



Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT

O uso de cloramina ativada por brometo em torres de resfriamento

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

RESUMO

A Usina Termelétrica de Araucária, 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, constituído, portanto de dois ciclos térmicos: Brayton (ciclo de gás) e Rankine (ciclo de vapor).

Ela também possui um sistema de resfriamento dotado de torre de resfriamento, responsável pelo fornecimento do fluxo de água fria para a troca térmica e condensação do vapor no condensador.

O condensador refere-se a um trocador de calor do tipo casco-tubo, onde os tubos são de aço inoxidável 316L e o espelho de aço inox 304, com taxa de recirculação de 24.325 m³/h e taxa de evaporação de 430 m³/h.

Esse sistema utiliza água clarificada fornecida pela SANEPAR, a qual apresenta alta condutividade, com altas concentrações de cloretos e sulfatos, além da presença de óleos e graxas, surfactantes aniônicos, amônia, etc.

A má qualidade da água recebida para uso no sistema de resfriamento é decorrente do fato da captação da mesma ser no Rio Iguaçu, em um trecho altamente poluído, já na região metropolitana de Curitiba. Tanto que foram os altos teores de amônia presentes na água de alimentação, detectados ainda na fase de construção da usina, que levaram a mudança da metalurgia do condensador que seria inicialmente de cobre.

Por tratar-se de um sistema cíclico, a concentração de sais é elevada. A previsão de projeto era de operação inicial de cinco ciclos, podendo chegar a sete, mas chegou a ficar em torno de 4,5 e 5,0 ciclos, devido a limitação de 300ppm de cloretos na água, como forma de preservar a integridade do condensador, construído com partes em aço inox.

O tratamento químico da água desse sistema consiste no uso de dispersante, inibidor de corrosão além de um biocida oxidante, para controle da proliferação microbológica. Adicionalmente, fez-se necessária a utilização de um antiespumante e de um biocida não oxidante.

Como biocida oxidante utilizou-se o hipoclorito de sódio 12%, produto de uso comum nesses sistemas. Entretanto, por tratar-se de produto pouco seletivo, conforme a qualidade da água de alimentação piorava, maiores era as quantidades de biocida necessárias para manter o controle microbológico de forma efetiva.

Com esse produto se decompõe, proporcionando um incremento na concentração de cloretos, que já era elevada, a descarga contínua foi sendo aumentada gradualmente até chegar ao seu limite que é de 120m³/h, a concentração de cloretos chegou ao limite máximo e o controle microbológico mostrou-se ineficaz.

Por esse motivo, vários estudos foram realizados visando tanto a melhoria da água de alimentação, já no tratamento realizado pela SANEPAR, quanto no tratamento utilizado para condicionamento da água do sistema de resfriamento.

Algumas das opções de biocidas oxidantes encontradas no mercado foram o ácido hipobromoso, o dióxido de cloro, o cloro gás, o ozônio e o peróxido de hidrogênio, os quais foram descartados por questões técnicas e de segurança.

Outra opção estudada foi o BAC (Cloramina ativada por brometo), produto que tinha sido descartado a princípio devido ao seu alto custo em relação ao hipoclorito de sódio.

O BAC é produzido na planta a partir de um produto a base de bromo, no nosso caso um brometo de amônio, hipoclorito de sódio e água.

Mesmo sem grandes expectativas, realizou-se um teste com o BAC e os resultados foram excelentes, não apenas do ponto de vista técnico, mas também financeiro e ambiental, devido a uma melhora significativa da qualidade da água do sistema, com a elevação do ciclo de concentração do sistema para sete e a redução da descarga contínua do sistema de 110 para 60 m³/h em média, as quais podem ser demonstradas pelos dados de monitoramento do sistema.

Assim, a mudança do biocida oxidante utilizado no sistema trouxe, além de uma melhor condição operacional, uma redução significativa de custos a curto e a longo prazo, pela redução do consumo de água e insumos químicos; aliado a melhoria da preservação do condensador.

PALAVRAS-CHAVE

Biocida oxidante, Hipoclorito de sódio, Bromocloramina, Bromo

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema de resfriamento da UEGA utiliza água clarificada fornecida por uma ETA Industrial da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), a qual apresenta alta condutividade, com altas concentrações de cloretos e sulfatos, além da presença de óleos e graxas, surfactantes aniônicos, amônia, etc. Isso porque a captação de água ocorre no Rio Iguaçu, em um trecho altamente poluído, já na região metropolitana de Curitiba, a jusante do ponto de lançamento dos efluentes da usina.

Como a ETA Industrial apresenta o tratamento clássico, com processos de floculação, decantação e filtração, a remoção por contaminantes orgânicos é praticamente nula. Por outro lado, há a necessidade de utilização de altas concentrações de químicos para melhorar a eficiência do tratamento da água, o que resulta em altas concentrações de cloretos e sulfatos na água tratada.

Outro problema refere-se aos altos teores de amônia presentes na água tratada, detectados ainda na fase de construção da usina, que levaram a mudança da metalurgia do condensador que seria inicialmente de cobre.

O tratamento químico da água desse sistema consiste no uso de dispersante, inibidor de corrosão além de um biocida oxidante, para controle da proliferação microbológica. Adicionalmente, fez-se necessária a utilização de um antiespumante e de um biocida não oxidante.

Como biocida oxidante utilizou-se o hipoclorito de sódio 12%, produto de uso comum nesses sistemas. Entretanto, por tratar-se de produto pouco seletivo, conforme a qualidade da água de alimentação piorava, maiores eram as quantidades de biocida necessárias para manter o controle microbológico de forma efetiva.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

A necessidade de substituir o hipoclorito de sódio como biocida oxidante na torre de resfriamento já havia sido percebida desde o início de operação da planta, tanto pela grande quantidade consumida, mas a grande dificuldade estava em encontrar um produto que fosse eficiente no controle microbológico, mas sem causar danos à estrutura da torre de resfriamento, que é de madeira.

Com esse produto se decompõe, proporcionando um incremento na concentração de cloretos, que já era elevada, a descarga contínua foi sendo aumentada gradualmente até chegar ao seu limite que é de 120m³/h, a concentração de cloretos chegou ao limite máximo e o controle microbológico mostrou-se ineficaz.

Além de não resolver o problema, essa condição operacional mostrou-se problemática por sobrecarregar o sistema de efluentes quando do descarregamento de outros sistemas, ultrapassando o limite operacional do clear well.

Vários estudos foram realizados visando tanto a melhoria da água de alimentação, já no tratamento realizado pela SANEPAR, quanto no tratamento utilizado para condicionamento da água do sistema de resfriamento.

Algumas das opções de biocidas oxidantes encontradas no mercado foram o ácido hipobromoso, o dióxido de cloro, o cloro gás, o ozônio e o peróxido de hidrogênio. As opções a base de cloro foram descartadas por questões de segurança e os dois últimos pelo potencial risco de danos a estrutura da torre de resfriamento, que é de madeira.

Outra opção estudada foi o BAC (Cloramina ativada por brometo), produto que tinha sido descartado a princípio devido ao seu alto custo em relação ao hipoclorito de sódio.

Mesmo sem grandes expectativas, realizou-se um teste com o BAC e os resultados foram excelentes, não apenas do ponto de vista técnico, mas também financeiro e ambiental, devido a uma melhora significativa da qualidade da água do sistema, com a elevação do ciclo de concentração do sistema para sete e a redução da descarga contínua do sistema de 110 para 60 m³/h em média, as quais podem ser demonstradas pelos dados de monitoramento do sistema.

Assim, a mudança do biocida oxidante utilizado no sistema trouxe, além de uma melhor condição operacional, uma redução significativa de custos a curto e a longo prazo, pela redução do consumo de água e insumos químicos; aliado a melhoria da preservação do condensador.

2.1 PROBLEMAS RELACIONADOS AO USO DE HIPOCLORITO DE SÓDIO

Por definição de projeto, o biocida oxidante para tratamento da torre de resfriamento da UEGA era o hipoclorito de sódio. Também foi prevista a injeção de ácido sulfúrico na bacia da torre para controle do pH, visto que a tendência da água do sistema é alcalina.

Nos primeiros anos de operação da unidade utilizou-se apenas o hipoclorito de sódio, mas a eficiência desse era baixa, as quantidades dosadas foram aumentando com o tempo e o recurso foi implementar a dosagem de ácido sulfúrico para melhorar a eficiência do hipoclorito.

No ano de 2013 chegou-se a dosar a quantidade aproximada de 40 toneladas/mês de hipoclorito de sódio, mas sem a obtenção de resultados efetivos no controle microbiológico, ainda que este ficasse sempre no limite operacional de ≤ 10.000 UFC/mL. Assim, numa tentativa de maximizar a eficiência do hipoclorito e reduzir o seu consumo, foi iniciada a dosagem de ácido sulfúrico na torre, para ajuste do pH entre 7,5 e 8,0.

Em setembro de 2013 ocorreu o entupimento dos filtros do CCW (sistema de resfriamento fechado) por material biológico. Por esse motivo, de forma complementar, foram realizados testes para Bactérias redutoras de sulfato (SRB), Bactérias relacionadas ao ferro (IRB) e Bactérias formadoras de lodo (SLYM) e todos deram resultado positivo, como pode ser observado nas FIGURAS 1 a 3.

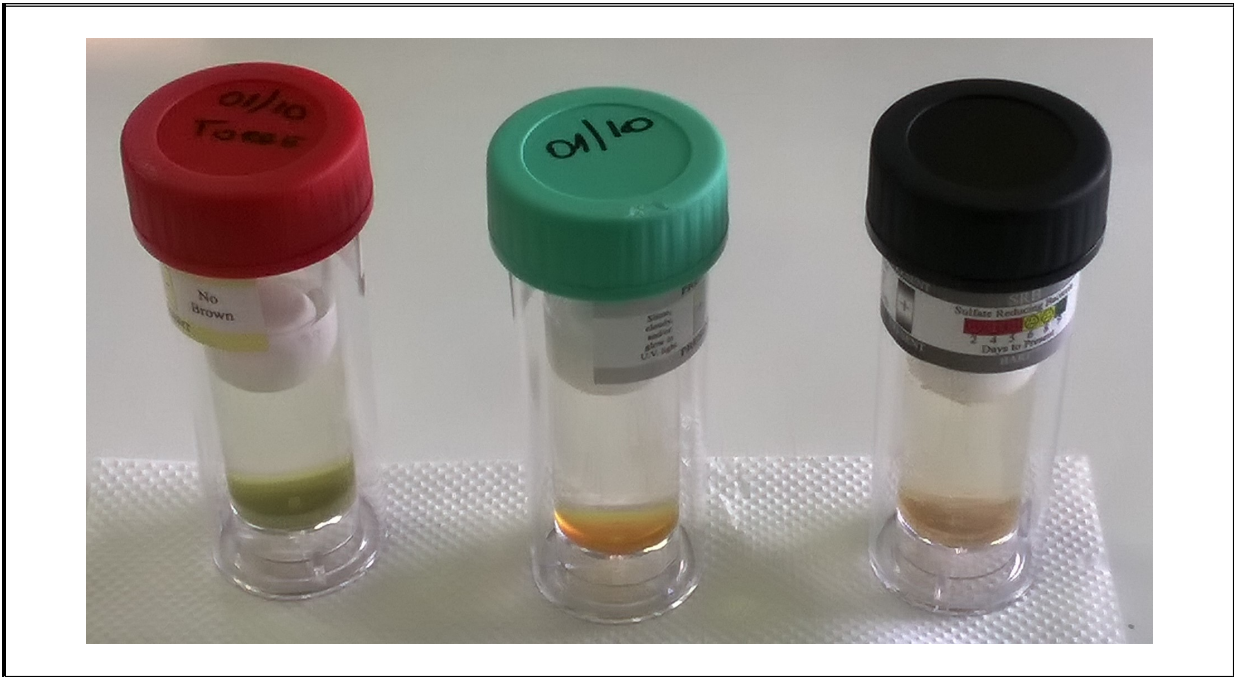


FIGURA 1 – Teste para Bactérias redutoras de sulfato (SRB), Bactérias relacionadas ao ferro (IRB) e Bactérias formadoras de lodo (SLYM) – 1º Dia

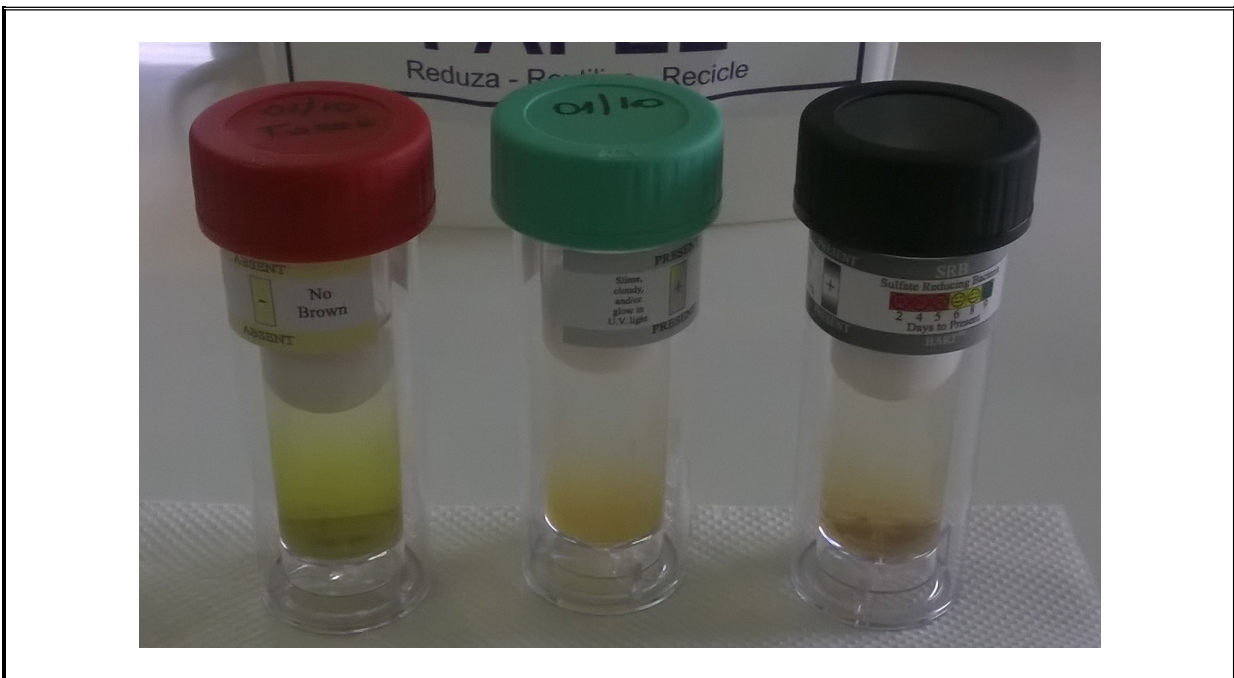


FIGURA 2 – Teste para Bactérias redutoras de sulfato (SRB), Bactérias relacionadas ao ferro (IRB) e Bactérias formadoras de lodo (SLYM) – 2º Dia

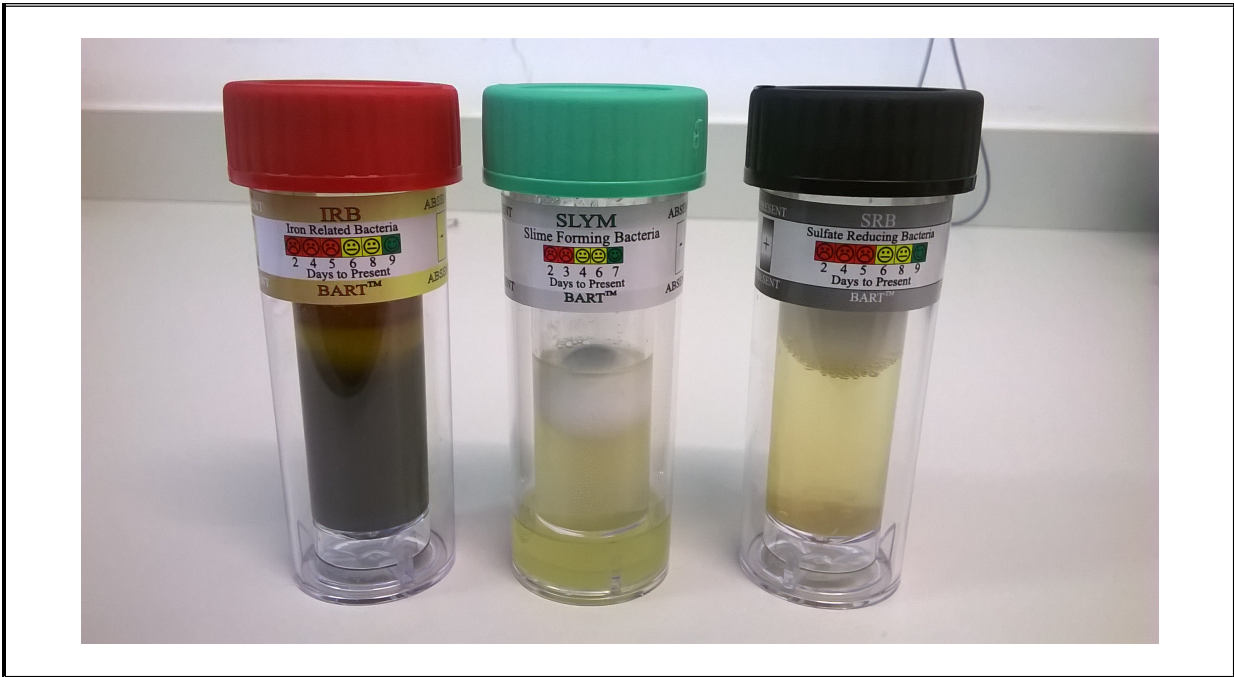


FIGURA 3 – Teste para Bactérias redutoras de sulfato (SRB), Bactérias relacionadas ao ferro (IRB) e Bactérias formadoras de lodo (SLYM) – 8º Dia

A presença de material depositado no fundo dos frascos já no primeiro dia é indicador de contaminação severa. A cor negra no frasco de bactérias relacionadas ao ferro (IRB) na imagem correspondente ao 8º dia indica alta concentração de bactérias sulfato redutoras. As imagens dos testes podem ser avaliadas de acordo com as tabelas dos respectivos procedimentos analíticos do kit BART Test Combination Package, cat. 24348.09, da marca HACH apresentados nas FIGURAS 4 a 6.

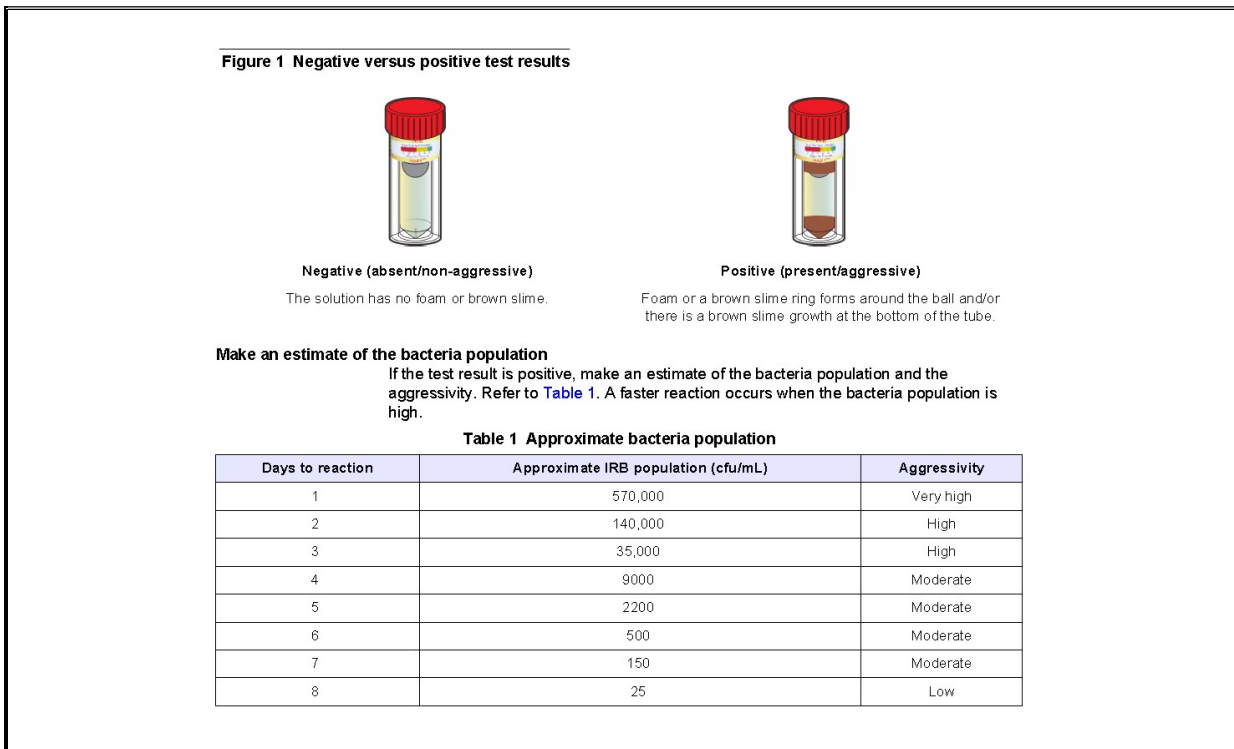


FIGURA 4 – Tabela de resultados para bactérias relacionadas ao ferro (IRB)

Figure 1 Negative versus positive test results

**Negative (absent/non-aggressive)**

The solution stays clear with no visible growth or glow under UV light.

**Positive (present/aggressive)**

The solution is cloudy. A glowing ring is seen under UV light and/or there is slime growth at the bottom of the tube.

Make an estimate of the bacteria population

If the test result is positive, make an estimate of the bacteria population and the aggressivity. Refer to Table 1. A faster reaction occurs when the bacteria population is high.

Table 1 Approximate bacteria population

Days to reaction	Approximate slime population (cfu/mL)	Aggressivity
1	1,750,000	Very high
2	440,000	High
3	67,000	High
4	13,000	Moderate
5	2500	Moderate
6	500	Moderate
7	100	Low
8	Less than 20	Low

FIGURA 5 – Tabela de resultados para bactérias formadoras de lodo (SLYM)

Figure 1 Negative versus positive test results

**Negative (absent/non-aggressive)**

The solution has no black slime.

**Positive (present/aggressive)**

A black slime ring forms around the ball and/or there is a black slime growth at the bottom of the tube.

Make an estimate of the bacteria population

If the test result is positive, make an estimate of the bacteria population and the aggressivity. Refer to Table 1. A faster reaction occurs when the bacteria population is high.

Table 1 Approximate bacteria population

Days to reaction	Approximate SRB population (cfu/mL)	Aggressivity
1	2,200,000	Very high
2	500,000	High
3	115,000	High
4	27,000	High

2

Bacteria, Sulfate-reducing, SRB-BART

FIGURA 6 – Tabela de resultados para bactérias redutoras de sulfato (SRB)

Como ação corretiva, também foi efetuado o esgotamento de todo o sistema de resfriamento, inclusive da bacia da torre de resfriamento, para limpeza do mesmo. Foi contratada uma empresa para a realização dessa limpeza, que foi realizada de forma mecânica e química. Ainda assim, devido a alta carga orgânica da água de alimentação o consumo de hipoclorito continuou alto.

Para manter a concentração de cloretos controlada e a concentração dos demais sais dentro dos limites operacionais, foi necessário aumentar a descarga da torre de resfriamento, que chegou ao seu limite físico, de 110 metros cúbicos/horas. Ainda assim, houveram ocasiões em que o limite de 300ppm de cloretos foi ultrapassado.

Na FIGURA 7 é possível observar os dados de monitoramento desse sistema nos meses de dezembro de 2014 e março de 2015 que representam respectivamente um período de seca (pior condição da água de alimentação) e período chuvoso.

Na água de alimentação a concentração tanto de cloretos quanto de sulfatos ultrapassam seus limites. Em consequência, ainda que a concentração de cloretos esteja abaixo do limite de 300mg/L, a somatória das concentrações de cloretos e sulfatos ultrapassa em muito o limite de 500mg/L, isso com uma descarga contínua de 100m³, contra 80m³ no período chuvoso.

PARÂMETROS	LIMITES	2014					2015				
		01/12 08:00 h	02/12 08:00 h	03/12 08:00 h	04/12 08:00 h	05/12 08:00 h	26/03 08:00 h	27/03 08:00 h	28/03 10:00 h	30/03 08:00 h	31/03 08:00 h
Blowdown da Torre		100m ³	100m ³	100m ³	100m ³	100m ³	80m ³	80m ³	80m ³	80m ³	80m ³
ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA SANEPAR - ETA INDUSTRIAL											
pH	6,2 – 8,2	6,75	6,87	6,79	6,6	6,67	6,7	6,9	7,0	7,2	6,9
Condutividade específica	280 microS/cm	374	389	416	432	407	299	318	279	245	238
Turbidez	< 2 NTU	0,26	0,29	0,57	0,8	0,42	0,25	0,36	0,30	0,10	0,10
Cloro livre	> 0,1 mg/L Cl ₂	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,07	0,03	0,02
Alcalinidade total	< 50 mg/L CaCO ₃	87	85,8	80,2	80,2	73,8	65	65	62	54	55
Cloretos	< 40 mg/L Cl	37,8	36,8	41,72	46,2	46,06	29	29	28	23	21
Dureza total	< 100 mg/L CaCO ₃	54,2	54,2	55,3	63,4	63,8	53	53	53	51	49
Dureza cálcio	< 50 mg/L CaCO ₃	28,7	35,4	32,8	37,6	38,4	32	32	32	32	31
Silica	< 12 mg/L SiO ₂	10,41	10,75	12,52	9,77	10,18	11,1	10,1	7,8	6,5	7,9
Sulfatos	< 50 mg/L SO ₄	64	56	62	58	68	40	42		32	32
Ferro total	< 0,1 mg/L Fe	0,035	0,04	0,043	0,058						
Nitrogênio amoniacal	mg/L NH ₃ -N	10,5								2,3	
Detergentes (Surfactates)	< 0,2 mg/L as LAS	0,14								0,17	
TORRE DE RESFRIAMENTO											
pH	< 8,7	7,95	7,85	7,83	7,78	7,92	7,6	7,7	7,6	7,7	7,6
Condutividade específica	1000 – 2000 microS/cm	1705	1667	1692	1696	1707	1571	1623	1704	1438	1413
Turbidez	NTU	1,69	2,17	2,52	2,94	3,16	1,74	1,60	1,72	2,85	2,74
Cloro livre	0,1 – 0,3 mg/L Cl ₂	0,12	0,14	0,15	0,13	0,1	0,10	0,10	0,13	0,10	0,09
Alcalinidade total	mg/L CaCO ₃	63,2	63,8	59,6	62,4	62,8	44	48	35	36	38
Cloretos	< 300 mg/L Cl	231	251,8	237,2	241,7	248,6	231	236	230	213	196
Dureza total	mg/L CaCO ₃	237,2	257,6	247,8	283,4	292	268	258	312	279	271
Dureza cálcio	< 300 mg/L CaCO ₃	174,2	188,7	181,4	207,8	207	181	181	195	184	178
Silica	< 200 mg/L SiO ₂	46,8	52,74	63,43	53,86	54,09	44,2	52,8	66,3	42,0	44,5
Sulfatos	< 200 mg/L SO ₄	510	500	550	550	590	510	500		460	420
Ferro total	< 3,0 mg/L Fe	0,082	0,096	0,114	0,137	0,131					
Orto fosfato	mg/L PO ₄										
Fosfato total	3,5 a 4,0 mg/L PO ₄										
Fosfonato total	3,0 – 3,6 mg/L	2,6	2,9	3,34	3,1	3,4	3,3	3,6		3,3	3,3
Dispersante	8,5 a 10,5mg/L						6,1	8,6		8,9	9,0
Temperatura de Retorno	° C						38	38	39	39	39
Cloretos + Sulfatos	< 500mg/L	741	752	787	792	839	741	736		673	616
Ciclo de concentração	Dureza Ca	6,1	5,3	5,5	5,5	6,4	5,6	5,7	6,2	5,7	5,7

FIGURA 7 – Monitoramento do sistema de resfriamento em período de seca e chuvoso

2.1 A SUBSTITUIÇÃO DO HIPOCLORITO DE SÓDIO PELO BAC E SUA TECNOLOGIA

Apenas em 2014 conseguimos uma empresa disposta a realizar um teste de viabilidade de um produto a base de bromo, o qual apresentou excelentes resultados. O produto dosado é denominado BAC (cloramina bromo ativada) e é produzido em um skid do próprio fornecedor, utilizando água potável, hipoclorito de sódio e o brometo de amônio.

O consumo de hipoclorito de sódio caiu de 40 para 4 tonelada/mês e o ácido sulfúrico que tinha consumo aproximado de 15 toneladas/mês deixou de ser dosado. A descarga contínua da torre de resfriamento foi reduzida para 70m³ na primeira semana e depois para 60m³. Com isso, ocorreu uma redução também das dosagens de dispersante e inibidor de corrosão.

Em termos de controle microbiológico, a contagem de bactérias totais tem ficado ≤ 1000 UFC/cm e as Bactérias redutoras de sulfato (SRB), Bactérias relacionadas ao ferro (IRB) e Bactérias formadoras de lodo (SLYM) deram negativo.

O BAC é uma tecnologia que já vinha sendo utilizada em fábricas de papel desde 2003, mas seu uso em torres de resfriamento é recente. Ele é produzido na planta a partir de um produto a base de bromo, neste caso um brometo de amônio, que reage com o hipoclorito de sódio e água, em proporção estequiométrica, conforme equação a seguir:



O ajuste da concentração do BAC é determinado pela medição de ORP da água da torre de resfriamento e a mistura ocorre em reator próprio, com pH de saída da solução de 9,2. A estrutura desse equipamento pode ser observada na FIGURA 8 e seu sistema de produção e dosagem na FIGURA 9.

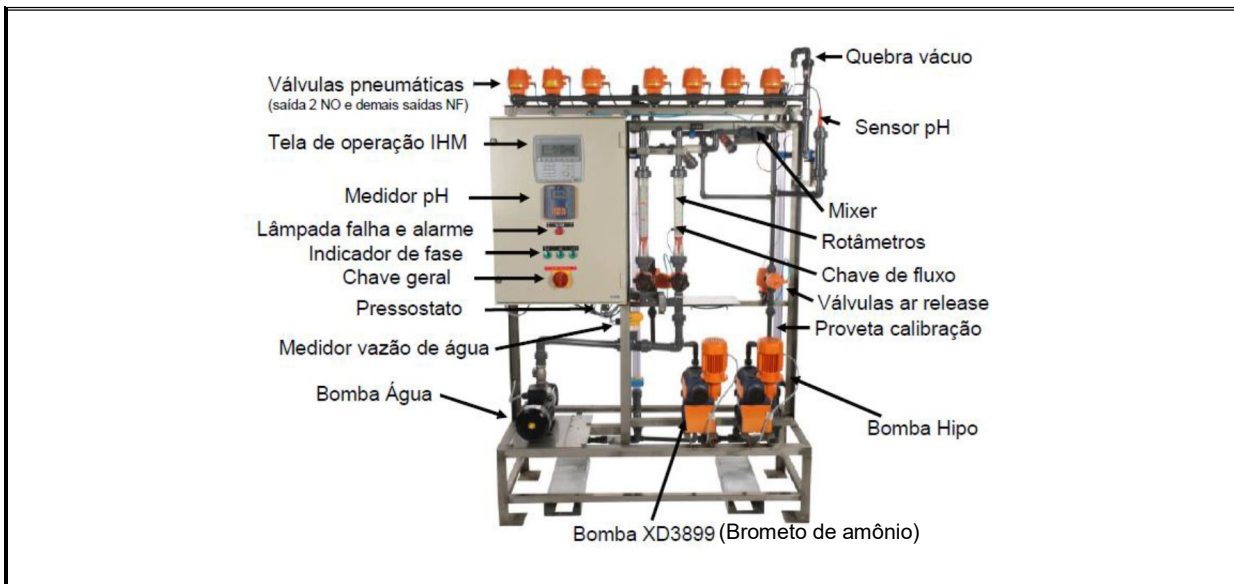


FIGURA 8 – Foto do reator no qual o BAC é produzido

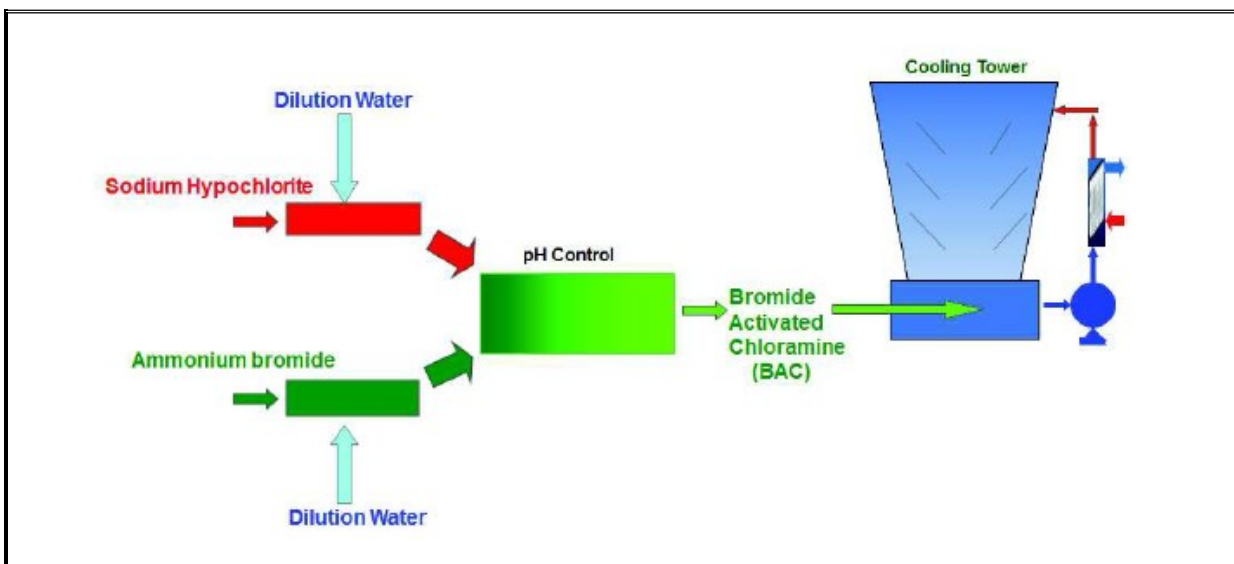


FIGURA 9 – Desenho esquemático da produção e dosagem do BAC

O controle da quantidade necessária de BAC para manutenção do controle microbiológico é feito pela medição da ORP e, no caso específico da UEGA, as faixas estabelecidas foram entre 250 e 350mV.

Na FIGURA 10 é possível observar um gráfico gerado pelo sistema de monitoramento online da planta (ONGUARD), as variações de ORP antes e durante parte do teste com o BAC, sendo visível a queda desse parâmetro após a introdução do BAC no sistema.

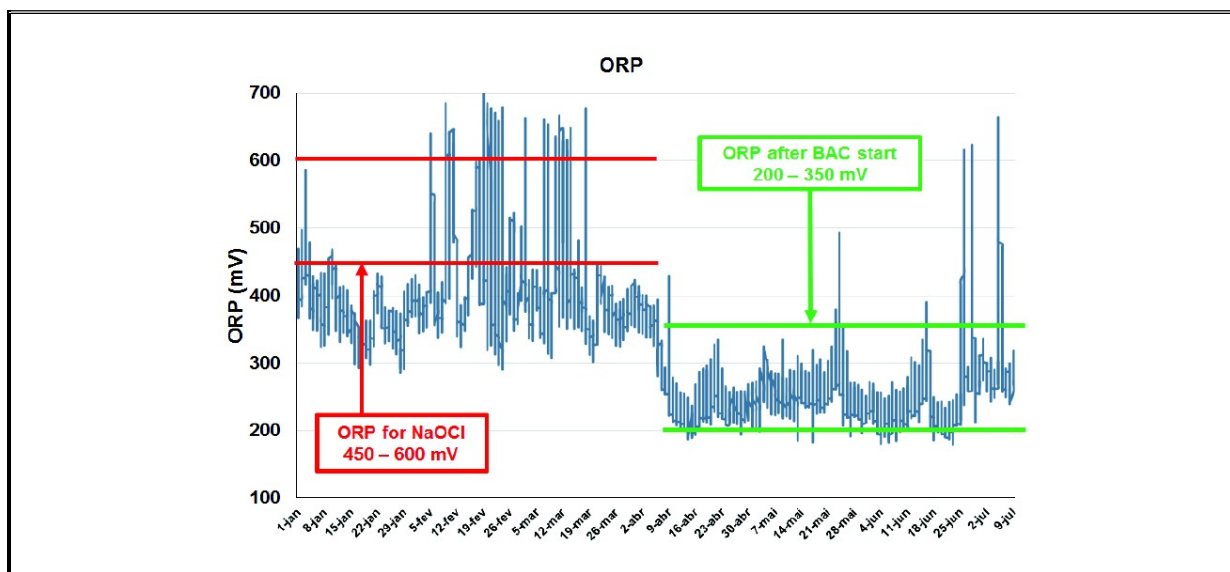


FIGURA 10 – Gráfico de acompanhamento da medida de ORP

A duração mínima esperada do BAC no sistema é de 30 minutos, mas chegou-se a ter residual do mesmo até uma hora depois da dosagem. Isso significa que após esse período já não existe mais bromocloramina (BAC) presente no sistema, não havendo assim risco de presença da mesma no efluente.

O BAC tem capacidade de ação seletiva e não necessita de ajuste de pH para ter melhor eficiência. Além disso, ele não exige dosagem contínua. São realizadas três dosagens ao dia com a planta em operação e duas com a planta parada. Com isso tem-se um consumo aproximado de 1200kg de brometo de amônio a cada 20 e 30 dias, para as condições de planta operando e parada, respectivamente.

Esse consumo de brometo também é um fator positivo, visto que ele é bem menor do que os 2600kg previstos inicialmente, pelo próprio fornecedor, conforme demonstrado na FIGURA 11.

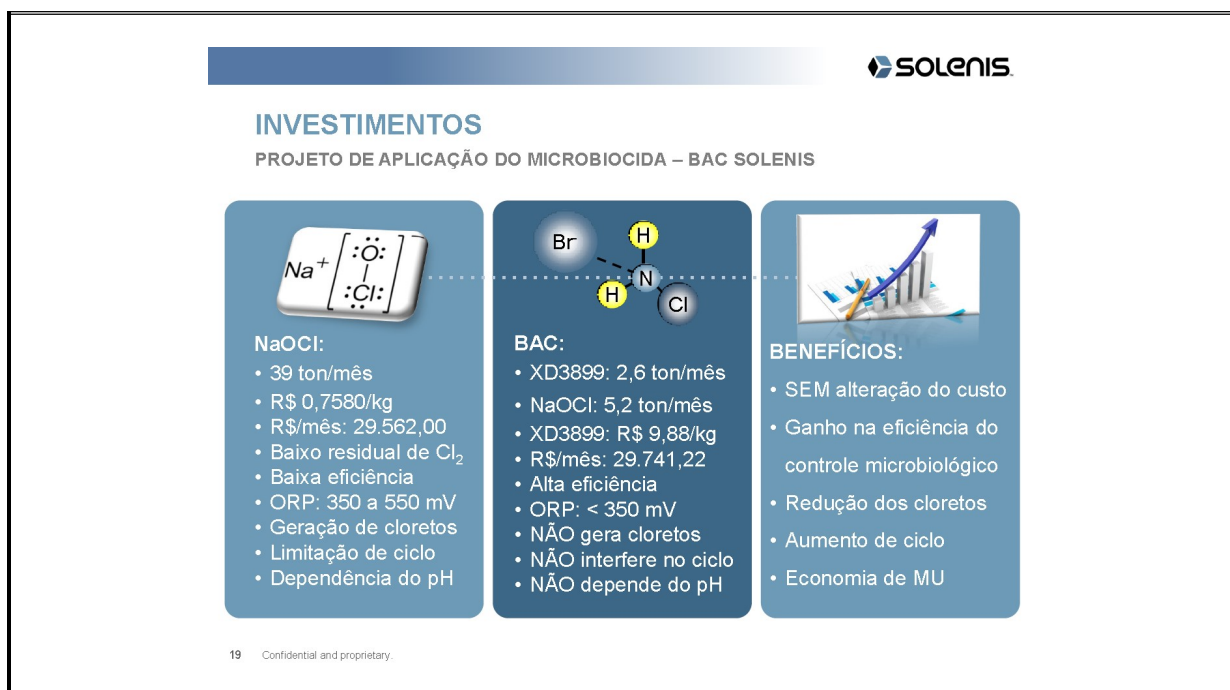


FIGURA 11 – Avaliação de investimentos apresentada na proposta do teste do BAC

2.4 A MUDANÇA EM TERMOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

A troca do biocida oxidante teve como consequência a mudança das características químicas do sistema que passou de corrosivo para incrustante, o que é considerado uma condição mais favorável, visto que o ambiente corrosivo é favorável a ação dos íons cloreto sobre o inox.

Ao observar-se a FIGURA 12 é possível ver que a somatória dos íons cloretos e sulfatos estava acima do limite de 500mg/L até a introdução do BAC e essa concentração elevada era consequência não apenas da concentração desses íons já presentes na água de alimentação do sistema, mas também das dosagens de hipoclorito de sódio e ácido sulfúrico.

PARÂMETROS	LIMITES	01/04 08:00 h	02/04 08:00 h	04/04 08:00 h	06/04 08:00 h	07/04 08:00 h	08/04 08:00 h	09/04 08:00 h	10/04 08:00 h	11/04 08:00 h	13/04 08:00 h	14/04 08:00 h	15/04 08:00 h	16/04 08:00 h	17/04 08:00 h
Blowdown da Torre		80m ³	80m ³	80m ³	80m ³	80m ³	70m ³	70m ³	70m ³	70m ³	70m ³	70m ³	70m ³	70m ³	70m ³
ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA SANEPAR - ETA INDUSTRIAL															
pH	6,2 – 8,2	6,8	7,1	6,9	6,9	7,0	7,0	7,0	7,1	6,9	6,9	7,0	6,9	7,0	6,8
Condutividade específica	280 microS/cm	251	233	262	279	272	305	378	333	334	359	353	356	394	413
Turbidez	< 2 NTU	0,80	0,20	0,20	0,32	0,11	0,10	0,19	0,20	0,16	0,50	0,69	0,66	0,33	0,36
Cloro livre	> 0,1 mg/L Cl ₂	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,00	0,06	0,03	0,02	0,02	0,03
Alcalinidade total	< 50 mg/L CaCO ₃	58	56	52	60	54	80	75	80	74	80	86	104	84	72
Cloretos	< 40 mg/L Cl	24	22	26	26	26	32	47	32	35	36	37	35	39	41
Dureza total	< 100 mg/L CaCO ₃	47	42	44		49	52	53	58	69	63	59	60	60	63
Dureza cálcio	< 50 mg/L CaCO ₃	31	27	26		31	30	34	35	33	36	37	35	36	38
Silica	< 12 mg/L SiO ₂	9,4	9,1	9,4			13,1	14,7			9,1	11,5	12,9	12,4	12,6
Sulfatos	< 50 mg/L SO ₄	34	32	32			22	22	26	27	30	32	30	32	44
Ferro total	< 0,1 mg/L Fe	0,02	0,02				0,03	0,02	0,03		0,04	0,03			0,03
Nitrogênio amoniacal	mg/L NH ₃ -N														
Detergentes (Surfactantes)	< 0,2 mg/L as LAS														
TORRE DE RESFRIAMENTO															
pH	< 8,7	7,6	7,8	7,6	7,6	8,3	8,5	8,5	8,6	8,6	8,6	8,7	8,6	8,5	8,3
Condutividade específica	1000 – 2000 microS/cm	1376	1377	1461	1505	1421	1425	1466	1512	1542	1659	1690	1722	1768	1756
Turbidez	NTU	2,44	1,76	1,39	1,66	2,10	2,08	2,07	2,38	2,64	2,80	3,36	3,37	3,78	3,65
Cloro livre	0,1 – 0,3 mg/L Cl ₂	0,06	0,08	0,10	0,06						0,25	0,15			
Alcalinidade total	mg/L CaCO ₃	40	40	39	40	57	110	129	140	162	173	183	168	160	121
Cloretos	< 300 mg/L Cl	191	186	209	242	207	200	201	201	222	236	238	232	250	244
Dureza total	mg/L CaCO ₃	287	299	297		258	278	290	285	355	354	368	359	359	367
Dureza cálcio	< 300 mg/L CaCO ₃	191	180	185		193	183	183	200	211	230	232	224	226	228
Silica	< 200 mg/L SiO ₂	42,4	49,0	50,2			56,3	65,6			70,6	74,1	78,0	74,1	75,8
Sulfatos	< 200 mg/L SO ₄	410	460	450		230	190	230	240	180	190	230	220	310	270
Ferro total	< 3,0 mg/L Fe	0,09	0,07				0,09	0,08	0,09		0,12	0,14			0,15
Órto fosfato	mg/L PO ₄														
Fosfato total	3,5 a 4,0 mg/L PO ₄														
Fosfonato total	3,0 – 3,6 mg/L	3,4	3,5	3,4		3,5	3,6	3,6	3,8		5,2	5,0	5,7	4,6	3,5
Dispersante	8,5 a 10,5mg/L	8,7	8,5	6,2		8,9	10,2	10,1	9,3		13,9	11,0	10,8	11,0	10,7
Temperatura de Retorno	° C	38	38	39	39	39	38	39	39	39	39	39	39	40	40
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	1238,40	1239,30	1314,90	1354,50	1278,90	1282,50	1319,40	1360,80	1387,80	1493,10	1521,00	1549,80	1591,20	1580,40
Índice de Langelier	Índice	-0,18	-0,01	-0,14	-0,13	0,53	0,69	0,70	0,79	0,84	0,83	0,90	0,81	0,72	0,52
	Tendência	CML	AE	CML	CML	IM	IS	IS	IS	IS	IS	IS	IS	IS	IM
Cloretos + Sulfatos	< 500mg/L	601	646	659	242	437	390	431	441	402	426	468	452	560	514
Ciclo de concentração	Dureza Ca	6,2	6,7	7,2		6,1	6,1	5,4	5,8	6,3	6,4	6,2	6,4	6,2	6,1

08/04 - início dos testes como BAC

FIGURA 12 – Dados de monitoramento químico pré e pós uso do BAC

A observação da FIGURA 12 também permite perceber que, apesar de o sistema ter respondido rapidamente a mudança de biocida, a estabilidade do mesmo levou ainda alguns dias. Isso ocorreu porque, por ser a primeira vez que esse produto estava sendo utilizado em uma torre de resfriamento, procuramos ser conservadores em relação a outras variáveis, tais como a descarga contínua e a dosagem de dispersante e inibidor de corrosão.

A princípio, a descarga contínua foi reduzida de 80 para 70m³ e a dosagem de inibidor de corrosão, que tem ajuste manual, foi mantida. Já a concentração do dispersante é controlada por meio de analisador online. Assim, a observação dos dados de monitoramento do sistema permite observar que nos primeiros dias de uso do BAC, o sistema operou com concentrações de inibidor e dispersante um pouco acima do limite máximo, o que não chega a ser um problema, pois não compromete a qualidade do tratamento químico, indicando apenas o uso desnecessário desses produtos.

Por outro lado, a concentração de sulfatos, apesar de apresentar uma queda considerável, continuou apresentando valores maiores que o limite de 200mg/L e em algumas ocasiões os valores da somatória dos íons cloreto e sulfato voltaram a ultrapassar o limite de 500mg/L. Aqui cabe ressaltar que os íons sulfato presentes no sistema são decorrentes dos íons presentes na água de alimentação, não havendo acréscimo dos mesmos por meio da decomposição dos produtos químicos dosados no sistema.

É importante ressaltar que o sistema apresentou uma tendência a estabilização, de tal modo que, apesar das concentrações do íon sulfato ainda ultrapassarem o limite máximo de concentração com certa frequência, o sistema como um todo respondeu satisfatoriamente possibilitando adequada condição protetiva para a metalurgia do condensador.

Essa estabilidade pode ser observada tanto na FIGURA 12 quanto na FIGURA 13. Também é importante observar nessas figuras a ocorrência de paradas e partidas da unidade, o que também afeta o equilíbrio do sistema.

PARÂMETROS	LIMITES	01/06	02/06	03/06	05/06	06/06	08/06	09/06	10/06	11/06	12/06	13/06	17/06	18/06	19/06
		08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	08:00 h	06:15 h	08:00 h
Blowdown da Torre		60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	60m ³	100m ³	0m ³	60m ³	60m ³
ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA SANEPAR - ETA INDUSTRIAL															
pH	6,2 – 8,2	6,6	7,2	6,7	6,9	6,7	7,0	6,9	7,0	6,8	6,9	6,9		7,1	7,0
Condutividade específica	280 microS/cm	256	258	290	314	353	363	339	370	370	398	315		249	279
Turbidez	< 2 NTU	0,10	0,14	0,72	0,22	0,22	0,27	0,30	0,10	0,26	0,29	0,30		0,11	0,75
Cloro livre	> 0,1 mg/L Cl ₂	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03		0,03	0,03
Alcalinidade total	< 50 mg/L CaCO ₃	30	56	60	62	61	88	79	86	79	80	57		64	63
Cloretos	< 40 mg/L Cl	24	22	25	31	33	31	31	34	33	38	33		22	27
Dureza total	< 100 mg/L CaCO ₃	38	38	41	52	55	51	55	54	56	57	52		42	49
Dureza cálcio	< 50 mg/L CaCO ₃	23	23	25	30	30	32	33	31	33	34	32		25	28
Silica	< 12 mg/L SiO ₂	11,3	5,9	4,7	10,1	11,3	13,7	6,9	7,6	9,4	10,1	11,0		8,5	9,1
Sulfatos	< 50 mg/L SO ₄	40	25	35		53	42	37	42	42	46	43		40	23
Ferro total	< 0,1 mg/L Fe	0,02	0,03	0,10			0,05	0,03	0,03	0,03	0,03			0,03	0,11
Nitrogênio amoniacal	mg/L NH ₃ -N	3,8					4,2								
Detergentes (Surfactantes)	< 0,2 mg/L as LAS	0,11					0,76								
TORRE DE RESFRIAMENTO															
pH	< 8,7	8,5	8,5	8,6	8,4	8,3	8,1	8,0	7,7	7,4	7,3	7,7	8,4	8,6	
Condutividade específica	1000 – 2000 microS/cm	1120	1255	1343	1456	1562	1686	1752	1819	1864	1882	1660	1288	1244	1305
Turbidez	NTU	4,50	3,78	3,26	1,84	2,10	1,68	1,37	1,99	1,15	1,50	1,61	4,86	4,21	1,94
Cloro livre	0,1 – 0,3 mg/L Cl ₂				0,04										
Alcalinidade total	mg/L CaCO ₃	91	99	112	98	97	78	69	64	47	36	35	60	72	108
Cloretos	< 300 mg/L Cl	139	157	168	189	201	215	219	236	240	254	213	172	158	162
Dureza total	mg/L CaCO ₃	205	223	246	272	293	325	345	370	369	365	327	242	242	260
Dureza cálcio	< 300 mg/L CaCO ₃	144	149	169	169	165	193	216	212	232	234	193	167	171	170
Silica	< 200 mg/L SiO ₂	40,7	45,0	52,5	70,7	69,7	70,3	79,6	85,8	81,0	83,7	74,3	39,5	50,3	50,6
Sulfatos	< 200 mg/L SO ₄	200	200	210	220	290	270	280	310	370	300	300	200	190	300
Ferro total	< 3,0 mg/L Fe	0,09	0,10	0,09			0,10	0,09	0,09	0,09	0,09			0,10	0,09
Orto fosfato	mg/L PO ₄														
Fosfato total	3,5 a 4,0 mg/L PO ₄														
Fosfonato total	3,0 – 3,6 mg/L	4,2	5,0	4,1			3,0	3,9	4,0	3,3	3,2		5,2	4,2	4,4
Dispersante	8,5 a 10,5mg/L	11,0	11,2	10,9		10,3	9,2	9,4	9,6	9,2	9,4	8,3	9,4	11,0	10,7
Temperatura de Retorno	° C														
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	1008,00	1129,50	1208,70	1310,40	1405,80	1517,40	1576,80	1637,10	1677,60	1693,80	1494,00	1159,20	1119,60	1174,50
Índice de Langelier	Índice	0,73	0,73	0,78	0,60	0,53	0,36	0,37	0,26	-0,04	-0,34	-0,47	-0,03	0,67	0,84
	Tendência	IS	IS	IS	IM	IM	IM	IM	IM	AE	CML	CL	AE	IS	IS
Cloretos + Sulfatos	< 500mg/L	339	357	378	189	421	505	489	516	550	624	513	372	348	462
Ciclo de concentração	Dureza Ca	6,1	6,4	6,9		5,6	6,0	6,5	6,8	7,0	6,9	6,1		6,8	6,0

17/06 - partida de máquina

FIGURA 13 – Dados de monitoramento químico com o uso do BAC

3.0 - CONCLUSÃO

Ainda que a motivação para a substituição do hipoclorito de sódio tenha sido técnica, visto que já não era possível manter os parâmetros de controle do sistema de resfriamento dentro dos limites estabelecidos, o principal ganho com a troca pelo BAC foi com certeza financeiro. A economia estimada com a substituição do hipoclorito de sódio pelo BAC foi de US\$ 34,448/mês.

Por outro lado, teve-se ganho também em termos de saúde e segurança pela redução drástica do manuseio de produtos químicos, visto que, apesar das dosagens de produtos serem automatizadas, os operadores acompanham os descarregamentos dos químicos a granel e a frequência de descarregamento era de cerca de uma carreta de hipoclorito por semana e uma de ácido sulfúrico por mês. Com o uso do BAC, a estimativa é de descarregamento de uma carreta de cada por ano.

Em termos de tratamento químico do sistema, houve uma mudança de tendência de corrosiva para incrustante, melhora no ciclo de concentração e maior eficiência no controle microbiológico.

As fotos tiradas das paradas de 2014 e 2015 permitem observar a diferença na limpeza do condensador antes e depois do uso do BAC.

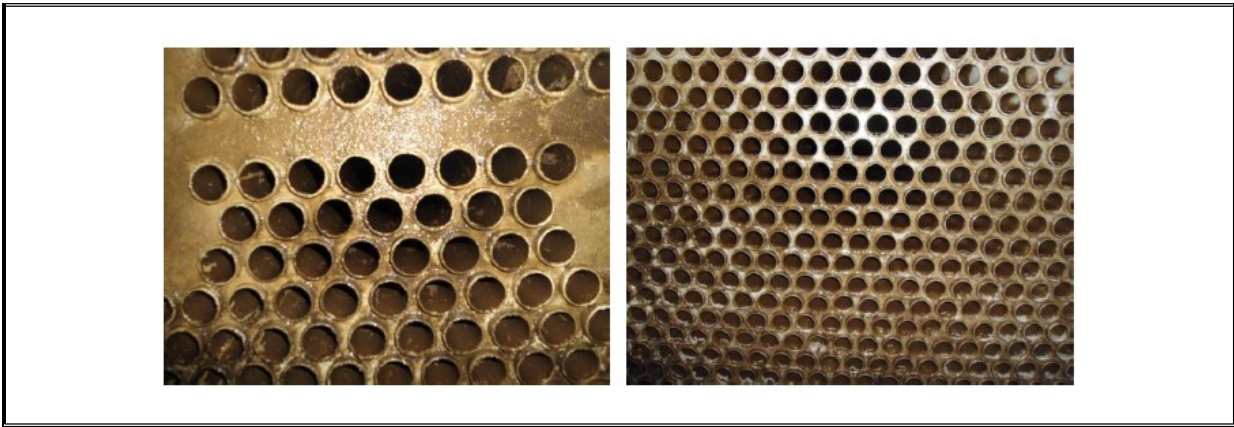


FIGURA 14 – Espelho do Condensador (2014)

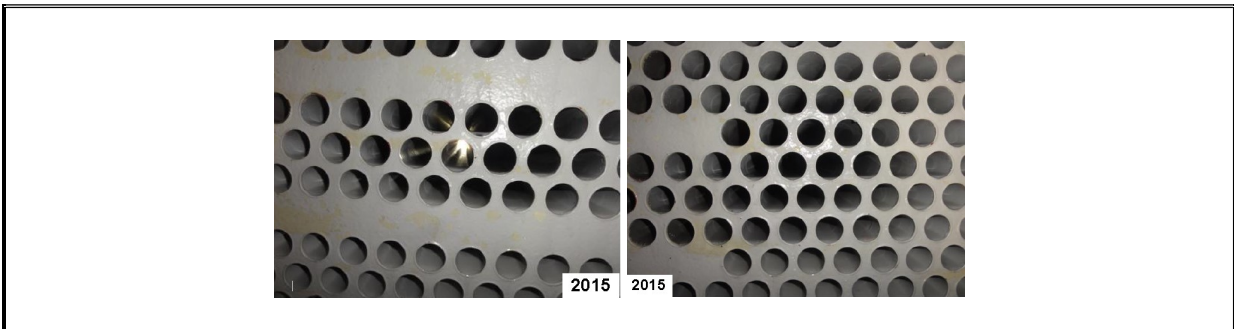


FIGURA 15 – Espelho do Condensador (2015)

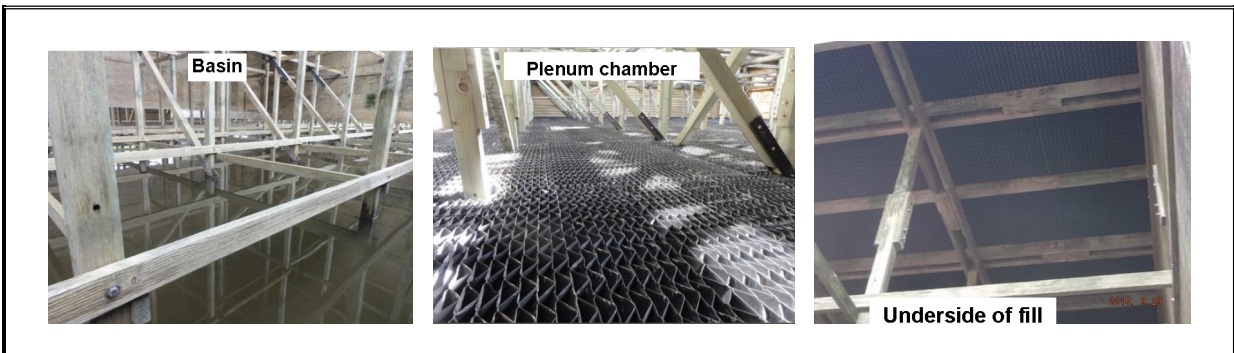


FIGURA 16 – Torre de resfriamento (2015)

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) IWC 16-23: Reduction on Water Consumption on a Cooling Tower With the Application of a Novel Biocide. Anderson Beber, Solenis LLC, São Paulo, SP Brazil. In: Official Proceedings of the 2016 International Water Conference.

(2) Relatório de Inspeção da Copel HRSG #1 #2 e Condensador. Roberto Strieder, Solenis Especialidades Químicas, Araucária, PR, Brasil. Novembro de 2014.

(3) Preliminary Observations COPEL Inspection 2015. Roberto Strieder, Solenis Especialidades Químicas, Araucária, PR, Brasil. Novembro de 2014.

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.