

## II-230 - ÁGUA DE REÚSO APLICADA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA – UM ESTUDO DE CASO

### **Alessandra Piaia<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela Escola de Engenharia Mauá, Mestre em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Escola Politécnica da USP e Engenheira de Aplicações na TORAY.

### **Marcelo Bueno<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Industrial pela Universidade Santa Cecília, Pós-Graduado em Gestão Ambiental pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI) e Gerente Regional na TORAY.

### **Amanda Cavalhero<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, e Consultora Técnica Industrial de Processos de Tratamento de Águas e Efluentes na Nalco Water.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Paulista, 1048, Conj.71, 7º andar - Bela Vista - São Paulo – SP - CEP: 01310-100 – Brasil – Tel: +55 (11) 4314-7793 – e-mail: alessandra@toray-brazil.com.

### **RESUMO**

Este estudo de caso descreve um sistema de reúso instalado em uma indústria de vidros localizada no Sudeste do Brasil. Dimensionado para obter o mínimo descarte de líquidos possível, ele conta com a utilização de processos de separação por membranas para obter água de reúso de alta qualidade, pronta para ser reutilizada no processo produtivo fabril e com o gerenciamento adequado de correntes para evitar desperdícios. Na estação de tratamento de efluentes industrial, é empregada uma ultrafiltração como etapa final do tratamento, este efluente foi então encaminhado em sua totalidade para a estação de tratamento de água, onde, juntamente com uma contribuição de água de poço, contribuiu para compor diversas correntes de reúso. A qualidade do efluente tratado foi analisada e alguns dos parâmetros de maior relevância foram a turbidez, óleos e graxas, carbono orgânico total, alumínio, paládio, ferro e prata, apresentando os seguintes valores, em sequência, <1 NTU, <1 mg/L, 1 mg/L, 0,14 mg/L, 0,04 mg/L, 0,05 mg/L, 0,003 mg/L. Após implantado o sistema de reúso, foram obtidos alguns resultados positivos, como a economia de 17.784 m<sup>3</sup>/mês de efluente que seriam descartados em rede coletora de esgotos, economia de 12 m<sup>3</sup>/h na captação de água de poço e o descarte efetivo de apenas 885 m<sup>3</sup>/mês.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reúso, descarte mínimo de líquidos, ultrafiltração, osmose reversa.

### **INTRODUÇÃO**

A disponibilidade de água é variável no tempo e no espaço, em razão das condições climáticas, período do ano e, cada vez mais, pela atividade humana, seja pela demanda excessiva ou por conta de poluição resultante do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais. Embora o nosso planeta tenha três quartos de sua superfície coberta pela água, apenas uma parcela, referente à água doce, pode ser aproveitada na maior parte das atividades humanas. A escassez de água é uma realidade tanto em áreas de climatologia desfavorável, quanto em regiões altamente urbanizadas, como em grandes áreas metropolitanas. <sup>[1]</sup>

A água é um insumo indispensável na indústria, ela deve estar disponível na qualidade e quantidade necessárias, atendendo usos muito específicos e cumprindo diversos papéis em uma mesma indústria. O consumo de água na indústria pode ser influenciado por diversos fatores, como o ramo de atividade, a capacidade de produção, condições climáticas, disponibilidade, idade da instalação, etc. Ela pode ser utilizada nas mais diversas aplicações, como matéria-prima, incorporada ao produto final, como fluido auxiliar, na preparação de soluções químicas e processos de lavagem, como fluido de aquecimento ou resfriamento, no transporte e assimilação de contaminantes, entre outras. <sup>[1]</sup>

As principais fontes de geração de efluente na indústria são os processos de tratamento de água e as atividades que a utilizam. O gerenciamento adequado de efluentes é essencial para que não causem problemas ao meio ambiente. Os principais fatores que motivam o reúso de água são: a redução da poluição dos cursos d'água, a

disponibilidade de efluentes tratados com alta qualidade, uma fonte confiável de abastecimento de água e o gerenciamento da demanda de água em períodos de seca. [2]

A fim de atender o constante aumento na demanda e nos padrões de qualidade de água, uma grande diversidade de tecnologias vem sendo aplicada na área de tratamento de água e efluentes. Entre essas tecnologias estão os processos de separação por membranas, que provaram ser adequados e confiáveis nos mais diversos cenários de reúso. Membranas de microfiltração e ultrafiltração são utilizadas para remover material particulado, turbidez, patógenos e alguns colóides de alto peso molecular, já as membranas de nanofiltração e osmose reversa removem com propriedade partículas dissolvidas, como dureza, sub-produtos da desinfecção com cloro, sais dissolvidos e compostos de baixo peso molecular. Um dos grande desafios é saber como selecionar o melhor processo de separação por mebranas para cada caso específico de produção de água de reúso. [3, 4]

Este estudo de caso tem como objetivo descrever um sistema de reúso dimensionado para reduzir ao máximo o descarte de efluentes, ressaltando as dificuldades encontradas na determinação da melhor tecnologia de tratamento, os pontos de utilização das corrente de água de reúso dentro e fora do processo produtivo e a economia de água obtida após implantação do sistema.

## METODOLOGIA

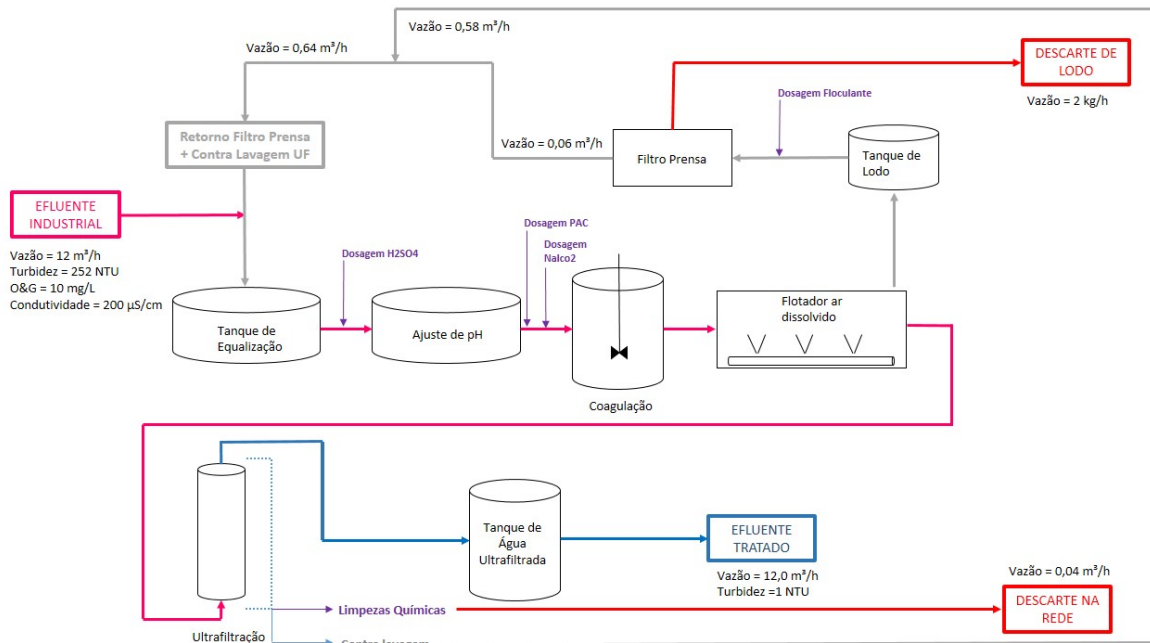
O sistema de reúso em questão está localizado em uma indústria de vidros situada no Sudeste do Brasil. Por conta da localização da indústria, o descarte do efluente tratado em corpos hídricos não era viável, tornando obrigatório o descarte na rede coletora de esgoto local, que possui uma alta taxa de cobrança pelo serviço. Portanto, o grande fator motivação para a aquisição desta planta de reúso de descarte mínimo de líquidos foi o alto custo para disposição final do efluente tratado.

A concepção geral desta planta de reúso engloba duas estações de tratamento, a estação de tratamento de água e a estação de tratamento de efluentes industriais, onde 100% do efluente tratado é encaminhado à estação de tratamento de água para compor a vazão total de alimentação submetida à tratamentos complementares. O efluente industrial recebe contribuições de diversos pontos do processo da indústria de vidros, sendo um efluente majoritariamente contaminado com pó de vidro, metais e produtos químicos diversos, provenientes de processos de lixamento, delaminação e pintura de espelhos. A tabela 1 indica a qualidade do efluente industrial alimentado à estação de tratamento de efluentes.

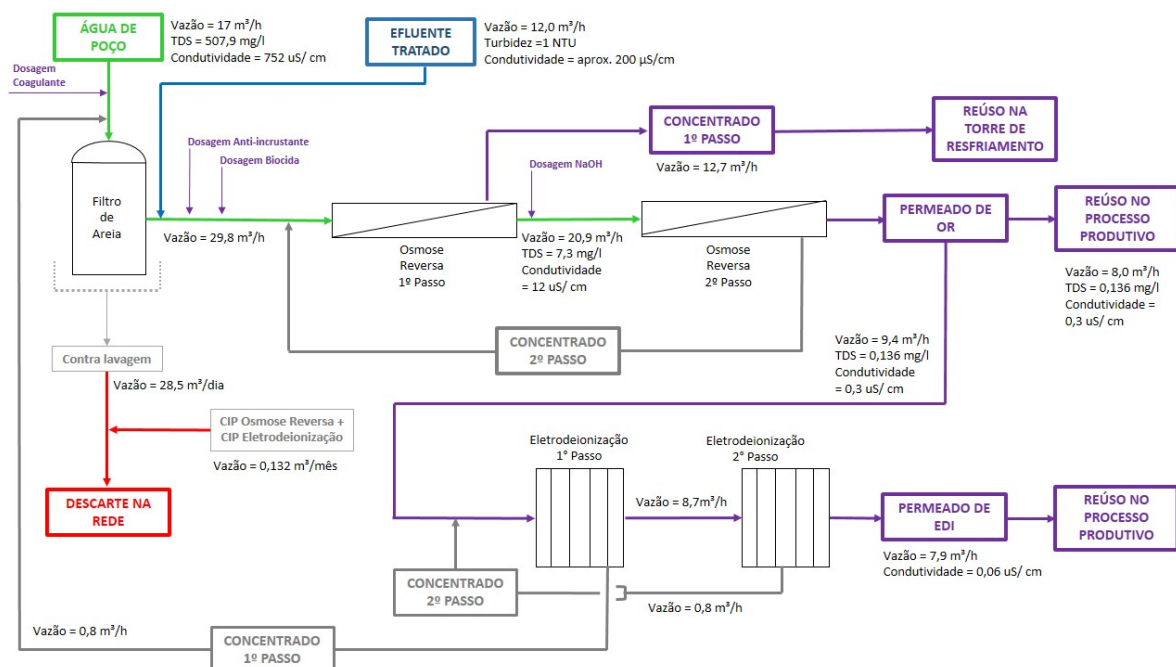
**Tabela 1: Qualidade do Efluente Industrial Bruto**

Parâmetros	Unidades	Valores
Turbidez	NTU	252
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	20 - 30
pH		10
Condutividade	µS/cm	200
Óleo e Graxas	mg/L	10
Temperatura	°C	20 – 30
Ferro Total	mg/L	0,14
Alumínio	mg/L	0,19
Prata	mg/L	0,03
Paládio	mg/L	0,05

Antes deste efluente ser encaminhado à estação, ele é submetido a uma etapa de decantação visando recuperação de prata e paládio, matérias-primas nobres e com valor comercial. A estação de tratamento de efluentes industriais é composta por um tanque de equalização, tanque para ajuste de pH, coagulação, flotor à ar dissolvido e um sistema de membranas de ultrafiltração. Por sua vez, a estação de tratamento de água se inicia na captação de água de poço, que é posteriormente enviada a um filtro multimedia. Após o filtro, a corrente de efluente tratado se une e ambas são enviadas ao skid de osmose reversa duplo passo e eletrodeionização parcial do permeado. A figura 1 representa um fluxograma simplificado da estação de tratamento de efluentes industriais e a figura 2 representa um fluxograma simplificado da estação de tratamento de água.



**Figura 1: Fluxograma Simplificado – Estação de tratamento de Efluentes Industriais**  
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2017)



**Figura 2: Fluxograma Simplificado – Estação de Tratamento de Água**  
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2017)

A partir da Figura 1 nota-se que, efetivamente, apenas duas correntes são descartadas, uma delas é o descarte de lodo, é a purga do sistema e é enviado para aterro sanitário, e a outra é proveniente das limpezas químicas da ultrafiltração (vazão intermitente), descartada na rede coletora de esgotos. A contra lavagem da ultrafiltração e o filtrado do filtro tipo *belt press* são recirculados para o tanque de equalização. A figura 2 detalha grande parte das correntes pertencentes à estação de tratamento de água, incluindo suas vazões. A única corrente de descarte feita na rede coletora é composta pela contra lavagem dos filtros de areia e limpezas

químicas da osmose reversa e da eletrodeionização. O concentrado do primeiro passo da osmose reversa é encaminhado integralmente à torre de resfriamento, o concentrado do segundo passo é recirculado para a alimentação do primeiro e ambos os concentrados provenientes da eletrodeionização são recirculados em diferentes pontos da planta. O permeado da osmose reversa e o permeado da eletrodeionização são consumidos no processo industrial de delaminação de vidros, cada um em uma aplicação específica.

Neste estudo de caso, as áreas de interesse serão os sistemas de ultrafiltração e de osmose reversa, grandes responsáveis pela viabilização do projeto e obtenção de um efluente tratado e água de reúso final de alta qualidade. Esses sistemas serão detalhados, com informações de projeto e operação. Ambas as estações de tratamento estão funcionando desde 2014 e foram fornecidas e são operadas pela Nalco.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ainda na fase de projeto, algumas opções de tecnologia de tratamento foram levantadas e analisadas, sempre priorizando a entrega da qualidade final requerida para utilização no processo produtivo. A tabela 2 demonstra um dos levantamentos feitos com o intuito de avaliar e definir qual a melhor tecnologia a ser utilizada neste caso específico. É um comparativo de custo operacional entre as tecnologias de osmose reversa seguida por eletrodeionização e troca iônica seguida por leito misto de polimento. O fator decisório na escolha da primeira tecnologia foi o menor custo operacional por m<sup>3</sup> de água produzida, já que o valor de investimento inicial era equivalente, assim como a qualidade final obtida.

**Tabela 2: Resumo Comparativo de Custo Operacional**

	<i>Tecnologias</i>	
	<b>Osmose Reversa + Eletrodeionização (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Troca Iônica (Cátion + Ânion) + Leito Misto de Polimento (R\$/m<sup>3</sup>)</b>
Energia	0,8	0,1
Químicos	0,1	5,0
Reposição Elementos	0,1	0,0
<b>Total</b>	<b>1,1</b>	<b>5,2</b>

O sistema de reúso foi implantado com a função de recuperar efluente industrial e utilizá-lo como matéria-prima para a produção de água consumida no processo produtivo da indústria de vidros, reduzindo ao máximo o descarte em rede coletora de esgoto. Esse sistema conta com a utilização de tecnologias de filtração em membrana, onde é possível destacar a ultrafiltração e a osmose reversa. A ultrafiltração é composta por 3 módulos operados em paralelo, recebendo uma vazão de alimentação de 12,6 m<sup>3</sup>/h e produzindo uma vazão de 12 m<sup>3</sup>/h. Sua recuperação é de aproximadamente 95,4% e o tipo de fibra utilizada é a fibra oca com filtração de fora para dentro. Alguns dados referentes ao módulo de ultrafiltração selecionado e de operação estão evidenciados abaixo:

- Modelo: HFU-2020N (TORAY);
- Quantidade: 3 módulos;
- Massa molar de corte: 150.000 Da;
- Tamanho nominal de poro: 0,01 µm;
- Área superficial de membrana: 72 m<sup>2</sup>/módulo;
- Diâmetro x Comprimento: 216 x 2.160 mm;
- Material da Fibra: PVDF;
- Pressão máxima de alimentação / Máxima perda de carga: 3 bar/ 2bar;
- Tempo de filtração: 30 minutos;
- Fluxo: 55,5 L/m<sup>2</sup>.h.

Este sistema de osmose reversa é composto por dois passos, cada passo por sua vez é composto por dois estágios. Um estágio pode ser definido como um conjunto de vasos de pressão dispostos paralelamente e que recebem a mesma vazão de alimentação. Já uma configuração de dois estágios é representada pelos vasos, do segundo estágio, dispostos paralelamente e recebendo o concentrado do primeiro como vazão de alimentação.

Um passo pode conter um ou dois estágios, variando sua recuperação de permeado. Em um sistema duplo passo, o segundo passo funciona como um polimento, pois é alimentado com o permeado do primeiro passo.

A vazão de alimentação é uma mistura entre o efluente tratado e a água de poço. O primeiro passo do sistema de osmose reversa é alimentado com 33,35 m<sup>3</sup>/h e produz 20,9 m<sup>3</sup>/h, resultando em uma recuperação de 62,7%. O segundo passo é alimentado com o permeado do primeiro e produz 17,4 m<sup>3</sup>/h de permeado, uma recuperação de 83%. Logo em seguida, o permeado do segundo passo é dividido e uma parcela segue para alimentar a eletrodeionização. Alguns dados sobre sistema de osmose reversa e de operação estão evidenciados abaixo:

- Modelo: TM720D-400 (TORAY);
- Quantidade de vasos de pressão no primeiro passo: 3 vasos no primeiro estágio e 1 no segundo estágio;
- Quantidade de vasos de pressão no segundo passo: 2 vasos no primeiro estágio e 1 no Segundo estágio;
- Quantidade de elementos por vaso: 5 elementos;
- Quantidade total de elementos: 35 elementos;
- Área de superfície de membrana: 400 ft<sup>2</sup> por elemento;
- Material da superfície seletiva: poliamida;
- Temperatura máxima de operação: 45 °C;
- Fluxo médio: 28,1 L/m<sup>2</sup>.h no primeiro passo e 31,1 L/m<sup>2</sup>.h no segundo passo ;
- Vazão de recirculação (concentrado do segundo passo): 3,56 m<sup>3</sup>/h;
- Recuperação do sistema: 58,25%;
- Pressão da bomba de alimentação: 10 bar (primeiro passo) e 9,2 bar (segundo passo).

Com a implantação dos módulos de ultrafiltração, acima descritos, como etapa final do tratamento de efluentes industriais, a qualidade do efluente tratado se tornou boa o bastante para alimentar as membranas de osmose reversa, demonstrando ser uma corrente livre de materiais em suspensão, metais (potenciais causadores de fouling nas membranas de osmose) e carga orgânica. A tabela 3 apresenta a qualidade do efluente tratado obtida após a ultrafiltração e, logo em seguida, as tabelas 4 e 5 apresentam a qualidade do permeado obtido via osmose reverse e via eletrodeionização. A eletrodeionização é utilizada como um polimento final de permeado, normalmente aplicada para a produção de águas com baixíssima condutividade e elevada pureza, para processos industriais que realmente possuem essa demanda.

**Tabela 3: Qualidade do Efluente Industrial Tratado**

Parâmetros	Unidades	Valores
Turbidez	NTU	<1
pH		7,0
Condutividade @ 25°C	µS/cm	590
Óleo e Graxas	mg/L	<1
Temperatura	°C	20 - 30
Carbono Orgânico Total	mg/L	1
Alumínio	mg/L	0,14
Paládio	mg/L	0,04
Sílica	mg/L	1,1
Ferro Total	mg/L	0,05
Prata	mg/L	0,003

**Tabela 4: Qualidade do Permeado Final da Osmose Reversa**

Parâmetros	Unidades	Valores
Turbidez	NTU	<1
pH		7,3
Condutividade @ 25°C	µS/cm	0,3
Temperatura	°C	20 – 30
Alumínio	mg/L	0,01
Sílica	mg/L	0,03
Ferro Total	mg/L	0,05
Prata	mg/L	0,003

**Tabela 5: Qualidade do Permeado Final da Eletrodeionização**

Parâmetros	Unidades	Valores
Turbidez	NTU	<1
pH		7,0
Condutividade @ 25°C	µS/cm	0,06
Temperatura	°C	20 – 30
Alumínio	mg/L	0,01
Sílica	mg/L	0,03
Ferro Total	mg/L	0,05
Prata	mg/L	0,003

A demanda por água de alta qualidade (especificada nas tabelas 4 e 5) dentro da indústria de vidros existe e, independente da fonte, essa demanda deve ser atendida. A vazão de efluente tratado representa 41% do total alimentado à estação de tratamento de água, os outros 59% são representados pela captação de água em poço. Com a reutilização deste efluente é possível identificar dois grandes ganhos: menor captação no poço para suprir demanda e menor descarte em rede coletora de esgoto, ambos podendo ser convertidos para economia monetária. Tanto a captação em poço quanto o descarte em rede são taxados pela concessionária local, que cobra por m<sup>3</sup> de água/efluente.

Ao reutilizar 100% do efluente tratado e ao enviar o concentrado do primeiro passo da osmose reversa (segunda grande vazão de rejeito) como água de reposição das torres de resfriamento, foi atingida uma economia de 17.784 m<sup>3</sup>/mês de água. Se essas correntes não fossem reaproveitadas, a fonte fornecedora de água seria outra, provavelmente de origem mais nobre. Após a implantação do sistema de reúso, o descarte efetivo é de aproximadamente 885 m<sup>3</sup>/mês.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Neste estudo de caso, um sistema de reúso focado no descarte mínimo de líquidos foi descrito. As tecnologias de filtração em membrana mostraram ser essenciais para a produção de uma água de reúso apta para aplicações nobres na indústria de uma forma geral. Com o gerenciamento adequado das correntes produzidas em cada estação de tratamento, foi possível suprir a demanda por água de alta qualidade e diminuir o descarte de efluentes na rede coletora.

Alguns parâmetros foram analisados no efluente tratado a fim de comprovar que sua qualidade era suficiente para alimentar, junto com uma água de poço, o sistema de osmose reversa seguido de eletrodeionização. Entre esses parâmetros, destacam-se a turbidez, óleos e graxas, carbono orgânico total, alumínio, paládio, ferro e prata, apresentando os seguintes valores, em sequência, <1 NTU, <1 mg/L, 1 mg/L, 0,14 mg/L, 0,04 mg/L, 0,05 mg/L, 0,003 mg/L.

Ao reutilizar 100% do efluente tratado e gerenciando as correntes que originalmente seriam descartadas, tanto na estação de tratamento de efluentes industriais, quanto na estação de tratamento de água, é possível citar alguns ganhos, como:

- Economia de 17.784 m<sup>3</sup>/mês que seriam descartados em rede coletora de esgotos e teriam uma taxa cobrada em cima deste volume de água;
- Economia na captação de água de poço em, pelo menos, 12 m<sup>3</sup>/h;
- Descarte efetivo em rede coletora de esgoto de apenas 885 m<sup>3</sup>/mês;
- Economia no consumo de produtos químicos por conta da tecnologia selecionada, osmose reversa seguida de eletrodeionização em detrimento da troca iônica seguida por leito misto de polimento, cerca de 50 vezes menor;
- Custo operacional da unidade osmose reversa seguida de eletrodeionização cerca de 4,7 vezes menor do que a unidade troca iônica seguida por leito misto de polimento.

Um projeto de reúso deve ser concebido de acordo com a necessidade da cada cliente, a escolha das tecnologias empregadas impactará diretamente na qualidade final do tratado e deve ser definida de acordo com os pontos de consumo dessa água de reúso. Alguns benefícios indiretos podem ser contabilizados a partir do sistema de reúso descrito neste estudo de caso, como a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais nele presentes, redução da poluição nos cursos d'água e maior autonomia com relação ao consumo de água da indústria em questão.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água na indústria uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de textos, 2005.
2. ASANO, T. Planning and implementation of water reuse projects. *Water Science and Technology*, Exeter, Great Britain, v. 24, n. 9, 1991. pp. 1-10.
3. SADR, S. M. K.; SAROJ, D. P.; KOUCHAKI, S.; ILEMOBADE, A. A.; OUKI, S. K. *A group decision-making tool for the application of membrane technologies in different water reuse scenarios*, *Journal of Environmental Management*, v. 156, p. 97-108, Jun. 2015.
4. EDZWALD, J. *Water Quality and Treatment – A Handbook on Drinking Water*. 6ª edição. Colorado: American Water Works Association, 2011.