

## ***Análise de diferentes fontes de água tratada por osmose reversa para aplicação em caldeiras industriais***

Diante da necessidade de fontes alternativas de água para utilização, estuda-se novas ferramentas que otimizem e ampliem as possibilidades do uso da água para atividades como agricultura, pecuária e indústrias. As caldeiras são instrumentos industriais que tem como fonte de alimentação a água, e está presente em diversos processos propulsores da economia. O funcionamento das caldeiras é adequado de acordo a NR-13 e as classificações é dada de acordo com o nível operacional de pressão, otimizando o seu funcionamento e tornando-o mais seguro, no entanto deve-se atentar a qualidade do fluido operacional, devendo estar enquadrado em determinados parâmetros físico-químicos e microbiológicos para evitar vapores de má qualidade, danos as caldeiras e acidentes. Através de pesquisas, fez-se possível realizar uma análise e comparativo dos resultados laboratoriais obtidos de amostras de águas tratadas por osmose reversa, sendo realizado uma revisão integrativa. Os resultados mostraram eficiência quanto ao processo de osmose reversa para remoção de sais e óxidos, particulados e elementos dissolvidos, algumas analises indicaram presença de coliformes totais e fecais, indicando a necessidade de estudos sobre o impacto negativo que pode causar em caldeiras devido a sua presença assim como fatores externos que levaram a esse resultado. Além disso, fez-se possível enfatizar a necessidade de pesquisas referente a minimização de danos quanto a implementação do sistema de osmose reversa.

**Palavras-chave:** Osmose reversa; Caldeiras; Qualidade da água.

## ***Analysis of different sources of water treated by reverse osmosis for application in industrial boilers***

In view of the need for alternative sources of water for use, new tools are being studied to optimize and expand the possibilities of using water for activities such as agriculture, livestock and industries. Boilers are industrial instruments that have water as their main source, and are present in several processes that propel the economy. Boilers are industrial instruments that have water as their main source, and are present in several processes that propel the economy. The operation of the boilers is adequate according to NR-13 and the classifications are given according to the operating pressure level, optimizing its operation and making it safer, however, the quality of the operating fluid must be analyzed, having to be framed in certain physical-chemical and microbiological parameters to avoid bad quality vapors, damage to boilers and accidents. Through research, it was possible to carry out an analysis and comparison of laboratory results obtained from samples of waters treated by reverse osmosis, with an integrative review being carried out. The results showed efficiency in the process of reverse osmosis to remove salts and oxides, particulates and dissolved elements, some analyzes indicated the presence of total and fecal coliforms, indicating the need for studies on the negative impact that can cause in boilers due to their presence as well as external factors that led to this result. In addition, it became possible to emphasize the need for research related to minimizing damage regarding the implementation of the reverse osmosis system.

**Keywords:** Reverse osmosis; Boilers; Water quality.

Topic: **Engenharia Química**

Received: **19/12/2020**

Approved: **11/03/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Graziella Ferreira de Melo** 

Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5084749887691686>  
<http://orcid.org/0000-0002-2022-8649>  
[gferreirademelo@outlook.com](mailto:gferreirademelo@outlook.com)

**João Victor Alves Laurentino**

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9472394433465359>  
[victorphysis@gmail.com](mailto:victorphysis@gmail.com)

**Lucicleitor Oliveira Santos** 

Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4670897310577091>  
<http://orcid.org/0000-0003-1251-9291>  
[lucicleitor\\_oliveira01@hotmail.com](mailto:lucicleitor_oliveira01@hotmail.com)

**Virgínia Lauanny Cupertino de Freitas**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/699384577500192>  
[vih\\_lauanny19@hotmail.com](mailto:vih_lauanny19@hotmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0014

### **Referencing this:**

MELO, G. F.; LAURENTINO, J. V. A.; SANTOS, L. O.; FREITAS, V. L. C. Análise de diferentes fontes de água tratada por osmose reversa para aplicação em caldeiras industriais. **Engineering Sciences**, v.9, n.1, p.138-147, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0014>

## INTRODUÇÃO

A escassez de água doce e sua distribuição irregular entre os países é dado como um problema agravante da sociedade. Atividades como as industriais, agricultura e pecuária tem comumente como matéria prima principal a água, e são atividades propulsoras da economia (HESPANHOL, 2002). Devido a indispensável utilização de água e as condições ambientais, há uma necessidade de técnicas alternativas para o tratamento de água visando uma maior disponibilidade deste recurso a partir de diferentes origens, seguindo as normas e portarias estabelecidas para cada finalidade (SILVA et al., 2017).

No cenário geral de utilização de água doce do mundo, as indústrias consomem em média 22% deste recurso, sendo direcionada para reações, processos químicos e funcionamento de equipamentos industriais como: caldeiras, jateadores de água, torres de resfriamento e tubulações (SANTOS et al., 2016). As caldeiras industriais, por sua vez, são equipamentos responsáveis por produzir vapor em condições específicas de trabalho. Utilizando água como fonte de alimentação, o vapor é acumulado sob pressão superior à atmosférica, enquanto energia é transferida na forma de calor para o fluido de trabalho através de, por exemplo, resistência elétrica no caso de caldeiras elétricas e gases de exaustão na queima de combustíveis (ALBERICHI, 2013). São utilizadas comumente em indústrias frigoríficas, petróleo e seus derivados e como geração de energia em usinas termoelétrica, segundo Santos et al. (2017).

Segundo Alberichi (2013), as caldeiras são equipamentos que trabalha em diferentes faixas de pressão, sendo necessário cuidados específicos durante seu processo de operação, requisitos que são especificados na Norma Regulamentadora nº 13, logo o fluido operacional deve estar com às características físico-químicas e biológicas estabelecidas. A água usada nas caldeiras industriais não deve ser bruta, pois há presença de contaminantes como íons cálcio, magnésio, silicatos, sulfatos e carbonatos que se tendem a depositar sobre a superfície das caldeiras, assim como afirma Santos et al. (2006), a presença de certos metais como ferro, zinco, cobre e chumbo que propulsiona incrustações nas paredes das caldeiras. Logo faz-se necessário que a água tenha passada por processos corretivos antes de ser utilizada, diante desse fato e da necessidade de alternativas mais sustentáveis, recorre-se o processo de osmose reversa, que é definido como o processo de separação da água dos sais minerais (SILVA et al., 2013).

O processo de osmose reversa, de modo geral, é responsável por remover a maior parte dos contaminantes, sendo a água do tipo salobra ou pluvial, enfatizando o processo de dessalinização da água como um propulsor de maior disponibilidade de água disponível para uso. Nesse sentido, o seguinte trabalho busca se debruçar sobre a análise da viabilidade de aplicação do processo de osmose reversa para o tratamento de água de diferentes fontes deste recurso, com a finalidade de aplicação em caldeiras industriais, de modo a determinar se ocorre a adequação das águas analisadas para o processo da geração de vapor.

## METODOLOGIA

A seguinte pesquisa foi estruturada com base em literaturas, utilizando o método de revisão

integrativa, cujo a coleta de dados foi realizada no período de fevereiro e março de 2021. Os materiais foram selecionados cuidadosamente ao longo de todo o processo de concepção. As buscas das literaturas ocorreram nas seguintes plataformas: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico. Os descritores utilizados nas pesquisas, no idioma português e inglês, foram: osmose reversa, novas técnicas de tratamento de água, caldeiras industriais, utilização de água nas indústrias e processos químicos industriais, respectivamente.

Fez-se o uso de operadores lógicos para correlacionar os descritores no processo de levantamento de literaturas utilizadas no artigo. Subsequente, fez-se a triagem das pesquisas ao qual realizou análises físico-químicas e microbiológicas em amostras de águas de diferentes fontes tratadas por osmose reversa, determinando o período e o nível de informações presentes nos critérios da pesquisa em questão. Ao todo foram estudadas 28 pesquisas, estando presente teses, artigos e resumos.

### Caldeiras industriais

Para Santos et al. (2016), as caldeiras são equipamentos industriais que tem como o fluido de trabalho a água, com a finalidade de formar vapor e por acumulá-lo à pressão superior ao da atmosfera, a partir de uma fonte de calor. O vapor da caldeira pode ser encontrado na forma saturada ou superaquecida, sendo vapor saturado o mais utilizado em indústrias, como por exemplo as indústrias têxtil, alimentícia e farmacêutica, enquanto o vapor superaquecido é direcionado para geração de energia mecânica nas termoelétricas (SANTOS et al., 2017). As caldeiras podem ser classificadas a partir da sua variedade operacional quanto ao nível de pressão de trabalho e por segurança técnica. A norma regulamentadora NR-13 categoriza os geradores de vapor em três classes a partir faixa de pressão ao qual atuam, sendo elas indicadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** classificação das caldeiras.

CATEGORIA DAS CALDEIRA	PRESSÃO DE OPERAÇÃO
A	Igual ou superior a 1960 kPa (19,98 kgf/cm <sup>2</sup> )
C	Igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm <sup>2</sup> ) e o volume interno é igual ou inferior a 100 l (cem litros)
B	Todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores

**Fonte:** Santos et al. (2017), adaptado.

Há outra classificação das caldeiras quanto a faixa de pressão que os processos operacionais atuam, essa classificação é determinada pela Associação Nacional de Águas, como mostrado na tabela 2, e o diferencial da classificação da ANA para a NR-13 é a faixa de pressão operacional dos processos serem mais precisas, logo é mais coerente com a proposta de correção da água utilizada. Enquanto a classificação das caldeiras é dada considerando suas características, logo de acordo com o sistema de combustão, o tipo de combustível, o tipo de sistema operacional de controle de vapor e o design de sua construção (ROCCO, 2011).

**Tabela 2:** Classificação geral das caldeiras quanto à pressão de trabalho.

CALDEIRAS	PRESSÕES Psig	Kgf/cm <sup>2</sup>
Baixa pressão	100 – 400	7 – 28
Média pressão	400 – 800	28 – 56
Alta pressão	800 – 3.000	56 – 211
Pressão supercrítica	Acima de 3.000	Acima de 211

O vapor gerado pelas caldeiras industriais é utilizado de modo direto ou indireto, é responsável pela movimentação, limpeza e esterilização de processos e produtos na indústria. De modo geral, as caldeiras são classificadas de acordo com sua estrutura e funcionamento, enquadrando-as principalmente entre as flamotubulares elétricas e aquotubulares. As caldeiras flamotubulares elétricas segundo a UFC 3-240-13FN do Department of Defense of United States of América, são utilizadas para pequenas capacidades de geração de vapor, e sua atuação dá-se que o fogo e o gás quente de combustão passam pelo interior dos tubos dos geradores de vapor e a água a ser transformada em vapor passa por fora dos tubos. Enquanto para as caldeiras aquotubulares em sua estrutura há passagem de água em seu interior, através de gases quentes e tubos, de modo geral são utilizadas para instalações de grande porte e obtenção de vapor aquecido (ZARPELON et al., 2015).

### Parâmetros da água de caldeiras

A água é a alimentação das caldeiras e para ser adequadamente utilizada deve estar dentro de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, indicados na tabela 3, que será determinado diretamente por exemplo, pelos materiais que compõe as caldeiras, o tipo de regime operacional, condições de pressão e a temperatura de vapor produzido (SILVA, 2012), em seguida é realizado o tratamento de modo adequado, onde resultará diretamente na qualidade do vapor formado. O tratamento é importante para conservação do equipamento, evitando incrustações, arreste de partículas, corrosão e para tornar a operação segura e eficiente.

**Tabela 3:** Parâmetros básicos de tratamento de caldeiras de baixa, média e alta pressões.

PARÂMETROS	VALORES LIMITES								
Pressões (kgf/cm <sup>2</sup> )	0 - 21,1	21,1 - 31,6	31,6 - 42,2	42,2 - 52,7	52,7 - 63,3	63,3 - 70,3	70,3 - 105,5	105,5 - 140,6	-
<b>QUALIDADE NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO</b>									
OD (mg/L)	< 0,007								
Ferro total (mg/L)	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,025	≤ 0,02			≤ 0,01	
Cobre total (mg/L)	≤ 0,05	≤ 0,025	≤ 0,02		≤ 0,015		≤ 0,01		
Dureza total (mg/L)	≤ 0,3		≤ 0,2		≤ 0,1		≤ 0,05	0	
pH (a 25 °C)	8,3 – 10						8,8 - 9,6		
COT (mg/L)	< 1		< 0,5			< 0,2			
OG (mg/L)	< 1		< 0,5			< 0,2			
<b>QUALIDADE NA ÁGUA DA CALDEIRA</b>									
Sílica (mg/L)	≤ 150	≤ 90	≤ 40	≤ 30	≤ 20	≤ 8	≤ 2	≤ 1	
Alcalinidade total (mg/L)	≤ 350	≤ 300	≤ 250	≤ 200	≤ 150	≤ 100	NE	NE	
Condutividade	5,4 - 1,1	4,6 - 0,9	4,6 - 0,9	4,6 - 0,9	4,6 - 0,9	4,6 - 0,9	4,6 - 0,9	4,6 - 0,9	
STD	4,32 - 0,88	3,68 - 0,63	3,04 - 0,56	1,2 - 0,21	0,96 - 0,14	0,7 - 0,14	≤ 0,105	≤ 0,048	

**Fonte:** Santos et al. (2017), adaptado.

O tratamento da água de caldeiras consiste na remoção total ou parcial de sais responsáveis por produzir incrustações, como os sais de cálcio e magnésio, eliminação da dureza da água, controle de pH, eliminação de oxigênio dissolvido, controle do teor de cloretos e sólidos totais e remoção da sílica. Logo,

segundo Silva (2012), a água ideal para caldeiras não deve possuir sólidos em suspensão, matérias orgânicas, temperatura elevada, baixa concentração de sais e óxidos e pH adequado.

### **Problemas associados a qualidade da água de alimentação de caldeiras**

Problemas como corrosões, incrustações, depósitos e arrastes de partículas são problemas ocasionados pela utilização da água de alimentação de caldeiras sem o devido tratamento.

#### **Corrosões**

Para sistemas geradores de vapor, a corrosão é um problema recorrente, sendo responsável por grandes perdas. A corrosão é definida como a deterioração do material devido a reações eletroquímicas. É responsável por ocasionar depreciação de instrumentos e equipamentos industriais, diminuindo a resistência mecânica, e podendo interferir na qualidade dos processos e produtos (HAMAGUCHI et al., 2010). Desenvolve-se a partir da presença ou ausência de aeração, o meio sendo básico ou ácido, presença de gases como oxigênio dissolvido, cloretos, enxofres e sólidos em suspensão por exemplo (GENTIL, 2011). Dá-se ênfase na deposição de cloretos e potássio que é responsável por ocasionar obstruções e corrosão direta na estrutura das caldeiras.

#### **Incrustações e depósitos**

Incrustações são depósitos formados em equipamentos resultantes do processo de precipitação e transformação de particulados presentes na água. Processos que ocorrem em altas temperaturas e que tem como fonte de alimentação a água, como as caldeiras, são equipamento suscetíveis a esse problema (FIOREZE et al., 2016). Os íons dissolvidos na água de caldeiras, como os carbonatos, sulfatos, nitratos e silicatos, são os principais responsáveis pelos depósitos ao longo do equipamento, formando cristais definidos e densos (POGGI, 2016). Esses particulados formados, são capazes de diminuir a eficiência do processo, como a troca térmica, entupimento de máquinas e barreiras físicas. Os depósitos de modo geral, afirma Zarpelon et al. (2015), é resultante da fixação de materiais de formação de depósitos na tubulação ou superfícies de equipamentos, ou por sedimentação e acumulação. Para os processos que envolvam caldeiras industriais, quanto maior sua temperatura de operação, maior a sensibilidade para a presença de depósitos, afetando diretamente na eficiência dos equipamentos.

#### **Arrastes**

É definido como o processo de passagem da água em seu estado bifásico, líquido e em sua forma gasosa, para o superaquecedor e o sistema de distribuição do vapor para o sistema (SANTOS, 2016). É ocasionado devido a fatores mecânicos e químicos, como a presença de carbonatos, cloretos, sulfatos e sólidos em suspensão. Assim como por defeito no equipamento industrial. Essa passagem pode ocasionar o transporte de sólidos em suspensão e matéria orgânica que podem a ser prejudicial ao produto do processo, no caso das caldeiras, a qualidade do vapor de água formado e a eficiência do processo (DANTAS, 1988).

## Processo de osmose reversa

Para Frischkorn et al. (2009) e Scapini (2007), a osmose reversa foi desenvolvida a partir do processo de osmose natural onde o solvente flui por uma membrana semipermeável, de uma solução de baixa concentração para uma solução de maior concentração, até a pressão osmótica presente na solução de maior concentração impedir o fluxo do solvente. Logo a osmose reversa, ocorre a passagem da solução através de uma membrana semipermeável da solução de maior concentração para menor concentração, por uma pressão maior que a osmótica, como mostrado na figura 1.

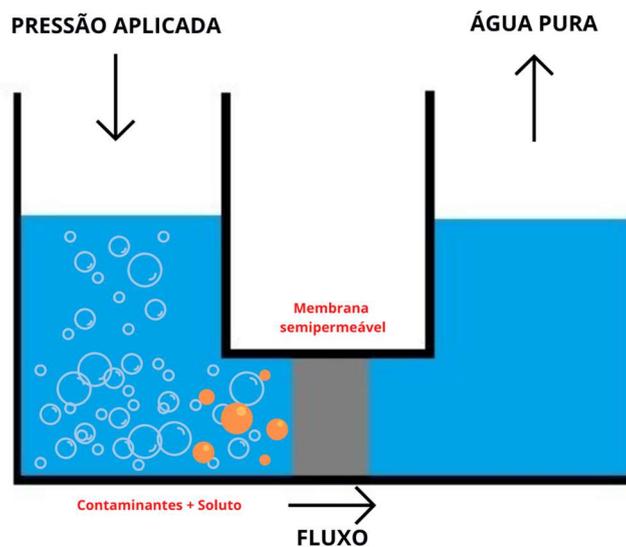


Figura 1: Esquema do processo de osmose reversa.

Através da passagem da solução menos concentrada pela membrana semipermeável ocorre a separação do permeado ou água pura e do rejeito ou fração de maior concentração (SOARES et al., 2005). As pressões de operação do processo de OR, pode variar entre 3 e 5 bar dado o nivelamento da pressão osmótica no sistema, assim como pode estar entre 50 bar para águas do mar e 20 bar para água salobra, de modo geral tal pressão deve ser superior a resistência da membrana semipermeável presente no processo.

Comumente o processo de osmose reversa é utilizado para dessalinizar água do mar, superficiais e salobras afirma Soares et al. (2005), no entanto há diversos fatores que devem ser levados em consideração para aplicação desse método de tratamento de água, como qualidade da água bruta, a vazão da água, utilização da água tratada por osmose reversa e qualificação adequada de mão de obra, pois é um processo que forma rejeitos com elevada concentração de minerais, e exige investimentos considerável. Quanto maior o sistema de osmose reversa, maior o custo operacional para estruturá-lo, no entanto Gouvêa et al. (2012) afirma que nos últimos anos houve uma redução brusca do custo de implementação desse sistema.

De modo claro Scapini (2007) afirma que, de modo geral, elevados valores de rejeição de sais são, em geral, manifestados pelas membranas utilizadas tais como as SEPA – 97 (Osmonics, Inc.), em acetato de celulose, com valores típicos de 95% (fluoreto, cloreto), 94% (sódio, potássio), 97% (cálcio e magnésio) e 98% (metais pesados).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção busca-se avaliar através dos resultados reportados nas literaturas examinadas, como mostrado na figura 2, (MOREIRA et al., 2018; ARAGÃO et al., 2017; SILVA et al., 2017; MIZUTA et al., 2018; SIMÕES et al., 2005) a qualidade da água resultante do processo de osmose reversa, assim como as exigências para utilização da água como fonte de alimentação de caldeiras.

(MOREIRA; WIECHTECK, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMA PILOTO DE DESSALINIZAÇÃO COM ULTRAFILTRAÇÃO E OSMOSE REVERSA</li> <li>• ÁGUA SALOBRA</li> </ul>
(ARAGÃO; PORTELA; SANTOS, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE ÁGUA DE UM POÇO CONSUMIDA APÓS TRATAMENTO POR OSMOSE REVERSA NA ZONA RURAL DE QUIXADÁ-CE</li> <li>• ÁGUA DOCE</li> </ul>
(DA SILVA; COSTA; DOS SANTOS, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANÁLISE DE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA CONSUMIDA DE UM POÇO SUBMETIDO AO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA NO SERTÃO DE CRATEÚS</li> <li>• ÁGUA DOCE</li> </ul>
(MIZUTA et al, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANÁLISE DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA UTILIZADA NO PREPARO DE MEDICAMENTOS E/OU COSMÉTICOS</li> <li>• ÁGUA DOCE</li> </ul>
(SIMÕES et al, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ÁGUA DE DIÁLISE: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA</li> <li>• ÁGUA DOCE</li> </ul>
(GERVASONI; KRIGUEL; DE SOUZA, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PERFORMANCE DE UM SISTEMA PILOTO DE ULTRAFILTRAÇÃO PARA PRÉ-TRATAMENTO DE OSMOSE REVERSA PARA ÁGUA SALOBRADA DO LITORAL DO PARANÁ</li> <li>• ÁGUA SALOBRA E DOCE</li> </ul>

Figura 2: Relação das literaturas utilizadas.

Para Moreira et al. (2018), a determinação da qualidade da água resultante do processo de osmose reversa fez-se através de um sistema piloto de dessalinização e osmose reversa no Paraná, Ponta Leste, onde eram coletadas 3 amostras diárias de água salobra, por 20 dias, para realização das análises, totalizando um total de 60 amostras analisadas. O percentual de eficiência para diminuição de características e compostos é mostrado na figura 3:

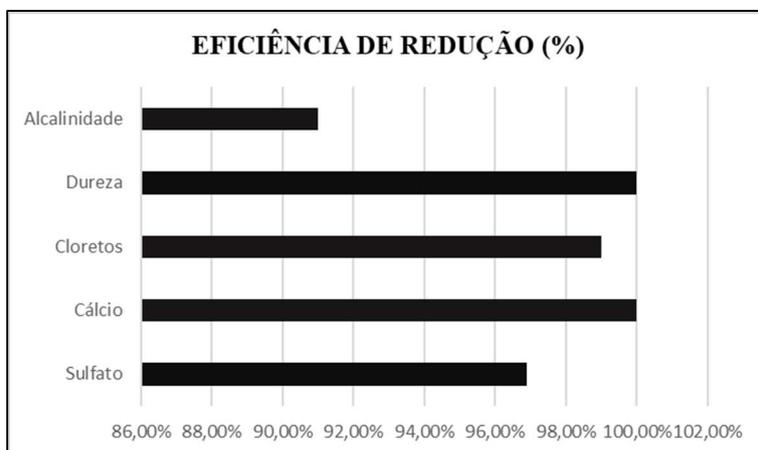


Figura 3: Eficiência do sistema piloto em relação aos parâmetros de qualidade da água analisados em laboratório.

Fonte: Moreira et al. (2018), adaptado.

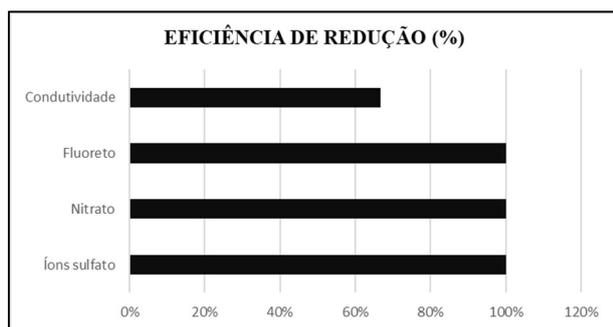
Podendo destacar a eficiência do processo quanto a dessalinização, e diminuição considerável dos parâmetros analisados, seguindo o anexo XX da portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), conseguindo atender a legislação brasileira (MOREIRA et al., 2018), assim como Aragão et al. (2017) e Silva et al. (2017) que analisaram amostras de água de um poço tratada por osmose reversa, e obtiveram bons resultados para as análises físico-químicas, já para as análises microbiológicas, Aragão et al. (2017) obteve resultado positivo para coliformes totais e fecais. Já Mizuta et al. (2018) realizou análises de coliformes totais e termotolerantes, assim como a contagem de Bactérias Mesófilas em 15 amostras de água

purificadas por osmose reversa, ao qual obteve resultados satisfatórios em todas as amostras.

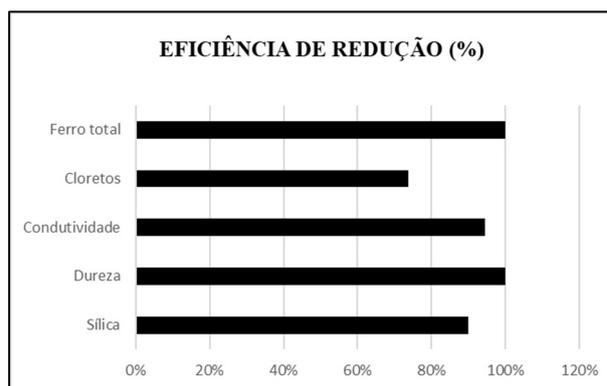
Para a pesquisa de Simões et al. (2005), as reduções de fluoreto, íons sulfato e nitrato foram excelentes, com exceção da análise de condutividade, podendo indicar a mineralização da água.

Um autor em 2017 avaliou amostras de água pré-tratada por UF e tratada por OR objetivando a redução de sólidos suspensos e matéria orgânica, obtendo resultados satisfatórios da cor e eficiência da coagulação do processo, sendo adequado para o processo de alimentação do sistema de osmose reversa.

Através de Gouvêa et al. (2012), fez-se possível analisar diretamente a qualidade da água resultante do processo de osmose reversa, como mostrado na figura 5, usada como alimentação de caldeiras industriais em uma indústria de tabaco.



**Figura 4:** Eficiência obtida na pesquisa de Simões et al. (2005).



**Figura 5:** Percentual de redução das características da água após o processo de osmose reversa. **Fonte:** Gouvêa et al. (2012), adaptado.

Outro fator importante levantado por Gouvêa et al. (2012), foi a redução significativa dos volumes de descarga, gerando uma economia considerável para a indústria que utiliza do processo de OR, bem como a redução incrustações e corrosão para as caldeiras envolvidas na análise, que segundo os autores, não foi quantificado as horas de manutenção necessárias após a implementação do sistema de osmose reversa, mas confirmado pelo setor responsável da indústria da pesquisa em questão.

Contudo, é possível identificar nas literaturas analisadas, resultados similares e excelentes para redução de dureza, sulfatos, fluoreto e alcalinidade, há uma diminuição efetiva dos compostos presentes nas águas brutas, adequando-se até mesmo a maioria das características físico-químicas e microbiológicas de potabilidade estabelecidas na portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, anexo XX (BRASIL, 2017), avaliando a tabela 2, é possível determinar adequação da água resultante do processo de OR como fonte de alimentação em caldeiras industriais e seus respectivos processos.

A diminuição da dureza da água encontra-se, segundo os resultados, entre 90 e 100%, indicando baixo nível de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos, diminuindo assim a possibilidade de incrustações em caldeiras. A redução brusca das análises aponta a neutralidade da água, sendo considerada devidamente correta para uso. No entanto, deve-se atentar a presença de determinados micro-organismos, que sendo aeróbicos, pode indicar a presença de  $O_2$  e outros gases que possa vir a ser prejudicial aos vapores formados.

## CONCLUSÕES

Este trabalho visou estudar e analisar a água tratada por osmose reversa como alternativa de fonte de alimentação para as caldeiras industriais, debruçou-se sobre as literaturas ao qual avalia-se parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água tratada por OR, atentando-se a faixa de valores adequado para água de caldeiras, em diferentes faixas de pressão de operações.

Os resultados obtidos através das análises foram compreendidos como satisfatórios diante da redução brusca de sais e óxidos dissolvidos, adequação e correção de pH, minimização de particulados e elementos dissolvidos. A água como sendo doce, salobra ou mista responde de modo similar ao tratamento e abrange possibilidade diante da escassez de água potável.

É relevante destacar que para algumas análises microbiológicas o resultado positivo de coliformes totais e fecais possa ser referente ao local de armazenamento dessa água ou quaisquer outros fatores desconhecidos. A nível industrial, a utilização de água salobra tratada por osmose reversa é indicado, diante da perspectiva de redução de danos das caldeiras industriais, melhor qualidade de vapor produzido, sustentabilidade e marketing verde para as indústrias, embora a osmose reversa tenha limitações quanto a desordem natural das instalações no ambiente, o rejeito do processo e o alto investimento necessário, destaca-se como sendo um investimento a longo prazo e a necessidade de estudos buscando minimização de impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ALBERICHI, M.. **Estudo das instalações e operações de caldeiras de uma indústria de produtos químicos do estado do Paraná, sob ótica da nr-13 E NR-28**. Monografia (Especialização no curso de Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ARAGÃO, M. L. L.; PORTELA, B. Y. M.; SANTOS, R. N.. Análise físico-química e microbiológica de água de um poço consumida após tratamento por osmose reversa na zona rural de Quixadá-CE. **Anais da Mostra de Biomedicina da Unicatólica**, v.2, n.2, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Anexo XX da portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 3 de outubro de 2017**. Dispõe sobre o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: MS, 2017.

DANTAS, E.. **Geração de vapor e água de refrigeração: falhas, tratamento, limpeza química**. Rio de Janeiro: ABRACO, 1988.

FIGUEIREDO, M.; HÖNNICKE, M. G.. **Montagem de dispositivos ópticos para obtenção de imagens por contraste de difração e atenuação para análise de incrustações de fosfato e oxalato de cálcio em superfícies de caldeiras**. Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2016.

FRISCHKORN, H.; ROCHA NETO, J. L.. Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do

Ceará. **Revista Tecnologia**, v.30, n.1, 2009.

GENTIL, V.. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GOUVÊA, C. A. K.; HURTADO, A. L. B.; BORZIO, R. F.; FOLLETO, M. A.. Uso de água tratada por osmose reversa para a geração de vapor em indústria de tabaco. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, v.2, n.2, 2012. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v12i2.941>

HAMAGUCHI, M.; VAKKILAINEN, E.. Corrosão em tubos de superaquecedor de caldeiras de recuperação: um desafio. **O Papel**, v.71, n.6, p.57-71, 2010.

HESPANHOL, I.. Potencial de reuso de água no Brasil agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.4, 2002. DOI: <http://doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p75-95>

MIZUTA, H. T. T.; SANTOS, K. C.; TIMBOLA, J. C.; VALDEZ, R. H.. **Análise da qualidade microbiológica da água utilizada no preparo de medicamentos e/ou cosméticos**. Ponta Grossa: Atena, 2018.

MOREIRA, M. W. A.; WIECHETECK, G. K.. **Qualidade da água em sistema piloto de dessalinização com ultrafiltração e osmose reversa**. 2018.

POGGI, C. M. B.. **Incrustações formadas por caldeiras de instalações industriais**. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

ROCCO, C. D.. **Um modelo de otimização para as operações de produção de vapor em caldeiras industriais: um estudo de caso na indústria de alimentos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SANTOS, E. J. N.; FRAGA, F. E. N.. **A importância do tratamento e cuidados com a água de caldeira.** Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

SANTOS, L. O.. **Alimentação de caldeiras industriais por água de chuva: uma análise da viabilidade técnica e econômica.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SANTOS, L. O.; BARBOSA, S. A.; RIBEIRO, W. F.. Análise da qualidade da água da chuva para uso em caldeiras industriais. **Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente**, Aracaju, v.5, n.1, p.163-172, 2016. DOI: <http://doi.org/10.17564/2316-3798.2016v5n1p163-172>

SANTOS, M. F.; BRUGNERA, D. P.; ZANONI, M. V. B.. Eletrodo modificado com filme de poli aminoácido para determinação de hidrazina em água de caldeira. **Eclét. Quím.**, v.31, n.4, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-46702006000400010>

SCAPINI, L.. **Avaliação do desempenho da osmose reversa e da troca iônica para tratamento de efluente de curtume (Aimoré Couros Ltda. – encantado) visando a reutilização da água.** Dissertação (Mestrado em Sistemas e Processos Industriais) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2007.

SILVA, F. S. H.; COSTA, Y. A.; SANTOS, R. N.. Análise físico-química e microbiológica da água consumida de um poço submetido ao processo de osmose reversa no sertão de Crateús. **Mostra Científica de Biomedicina**, v.2, n.1, 2017.

SILVA, J. S.; SILVA, J. G. S.; SOUZA, M. L.; CARDOSO, L. N. P.; SABIA, R. J.. Tecnologias para otimização do uso e qualidade de água em regiões semiáridas: uma análise hierárquica. In: ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais**. 2017. DOI: [http://doi.org/10.14488/ENEGEP2017\\_TN\\_WIC\\_238\\_376\\_33468](http://doi.org/10.14488/ENEGEP2017_TN_WIC_238_376_33468)

SILVA, D. A. C.; SANTOS, É. B.; DUARTE, J. A.. Utilização de osmose reversa para tratamento de águas. **Revista Eletrônica e-F@tec**, v.3, n.1, 2013.

SILVA, R. L.. **Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras – NR.13.** São Paulo: SENAI, 2012.

SIMÕES, M.; BRÍGIDO, B. M.; MAZON, E. M. A.; PIRES, M. F. C.. Água de diálise: parâmetros físico-químicos na avaliação do desempenho das membranas de osmose reversa. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v.64, n.2, p.173-178, 2005.

SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, É. F. F.. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.730-737, 2005.

ZARPELON, W.; AZZOLINI, J. C.. Caldeiras de alta pressão: caracterização e avaliação da qualidade do tratamento das águas de abastecimento. **Unoesc & Ciência - ACET**, v.6, n.2, p.141-154, 2015.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da Sustenere Publishing, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.