

## ***A importância do tratamento da água para sustentabilidade do equipamento: geradores de vapor***

Este artigo tem como objetivo apresentar a importância do tratamento químico da água que é um serviço fundamental para a preservação e funcionamento adequado de equipamentos geradores de vapor. Isso ocorre porque a água utilizada nessas máquinas pode conter impurezas e contaminantes, que em contato com as propriedades metálicas destes equipamentos vem a causar corrosão, incrustação e depósitos nas tubulações, comprometendo a eficiência e a segurança do sistema. O tratamento consiste em adicionar produtos químicos à água para controlar diversos parâmetros como acidez, alcalinidade, dureza e outras características que afetam a vulnerabilidade do sistema. Mantendo assim, a eficiência do equipamento e prolongando seu tempo de vida útil.

**Palavras-chave:** Tratamento químico da água; Geradores de vapor; Corrosão; Incrustação; Depósitos.

## ***The importance of water treatment for equipment sustainability: steam generators***

This article aims to present the importance of chemical water treatment which is a fundamental service for the preservation and proper functioning of steam generating equipment. This is because the water used in these machines can contain impurities and contaminants, which in contact with the metallic properties of this equipment comes to cause corrosion, fouling and deposits in the pipes, compromising the efficiency and safety of the system. The treatment consists of adding chemicals to the water to control various parameters such as acidity, alkalinity, hardness and other characteristics that affect the vulnerability of the system. Thus maintaining the efficiency of the equipment and extending its useful life.


**Keywords:** Chemical water treatment; Steam generators; Corrosion; Encrustation; Deposits.

Topic: Engenharia Química

Received: 01/12/2022

Approved: 25/05/2023

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Rafael Henrique da Silva Lima   
Centro Universitário Vale do Ipojuca, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8935120504950601>  
<https://orcid.org/0009-0008-4965-4538>  
[rafahenrique01@hotmail.com](mailto:rafahenrique01@hotmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0004

### Referencing this:

LIMA, R. H. S.. A importância do tratamento da água para sustentabilidade do equipamento: geradores de vapor. **Engineering Sciences**, v.11, n.1, p.28-35, 2023. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0004>

## INTRODUÇÃO

O tratamento químico da água em equipamentos industriais ainda é uma metodologia desconhecida em diversos meios industriais no Brasil, presente na indústria de alimentos, petroquímicas, beneficiamento têxtil ou na geração de energia elétrica em usinas. Pois, por falta de informação e ignorância de muitos não optam por este importante serviço prestado que visa além de segurança no âmbito industrial, economia de energia, preservação do equipamento e que evita possíveis perdas e danos futuros. Estudos comprovam que Durante a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de gerar vapor para fins militares levou ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento químico (BAHADORI, 2015).

Há diversos fluídos que pode ser utilizada para geração de vapor, a água por ter uma ampla disponibilidade e um alto poder calorífico tem preferência em sua utilização. Mas, este fluído está atrelado a diversas impurezas que em contato com os materiais metálicos que constituem as máquinas causam diversos problemas que vem a prejudicar a produção de vapor e causar certa insegurança para operação da máquina. Assim, se dá a necessidade da aplicação de produtos químicos a fim de evitar as patologias como corrosão, incrustações e depósitos.

## METODOLOGIA

Este estudo tem como objetivo realizar uma pesquisa e apresentar uma melhor descrição e apresentação dos estudos que foram realizados. Foi utilizada uma técnica de pesquisa qualitativa. A fim de obter uma coleta de dados mais flexíveis e abertos, com caráter descritivo, com objetivo de descrever as características e informações relevantes relacionadas ao tema proposto, fazendo assim uma revisão da literatura disponível.

O levantamento foi realizado por meio do estudo de diversas literaturas, através da análise e correlação de dados, entre janeiro e abril de 2023. Como meio de pesquisa, utilizou-se do Portal de Periódicos da Capes, Scribd Ins, Google e Google Acadêmico, Levando em conta os seguintes termos: tratamento de águas industriais, caldeira, tratamento de água em geradores de vapor.

Para obtenção de dados necessários, também foi utilizado informações disponíveis em portais digitais de órgãos do governo federal, sendo ele a ABNT NBR. Posteriormente a seleção das literaturas, foram realizadas pesquisas para relacionar dados para realização da discussão teórica.

## DISCUSSÃO TEÓRICA

### Principais causas de danos ao equipamento

A corrosão em geradores de vapor é um problema significativo que afeta a operação segura e confiável desses equipamentos. Segundo o estudo de Oliveira et al. (2019), a corrosão em geradores de vapor pode ser causada por diversos fatores, incluindo a qualidade da água de alimentação, o pH, a temperatura e a presença de íons corrosivos. A corrosão pode causar danos na superfície dos tubos e em outras partes do gerador de vapor, levando a vazamentos, falhas estruturais e perda de eficiência.

Um estudo realizado por Pires et al. (2020) investigou os efeitos da corrosão em geradores de vapor em uma indústria petroquímica. Os autores apontam que a corrosão pode levar a problemas como a formação de incrustações, entupimentos e perda de eficiência térmica. Além disso, a corrosão pode afetar a integridade estrutural dos equipamentos, aumentando o risco de acidentes.

Outro estudo relevante é o trabalho de Costa et al. (2018), que analisou a corrosão em tubos de geradores de vapor em usinas termelétricas. Os autores destacam a importância do monitoramento da corrosão e da manutenção preventiva dos equipamentos para evitar falhas operacionais e acidentes. Eles afirmam que a corrosão em geradores de vapor é um problema complexo e que requer uma abordagem multidisciplinar, envolvendo conhecimentos de química, física e engenharia.



**Figura 1:** Imagem por microscópio óptico de superfície de tubo de superaquecedor de caldeira de recuperação que teve corrosão acelerada por mecanismo de “oxidação ativa”. **Fonte:** Mäkipää et al. (2004).

As incrustações em geradores de vapor são formadas pelo acúmulo de sais minerais na superfície dos tubos e outros componentes do equipamento, resultando em uma diminuição da eficiência térmica e em danos ao equipamento. Segundo o estudo de Furtado et al. (2016), as incrustações podem ser causadas por diversos fatores, como a concentração de sais na água, pressão de operação e como na corrosão, qualidade da água de alimentação, temperatura e pH.



**Figura 2:** Exemplo de incrustação em tubo. **Fonte:** Castro (2015).

A formação de incrustações pode levar a uma série de problemas em geradores de vapor. Segundo o estudo de Fonseca et al. (2017), as incrustações podem levar a uma diminuição do fluxo de água e vapor

nos tubos, aumentando a pressão e a temperatura no interior do equipamento e causando danos estruturais. Além disso, as incrustações podem reduzir a eficiência térmica do gerador de vapor, aumentando os custos de energia e prejudicando a operação da planta.

Um estudo realizado por Silva et al. (2019), analisou os efeitos das incrustações em geradores de vapor em uma usina de cogeração. Os autores destacam a importância da manutenção preventiva e da limpeza regular dos equipamentos para evitar a formação de incrustações e garantir a eficiência operacional do gerador de vapor.

Os depósitos em geradores de vapor referem-se ao acúmulo de minerais e outras substâncias, como sais, sedimentos, lama e escala, nas superfícies internas do equipamento. Esses depósitos podem causar diversos problemas, incluindo a redução da eficiência do gerador de vapor, o aumento da corrosão e o entupimento de tubos e canais de circulação de água.



**Figura 3:** Exemplo de depósito de lama em caldeira.

De acordo com o artigo “Depósitos em geradores de vapor: um problema crescente na geração de energia” de Furtado et al. (2016), as causas dos depósitos em geradores de vapor incluem a qualidade da água de alimentação, a temperatura e a pressão de operação, a composição dos materiais de construção do gerador, o projeto do equipamento e o processo de operação.

A qualidade da água é um dos principais fatores que contribuem para a formação de depósitos em geradores de vapor, pois a água contém minerais e outras substâncias que se acumulam nas superfícies internas do equipamento ao longo do tempo. A temperatura e a pressão de operação também influenciam a formação de depósitos, pois altas temperaturas e pressões favorecem a precipitação de minerais e outros sedimentos.

Os depósitos em geradores de vapor são um problema sério, pois pode causar redução na eficiência

do equipamento, aumento dos custos de manutenção e falhas no sistema. Portanto, é importante monitorar a qualidade da água de alimentação e adotar medidas preventivas para minimizar a formação de depósitos.

### Principais parâmetros utilizados para controlar o tratamento de água em caldeira

O tratamento de água na caldeira é uma prática importante para garantir a eficiência e segurança do processo. De acordo com a norma ABNT NBR 16461:2016, vários parâmetros devem ser analisados no controle do tratamento de água na caldeira, tais como:

**PH da água:** O PH é um dos parâmetros mais importantes para controlar o tratamento de água em caldeiras, pois a água muito ácida ou muito alcalina pode causar corrosão ou incrustações. Segundo a ABNT NBR 16461:2016, o PH da água de caldeiras deve ser mantido entre 8,5 e 9,5. Segundo Rabello et al. (2017), para corrigir o PH da água de caldeira, é necessário medir o pH atual da água e garantir que esteja dentro da faixa recomendada pelo fabricante da caldeira. Caso o pH esteja abaixo da faixa recomendada, pode ser necessário adicionar um agente alcalinizante, como hidróxido de sódio (NaOH), enquanto, se o pH estiver acima da faixa recomendada, pode ser necessário adicionar um agente acidificante, como ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

**Alcalinidade:** A alcalinidade é uma medida da capacidade da água de neutralizar ácidos. Ela é importante para controlar o pH da água de caldeiras e prevenir a corrosão. A ABNT NBR 16461:2016 recomenda que a alcalinidade da água de caldeiras seja mantida entre 100 e 500 ppm de CaCO<sub>3</sub>.

**Dureza:** A dureza da água é causada pela presença de sais de cálcio e magnésio. Ela pode levar à formação de incrustações nas tubulações e equipamentos. A ABNT NBR 16461:2016 estabelece que a dureza da água de caldeiras deva ser mantida abaixo de um ppm. Para corrigir a dureza da água, é possível utilizar agentes sequestrantes, como ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), ou tratamentos térmicos, como a evaporação da água para remoção de sais. Além disso, a troca iônica com resinas de troca iônica pode ser uma alternativa viável para a remoção de cátions responsáveis pela dureza da água.

**Cloretos:** Segundo a NBR 12.828 da ABNT (2013), a presença de cloretos na água de alimentação da caldeira pode levar à corrosão do metal da caldeira e à formação de depósitos salinos nas superfícies aquecidas. Para corrigir o excesso de cloretos na água, é necessário reduzir a sua concentração por meio de processos de dessalinização, como a osmose reversa ou a destilação, ou ainda por meio da diluição da água com água de baixa concentração de cloretos. A redução da concentração de cloretos também pode ser alcançada por meio do uso de resinas de troca iônica específicas para a remoção de ânions.

**Condutividade:** A condutividade elétrica da água é um indicador da concentração de íons presentes na água. Ela pode ser usada para monitorar a eficiência do tratamento químico e detectar a presença de contaminantes na água de caldeiras. A ABNT NBR 16461 (2016) recomenda que a condutividade da água de caldeiras seja mantida abaixo de 1500 µS/cm. Assim como os cloretos, para corrigir a condutividade, é necessário reduzir a concentração de sais dissolvidos na água, o que pode ser alcançado por meio de processos de dessalinização, como a osmose reversa, ou por meio da troca iônica com resinas de troca iônica específicas para a remoção de sais. A diluição da água de alta condutividade com água de baixa condutividade

também pode ser uma alternativa viável para reduzir a concentração de sais na água.

**Sílica:** A sílica pode causar incrustações nas superfícies das caldeiras, especialmente em altas temperaturas, levando à redução da transferência de calor e à perda de eficiência energética. A ABNT NBR 16461 (2016) recomenda que a concentração de sílica na água de caldeiras seja mantida abaixo de 150 ppm. Para corrigir a sílica na água, é necessário reduzir a sua concentração por meio de processos de remoção, como a osmose reversa, ou por meio da troca iônica com resinas específicas para a remoção de sílica. A adição de produtos químicos como o hidróxido de sódio ou o carbonato de sódio também pode ser utilizada para precipitar a sílica e removê-la da água.

**Oxigênio dissolvido:** O oxigênio dissolvido na água é outro fator que pode causar corrosão nas caldeiras, especialmente em altas temperaturas e pressões. A presença de oxigênio pode levar à formação de óxidos de ferro e outros metais, causando danos às superfícies das caldeiras. A ABNT NBR 16461 (2016) recomenda que a concentração de oxigênio dissolvido na água de caldeiras seja mantida abaixo de 5 ppm. Uma forma de corrigir o excesso de oxigênio é por meio da utilização de um sistema de desaeração ou degaseificação, que remove o oxigênio dissolvido da água antes de ser usada na caldeira. Outra opção é a utilização de produtos químicos, como a hidrazina ou o sulfito de sódio, para reduzir a concentração de oxigênio na água.

No entanto, o uso de hidrazina tem sido cada vez mais questionado devido aos seus potenciais efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente. Conforme Chakraborty et al. (2020), a hidrazina é considerada uma substância altamente tóxica e carcinogênica, que pode causar irritação nos olhos, na pele e no sistema respiratório. A exposição prolongada ou em alta concentração pode danificar o fígado, os rins e o sistema nervoso central. Além disso, a hidrazina pode reagir com outros produtos químicos presentes na água da caldeira, formando subprodutos tóxicos. Devido a esses riscos, muitos países têm proibido ou limitado o uso da hidrazina no tratamento de água de caldeira.

Além disso, a ABNT NBR 16461 (2016) recomenda o uso de tratamentos químicos e físicos para remover impurezas e controlar o PH e a alcalinidade da água. A norma também aborda questões relacionadas à operação das caldeiras, incluindo o controle de níveis de água, a limpeza das tubulações e a realização de inspeções regulares para detectar e corrigir eventuais problemas.

O tratamento de água de caldeira é uma prática fundamental na manutenção da eficiência e segurança das operações de caldeiras em diversos setores industriais (MARECHAL et al., 2018). Nesse sentido, diversas teorias e conceitos têm sido desenvolvidos para garantir a qualidade da água utilizada nas caldeiras.

Uma das teorias mais importantes no tratamento de água de caldeira é a teoria da precipitação química. Segundo esta teoria, a adição de produtos químicos específicos na água da caldeira pode controlar a formação de incrustações e depósitos de minerais e outros materiais que podem afetar negativamente a eficiência e a segurança da caldeira. Por exemplo, a adição de hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio pode reduzir a formação de incrustações causadas por sais de cálcio e magnésio (CHEUNG et al., 2018).

Além disso, a teoria da adsorção eletrostática tem sido aplicada ao tratamento de água de caldeira

para remover partículas suspensas e outros contaminantes. Esta teoria afirma que partículas e íons podem ser removidos da água quando se adiciona um agente de superfície ativo, como polímeros ou surfactantes (MARECHAL et al., 2018). Esses agentes podem se adsorver nas partículas suspensas, tornando-as mais fáceis de remover por sedimentação ou filtração.

Outra teoria importante é a teoria do controle microbiológico. Esta teoria afirma que a presença de microrganismos na água da caldeira pode causar corrosão e deposição de material. Assim, a aplicação de biocidas e outros produtos químicos específicos podem controlar o crescimento microbiano e reduzir os riscos associados à corrosão e outros problemas de deposição.

Além das teorias acima, outras abordagens são frequentemente usadas no tratamento de água de caldeira, incluindo a remoção de oxigênio e dióxido de carbono, o controle de PH e a aplicação de técnicas de filtragem e sedimentação. Todas essas teorias e conceitos podem ser combinados e adaptados de acordo com as características específicas da água da caldeira e dos processos industriais em questão (CHEUNG et al., 2018).

Em suma, o tratamento de água de caldeira é um processo complexo que requer uma compreensão sólida de diversas teorias e conceitos. O uso adequado dessas teorias e a aplicação de técnicas específicas de tratamento podem garantir a eficiência e a segurança da operação de caldeiras em diversas indústrias.

## CONCLUSÕES

As diversas patologias que afetam os sistemas de caldeiras só comprovam a importância e necessidade do investimento aplicado ao tratamento da água, atestadas através das análises físico-químicas, os meios de correção são verificados a fim de prolongar a vida útil dos equipamentos e ser mantida a eficiência, evitando gastos com a mais com combustível e garantindo também que a operação seja segura.

Infelizmente, em muitos locais do Brasil a falta de fiscalização faz com que muitas empresas que possuem este tipo de equipamento operem de forma ilegal, sem as devidas medidas de segurança e principalmente sem realizar as manutenções adequadas para seu funcionamento. Um estudo publicado na revista *Engineering Failure Analysis* identificou algumas das principais causas de falhas em caldeiras, incluindo a corrosão e a erosão dos componentes, o superaquecimento do metal, a falha dos sistemas de segurança, a presença de substâncias corrosivas ou impurezas na água de alimentação, entre outras. O estudo também destaca a importância da manutenção preventiva e da realização de inspeções regulares para evitar falhas e minimizar o risco de acidentes.

Ao final desta pesquisa, é possível relacionar que ao realizar o correto tratamento químico da água desses equipamentos, será mantida a eficiência, como também evitará uma maior necessidade de manutenções com tubos furados, entupidos ou incrustados, que provocam sérios problemas colocando em risco a vida do operador e de toda indústria, além de uma causar um gasto excessivo em casos de paralisação para consertos e afins.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12828**: Água de alimentação e caldeiras: Requisitos técnicos e de qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16461**: Água de alimentação e tratamento químico de água para geração de vapor: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BAHADORI, A.. **Chemical treatment of boiler water, handbook of water and energy management in food processing**. 2015.
- CASTRO, B. B.. **Avaliação da corrosão em operações de remoção de incrustações carbonáticas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- CHAKRABORTY, S.. Alternative oxygen scavengers for the removal of dissolved oxygen in boiler feed water. **Journal of Water Process Engineering**, v.38, 2020.
- CHEUNG, C. W.; HO, K. F.; LEE, S. C.. Monitoring and treatment of cooling water for industrial facilities. **Handbook of Environmental Materials Management**, p.391-422, 2018.
- COSTA, M. A.; MENDES, R. V.; BEZERRA, A. B.; BARROS, A.. Corrosão em tubos de geradores de vapor de usinas termelétricas. **Revista Brasileira de Engenharia de Energia e Meio Ambiente**, v.9, n.1, p.29-39, 2018.
- FONSECA, R. B.; CRUZ, R. P.; TEIXEIRA, M. P.; GUIMARÃES, C. M.. Avaliação das incrustações em tubos de geradores de vapor de uma usina de açúcar e álcool. **Revista da Faculdade de Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.1-10, 2017.
- FURTADO, J. A.; OLIVEIRA, M. R.; MIRANDA, J. L. F.; CORRÊA, J. F.. Depósitos em geradores de vapor: um problema crescente na geração de energia. **Revista Brasileira de Energia**, v.22, n.1, p.57-70, 2016.
- FURTADO, R. S.; PINHEIRO, C. C.; RANGEL, L. S.. Estudo de incrustações em geradores de vapor de uma refinaria de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. **Anais**. 2016.
- MÄKIPÄÄ M.; KAUPPINEN E.; LIND T.; PYYKÖNEN J.; JOKINIEMI J.; MCKEOUGH P.; OKSA M.; MALKOW, T. H.; FORDHAM R.J.; BAXTER D.; KOIVISTO L.; SAVIHARJU K.; VAKKILAINEN, E.. Superheater tube corrosion in recovery boilers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PULP & PAPER INDUSTRY CORROSION, 11. **Anais**. Charleston: 2004.
- OLIVEIRA, M. C.; SATO, M.. Corrosão em geradores de vapor: causas, mecanismos e prevenção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METALURGIA E MATERIAIS, **Anais**. 2019.
- PIRES, R. M.; SILVA, W. L.; LIMA, G. B.; ANDRADE, R. A.. Estudo de caso: avaliação da corrosão em geradores de vapor em uma indústria petroquímica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, **Anais**. 2020.
- RABELLO, J. L. A.; OLIVEIRA, E. M.. **Química aplicada à engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- SILVA, R. M.; QUEIROZ, L. H.; PEREIRA, J. S.; SOUZA, E. J.. Efeitos das incrustações em geradores de vapor em uma usina de cogeração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, **Anais**. 2019.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). 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 ou digitais sob coordenação 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.