

## ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO PARA ABASTECIMENTO DE CALDEIRA EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.II-010>

Rafael Santos Borba (\*), Marilu Rosa dos Santos Souza, Cristina Benincá

\* Universidade Federal do Rio Grande, raafael062009@gmail.com

### RESUMO

Neste trabalho de estudo de caso realizado em uma indústria do ramo moveleiro de fabricação de MDF, foram analisados os parâmetros da qualidade da água usada para reabastecer a caldeira. Esta água é de reuso e é proveniente do processo produtivo de MDF, a qual recebe tratamento físico-químico. As informações sobre a qualidade desta água foram obtidas através dos documentos e planilhas do laboratório de análise e após identificação das linhas que efetivamente fazem o abastecimento da água da caldeira. Também foram verificados os fluxogramas da estação de tratamento de efluentes (ETE) e da estação de tratamento de água (ETA), visto que esta água de reuso passa por essas duas etapas, que são responsáveis pelo acondicionamento da água antes da mesma passar pelo processo de osmose reversa. Como este processo de osmose reversa é uma etapa crítica para garantir a produção de água de alimentação da caldeira, a qual deve possuir características físico-químicas compatíveis com sua pressão de trabalho, considerou-se necessário realizar o cálculo da eficiência dos parâmetros físico-químicos, os quais devem estar enquadrados em limites específicos. Dentre os parâmetros avaliados, os teores de dureza, cloretos e condutividade estavam ligeiramente fora dos limites químicos recomendados pelo fabricante, enquanto que pH, alcalinidade, ferro, sílica e sulfito apresentaram teores adequados aos exigidos para operação segura da caldeira.

### PALAVRAS-CHAVE:

Água de reuso, Caldeira, Indústria moveleira.

### INTRODUÇÃO

A água é um recurso limitado, o que torna o seu reaproveitamento na indústria de grande importância ambiental, econômico e social. A implementação de um sistema de reaproveitamento de água exige um alto investimento em tecnologia e um constante trabalho de monitoramento e controle de todo o sistema.

Uma importante demanda de água na indústria é para abastecimento de caldeira para produção de vapor. A especificidade envolvida no projeto de operação e manutenção das caldeiras segue padrões de acordo com normas, códigos e legislações, sempre acompanhados de fiscalização. As operações envolvendo caldeiras no território nacional são regulamentadas pela NR-13, e fica a cargo do Ministério do Trabalho realizar a aplicação desta norma regulamentadora (TROVATTI, 2009).

A presença de impurezas na água de alimentação de uma caldeira podem causar problemas de corrosão, incrustação, e ainda tem que se considerar o arraste de condensado na linha de vapor, prejudicando a qualidade do vapor gerado e diminuindo a vida útil da caldeira. Para uma maior eficiência na remoção das impurezas na etapa final de um tratamento de água para alimentação de caldeira e tornar compatível suas características físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira é recomendado a utilização do processo de osmose reversa. Esta técnica de filtração utiliza membranas, que devido ao micro tamanho da porosidade, torna possível a remoção de íons, sais dissolvidos e matéria orgânica com peso molecular inferior a  $200 \text{ g mol}^{-1}$  (SANTOS, 2017).

### OBJETIVO

Fazer uma análise dos parâmetros de qualidade da água de reuso proveniente de processo produtivo de painéis de MDF, que recebe tratamento físico-químico e é usada para reabastecer caldeiras.

### METODOLOGIA

No presente trabalho foi utilizado o método de estudo de caso para verificar e analisar o controle e monitoramento da qualidade do efluente tratado em uma indústria do ramo moveleiro de fabricação de painéis de MDF.

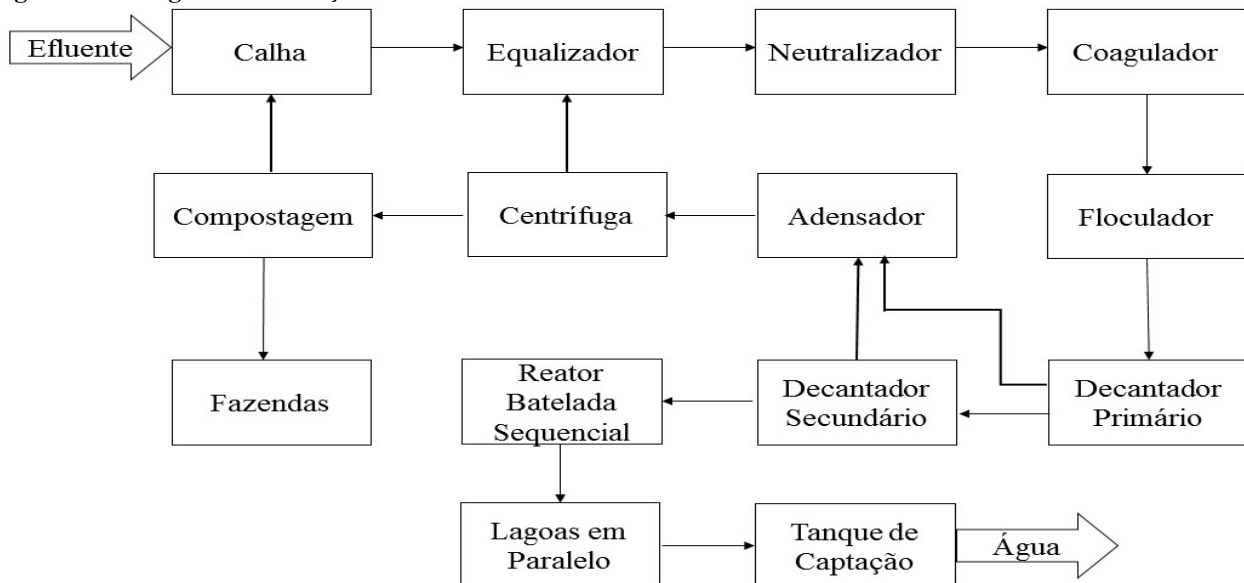
Foram realizadas visitas técnicas nas dependências da empresa para coletar dados na estação de tratamento de efluentes, na estação de tratamento de água e no laboratório de análises físico-químicas. Foram consultados documentos, planilhas e fluxogramas da ETE, ETA, do laboratório de análises e linhas de abastecimento de água da caldeira.

Durante a etapa inicial de elaboração do trabalho foi realizada a construção de novos fluxogramas da ETE e ETA, para se ter uma maior clareza sobre todas as etapas de tratamento físico-químico da água de reuso. Na segunda etapa de elaboração do trabalho foi construída uma tabela que relaciona a água que sai da ETA que passou pelo processo de osmose reversa, com a água de alimentação da caldeira, pois a osmose reversa é uma etapa crítica para garantir a eficiência do tratamento da água de alimentação da caldeira. A terceira etapa consistiu em uma análise sobre a variação dos parâmetros físico-químicos apresentados na referida tabela, e sobre a qualidade da água tratada com base nos limites químicos da água de alimentação da caldeira, segundo recomendação fornecida pelo fabricante da caldeira. A última etapa consistiu em aplicar o cálculo de eficiência de tratamento da água, no caso pelo processo de osmose reversa, considerando os parâmetros físico-químicos que constam na Tabela 1. Os parâmetros avaliados neste trabalho também são determinados pela ASME (Associação Americana dos Engenheiros Mecânicos), entretanto não foram adotados para o cálculo de eficiência de tratamento da água por osmose reversa, já que foram adotados os dados recomendados pelo fabricante da caldeira.

## RESULTADOS

A estação de tratamento de efluentes (ETE) recebe águas utilizadas no processo produtivo de painéis de MDF, que retornam como efluentes para receber o devido tratamento para acondicionamento preliminar, para serem enviadas ao processo de reuso. A ETE recebe mensalmente uma vazão média de 13.484 m<sup>3</sup> proveniente do processo produtivo, mas trata mensalmente uma vazão média de efluente gerado de 19.214 m<sup>3</sup>. As etapas da ETE são devidamente apresentadas na Figura 1.

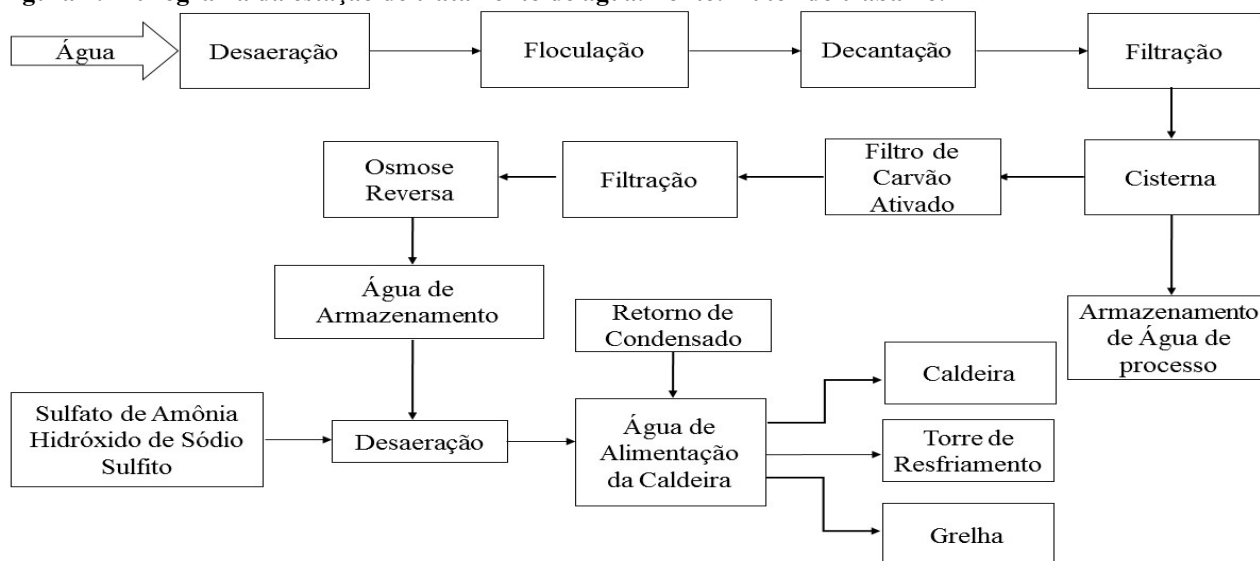
**Figura 1: Fluxograma da estação de tratamento de efluentes. Fonte: Autor do trabalho.**



A partir das informações fornecidas na Figura 1 foi possível elaborar um fluxograma com as etapas seguintes, que são as do então tratamento de água, realizado na estação de tratamento de água (ETA). No fluxograma demonstrado pela Figura 2 é possível visualizar que a última operação realizada é a filtração por osmose reversa. A água que passa pelo processo de osmose reversa possui uma vazão média mensal de 11.757 m<sup>3</sup>. Após a osmose reversa, a água segue para um sistema de armazenamento de água tratada o qual é dividido em dois reservatórios de concreto com 750,00 m<sup>3</sup> de capacidade.

Antes de apresentar os dados sobre a eficiência dos tratamentos físico-químicos da água de alimentação da caldeira, é importante apontar que após o processo de osmose reversa a água recém tratada é armazenada em um tanque de concreto e misturada com a água que já havia sido tratada em períodos anteriores. Outro aspecto a ser mencionado é que este reservatório nunca passou por limpeza, tanto mecânica, quanto manual ou química.

Figura 2: Fluxograma da estação de tratamento de água. Fonte: Autor do trabalho.



Em relação às informações que foram levantadas sobre as características físico-químicas da água que abastece a caldeira (Tabela 1) também é importante salientar que a flutuação dos dados obtidos pelo monitoramento analítico pode estar relacionado com um período de pausa na produção que ocorreu durante cinco meses, sendo de outubro de 2022 a fevereiro de 2023, o que implicou também na inativação da ETE e da ETA. Neste mesmo período, foi observado que a maior variação nos dados obtidos provém da retomada das atividades da linha de produção, em março de 2023. Os dados analisados indicam que devido às flutuações nos dados obtidos, a maioria dos parâmetros físico-químicos está acima dos limites químicos recomendados pelo fabricante para a água de alimentação da caldeira. Os dados que foram utilizados neste trabalho compõem o período de janeiro de 2022 até julho de 2023.

Tabela 1. Comparação entre os parâmetros coletados e os limites químicos. Fonte: Autor do trabalho.

| PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA           | Água de Alimentação da Osiose Reversa | Água após Osiose Reversa | Água de Alimentação da Caldeira | Limites Químicos |
|------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------|
| pH                                       | 7,16 ± 0,35                           | 7,84 ± 0,52              | 6,71 ± 0,99                     | 7,0-9,0          |
| Alcalinidade total (mg L <sup>-1</sup> ) | 109,41 ± 23,99                        | 14,67 ± 7,15             | 22,59 ± 14,57                   | 0-100            |
| Cloretos (mg L <sup>-1</sup> )           | 340,26 ± 84,51                        | 19,71 ± 8,09             | 20,24 ± 7,72                    | 0-20             |
| Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )     | 1461,95 ± 357,82                      | 50,97 ± 40,35            | 148,13 ± 66,20                  | 0-200            |
| Dureza total (mg L <sup>-1</sup> )       | 166,76 ± 49,12                        | 2,71 ± 2,54              | 4,41 ± 8,16                     | 0-3              |
| Ferro (mg L <sup>-1</sup> )              | 0,25 ± 0,34                           | 0,20 ± 0,19              | 0,30 ± 0,22                     | 0-0,5            |
| Sílica (mg L <sup>-1</sup> )             | 6,42 ± 1,85                           | 0,54 ± 0,43              | 0,53 ± 0,26                     | 0-3              |
| TRASAR (mg L <sup>-1</sup> )             | 4,58 ± 4,51                           | -                        | 30,85 ± 41,0                    | 10-50            |
| %Rejeição de Sais                        | -                                     | 87,22 ± 0,08 %           | -                               | >95%             |
| Sulfito (mg L <sup>-1</sup> )            | -                                     | -                        | 6,24 ± 6,23                     | 10-18            |

Com base nos dados obtidos na Tabela 1, foi realizado o cálculo da eficiência de controle dos parâmetros físico-químicos. Os dados utilizados para este cálculo de eficiência, apresentados na Tabela 2, são respectivos aos dados das colunas “Água de alimentação da osiose reversa” e “Água após osiose reversa”.

Os dados de eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos com base na análise somente do processo de osiose reversa se mostraram muito promissores e de acordo com a fundamentação de que o processo de osiose reversa é uma etapa crítica para garantir a eficiência do tratamento da água de alimentação da caldeira. Ao observar os dados da Tabela 1 na coluna “Água de Alimentação da Caldeira” nota-se que em todos os parâmetros, com exceção do pH, há um acréscimo nos valores, mas que ainda assim estão atendendo o limite máximo estabelecido pelo fabricante da caldeira. Os únicos valores que excederam o limite químico desejado foram os relacionados à dureza, cloretos e a condutividade elétrica.

Outra informação importante a ser considerada, de acordo com o fluxograma da ETA, é que o permeado da osmose reversa fica em um sistema de armazenamento e mistura-se com água que já havia sido tratada em meses anteriores, para só depois seguir com o processo de desaeração e receber o tratamento químico, e finalmente é utilizada como água de alimentação da caldeira. Além disso, esta água junta-se com água de retorno de condensado.

**Tabela 2. Eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos. Fonte: Autor do trabalho.**

| PARÂMETRO DE QUALIDADE DA<br>ÁGUA | Osmose Reversa |
|-----------------------------------|----------------|
| Alcalinidade total                | 86,59%         |
| Cloretos                          | 94,21%         |
| Condutividade                     | 96,51%         |
| Dureza total                      | 98,37%         |
| Ferro                             | 19,50%         |
| Sílica                            | 91,52%         |

Sobre a estrutura de concreto do sistema de armazenamento da água é possível considerar que a mesma pode estar sofrendo um processo de lixiviação, causada por reações químicas. Salienta-se que para que este fenômeno ocorra, é necessário que haja interações químicas entre águas puras ou ácidas, capazes de atuar como agente agressivo do ambiente, e o hidróxido de cálcio, o qual é um dos componentes do cimento (OLIVEIRA, 2016).

## CONCLUSÕES

Para a análise da água de alimentação da caldeira, os parâmetros de dureza, cloretos e condutividade se mostraram fora dos limites químicos recomendados pelo fabricante, o que pode causar sérios danos ao equipamento. A dureza da água causa incrustação, o alto nível de cloretos, assim como a condutividade causam corrosão. Além disso, a condutividade elevada pode estar sendo causada pela necessidade de se manter razoáveis valores de alcalinidade hidróxida e residuais de fosfato na água de alimentação da caldeira.

Ao analisar a estação de tratamento de água, mais precisamente na etapa de armazenamento de água, poderia ser implementado um sistema de limpeza periódica nos reservatórios de concreto, o que pode diminuir a agressividade da água ao concreto e possivelmente, melhorar os parâmetros de qualidade da água de alimentação da caldeira. Outra alternativa seria a aplicação de uma camada impermeabilizante na parede interna do reservatório que fica em contato com a água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Trovatti, J. **Tratamento de Água para Geração de Vapor: Caldeiras**. 2009. Disponível em: [http://www.snatural.com.br/PDF\\_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf](http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf).
2. Santos, E. **A importância do tratamento e cuidados com a água de caldeira**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido. 2017.
3. Oliveira, T. V. **Estudo da lixiviação em desenvolvimento no concreto da eclusa 1, estrutura componente do sistema de transposição da barragem de Tucuruí**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará. 2016.