

**SIMPEX**Simpósio Internacional de
Ensino Pesquisa e Extensão**2024**21 a 23 de maio
Joinville - SCTransformação
Sustentável na
Indústria 4.0
Inovação,
Educação e
Impacto SocialGratuito
e Híbrido

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE AGENTES PRECIPITANTE E DISPERSANTE PARA CONTROLE DA DUREZA NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRA

7 – Outras Temáticas - (Pôster)

*Jonas Bitencourt – Centro Universitário Leonardo da Vinci - Uniasselvi**Tania Maria Costa – Centro Universitário UniSenai**tania.maria@edu.sc.senai.br*

RESUMO

A água é o fluido de trabalho mais utilizado em sistemas de geração de vapor e em seu estado natural, contém contaminantes indesejáveis e prejudiciais ao processo. Sem um tratamento adequado, esta pode resultar em problemas de incrustações, perda de eficiência da operação e aumento de situações de risco, como explosões. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um agente precipitante à base de fosfato e um agente dispersante a base de polímero acrílico para o controle de dureza no tratamento interno de água de caldeira. Para isso, foram realizados seis ensaios variando a presença e ausência dos agentes químicos em uma caldeira flamatubular vertical piloto com capacidade de 20 L, alimentada com água proveniente de uma nascente. Os testes foram realizados de modo a permitir a avaliação do desempenho dos produtos em um sistema de geração de vapor. A partir das análises de pH e dureza total, foi comprovado a eficiência dos tratamentos com precipitante e dispersante em relação ao controle da dureza presente na água bruta de alimentação. Os tratamentos com adição de precipitante a base de fosfato e dispersante polimérico mostram-se soluções eficazes para prevenção de incrustações decorrentes da presença de dureza na água de sistemas de geração de vapor.

Palavras-chave: Agente dispersante; Caldeiras; Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

Devido seu alto poder energético, o vapor de água é utilizado pela humanidade desde o início da civilização, estando presente em vários processos e atividades industriais (QUEIROZ, 2017). Atualmente, os dispositivos responsáveis pela geração de vapor são as caldeiras, também definidas como trocadores de calor, e têm por finalidade aquecer a água líquida para transformá-la em vapor saturado ou superaquecido por meio da troca térmica ocasionada por um combustível e água. São equipamentos muito resistentes e trabalham

com pressões acima da pressão atmosférica (ZARPELON e AZZOLINI, 2015; QUEIROZ, 2017).

A água é o fluido de trabalho mais utilizado em sistemas de geração de vapor devido à sua disponibilidade, fácil obtenção e viabilidade econômica (SOUZA, 2013; GASOLA, MARQUEZI E AZZOLINI, 2015). No entanto, a água em seu estado natural não é pura e a ausência de um tratamento adequado pode gerar vapor de má qualidade, constantes paradas para manutenções, além de corrosão, incrustações nas tubulações e arraste de partículas indesejáveis junto ao vapor (SANTOS e FRAGA, 2017). A água ideal para esses sistemas deve conter a menor quantidade possível de sais e óxidos dissolvidos, ausência de oxigênio e gases dissolvidos, não conter materiais em suspensão ou materiais orgânicos, estar em temperatura elevada e possuir pH adequado (faixa alcalina) (SANTOS, 2016). Os tratamentos da água para a uso em caldeiras são classificados em externo e interno, sendo o externo o responsável por remover as impurezas como turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico (SOUZA, 2013; AZEVEDO JR., 2019) enquanto o interno consiste na dosagem de produtos dentro do equipamento, como o fosfato e dispersantes.

Dentre as opções de dispersantes poliméricos disponíveis, os polímeros acrílicos têm se destacado, mostrando-se inibidores da formação de depósitos, como carbonato de cálcio (AQUINO, 2018; FIRST CLASS QUÍMICA, 2020). Sua formulação pode ser combinada com agentes inibidores, quelantes e dispersantes, a fim de se obter um melhor resultado (FIRST CLASS QUÍMICA, 2020). Costumam prevenir ou retardar a formação de cristais através de quatro mecanismos diferentes: efeito dispersante (por meio de repulsão eletrostática), inibição “threshold” (reduzindo a tendência de precipitação), quelação (complexação de cátions) e modificação de cristais (alterando sua forma e impedindo o crescimento ordenado) (BISATTO, 2022). Desta forma, evitam a precipitação dos sais de dureza e óxidos metálicos, reduzem a ocorrência de lamas e podem remover depósitos já existentes. Sua solubilidade é total em água, e a dosagem ideal deve ser definida com base na avaliação das condições gerais de operação, bem como dos teores de dureza e óxidos metálicos presentes no sistema (FIRST CLASS QUÍMICA, 2020). Diante deste cenário, o



objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um agente precipitante à base de fosfato e um agente dispersante polimérico para o controle de dureza no tratamento interno de água de caldeira.

METODOLOGIA

A água de alimentação da caldeira (150 L) foi coletada numa nascente na cidade de Salete – SC no período matutino e armazenada em bombonas de 50 L. Análises de dureza total na água bruta e tratada foram realizadas em triplicata por meio de titulação complexiométrica em meio tamponado (pH 10), utilizando etilenodiamino tetra-acético (EDTA) como titulante e negro de eriocromo T como indicador (AZEVEDO JR., 2019). A aferição do pH foi realizada no local da coleta da água utilizando pHmetro portátil OHAUS ST300 e em laboratório, utilizando pHmetro META 210, ao final do processo. A água teve seu pH corrigido para 11 com solução de hidróxido de sódio 50% no início do processo, conforme recomendação para caldeiras de até 13 kgf/cm² (ALTAFINI, 2002).

A geração de vapor foi realizada em uma caldeira flamotubular vertical com capacidade de 20 L (em condições de inundação), contando com válvulas de segurança, visor de nível e manômetro (Figura 1). Para seu aquecimento foi utilizado um fogareiro portátil, alimentado por gás de cozinha (GLP). Após atingir a pressão de trabalho (entre 4 e 5 bar), a pressão foi mantida por meio do controle das chamas do fogareiro e por descargas de vapor, durante 20 minutos. Após esse tempo, o fornecimento de calor foi cessado, a água tratada foi coletada e as análises foram realizadas. Os testes foram executados na forma de batelada e em duplicata para cada tratamento, descritos na Tabela 1.

O preparo da água de alimentação para todos os ensaios se iniciou com a adição de 0,1 g/L do sequestrante de oxigênio sulfito de sódio (AXCHEM – XPERSE AD ROD) em 20 L de água bruta. Após a homogeneização, a mistura ficou em repouso por 5 minutos. Em seguida, foi realizado o ajuste de pH das amostras para 11. Nos ensaios 3 e 4, foram adicionados 0,03 g/L do agente precipitante tripolifosfato de sódio (BUSCHLE & LEPPER) e 0,03 g/L do dispersante à base de polímero acrílico nos ensaios 5 e 6. Após o preparo, as águas de alimentação foram introduzidas na caldeira e o processo de

aquecimento foi iniciado. Os resultados das análises foram avaliados com o auxílio do Software Microsoft Excel, por meio dos cálculos de média aritmética e desvio padrão.

Tabela 1 – Descrição dos experimentos

| Ensaio | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sulfito de sódio (g/L) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Tripopolisfosfato de sódio (g/L) | - | - | 0,3 | 0,3 | - | - |
| Dispersante polimérico (g/L) | - | - | - | - | 0,3 | 0,3 |

Fonte: o autor, 2024

Figura 1 – Caldeira e equipamentos de segurança



Fonte: elaborado pelo autor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios dos resultados obtidos nas análises de pH e dureza total estão mostrados na tabela 2, juntamente com seus percentuais de redução de dureza total e aumento do pH (após o ajuste para 11), em decorrência de cada ensaio.

Tabela 2. Valores médios de pH e Dureza da água bruta e após os experimentos e porcentagem de redução de dureza e aumento do pH em relação ao pH 11

| Ensaio | pH | Aumento do pH | Dureza Total (ppmCaCO ₃) | Redução de Dureza |
|------------|--------------|---------------|--------------------------------------|-------------------|
| Água bruta | 7,20 ± 0,10 | - | 22 ± 2,0 | - |
| 1 | 11,17 ± 0,03 | 1,55% | 3 ± 1 | 86,36% |
| 2 | 11,32 ± 0,02 | 2,91% | 2,3 ± 0,6 | 89,55% |
| 3 | 11,01 ± 0,01 | 0,09% | 0 | 100% |
| 4 | 11,21 ± 0,01 | 1,91% | 0 | 100% |
| 5 | 11,10 ± 0,02 | 0,91% | 0 | 100% |
| 6 | 11,42 ± 0,02 | 3,82% | 0 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.



Verificou-se a redução da dureza em todos os ensaios realizados, mesmo na ausência de precipitante e dispersante (ensaios 1 e 2), com variações de 86,36% a 89,55%. Tecnicamente, já se espera que os íons de magnésio – responsáveis por uma pequena parte da dureza total – precipitem ao reagir com a sílica e alcalinidade hidróxida presentes no meio sob a forma de uma lama chamada “serpentina”, que é descartada por meio de descargas de fundo durante a operação (AZEVEDO JR., 2019). Porém, o aumento da temperatura e a elevação do pH também tendem a reduzir a solubilidade de outros sais dissolvidos presentes no meio (principalmente os íons de cálcio) que, na ausência de um tratamento adequado, sofrem precipitação, dando origem à duras incrustações nas regiões de troca térmica (AQUINO, 2018; LAZARI, 2020).

Nos ensaios 3 e 4, a remoção já era esperada. Conforme Santos e Fraga (2020), em tratamentos com fosfato os sais de cálcio e magnésio, responsáveis pela dureza, são precipitados em forma de lama para serem removidos do equipamento por meio de descargas de fundo durante a operação. Porém, Aquino (2018) ressalta que tratamentos realizados com excesso de fosfato se enquadram entre os principais causadores de incrustações, em decorrência da supersaturação da solução e de sua desidratação nas regiões de troca térmica. Para serem eficientes, agentes precipitantes a base de fosfato, precisam ser dosados estequiometricamente, necessitando de um monitoramento rigoroso das características da água de alimentação, em comparação ao tratamento com dispersantes poliméricos (SOUZA, 2013). Já no caso dos ensaios 5 e 6, a precipitação não é esperada. No entanto, a redução de dureza das amostras pode ocorrer em função de um dos mecanismos de ação dos dispersantes poliméricos em presença de baixa dureza: quelação. Nesse processo, os íons de cálcio e magnésio ficam retidos em nas longas cadeias poliméricas, perdendo suas propriedades reativas originais (AQUINO, 2018).

Observa-se também na Tabela 2, um aumento na variação do pH em todos os ensaios, especialmente na presença do dispersante polimérico (Ensaio 6), ultrapassando minimamente a recomendação de pH de operação (pH 11). Segundo Trovati (2004), caldeiras que operam com pressão inferior à 10 kgf/cm², aceitam valores de pH entre 10,5 e 11,5, de forma que os resultados obtidos



neste trabalho se enquadram em sua recomendação. Zarpelon e Azzolini (2015), defendem que o pH da água de alimentação esteja entre 8,3 e 10 à 25°C, possivelmente por esperar-se esse aumento decorrente do processo. Como a água possui ponto de ebulição menor que o NaOH, o aumento do pH pode ser decorrente de sua evaporação no processo de geração de vapor, pois concentra o NaOH presente no meio. Desta forma, o pH da água de alimentação poderia ser ajustado à valores inferiores a 11. Nota-se também que o ensaio 3 mostrou baixa variação do pH. Isso porque compostos à base de fosfato precisam de alcalinidade hidróxida (OH^-) para a formação de seus precipitados (ANA, 2009; SOUZA, 2013), resultando em um maior consumo de hidróxido de sódio em relação aos outros ensaios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios realizados nesta pesquisa em uma caldeira flamotubular vertical mostraram que, apesar da remoção de dureza nos ensaios realizados na ausência do polímero e do tripolifosfato de sódio, esta não é benéfica para o equipamento. O aumento da concentração do hidróxido de sódio presente, em decorrência da evaporação da água no processo de geração de vapor, pode ter ocasionado a alteração do pH, especialmente na presença do dispersante polimérico. Os experimentos que tiveram um menor aumento do pH foram os realizados com a adição do tripolifosfato de sódio, confirmando que compostos à base de fosfato consomem alcalinidade do meio na formação de precipitados, conforme estequiometria da reação. Desta forma, entende-se que ambos os agentes avaliados, mostram eficácia no tratamento interno de águas de caldeira e que seu uso pode minimizar problemas comuns como incrustações em tubulações, corrosões e arraste de partículas indesejáveis junto ao vapor.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. União da Indústria da Cana-de-açúcar. Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Brasília-DF: 2009.



ALTAFINI, Carlos Roberto (professor). **Apostila sobre caldeiras**. Curso de engenharia mecânica – disciplina de máquinas térmicas – Universidade de Caxias do Sul, 2002.

AQUINO, Aline S. **Avaliação de dispersantes aplicados em tratamento de água de torre de resfriamento**. 2018. 124 p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

AZEVEDO JR., Walter José de. **Análise das propriedades da água de mina na geração de vapor em caldeira mista para beneficiamento de café no município de Três Pontas – MG**. 2019. 51p. Trabalho de conclusão de curso - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2019.

BISATTO, Rubens. **Síntese e avaliação de inibidores de incrustação obtidos através da polimerização radicalar convencional e controlada**. 2022. 250 p. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

FIRST CLASS QUÍMICA. **Produtos para tratamento de caldeira**. 2020. Disponível em: <http://firstclassquimica.com.br/categoria_de_produto/produtos-para-tratamento-de-caldeiras/>. Acesso em: 27 de junho de 2020.

GASOLA, Diogo Luiz; MARQUEZI, Sergio Luis; AZZOLINI, José Carlos. **Comparação entre o uso do sulfato de alumínio e do hidroxiclreto de alumínio no tratamento de água para geração de vapor**. 2015. Unoesc & Ciência - ACET Joaçaba, v. 6, n. 1, p. 7-18, jan./jun. 2015.

LAZARI, João Paulo. **Estudo da remoção de sílica de águas residuárias na indústria de petróleo**. 2020. 109 p. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

LIMA, Luiz Gustavo Pellissari Rosa. **Melhoria na eficiência térmica de uma caldeira aquatubular alimentada a cavaco florestal**. 2018. 58p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

QUEIROZ, Tácio de Lima. **Implementação de um sistema de automação, controle e supervisão da combustão em uma caldeira**. 2017. 95p. Trabalho de conclusão de curso – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET – MG), Belo Horizonte, 2017.

SANTOS, Luam de Oliveira. **Alimentação de caldeiras industriais por água de chuva: uma análise de viabilidade técnica e econômica**. 2016. 155p. Dissertação (Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.



SANTOS, Enock Jabes do Nascimento; FRAGA, Francisco Edson N. **A importância do tratamento e cuidados com a água de caldeira.** 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/4577>>. Acesso em: 25 de abril de 2020.

SOUZA, Carlos Antonio dos Santos. **Tratamento de água aplicado às caldeiras.** 2013. 41p. Trabalho de conclusão de curso – Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2013.

TROVATI, Joubert. **Tratamento de água para geração de vapor: caldeiras.** 2004. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-AguaCaldeira.pdf>. Acesso em: 21 de novembro de 2020.

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