

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO NO PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O USO NA OSMOSE REVERSA EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AUTOR

Felipe Henrique Aparecido CARRITO

Discente do Curso de Engenharia Química – UNILAGO

Amarildo De Marchi LOPES

Maria Angélica Marques PEDRO

Docente do Curso de Engenharia Química - UNILAGO

RESUMO

As grandes indústrias sucroalcooleiras que fazem o uso do vapor para consequentemente gerar energia, necessitam de uma água pura para alimentar suas caldeiras, para isso se torna necessário o uso de etapas de pré-tratamento dessa água. O processo de osmose reversa é essencial no processo de tratamento de água para caldeira, entretanto, algumas substâncias, como os compostos orgânicos de cadeias longas, alguns íons como o cálcio, magnésio, e silicatos, além de certos metais pesados como o ferro, cobre e o chumbo podem causar incrustações degradando as membranas, diminuindo a eficiência do tratamento e da qualidade de abastecimento das caldeiras. Por meio disso se faz necessário a manutenção nas membranas para melhorar o processo, aumentando assim os gastos com limpezas químicas, além do alto valor de mercado agregado para a renovação destas. Para que isso não ocorra, a eletrofloculação pode ser usado para eliminar esses contaminantes e não prejudicar as membranas da osmose reversa, além de aumentar a eficiência do pré-tratamento. O objetivo deste trabalho é estudar o processo de eletrofloculação no pré-tratamento da água para caldeira, quando aplicado antes da etapa de osmose reversa.

PALAVRAS - CHAVE

Osmose Reversa. Pré-tratamento. Eletrofloculação.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso renovável, porém escasso, que através do seu ciclo natural retorna para o meio em que vivemos, ocorrendo fatores durante o mesmo que a torna inviável para o consumo direto (SILVA, *et al.*, 2013). Esta se encontra em mais de três quartos do nosso planeta, sendo a maior parte salobra, situada em mares e oceanos e uma pequena parte sendo potável, entretanto apenas um percentual desta parte se encontra na forma líquida, presentes nos mananciais (rios e lençóis freáticos, por exemplo), sendo estas utilizadas para consumo humano, pois o restante está no seu estado sólido, ficando armazenadas em geleiras. Com o aumento populacional e o avanço industrial a busca por este recurso tem sido crescente, o que gera um alerta para as organizações (ANA, 2022).

As grandes indústrias usam deste recurso para suprir suas necessidades, para isso estão buscando novas maneiras de reutilizar a mesma, a fim de aperfeiçoar e ampliar seus processos (MELLO *et al.*, 2021). Seu uso é destinado para caldeiras, torres de resfriamento, lavagens e irrigações, o custo de sua utilização acaba por ser elevado e, portanto, as plantas estão sendo aprimoradas para que possam ali mesmo realizar o tratamento deste efluente para seu determinado fim (HESPANHOL, 2002).

No caso das indústrias sucroalcooleiras que geram vapor para conseqüentemente prover energia para seus processos, necessitam de uma água pura para alimentar as caldeiras devido aos riscos apresentados nesta operação, assim vem a necessidade da implementação das etapas de pré-tratamento, a fim de evitar possíveis danos futuros como corrosões que acabam sendo prejudiciais por causarem vazamentos e até letais se houver incrustações o que pode gerar explosões devido ao alto nível de pressão em que elas operam (GENERAL ELETRIC, 2022).

Uma destas etapas é a osmose reversa que funciona de maneira contrária ao processamento osmótico que ocorre na natureza este que se trata de um processo natural físico-químico, onde o fluido com concentrações distintas se encontra dividido por uma barreira semipermeável, sendo através do processo de difusão que o solvente irá se deslocar do meio menos concentrado (hipotônico) para o mais concentrado (hipertônico), chegando ao fim quando a solução estiver com seu potencial químico em equilíbrio. Por tanto, na osmose reversa o fluido irá percorrer do meio mais concentrado para o de menor concentração, necessitando de uma força externa para percorrer (HYDRANAUTICS, 2017).

Mas este processamento apresenta um problema em especial que são as incrustações, estas que podem ocorrer ao longo do tempo, ocasionando a degradação das membranas e abaixando a eficiência do tratamento, aumentando gastos com limpezas químicas, além do alto valor de mercado agregado para a renovação das mesmas. Para que isso não ocorra um pré-tratamento deve ser feito para eliminação de possíveis contaminantes, segundo Lauxen (2014) o grau de complexidade deste tratamento será determinado pela qualidade física, química e microbiológica da água utilizada na alimentação.

Uma alternativa pouco utilizada, mas que vem ganhando força nos últimos anos por ser considerada uma técnica verde e que não afeta o meio ambiente é a eletrofloculação que segundo Grecco (2021), utiliza de reações de oxirredução onde ocorrerá a formação de hidróxidos metálicos e de bolhas de gás hidrogênio que aglutinam as partículas sendo removidos por processos simples de separação.

O objetivo deste trabalho tem como objetivo estudar o processo de eletrofloculação para remover os possíveis contaminantes antes da etapa de osmose reversa no tratamento de água para a caldeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caldeiras

Segundo Trovati (2022) as caldeiras são equipamentos que, por meio da água, produzem vapor saturado ou superaquecido. O vapor atua em grande escala nos processos industriais necessitando de uma fonte de energia para realizar sua atividade. As indústrias sucroalcooleiras usam esses vapores nos seus processos para prover aquecimento, cozimento, gerar energia, além de outras utilizações. Segundo a General Eletric (2022), as caldeiras atuam como uma panela de pressão e que se não forem controladas podem causar grandes perigos para o ser humano. Para que isso seja evitado, Santos *et al.* (2017). relatam que elas devem possuir equipamentos de segurança como manômetros, válvulas de segurança, injetores de água e indicadores de nível, tudo isso para um simples fim, evitar que ocorra variações na linha de processo que possam ocasionar riscos e para que seja tomada as medidas preventivas no menor tempo possível.

Com o aumento das temperaturas e pressões operacionais se faz necessário melhorar a qualidade da água de entrada, para isso as grandes indústrias estão aprimorando suas plantas para implementar e conseqüentemente fazerem uso das etapas de pré-tratamento para removerem as impurezas que estão presentes no solvente de alimentação, que são um dos principais causadores de depósitos ou incrustações nas caldeiras (HESPANHOL, 2002).

2.2. Tratamentos da água de alimentação da caldeira

O tratamento de água para caldeira é um procedimento fundamental, principalmente para evitar danos e falhas que podem comprometer a eficiência térmica e operacional desse tipo de equipamento. A etapa de pré-tratamento é fundamental para fazer a retirada das impurezas e das substâncias que possam causar possíveis danos para o equipamento, esses processos se baseiam na retirada de impurezas mais grosseiras como os sólidos em suspensão e particulados orgânicos, além da remoção dos íons presentes que são um dos principais causadores da oxidação dessas matérias (TROVATI, 2022).

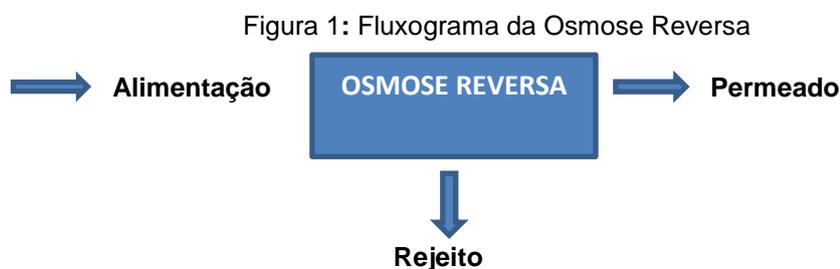
Estas etapas irão atuar sobre a água captada primeiramente passando pelos abrandadores onde irá ocorrer a retirada do cálcio e magnésio, além das sílicas presentes nesses solventes que são um dos principais problemas nesse processo. Na sequência será feita a dosagem de produtos químicos em especial os biopolímeros para ser feita a eliminação de possíveis compostos orgânicos e correção do pH, além da passagem desse solvente pelos filtros cartucho onde retirará os compostos em suspensão (ROVANI, 2012).

Segundo Zapelon *et al.* (2015) essa água ainda passará pelo processo de desmineralização onde ocorrerá a remoção dos íons presentes na mesma através de colunas catiônicas e aniônicas e por fim pelos desaeradores térmicos onde haverá a remoção do oxigênio dissolvido e de outros gases que são uns dos grandes responsáveis pela oxidação das tubulações.

Com a evolução das indústrias cogeneradoras de energia e a necessidade de uma água mais pura, houve também um relativo aumento na busca por tratamentos que envolvem membranas, estes que são considerados ótimos no processo de dessalinização, destacando-se entre eles o processo de osmose reversa, no qual vem sendo empregado em diversas áreas, além de ser considerada uma tecnologia limpa se comparada com os processos convencionais antes utilizados (MARTINS, 2012).

2.3. Osmose Reversa

Osmose reversa como o próprio nome já diz é o inverso do processo osmótico natural, este processo apresenta uma membrana semipermeável na qual ocorre de maneira forçada a separação do soluto em duas correntes, sendo a primeira o permeado que contém a água que irá passar pelas membranas e a segunda é a do rejeito que apresenta os sais e compostos que ficarão retidos (ROVANI, 2012), conforme mostrado na Figura 1.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Este processo é considerado simples e de baixo custo operacional, pois para realizar o deslocamento do seu solvente necessita apenas de uma bomba e que este solvente apresente uma boa qualidade, para que não haja problemas com suas membranas (GOUVÊA *et al.*, 2012).

De acordo com Lauxen (2014), a seleção da membrana ideal para cada utilização é um fator resultante para o bom funcionamento e para o alto rendimento do processo, pois ao escolher a membrana correta você aumenta o nível de retenção dos rejeitos, elevando a vazão de um permeado puro. Porém, estas membranas, estão sempre sujeitas a sofrerem com contaminantes orgânicos e particulados que possam estar presentes na água que a alimenta, podendo assim reduzir sua eficiência e sua durabilidade, causando uma perda para a empresa (ROVANI, 2012).

2.3.1. Contaminantes

Rovani (2012), nos mostra que as sílicas são os principais causadores da degradação das membranas, já que se apresentam em abundância na superfície terrestre e por ser de difícil remoção, acabam por incrustarem tanto as tubulações quanto as membranas necessitando assim de processos de limpeza mais complexos, o que acabam prejudicando gradativamente esse material.

Os tipos de incrustações mais conhecidas são a de deposição, de precipitação e as bioincrustações que são provenientes dos compostos orgânicos de cadeias longas, de alguns íons como o cálcio, magnésio, e silicatos, além de certos metais pesados como o ferro, cobre e o chumbo que veem a acarretar essas adversidades causando as degradações. As incrustações por deposição ou Fouling ocorrem na superfície das membranas, elas são de difícil remoção e dependendo do caso se tornam irreversíveis, ocasionando a perda de eficiência da vazão e da eliminação dos íons na água de alimentação (ZAPELON *et al.*, 2015). Lauxen (2014), diz que no caso das incrustações por precipitação ou *Scaling*, com o aumento da concentração de íons na alimentação, ocorre também o aumento do nível de solubilidade dos sais sendo ocasionados pela polarização da água nas proximidades das membranas, até que estes atinjam seu grau de supersaturação, ocasionando a precipitação. Já a bioincrustação ou Biofouling pode ser explicada como a diminuição da eficiência no fluxo do permeado, devido a formação de barreiras biológicas, orgânicas ou inorgânicas, sendo um dos principais problemas de dessalinização da água (MARTINS, 2012)

Para que isso seja evitado torna-se necessário o pré-tratamento do solvente que alimentará as osmose, esta etapa poderá variar de acordo com sua necessidade e com a qualidade da água captada, levando em contas seus aspectos físicos, químicos e microbiológicos, podendo se tornar um processo simples ou até mesmo mais complexo (LAUXEN, 2014).

Uma técnica considerada limpa e que vem ganhando força pôr em seu processamento não necessitar do uso de agentes químicos, formando poucos resíduos, além de poder ser utilizadas em diversos tipos de efluentes é o tratamento por eletrofloculação.

2.5 Eletrofloculação

Esta técnica é derivada das primeiras etapas de tratamento da água como a flotação e a coagulação, onde são adicionados produtos para ocorrer a reação, produtos estes que formam resíduos que não são benéficos para o meio ambiente. Sendo assim, ela se torna uma alternativa viável por se basear na aplicação de corrente elétrica para a remoção das impurezas sem necessitar do uso desses produtos químicos, eliminando assim quaisquer possíveis contaminantes que possam aparecer das reações destes (GRECCO, 2021).

Ela também está relacionada com dois fenômenos eletroquímicos bastantes conhecidos: eletrocoagulação e a eletroflotação. Segundo Gobbi (2013) na técnica de eletroflotação ocorre a separação dos materiais suspensos quando há o surgimento de gases eletrolíticos formando bolhas de oxigênio no ânodo e de bolhas de hidrogênio no cátodo produzido pela hidrólise da água, essas bolhas vão até a superfície colidindo como os flocos de impurezas do solvente, promovendo assim a purificação do meio.

Enquanto o processo de eletrocoagulação se dá pela utilização de dois eletrodos com polaridades distintas, que ao aplicar uma corrente elétrica o cátodo vem a sofrer redução e o ânodo oxidação, agindo como um metal de sacrifício para assim ocorrer a geração dos coagulantes químicos *in situ* e conseqüentemente a remoção desses (ALMEIDA, 2016).

De acordo com Belan (2014), o tratamento por eletrofloculação acontece em um tanque reator que age como uma célula eletrolítica, onde os dois eletrodos de mesma espécie como de ferro ou de alumínio são interligados e colocados em contato com o solvente, havendo assim a reação de oxirredução entre eles e conseqüentemente a retirada dos particulados por uma técnica simples de separação.

Este processo pode ser prejudicado por alguns fatores, então para se buscar a máxima eficiência nesta etapa de tratamento, são seguidos alguns parâmetros operacionais que visam remover completamente as impurezas em menor tempo e gasto operacional. São exemplos desses fatores o pH e a condutividade da água de alimentação, o consumo e intensidade da corrente elétrica aplicada, além da distância entre os eletrodos e o tempo de contato deles com o meio (ALMEIDA, 2016). A determinação da eficiência desses parâmetros se dá por meio de determinações analíticas como pH, turbidez, DQO e de sólidos totais, onde poderá ser averiguado se houve ou não eficiência no tratamento, corrigindo possíveis desvios e aprimorando esta etapa (MORES, 2013).

Segundo Fleck *et al.* (2013), algumas das vantagens deste processamento são a utilização de equipamentos com baixo custo de instalação e de operação, a limitação de agentes químicos o que resulta na menor incidência de contaminações do meio em que o solvente será lançado, a fácil remoção das impurezas por apresentarem partículas mais densas que se aglomeram na área superficial da solução, além de apresentar uma célula eletrolítica de fácil controle, não havendo a necessidade de adicionar dispositivos extras.

Suas desvantagens se dão pela necessidade de efetuar a troca dos eletrodos no caso de passivação ou desgaste do mesmo, por depender da localidade da instalação o custo com energia elétrica poderá ser maior, além da perda de eficiência se houver formação de um filme de óxido impermeável no cátodo (MORAES, 2013).

Segundo Mores (2013), Souza, *et. al.* (2015) e Silveira (2017) o processo de eletrofloculação se fez eficaz na diminuição dos compostos orgânicos e de certos íons presentes na água, espécies que são consideradas os principais contaminantes que degradam as membranas, apresentando resultados satisfatórios ao final de seus experimentos, com características físico-químicas ideais para a eficácia nessa etapa de tratamento.

Grecco (2021) relata que o tratamento da água pela da técnica de eletrofloculação por si própria já é eficiente, mas ao ser combinado com outra etapa de tratamento alcança resultados muito mais aguardados, mostrando a versatilidade desse processo e a sua capacidade de tratar a água. A implantação desta etapa antecedendo a etapa de osmose reversa aumenta a eficiência deste tratamento, devido a sua capacidade de remoção dos compostos orgânicos e dos íons que possam estar presentes na água de alimentação (SILVA, 2013).

3. CONCLUSÃO

Devido aos contaminantes presentes na água que alimenta a osmose reversa, ocorre o acúmulo de material nas superfícies das membranas, acarretando a perda de eficiência do processo, aumentando gastos indesejáveis. Portanto através dos artigos analisados pode-se concluir que a aplicação do processo de eletrofloculação deve resolver o problema com as incrustações presentes, que tendem a danificar as membranas utilizadas na osmose reversa, pois reterá seus contaminantes e reduzirá o gasto com a limpeza química e os desgastes que venham a ocorrer nelas.

Nesse contexto fica a importância de um estudo futuro para montagem e aplicação de um tanque reator de eletrofloculação, na etapa de pré-tratamento na água de alimentação das caldeiras em uma indústria sucroalcooleira.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Balanco hídrico**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/balanco-hidrico>. Acesso em: 02 set. 2022.

BELLAN, A. I. D. **Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluentes têxteis**: revisão bibliográfica. 2014. 30 pág. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

FILHO, D. G. Águas Residuárias: uma Alternativa Racional de Reuso. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 1, n. 1, p. 17–32, 2017.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. Utilização da técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão. **EIXO**, Brasília, v. 2, p. 51-65, 2013.

GENERAL ELETRIC: WATER & PROCESS TECHNOLOGIES. **Programa de Treinamento para Operadores de Caldeira**: Tratamento de águas industriais. Disponível em: <https://www.gehealthcare.com.br/education>. Acesso em: 29 set. 2022

GOBBI, L. C. A.. **Tratamento de água oleosa por eletrofloculação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Energia) – Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2013.

GONÇALVES, F. M. **Contribuição da eletrocoagulação no tratamento de efluentes visando o reuso de água na indústria do petróleo**. 2019. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em:<http://hdl.handle.net/1843/31867>. Acesso em: 02 set. 2022

GOUVEA, C. A. K.; et al. Uso de água tratada por osmose reversa para a Geração de vapor em indústria de tabaco. **Revista Produção Online**, v. 12, n. 2, p. 522–536, 2012. Disponível em: <http://10.14488/1676-1901.v12i2.941>. Acesso em: 12 ago. 2022

GRECCO, L. H. A.; SOUZA, B. C. A.; ZANINI, M. V. B. Eletrocoagulação/ eletrofloculação para tratamento de água residuárias: eletrodos não convencionais e acoplamento de técnicas. **Química Nova**, v. 45, n. 4, 2021.

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.

HYDRANAUTICS. **What is Reverse Osmosis?**. Disponível em: <http://www.membranes.com/docs/trc/reverseo.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

LAUXEN, D. H. **Avaliação do pré-tratamento eletromagnético para o processo de osmose reversa**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MARTINS, N. C. **Estudo de limpeza química em membranas de osmose reversa**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MELO, G. F. *et al.* 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.

MORES, R. **Eletrofloculação no tratamento de água residuária da suinocultura à pré-digestão anaeróbia**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2013.

ROVANI, M. Z. **Estudo da osmose inversa na produção de água desmineralizada para caldeiras**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

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.

SILVA, L. F. **Emprego dos processos de eletrofloculação e osmose inversa no tratamento de águas oleosas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Química ambiental; Polímeros) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

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. Disponível em: <https://pesquisafatec.com.br/ojs/index.php/efatec/article/view/48>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SILVEIRA, I. D. **Avaliação do tratamento de efluente bruto de indústrias de curtume de pele bovina pelo processo de eletrofloculação através de análises físico-química**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química). – Instituto Federal do Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2017.

SOUZA, P. C.; *et al.* Aplicação de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação para o tratamento de efluente têxtil. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. 2015, **Anais**. São Carlos. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/enemp2015/PS-370.pdf>. Acesso em: 29 set. 2022.

TROVATI, J. **Tratamento de Água para Geração de Vapor: Caldeira**. Curso online. Disponível em: https://www.snatural.com.br/pdf_arquivos/torre-caldeira-tratamento-agua-caldeira.pdf. Acesso em: 29 set. 2022.

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.