



## **Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT**

### **Evolução do tratamento volátil em caldeiras recuperadoras de calor**

**LUCIANE FAUSTINO(1); MARCOS DE FREITAS(2);**  
**Copel GET(1); Copel GET(2);**

#### **RESUMO**

A Usina Termoeletrica a Gás de Araucária (UEGA), com 484MW de potência instalada é constituída de um ciclo combinado e opera na configuração 2x2x1, ou seja, com duas turbinas a gás, duas caldeiras de recuperação de calor e uma turbina a vapor. As caldeiras de recuperação de calor ou HRSG (Heat Recovery Steam Generator), são de dois níveis de pressão e têm capacidade de 230T/h de massa de vapor e pressão de 106barg/6,5barg, nos estágios de alta e de baixa pressão, respectivamente.

A usina foi projetada para operar com uso de fosfatos para condicionamento químico do circuito água-vapor, mas ao longo dos primeiros anos de operação ocorreram problemas de arraste de fosfato para o vapor, motivo pelo qual este modelo de tratamento químico foi reavaliado, com a suspensão do uso do fosfato.

A análise técnica do problema, apontou como causa primária do arraste, a condição operativa decorrente da operação temporária fora da melhor condição de projeto, na configuração 1x1x1; pois com apenas uma das turbinas a gás operando, a pressão do balão de alta da HRSG cai significativamente, alterando a dinâmica de fluxo e as características ideais do vapor.

Apesar desta ser a causa imediata, estudos referentes a dinâmica da água em HRSGs publicados pelo EPRI indicavam a necessidade desses equipamentos terem uma tratativa química diferenciada em relação às caldeiras tradicionais, haja vista as diferenças físicas e operacionais relacionadas à rampa de aquecimento, gradientes térmicos, velocidades dos fluxos internos e compactação (curvas dos feixes tubulares).

O principal foco desses estudos, relacionadas a estas diferenças, está associado ao fenômeno denominado FAC (corrosão por fluxo acelerado), um processo de corrosão observado nos circuitos de baixa pressão, cuja ocorrência, além de parâmetros físicos, pode ser favorecida pela presença de químicos em excesso, como por exemplo, agentes sequestrantes de oxigênio, cuja ocorrência é frequente em HRSG. Definiu-se então a alteração do tratamento para AVT (Tratamento totalmente volátil).

O tratamento volátil pode ser redutor (AVT(R)) ou oxidante (AVT(O)) e a escolha por um ou outro tipo depende diretamente da eficiência do processo de remoção de oxigênio da água de alimentação das HRSGs, pois o oxigênio dissolvido não pode ser superior a 10ppb (partes por bilhão) e no tratamento (AVT(O)) não se utiliza sequestrante de oxigênio.

Assim, a troca do processo de condicionamento químico do circuito água-vapor não seria apenas uma mudança de paradigma, mas também um grande desafio no sentido de adaptar-se uma estrutura de condicionamento químico a base de fosfato e seu respectivo monitoramento à esta nova forma de tratamento.

Atualmente, as HRSG1 e HRSG2 totalizam 37212 e 39138 horas de operação, respectivamente e já sofreram algumas intervenções para manutenção programada durante as quais, as inspeções dos componentes internos comprovam os bons resultados em relação a conservação dos mesmos.

Pretende-se aqui apresentar de forma sucinta o processo de implementação e aprimoramento do tratamento AVT, desde a eliminação do uso do fosfato até a mudança do meio redutor para oxidante. Também foram necessárias a adequação dos parâmetros de monitoramento e a posterior adequação do painel de amostragem.

O tratamento volátil está sendo utilizado na UEGA desde fevereiro de 2009, sendo inicialmente redutor (AVT(R)) e passando a (AVT(O)) em 2010, após indicação de consultor da HRST, e permanecendo dessa forma.

## PALAVRAS-CHAVE

Termelétrica, Tratamento Volátil, Ciclo Combinado, Caldeira de Recuperação.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

O tratamento químico das águas de caldeiras tem como premissa o controle dos agentes nocivos ao sistema e a formação e manutenção de uma camada protetora de magnetita. Esse tratamento será mais ou menos restritivo em função de questões de projeto, tais como níveis de pressão, metalurgia, tipo de processo, etc.

Nesse caso em específico, tem-se o processo de geração de energia com pressão de operação de 106 bar, o que exige não apenas uma ótima qualidade de água de alimentação, mas também um controle rígido do circuito água-vapor, de modo a evitar especialmente o arraste de materiais indesejados do balão de alta pressão juntamente com o vapor.

O uso de fosfato de sódio nos balões de alta pressão tem por função principal atuar na complexação dos sais dissolvidos, de modo a mantê-los na fase líquida, evitando assim a ocorrência de arraste, mas mesmo com o uso de fosfato há uma limitação nos níveis de concentração dos contaminantes presentes no sistema. O próprio fosfato tem de ser dosado de acordo com limites pré-determinados, de modo a garantir sua efetividade, conforme indicado na FIGURA 1.

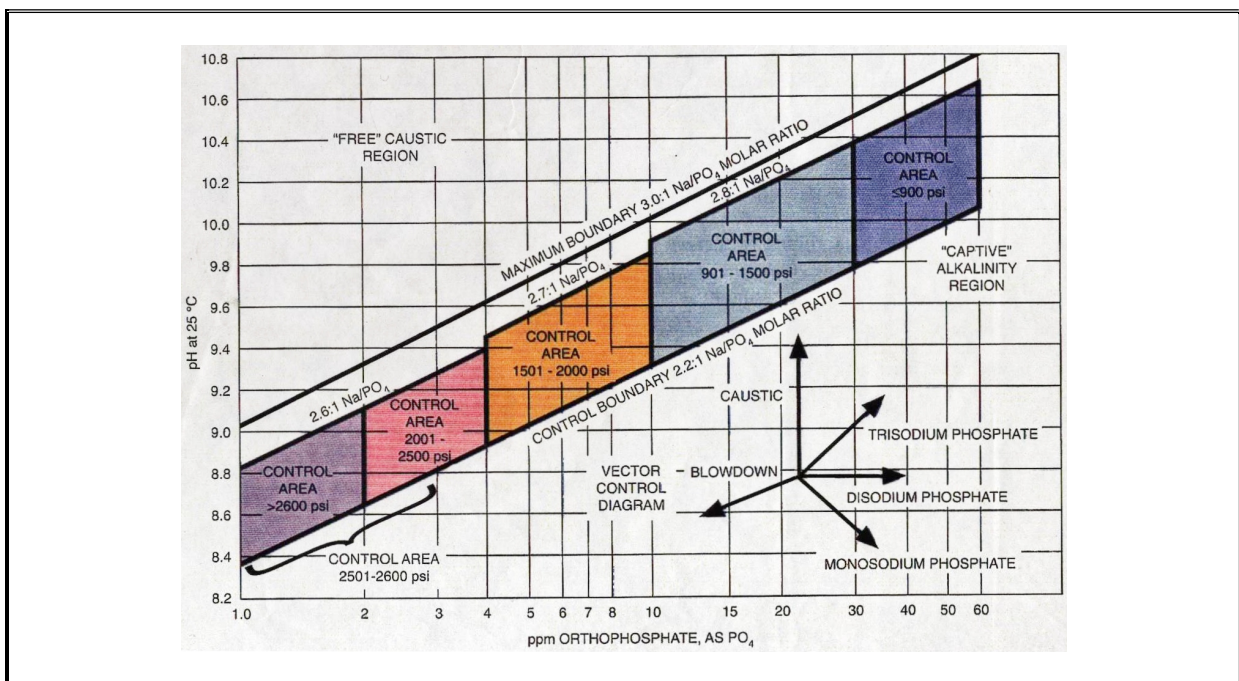


FIGURA 1 – Diagrama de controle fosfato x p/H (2)

O uso de concentrações de fosfato abaixo do limite recomendado, diminuem a eficiência do mesmo, comprometendo a capacidade protetiva do tratamento químico. Por outro lado, em excesso, o fosfato pode tornar-se um problema, vindo a aumentar o risco de arraste para o vapor.

A faixa de concentração de fosfato nos balões de alta pressão para a UEGA era de 4 a 10 ppm e sua concentração era monitorada por meio de duas análises diárias. Em junho de 2008, após uma parada, as análises de monitoramento do sistema indicaram concentrações muito abaixo do recomendado e não foi possível elevar essa concentração mesmo com o aumento das quantidades de fosfato dosado.

Como a dosagem de fosfato tem como premissa principal proteger o circuito vapor, optou-se pela manutenção da dosagem do fosfato, de modo a manter essa proteção até que o caso fosse analisado e causa do problema detectada.

O problema foi a ocorrência de arraste do fosfato para o vapor, num processo conhecido como “hideout”, causado pela redução significativa da alta pressão quando da operação de apenas uma das caldeiras, o que altera as condições de arraste do sistema, conforme pode-se observar na FIGURA 2.

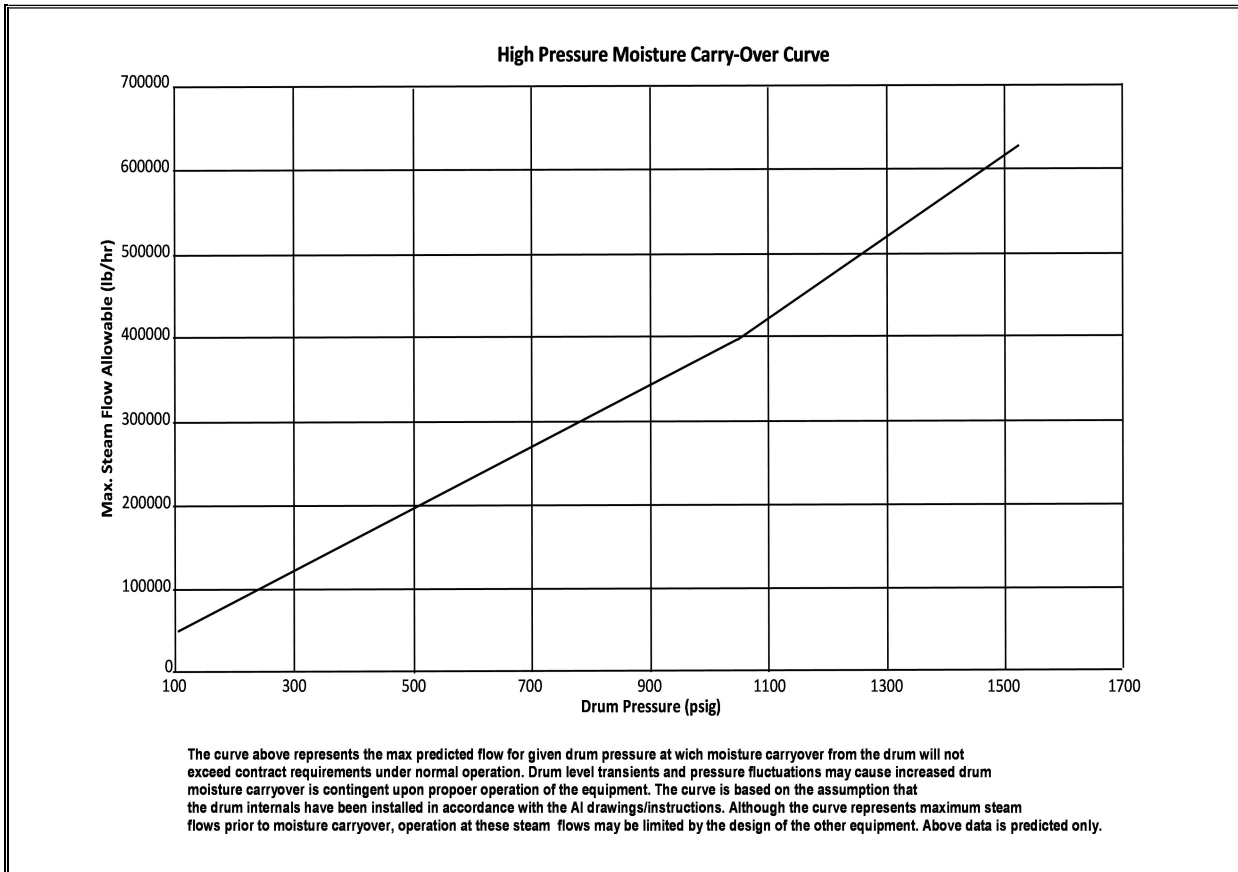


FIGURA 2 – Curva de arraste da caldeira de recuperação da UEGA.

Essa causa, entretanto, só foi confirmada em parada posterior feita para corrigir vazamento do superaquecedor primário da caldeira 2, ocasião em que foi detectada a presença de uma mancha branca nessa estrutura, conforme FIGURA 3. A análise do resíduo mostrou a presença de fosfato.



FIGURA 3 – Presença de fosfato observada na parada para corrigir vazamento do superaquecedor primário da caldeira 2, na UEGA.

Como a operação de apenas uma das caldeiras era regime frequente, optou-se pela suspensão do uso de fosfato. Paralelamente, buscou-se a consultoria de um especialista para avaliação do tratamento químico.

O especialista contratado foi o engenheiro Jim Witherow, da empresa HRST, que não apenas confirmou que o melhor seria manter a suspensão do uso de fosfato, mas também do sequestrante de oxigênio, o que levou o sistema de uma condição redutora para oxidante.

Também foram feitos ajustes nos limites operacionais do tratamento químico e algumas adequações em relação aos pontos de medição e os respectivos parâmetros analisados.

Em 2016 o engenheiro Jim Witherow realizou uma nova visita na UEGA para avaliação da situação atual em relação a visita anterior, realizada em 2009.

## 2.0 - FOSFATO X AVT(O)

A migração do tratamento químico a base de fosfato para um tratamento totalmente volátil, não foi imediata e nem ao menos em uma única fase, visto que, ainda que aparentemente simples, exigiu uma série de adequações não apenas em relação ao tratamento químico em si, mas também fisicamente, em relação aos pontos de amostragem, os parâmetros a serem analisados, mudança de pontos de dosagem, etc.

O primeiro passo foi a suspensão do uso do fosfato. Com isso, ocorreu uma queda nos valores de pH dos balões de alta pressão, os quais deveriam apresentar um pH ligeiramente maior que o do restante do sistema devido a ação tamponante do fosfato.

Numa tentativa de minimizar esse problema, utilizou-se a estrutura de dosagem de fosfato nos balões de alta pressão para a dosagem de amônia. Esse procedimento foi aprovado pelo engenheiro Jim Witherow, quando da sua primeira visita.

### 2.1 A evolução do AVT(O) na UEGA

Em 2009, tendo por base as recomendações da HRST, foram feitas as primeiras adequações do tratamento químico, de acordo com as recomendações do EPRI. Aliás, a mudança de normas orientativas em si foi a primeira mudança.

O tratamento químico a base de fosfato se baseava nas normas da ASME (The American Society of Mechanical Engineers) e as normas utilizadas atualmente para o tratamento volátil são do EPRI (Electric Power Research Institute, Inc.).

Os parâmetros de controle foram revistos e a faixa de pH sofreu uma pequena alteração, sendo mais impactante a implementação de limites máximos de condutividade para o condensado e circuito de baixa pressão. Também foi reduzido o limite de sódio presente no vapor de alta pressão.

Ainda que aparentemente simples, essas alterações foram impactantes na medida em que mudaram o foco do controle do tratamento químico, do balão de alta pressão para o circuito de baixa pressão e esse é um fator muito importante por influenciar diretamente num processo relativamente comum em caldeiras recuperadoras de calor, que é a corrosão por fluxo acelerado (FAC). Em caldeiras recuperadoras de calor, as estruturas mais propensas a esse tipo de corrosão são os primeiros trechos do circuito de baixa pressão.

Essas alterações estão demonstradas na FIGURA 4.

## Monitoramento do Circuito Água-Vapor em 2008

SP-7 DESCARGA DA BOMBA DE CONDENSADO	
pH	9,5 - 9,8
Condutividade Específica	μS/cm
Condutividade Catiônica	0,2 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Oxigênio Dissolvido	< 7 PPB O <sub>2</sub>
Ferro Total	< 10 PPB Fe
ALIMENTAÇÃO (Fora do Painei)	
pH	9,5 – 9,8
Condutividade Específica	μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Sequestrante de Oxigênio	20 a 40 PPB
Ferro Total	< 10 PPB Fe
SP-6 / SP-13 – SUCÇÃO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO	
pH	9,5 – 9,8
Condutividade Específica	μS/cm
Condutividade Catiônica	< 0,2 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 10 PPB Fe
Oxigênio Dissolvido	< 7 PPB O <sub>2</sub>
SP-1 / SP-8 – BALÃO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,5 – 9,8
Condutividade Específica	20 μS/cm
Silica	< 1000 PPB SiO <sub>2</sub>
Fosfato	4 - 10 PPM (PO <sub>4</sub> )
Ferro Total	< 100 PPB Fe
SP-2 / SP-9 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,5 – 9,8
Condutividade Específica	μS/cm
Condutividade Catiônica	< 0,2 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 10 PPB Fe
Sódio	< 10 PPB Na
SP-5 / SP-12 – VAPOR SATURADO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,5 – 9,8
Condutividade Específica	μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 10 PPB Fe
SP-3 / SP-10 - VAPOR SUPERAQUECIDO DE BAIXA	
Condutividade Catiônica	≤ 0,8 μS/cm
ÁGUA DESMI	
pH	7,0
Condutividade Específica	< 0,1 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 10 PPB Fe
KETTLE BOILER (sem leitura no painel)*	
pH	
Condutividade Específica	
Silica	
Ferro Total	

\*Monitoramento a partir de 2009

Observação: as linhas em azul correspondem a monitoração online.

## Monitoramento do Circuito Água-Vapor a partir de 2009

SP-7 DESCARGA DA BOMBA DE CONDENSADO	
pH	9,3 – 9,8
Condutividade Específica	5 – 20 μS/cm
Condutividade Catiônica	0,2 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe
ALIMENTAÇÃO (Fora do Painei)	
pH	9,3 – 9,8
Condutividade Específica	5 – 20 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Sequestrante de Oxigênio	PPB
Ferro Total	< 9 PPB Fe
SP-6 / SP-13 – SUCÇÃO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO	
pH	9,3 – 9,8
Condutividade Específica	5 – 20 μS/cm
Condutividade Catiônica	< 0,2 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>
SP-1 / SP-8 – BALÃO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,2 – 9,6
Condutividade Específica	4 – 15 μS/cm
Silica	< 1000 PPB SiO <sub>2</sub>
Fosfato	PPM (PO <sub>4</sub> )
Ferro Total	< 100 PPB Fe
SP-2 / SP-9 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,2 – 9,8
Condutividade Específica	4 – 20 μS/cm
Condutividade Catiônica	< 0,2 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe
Sódio	< 3 PPB Na
SP-5 / SP-12 – VAPOR SATURADO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,2 – 9,8
Condutividade Específica	μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe
SP-3 / SP-10 - VAPOR SUPERAQUECIDO DE BAIXA	
Condutividade Catiônica	≤ 0,8 μS/cm
ÁGUA DESMI	
pH	6,5 – 8,5
Condutividade Específica	< 1,5 μS/cm
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe
KETTLE BOILER (sem leitura no painel)	
pH	8,9 – 9,3
Condutividade Específica	< 25 μS/cm
Silica	PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 1000 PPB Fe

FIGURA 4 – Parâmetros de controle do circuito água-vapor até 2008 e a partir de 2009

Considerando a possibilidade de ocorrência de FAC e considerando que os teores de oxigênio dissolvido presentes na água de alimentação da caldeira permanecem dentro do limite, foi recomendada também a suspensão do uso de sequestrante do oxigênio. Com isso, foi possível reduzir a condutividade específica no circuito de baixa pressão.

Em sua visita em 2016, o engenheiro Jim Witherow recomendou a mudança das medições de condutividade catiônica dos pontos de vapor superaquecido de baixa pressão para os balões de alta pressão. Essa mudança teria

por objetivo um melhor controle de possíveis contaminações nos balões de alta pressão, visto que a ausência do fosfato gera grande preocupação com a ocorrência de arraste.

Por esse motivo, também foram reduzidos os limites de concentração de sílica e ferro nos balões de alta pressão, conforme demonstrado na FIGURA 5.

Monitoramento do Circuito Água-Vapor a partir de 2009		Monitoramento do Circuito Água-Vapor a partir de 2016	
SP-7 DESCARGA DA BOMBA DE CONDENSADO		SP-7 DESCARGA DA BOMBA DE CONDENSADO	
pH	9,3 – 9,8	pH	9,3 – 9,8
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm
Condutividade Catiônica	0,2 µS/cm	Condutividade Catiônica	0,25 µS/cm
Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>	Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe	Ferro Total	< 9 PPB Fe
ALIMENTAÇÃO (Fora do Painei)		ALIMENTAÇÃO (Fora do Painei)	
pH	9,3 – 9,8	pH	9,3 – 9,8
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm
Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Sequestrante de Oxigênio	PPB	Sequestrante de Oxigênio	PPB
Ferro Total	< 9 PPB Fe	Ferro Total	< 9 PPB Fe
SP-6 / SP-13 – SUCÇÃO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO		SP-6 / SP-13 – SUCÇÃO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO	
pH	9,3 – 9,8	pH	9,3 – 9,8
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm
Condutividade Catiônica	< 0,2 µS/cm	Condutividade Catiônica	< 0,25 µS/cm
Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe	Ferro Total	< 9 PPB Fe
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>	Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>
SP-1 / SP-8 – BALÃO DE ALTA PRESSÃO		SP-1 / SP-8 – BALÃO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,2 – 9,6	pH	9,2 – 9,6
Condutividade Específica	4 – 15 µS/cm	Condutividade Específica	4 – 10 µS/cm
		Condutividade Catiônica	5 µS/cm
Sílica	< 1000 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 500 PPB SiO <sub>2</sub>
Fosfato	PPM (PO <sub>4</sub> )	Fosfato	PPM (PO <sub>4</sub> )
Ferro Total	< 100 PPB Fe	Ferro Total	< 50 PPB Fe
SP-2 / SP-9 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE ALTA PRESSÃO		SP-2 / SP-9 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,2 – 9,8	pH	9,2 – 9,8
Condutividade Específica	4 – 20 µS/cm	Condutividade Específica	4 – 20 µS/cm
Condutividade Catiônica	< 0,2 µS/cm	Condutividade Catiônica	< 0,25 µS/cm
Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe	Ferro Total	< 9 PPB Fe
Sódio	< 3 PPB Na	Sódio	< 3 PPB Na
SP-5 / SP-12 – VAPOR SATURADO DE ALTA PRESSÃO		SP-5 / SP-12 – VAPOR SATURADO DE ALTA PRESSÃO	
pH	9,2 – 9,8	pH	9,2 – 9,8
Condutividade Específica	µS/cm	Condutividade Específica	µS/cm
Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe	Ferro Total	< 9 PPB Fe
SP-3 / SP-10 - VAPOR SUPERAQUECIDO DE BAIXA		SP-3 / SP-10 - VAPOR SUPERAQUECIDO DE BAIXA	
Condutividade Catiônica	≤ 0,8 µS/cm	Condutividade Catiônica	≤ 0,8 µS/cm
ÁGUA DESMI		ÁGUA DESMI	
pH	6,5 – 8,5	pH	6,5 – 8,5
Condutividade Específica	< 1,5 µS/cm	Condutividade Específica	< 1,5 µS/cm
Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 9 PPB Fe	Ferro Total	< 9 PPB Fe
KETLLE BOILER (sem leitura no painel)		KETLLE BOILER (sem leitura no painel)	
pH	8,9 – 9,3	pH	8,9 – 9,3
Condutividade Específica	< 25 µS/cm	Condutividade Específica	< 25 µS/cm
Sílica	PPB SiO <sub>2</sub>	Sílica	PPB SiO <sub>2</sub>
Ferro Total	< 1000 PPB Fe	Ferro Total	< 1000 PPB Fe

Observação: as linhas em azul correspondem a monitoração online.

FIGURA 5 – Parâmetros de controle do circuito água-vapor até 2009 e a partir de 2016



Segundo ele, a mudança da medição da condutividade catiônica é justificável pelo fato de a mesma não ser efetiva no vapor superaquecido de baixa pressão. Nesse ponto seria necessário implementar a medição da condutividade catiônica desgaseificada.

Já a medição da condutividade catiônica nos balões de alta pressão possibilita uma verificação de estabilidade em relação a condutividade específica que permite inferir se as variações desta são decorrentes de variações na dosagem de amônia ou da concentração de substâncias indesejadas.

Ainda que o sistema seja muito estável e pouco sujeito a variações, esse parâmetro é de grande auxílio, especialmente quando do retorno a operação, após paradas para manutenção com intervenção nos balões de alta pressão.

Em termos de análises de laboratório também foram implementadas melhorias, com a utilização de uma nova metodologia para determinação de ferro total por voltametria cíclica e ajuste das medições de pH do laboratório para maior similaridade com os equipamentos de linha.

Durante sua primeira visita, o engenheiro Jim Witherow constatou que a compensação para amônia dos instrumentos de linha estava desabilitada. Ele recomendou a correção desse problema bem como a implementação da correção manual dos valores de pH lidos no laboratório.

A determinação de fator é realizada a partir do gráfico abaixo:

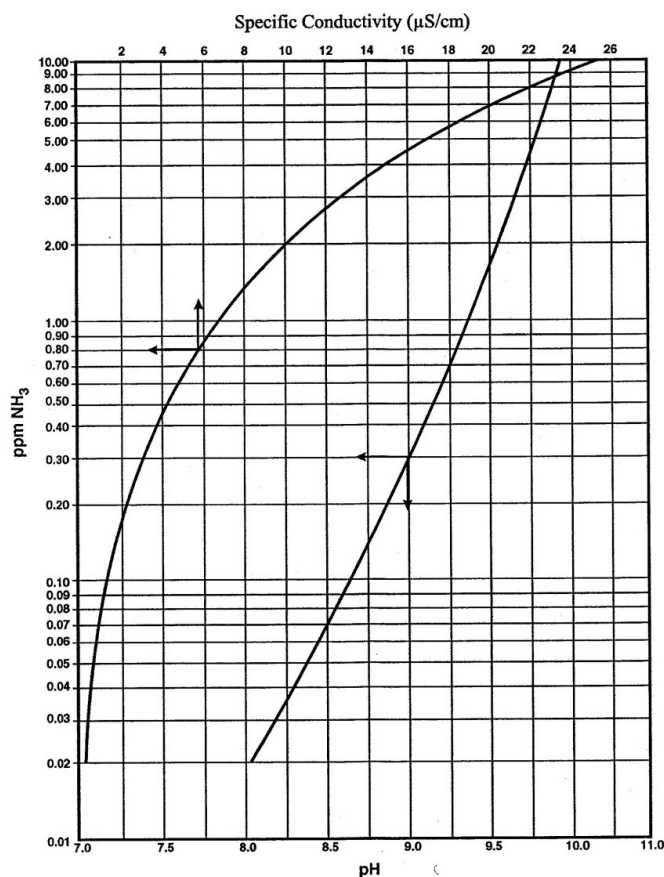


Figure 12-4

AMMONIA VERSUS CONDUCTIVITY and  
AMMONIA VERSUS pH CURVES AT 25°C

FIGURA 6 – Gráfico Amônia x Condutividade e Amônia X Temperatura

Como consequência, os resultados obtidos tornaram-se mais uniformes e coerentes entre si, permitindo uma melhor avaliação do tratamento químico e intervenções mais precisas.

A análise das FIGURAS 7 e 8, permite observar uma maior proximidade dos valores lidos através da instrumentação online e no laboratório.

Como excessão tem-se as medições de pH dos balões de alta pressão, mas a diferença entre os instrumentos de linha e o laboratório estão relacionadas a problemas de condicionamento as amostras nesses dois pontos de coleta. Esses problemas foram detectados desde o início de operação da unidade, sendo frequente a ocorrência de resultados incompatíveis com o restante do sistema.

Como forma de contornar o problema, em caso de dúvidas em reação a essas medições, tem-se como procedimento checar os valores de pH no laboratório e a manutenção de um acompanhamento paralelo do pH esperado para o sistema a partir da leitura da condutividade, inferindo o valor do pH a partir do gráfico na FIGURA 6.

Também é possível observar que, a partir da implementação do tratamento volátil ocorreu uma redução significativa tanto da condutividade específica quanto da condutividade catiônica. Foi apenas a partir dessa mudança que as condutividades catiônicas passaram a ficar dentro dos limites estabelecidos.

Também foram necessários alguns ajustes na metodologia de análise do ferro, que tem apresentado excelentes resultados. Os valores de sílica também estão dentro dos limites operacionais.



HRSG 1	AVT(O)			
	em 2009		em 2017	
Carga da Turbina a Gás (MWh médios)	151		154	
SP-7 DESCARGA DA BOMBA DE CONDENSADO				
pH	9,3 – 9,8	9,8	9,3 – 9,8	9,9
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,1	5 – 20 µS/cm	20,9
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,0	5 – 20 µS/cm	24,4
Condutividade Catiônica	0,2 µS/cm	0,30	0,25 µS/cm	0,26
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	11	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>	2,4	< 10 PPB O <sub>2</sub>	4,2
Ferro Total	< 9 PPB Fe	12	< 9 PPB Fe	6
ALIMENTAÇÃO (Fora do Painei)				
pH	9,3 – 9,8	9,9	9,3 – 9,8	9,9
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,1	5 – 20 µS/cm	20,6
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	0,0	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6,0
Sequestrante de Oxigênio	PPB	11,0	PPB	
Ferro Total	< 9 PPB Fe	16	< 9 PPB Fe	6
SP-6 – SUCÇÃO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO				
pH	9,3 – 9,8	9,7	9,3 – 9,8	9,7
pH	9,3 – 9,8		9,3 – 9,8	9,6
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	18,0	5 – 20 µS/cm	13,8
Condutividade Catiônica	< 0,2 µS/cm	0,48	< 0,25 µS/cm	0,19
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	8,2	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	5,0
Ferro Total	< 9 PPB Fe	76	< 9 PPB Fe	5
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>	2,8	< 10 PPB O <sub>2</sub>	0,4
SP-1 – BALÃO DE ALTA PRESSÃO				
pH	9,2 – 9,6	9,4	9,2 – 9,6	9,9
pH	9,2 – 9,6		9,2 – 9,6	9,1
Condutividade Específica	4 – 15 µS/cm	6,0	4 – 10 µS/cm	8,0
Condutividade Específica	4 – 15 µS/cm		4 – 10 µS/cm	7,9
Condutividade Catiônica			5 µS/cm	0,5
Silica	< 1000 PPB SiO <sub>2</sub>	85	< 500 PPB SiO <sub>2</sub>	3
Fosfato	PPM (PO <sub>4</sub> )		PPM (PO <sub>4</sub> )	
Ferro Total	< 100 PPB Fe	16	< 50 PPB Fe	5
SP-2 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE ALTA PRESSÃO				
pH	9,2 – 9,8	9,7	9,2 – 9,8	9,7
Condutividade Específica	4 – 20 µS/cm	10,6	4 – 20 µS/cm	14,2
Condutividade Catiônica	< 0,2 µS/cm	0,22	< 0,25 µS/cm	0,15
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6,4	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	8,0
Ferro Total	< 9 PPB Fe	9	< 9 PPB Fe	6
Sódio	< 3 PPB Na	0,17	< 3 PPB Na	0,3
SP-5 – VAPOR SATURADO DE ALTA PRESSÃO				
pH	9,2 – 9,8	9,7	9,2 – 9,8	9,7
Condutividade Específica	µS/cm	10,7	µS/cm	14,2
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	7	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	5
Ferro Total	< 9 PPB Fe	10	< 9 PPB Fe	6
SP-3 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE BAIXA				
Condutividade Catiônica	≤ 0,8 µS/cm	0,58	≤ 0,8 µS/cm	
DESMI				
pH	6,5 – 8,5	6,4	6,5 – 8,5	5,8
Condutividade Específica	< 1,5 µS/cm	0,9	< 1,5 µS/cm	0,7
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	7
Ferro Total	< 9 PPB Fe	9	< 9 PPB Fe	11
KETTLE BOILER (sem leitura no painel)				
pH	8,9 – 9,3	8,9	8,9 – 9,3	9,5
Condutividade Específica	< 25 µS/cm	7,0	< 25 µS/cm	8,7
Silica	PPB SiO <sub>2</sub>	1091	PPB SiO <sub>2</sub>	602
Ferro Total	< 1000 PPB Fe	525	< 1000 PPB Fe	

Observação: as linhas em azul correspondem a monitoração online.

FIGURA 7 – Resultados do monitoramento do circuito água-vapor em 2009 e 2016 para a HRSG 1

HRSG 2	AVT(O)			
	em 2009		em 2017	
Carga da Turbina a Gás (MWh médios)	152		154	
SP-7 DESCARGA DA BOMBA DE CONDENSADO				
pH	9,3 – 9,8	9,8	9,3 – 9,8	9,9
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,1	5 – 20 µS/cm	20,9
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,0	5 – 20 µS/cm	24,4
Condutividade Catiônica	0,2 µS/cm	0,30	0,25 µS/cm	0,26
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	11	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>	2,4	< 10 PPB O <sub>2</sub>	4,2
Ferro Total	< 9 PPB Fe	12	< 9 PPB Fe	6
ALIMENTAÇÃO (Fora do Painel)				
pH	9,3 – 9,8	9,9	9,3 – 9,8	9,9
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,1	5 – 20 µS/cm	20,6
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	0,0	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6,0
Sequestrante de Oxigênio	PPB	11,0	PPB	
Ferro Total	< 9 PPB Fe	16	< 9 PPB Fe	6
SP-13 – SUCÇÃO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO				
pH	9,3 – 9,8	9,7	9,3 – 9,8	9,7
pH	9,3 – 9,8		9,3 – 9,8	9,6
Condutividade Específica	5 – 20 µS/cm	15,2	5 – 20 µS/cm	13,9
Condutividade Catiônica	< 0,2 µS/cm	0,28	< 0,25 µS/cm	0,18
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	7	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6
Ferro Total	< 9 PPB Fe	11	< 9 PPB Fe	5
Oxigênio Dissolvido	< 10 PPB O <sub>2</sub>	2,8	< 10 PPB O <sub>2</sub>	0,3
SP-8 – BALÃO DE ALTA PRESSÃO				
pH	9,2 – 9,6	9,4	9,2 – 9,6	9,4
pH	9,2 – 9,6		9,2 – 9,6	9,9
Condutividade Específica	4 – 15 µS/cm	5,4	4 – 10 µS/cm	
Condutividade Específica	4 – 15 µS/cm		4 – 10 µS/cm	8,8
Condutividade Catiônica			5 µS/cm	0,4
Silica	< 1000 PPB SiO <sub>2</sub>	86,1	< 500 PPB SiO <sub>2</sub>	30,0
Fosfato	PPM (PO <sub>4</sub> )		PPM (PO <sub>4</sub> )	
Ferro Total	< 100 PPB Fe	32	< 50 PPB Fe	10
SP-9 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE ALTA PRESSÃO				
pH	9,2 – 9,8	9,7	9,2 – 9,8	9,7
Condutividade Específica	4 – 20 µS/cm	10,5	4 – 20 µS/cm	14,4
Condutividade Catiônica	< 0,2 µS/cm	0,20	< 0,25 µS/cm	0,47
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	7	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	7
Ferro Total	< 9 PPB Fe	10	< 9 PPB Fe	6
Sódio	< 3 PPB Na	0,30	< 3 PPB Na	0,3
SP-12 – VAPOR SATURADO DE ALTA PRESSÃO				
pH	9,2 – 9,8	9,6	9,2 – 9,8	9,7
Condutividade Específica	µS/cm	15,0	µS/cm	14,5
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	10	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6
Ferro Total	< 9 PPB Fe	11	< 9 PPB Fe	5
SP-10 – VAPOR SUPERAQUECIDO DE BAIXA				
Condutividade Catiônica	≤ 0,8 µS/cm	4,73	≤ 0,8 µS/cm	
DESMI				
pH	6,5 – 8,5	6,4	6,5 – 8,5	5,8
Condutividade Específica	< 1,5 µS/cm	0,9	< 1,5 µS/cm	0,7
Silica	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	6	< 10 PPB SiO <sub>2</sub>	7
Ferro Total	< 9 PPB Fe	9	< 9 PPB Fe	11
KETTLE BOILER (sem leitura no painel)				
pH	8,9 – 9,3	8,7	8,9 – 9,3	9,5
Condutividade Específica	< 25 µS/cm	11,4	< 25 µS/cm	8,5
Silica	PPB SiO <sub>2</sub>	2887	PPB SiO <sub>2</sub>	846
Ferro Total	< 1000 PPB Fe	712	< 1000 PPB Fe	8

Observação: as linhas em azul correspondem a monitoração online.

FIGURA 8 – Resultados do monitoramento do circuito água-vapor em 2009 e 2016 para a HRSG 1

## 2.2 Projetos Futuros

Apesar dos bons resultados obtidos, tanto em termos de resultados analíticos quanto em termos de inspeções dos equipamentos, ainda há muito a ser melhorado, pois há critérios do EPRI que precisam ser melhorados ou ainda não são atendidos.

Como o tratamento inicialmente previsto era a base de fosfato, toda a estrutura de medição do painel de amostras foi projetada de acordo com as especificações desse tipo de tratamento.

Com a mudança de tratamento e a consequente priorização da proteção do circuito de baixa pressão tem-se também a necessidade de um monitoramento mais adequado do circuito água-vapor nesse trecho da caldeira.

Assim, tem-se a expectativa de implementar uma readequação do painel de amostras, de modo a assegurar o correto condicionamento das amostras e o monitoramento deste pela implementação do controle de temperatura e pressão das linhas e das amostras nos pontos de coleta através de um sistema de coleta e análise de dados que permitisse avaliar tanto o condicionamento das amostras quanto as variações do sistema, de modo a verificar se as mesmas se deram por interferência no sistema de condicionamento e coleta ou por variação no tratamento químico propriamente dito. Esse projeto também visa a inclusão de pontos de amostragem dos kettle boilers no painel de amostras.

## 3.0 - CONCLUSÃO

A partir de um problema pontual decorrente do uso do fosfato a equipe de operação da unidade foi desafiada a buscar informações mais pertinentes sobre o tratamento de caldeiras, trazendo a tona uma discussão já bastante avançada em países do primeiro mundo, sobre caldeiras, caldeiras recuperadoras de calor, suas diferenças e especificidades.

Nesse ponto ficou clara a demora para implementação de evoluções tecnológicas no Brasil bem como a dificuldade para obter informações e suporte mesmo junto a empresas especializadas.

Assim, a implementação e acompanhamento da migração do tratamento químico a base de fosfato para o tratamento totalmente volátil acabou por tornar-se uma excelente oportunidade de aprendizado.

Quanto ao tratamento químico em si, foi a partir da necessidade de sua adequação que questões referentes a FAC passaram a ser estudadas e parâmetros de controle passaram a ser revistos.

Cada ajuste feito atualmente tem sido no sentido de implementar um melhor monitoramento de todo o circuito água-vapor, adequando as medições as recomendações do EPRI, cujas normas passaram a ser adotadas na unidade.

## 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) FAUSTINO, Luciane; FREITAS, Marcos de. All Volatile Treatment (AVT(O)) in HRSG – Araucaria Power Station. In: 20<sup>o</sup> Southwest Chemistry Workshop.
- (2) FAUSTINO, L.; SILVA, S. F. O tratamento químico do circuito água-vapor da UTE Araucária. VI ETOM. Foz do Iguaçu-PR, 2006.
- (3) WITHEROW, Jim. Chemistry Review for October 2009 – Final Report. HRST Inc, 2009.
- (4) PAVAGEAU, E. M. Effect of Hydrazine on Flow Accelerated Corrosion. EPRI-1008208, 2005.

## 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Luciane Faustino

Técnica em Química

Formada pelo Instituto Politécnico Estadual no ano de 1989

Atua na Copel Geração e Transmissão SA desde junho de 1993.