3100	141	3670
Dureza Cálcio (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	26,3	< 1,6	32,9
Sílica* (mg L ⁻¹ SiO ₂)	4,4	0,1	1,1
Alumínio* (mg L ⁻¹)	< 0,10	< 0,10	< 0,10

*resultado de uma campanha de análise somente

Assim como no experimento padrão, sem o emissor de ondas eletromagnéticas, houve uma redução dos valores para o permeado em comparação com os obtidos para a alimentação e um aumento, no rejeito, em todos os parâmetros analisados, exceto para aqueles que já se encontravam abaixo do limite de quantificação (Turbidez, ferro total e cor aparente).

O ensaio de Dureza Total foi realizado nas duas coletas, mas um dos resultados se apresentou fora da faixa de resultados esperados, por isso, foi apresentado apenas um resultado na Tabela 3. Os valores apresentados para a Dureza Total na segunda campanha estavam todos abaixo do limite de quantificação do método, o que pode ser devido a um efeito da própria tecnologia wellan2000® ou a uma alteração da água de entrada no sistema. Este fato está sendo investigado.

Na segunda coleta foram inseridos os parâmetros Sílica e Alumínio após suspeita de

contribuição dos elementos Al e Si na análise preliminar da membrana utilizada no primeiro experimento sem o wellan2000® por MEV-EDS. Os valores obtidos para alumínio para as três correntes de processo foram abaixo no limite de quantificação. Apenas para o silício foram encontrados valores quantificáveis que mostraram a mesma tendência dos outros parâmetros, diminuição no permeado quando comparado com a alimentação.

3.3. Autópsia da membrana

Inicialmente foram coletadas micrografias do *fouling* formado na superfície da membrana com diferentes magnificações (Figura 4). As imagens mostram uma superfície com muitas rachaduras na camada de incrustação. Os diferentes tons nas imagens são decorrentes da etapa de deposição de grafite nas amostras e de uma

possível interferência com a cola que prende a membrana ao suporte no microscópio.

A disposição das rachaduras apresentadas é característica do contato da superfície da membrana com o espaçador de alimentação. Além disso, as rachaduras fazem parte da secagem da lama formada e não se pode

afirmar que são características do *fouling* enquanto a membrana ainda está em uso, embora haja diferença na textura apresentada nas membranas usadas nos dois experimentos, que pode ser um efeito do anel na formação do *fouling*.

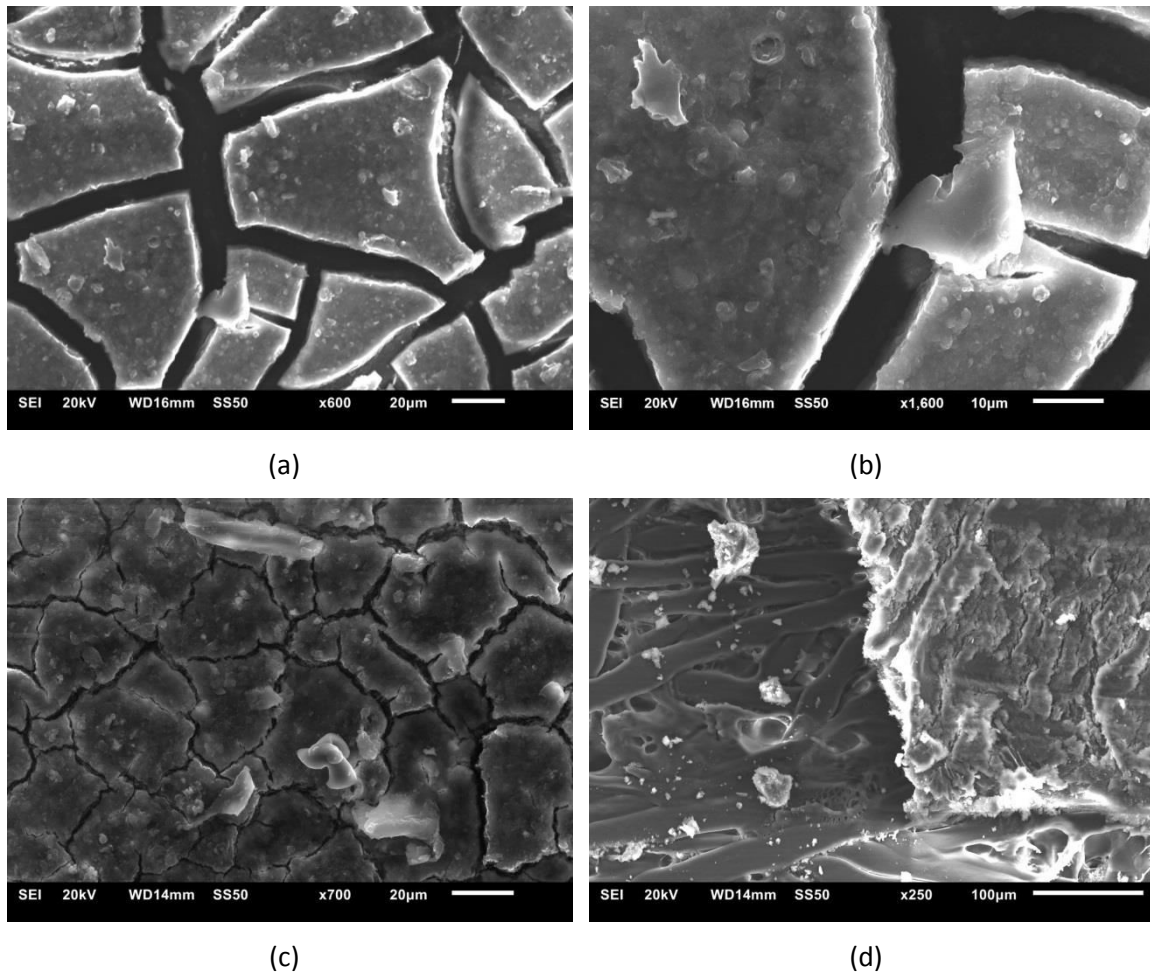


Figura 4. Micrografias das membranas pós-teste em diferentes magnificações para o experimento sem wellan2000 (a) e (b) e com a tecnologia wellan2000 (c) e (d)

As micrografias com maior resolução, Figuras 4(b) e 4(d), foram utilizadas para fazer o mapeamento da superfície e dar informações sobre a composição do material retido pela membrana (Figuras 5 e 6). Essas

imagens mantem as características observadas nas imagens de menor resolução e, para o experimento com wellan2000®, a micrografia também mostra parte do polímero que suporta a membrana.

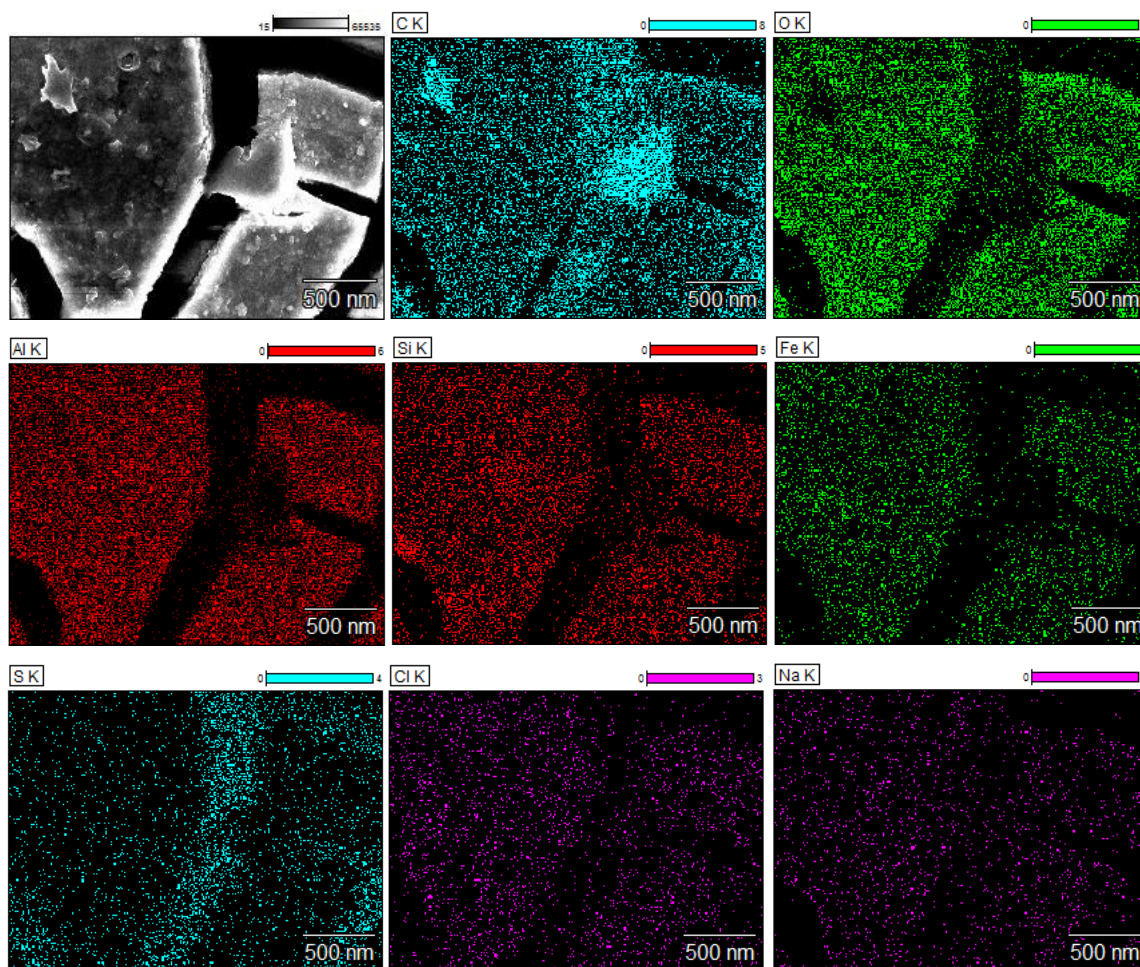


Figura 5. Mapeamento feito por EDS do *fouling* formado na membrana sem exposição ao wellan2000®

O mapeamento feito por EDS indicou a presença dos elementos Carbono (C), Oxigênio (O), Alumínio (Al), Silício (Si), Ferro (Fe), Enxofre (S) e Cloro (Cl) para as duas membranas e o elemento Sódio (Na) apenas para a membrana do experimento sem wellan2000®. O aparecimento dos elementos Na e Cl se deve à natureza do sal utilizado no preparo da solução, já os elementos Al, Fe e S fazem parte da composição de substâncias utilizadas no tratamento de água na concessionária e os elementos Carbono, Oxigênio e Enxofre compõe a membrana e as camadas que a suportam.

A análise da água de alimentação mostrou a presença de sílica, justificando o aparecimento do silício na incrustação da membrana, mas não detectou alumínio e

ferro nessa mesma corrente. Ainda assim, sabe-se que o tratamento de água convencional usa substâncias contendo estes elementos: ácido fluossilícico,¹⁹ sulfato de alumínio²⁰ e cloreto férrico.²⁰ Portanto, a água que abastece o a planta piloto pode ter uma quantidade de alumínio e ferro residuais desta fase do tratamento de água, e, devido ao grande volume de água utilizado, estas espécies fiquem acumuladas na superfície da membrana.

A Figura 7 mostra imagem de uma vista lateral da membrana que evidencia a camada de *fouling* formado. A membrana está representada pela camada da direita, escura, e o *fouling*, à esquerda, pela região mais clara.

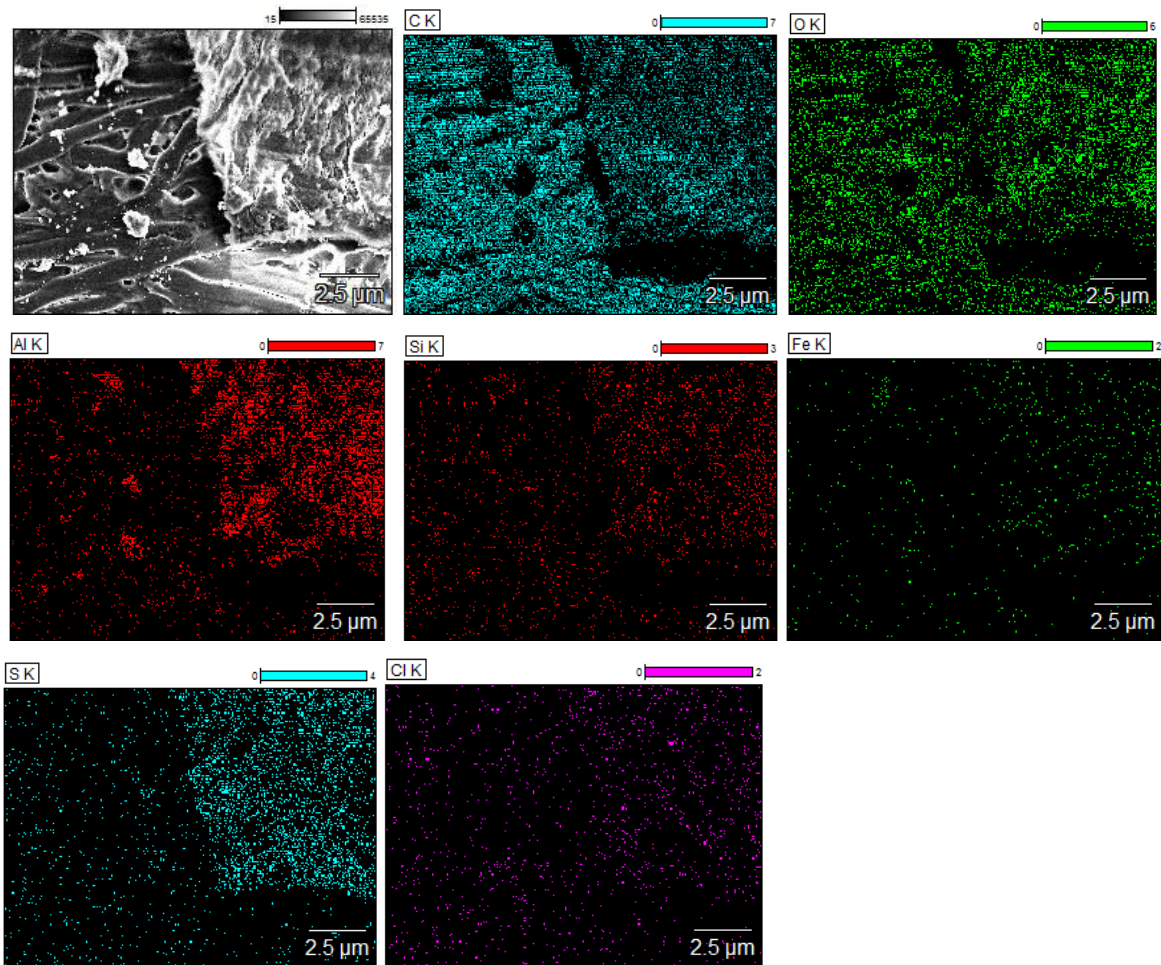
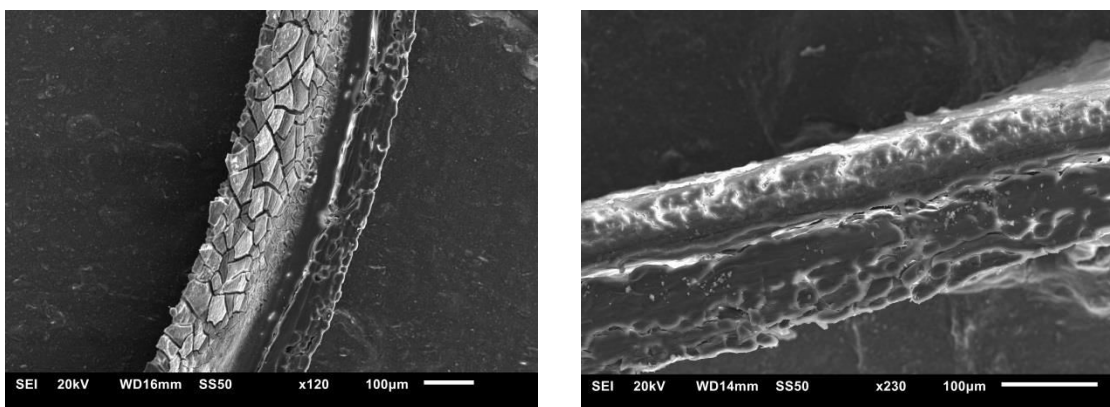


Figura 6. Mapeamento feito por EDS do *fouling* formado na membrana com exposição ao wellan2000



Sem wellan2000®

Com wellan2000®

Figura 7. Micrografia das membranas na posição lateral

4. Conclusões

Os resultados mostram que a tecnologia wellan2000® altera as propriedades do sistema de osmose reversa, seja nas variáveis de processo, na composição das correntes e nas propriedades do *fouling* formado na membrana de osmose reversa.

A avaliação dos dados de processo (pressão e vazão) durante o experimento indicou melhores resultados para a operação com a tecnologia wellan2000®, com menor aumento de pressão quando comparado ao experimento sem a tecnologia. Apesar de obter uma menor vazão no fim do experimento, a qualidade do permeado se manteve.

As análises químicas das correntes de processo mostraram a eficiência da separação de partículas feita pela membrana de osmose reversa, mas não mostrou diferenças significativas entre os experimentos. O parâmetro Dureza Total está sendo investigado como possível efeito da tecnologia wellan2000®.

A caracterização do *fouling* acumulado na membrana de osmose reversa teve maior contribuição do *fouling* do tipo inorgânico, formado principalmente pelos óxidos de alumínio, de silício e de ferro nos dois experimentos. A comparação das imagens obtidas por MEV mostra variação na textura do material depositado na membrana o que pode ser justificado pela ação da radiação emitida pelo anel wellan2000®.

Agradecimentos

O projeto está sendo desenvolvido na unidade Senai-Cimatec, tem parceria com a empresa de tratamento de água WWT e possui apoio financeiro da Fapesb. Os autores agradecem à Fapesb pelo apoio financeiro ao projeto e pela concessão da bolsa DTI à pesquisadora Marina Brito (contrato 007/2014).

Referências Bibliográficas

- ¹ Penate, B.; García-Rodríguez, L. Retrofitting assessment of the Lanzarote IV seawater reverse osmosis desalination plant. *Desalination* **2011**, *266*, 244. [[CrossRef](#)]
- ² Gokçek, M.; Gokçek, O. B. Technical and economic evaluation of freshwater production from a wind-powered small-scale seawater reverse osmosis system (WP-SWRO). *Desalination* **2016**, *381*, 47. [[CrossRef](#)]
- ³ Filho, H. R. B.; da Rocha, E. F. C.; de Oliveira, V. P. S. Produção e consumo de água dessalinizada em plataforma de petróleo. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego* **2014**, *8*, 9. [[Link](#)]
- ⁴ Moura, J. P., Monteiro, G. S., Silva, J. N., Pinto, F. A., França, K. P., Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. *Material Didático da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – LABDES – Laboratório de dessalinização*, Campina Grande. [[Link](#)]
- ⁵ Greenlee, L. F.; Lawer, D. F.; Freeman, B. D.; Marrot, B.; Moulin, P. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research* **2009**, *43*, 2317. [[CrossRef](#)]
- ⁶ Motta, A. R. P.; Morais, J. T. G.; Esquerre, K. P. O.; Kiperstok, A. O Fouling No Tratamento De Águas E Efluentes Através De Processos De Membranas: O Estado-Da-Arte Em Estudos Do Fenômeno E Tecnologias E Estratégias Para Superação Do Problema. *I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental – COBESA*, Salvador, 2012. [[Link](#)]
- ⁷ Matin, A., Khan, Z., Zaidi, S. M. J., Boyce, M. C., Biofouling in reverse osmosis membranes for seawater desalination: Phenomena and prevention. *Desalination* **2011**, *281*, 1. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Wang, Y.-N.; Tang, C. Y. Fouling of Nanofiltration, Reverse Osmosis, and Ultrafiltration Membranes by Protein Mixtures: The Role of Inter-Foulant-Species Interaction. *Environment Science and Technology* **2011**, *45*, 6373. [[CrossRef](#)]

- ⁹ Cob, S. S.; Hofs, B.; Maffezzoni, C.; Adamus, J.; Siegers, W. G.; Cornelissen, E. R.; Guner, F. E. G.; Witkamp, G. J. Silica removal to prevent silica scaling in reverse osmosis membranes. *Desalination* **2014**, *344*, 137. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Waly, T.; Kennedy, M. D.; Witkamp, G. J.; Amy, G.; Schippers, J. C. The role of inorganic ions in the calcium carbonate scaling of seawater reverse osmosis systems. *Desalination* **2012**, *284*, 279. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Oliveira, F. F.; *Dissertação de mestrado*, Universidade de São Paulo, 2012. [[Link](#)]
- ¹² Schineider, R. P.; Oristanio, B. S.; Peig, D. B.; Lopes, M. A. S. Desenvolvimento de um Sistema de pré-tratamento para osmose reversa. Relatório Técnico, USP, 2006. [[Link](#)]
- ¹³ Jamaly, S.; Darwish, N. N.; Ahmed, I.; Hasan, S. W. A short review on reverse osmosis pretreatment technologies. *Desalination* **2012**, *354*, 30. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Barboza, M. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, 2002. [[Link](#)]
- ¹⁵ Costa, W.; *Dissertação de Mestrado*, Escola de Engenharia Mauá, 2006. [[Link](#)]
- ¹⁶ Cavalcante, C. O.; Filho, D. G. N.; Pontes, L. A. M. Tratamento de água industrial wellan2000. Trabalho apresentado na INTERCORR, Salvador, 2012. [[Link](#)]
- ¹⁷ Information Brochure – WELLAN2000 – [[Link](#)]
- ¹⁸ APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 nd ed., Washington, American Public Health Association Pub., 2012. [[Link](#)]
- ¹⁹ Santos, C. C. M.; Rodrigues, J. C. S.; Lopes, M. R. V.; Povnelli, R. F.; Terreri, A. L. M. Avaliação da concentração de flúor nas águas de abastecimento público: estudo retrospectivo e de heterocontrole. *Revista Instituto Adolfo Lutz* **2012**, *71*, 507. [[Link](#)]
- ²⁰ Libânio, M.; Pereira, M. M.; Vorcaro, B. M.; Reis, R. C.; Heller, L. Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada. *19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2005. [[Link](#)]