

## II-201 - REÚSO DE ÁGUA EM CALDEIRA A PARTIR DO EFLUENTE GERADO DA PURGA DE TORRE DE RESFRIAMENTO. ESTUDO DE TRATABILIDADE

**Maurício Costa Cabral da Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Anhembi Morumbi. Mestre em Hidráulica e Saneamento pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Universidade de São Paulo (USP/USP). Engenheiro do CIRRA – Centro Internacional de Referência em Reúso de Água e Professor da Universidade Anhembi Morumbi.

**Ivanildo Hespanhol**

Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP. Diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água - CIRRA

**José Carlos Mierzwa**

Professor Pesquisador do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária Universidade de São Paulo - EPUSP. Coordenador de Projetos do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água – CIRRA.

**Luana Di Beo Rodrigues**

Engenheira de Produção pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI de São Bernardo do Campo. Mestranda em Hidráulica e Saneamento pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Universidade de São Paulo (USP/USP). Assessora Técnica do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água-CIRRA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Maria José de Moraes, 100 - Butantã – São Paulo - SP - CEP: 05590-100 - Brasil - Tel: (11) 3727-2815 - e-mail: [mauricio.costa.cabral@gmail.com](mailto:mauricio.costa.cabral@gmail.com)

### RESUMO

A fim de minimizar os impactos com relação ao consumo de água e à geração de efluentes ocasionados pela operação de uma termoeletrica, foi desenvolvido um estudo em escala piloto (1,0 m³/h) para avaliar a viabilidade técnica da utilização dos processos de clarificação, adsorção em carvão ativado e de separação por membranas para tratar o efluente proveniente da purga de uma torre de resfriamento, tendo como foco a prática do reúso de água. O estudo foi desenvolvido com amostras da purga da torre de resfriamento identificando as melhores condições para tratamento. Obtendo-se um efluente final com qualidade adequada para a prática de reúso, visto que foi possível alcançada remoção de Carbono Orgânico Total - COT de 27 mg/L para 0,33 mg/L, portanto, 98%, condutividade elétrica de 93% remoção entre outros parâmetros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reúso em caldeira, purga de torre de resfriamento, remoção de COT.

### INTRODUÇÃO

A escassez de água pode estar relacionada tanto à quantidade como à qualidade dos recursos hídricos locais. Dentro deste contexto, a atividade industrial é uma das principais responsáveis pela ocorrência deste problema, seja pela demanda excessiva ou pela contaminação dos corpos hídricos. Em função disso, leis mais restritivas e maior fiscalização das atividades industriais tentam coibir práticas que comprometam a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos. Assim, a adoção de práticas conservacionista têm se tornado cada vez mais difundidas, através de programas que viabilizem a implantação de práticas relacionadas à otimização do uso e do reúso da água.

Com intuito de contribuir para a redução da pressão sobre os recursos hídricos relacionados à sua atividade, uma empresa prestadora de serviço, solicitou ao CIRRA – Centro Internacional de Referência em Reúso de Água o desenvolvimento de um estudo de tratabilidade para identificar as tecnologias mais adequadas para reúso de água em caldeira a partir da purga da torre de resfriamento de uma usina termelétrica do Estado do Rio de Janeiro.

Dessa forma, uma alternativa para este tipo de efluente seu uso para alimentação de caldeiras, após tratamento, pode ser uma opção.

A seqüência de tratamento foi previamente estabelecida pela empresa responsável pelo gerenciamento de água e efluentes da Termelétrica. Assim, foi solicitada a realização de ensaios de tratabilidade ao CIRRA, para avaliar

a eficiência do arranjo sugerido para aplicação do reúso de água para alimentação da caldeira, a partir da purga da torre de resfriamento. Além disso, estes ensaios serviram de base para estabelecimento dos procedimentos operacionais para os tratamentos envolvidos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Preliminarmente foi feita caracterização dos parâmetros de pH, Turbidez, Cor aparente, Condutividade, absorção de radiação UV254 nm e Carbono Orgânico total – COT.

Em seguida foram realizados os ensaios para determinação das dosagens ótimas de coagulante (PAC – Policloreto de Alumínio) e alcalinizante (NaOH – Hidróxido de Sódio) através da elaboração do diagrama de coagulação. Os ensaios foram realizados em aparelho de Jar-teste, com seis jarros, modelo JT 203/6 da empresa Milan Equipamentos Científicos. As condições para a realização dos ensaios estão apresentadas na tabela 1.

Com base no diagrama de coagulação foram feitos ensaios no sistema Físico-Químico (FQ) em escala piloto, com vazão de 1 m<sup>3</sup>/h. O desempenho da unidade piloto foi avaliado com base na análise de Cor Aparente, absorção de radiação UV254 nm e COT. Do sistema de clarificação o efluente tratado era encaminhado a um tanque de armazenagem, o qual alimentava, por batelada, uma sequência de filtros: areia, carvão, cartucho e Ultrafiltração-UF com diâmetro de poro de 0,01 µm. Após estes tratamentos o efluente passava a alimentar o sistema de Osmose Reversa-OR, modelo GK4040F da empresa Osmonics, finalizando o tratamento. O desempenho desta sequência de tratamento foi avaliado por meio da coleta e análise de amostras, conforme indicado no fluxograma da figura 1.

No caso específico do sistema OR foi estudado o comportamento hidráulico para determinação da pressão de operação e vazão de permeado produzida. Para tanto, foi feito um ensaio a partir de uma pressão mínima até uma pressão máxima e analisando-se as recuperações na membrana e global. Sendo que a escolha foi baseada no desempenho quando foi alcançada uma recuperação, na membrana, próximo de 10% e quando houve máxima recuperação global.

Assim, foi feita uma variação da pressão ao longo do tempo e coletados os valores de vazões de permeado-Qp, recirculação-Qr e concentrado-Qc, a cada 5 ou 10 minutos, apresentados na tabela 10. Este teste é importante para a determinação da melhor pressão de trabalho para esta membrana e com esta qualidade de efluente

## RESULTADOS

A caracterização do efluente bruto, considerando-se as variáveis de qualidade definidas, é apresentada na tabela 1.

**Tabela 1 – Resultados das Análises de Caracterização do Efluente Bruto**

Variável	Unidade	Valor
Condutividade	µS/cm <sup>2</sup>	1717
pH	-	7,6
Cor	uC	153
Turbidez	uT	27,1
Absorção em Ultra Violeta –	cm <sup>-1</sup>	0,695
Carbono Orgânico Total	mg C/L	27

Verifica-se pelos resultados da tabela 2 que o efluente apresenta elevada concentração de compostos inorgânicos e orgânicos dissolvidos, característica típica de efluentes originados em sistema de resfriamento. Além disso, o alto valor de cor (153 uC) e, comparativamente, a baixa turbidez (27,1 uT), apontam uma alta concentração de matéria orgânica em dimensões coloidais, fato que segundo alguns pesquisadores (REALI, 1997 e SILVA, 2008) é de difícil remoção por processos físico-químicos convencionais.

Para a determinação das dosagens ótimas e as condições operacionais para o tratamento em escala piloto (vazão de 1,0 m<sup>3</sup>/h) foram realizados ensaios de bancada em equipamento de “Jar-Test”, variando pH e em seguida dosagens de coagulante, conforme podem ser vistos nas tabelas 2 e 3.

**Tabela 2 – Valores de cor para três velocidade de sedimentação, para ensaio variando o pH de 5,5 a 8,0, com dosagem fixa de PAC à 1% e polímero aniônico.**

Parâmetro	Jarro (2 litros)					
	1	2	3	4	5	6
PAC à 1% (mg/L):	80	80	80	80	80	80
Polímero à 0,1% (ml):	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
NaOH à 0,25 N (mg/L):	0	26	41	62,5	74	82,5
pH resultante:	5,49	6,17	6,5	7,09	7,57	8,08
Cor <sup>1</sup> (uC):	169	179	141	55	54	61
Cor <sup>2</sup> (uC):	129	77	60	53	52	57
Cor <sup>3</sup> (uC):	78	43	35	43	51	56

1 - Velocidade de 2,5 cm/min; 2 – velocidade de 1,5 cm/min e; 3 – velocidade de 0,75 cm/min.

Verifica-se nesta tabela 2 que o menor valor de cor, cerca de 77% de remoção, em dez minutos de sedimentação (jarro 3), entretanto, a maior remoção com a maior velocidade de sedimentação foi vista nos jarros 4 e 5. Desta forma, para os ensaios em escala piloto foi adotado o pH 7.

**Tabela 3 – Valores de cor para três velocidade de sedimentação, para ensaio variando a concentração de coagulante de 40 a 160 mg/L, com pH fixo em 7,0 e polímero aniônico.**

Parâmetro	Jarro (2 litros)					
	1	2	3	4	5	6
PAC à 1% (mg/L):	40	60	80	120	140	160
Polímero à 0,1% (ml):	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cor - 1 (uC):	105	87	53	33	30	28
Cor - 2 (uC):	49	43	38	28	23	25
Cor - 3 (uC):	40	33	25	23	19	15

Nota-se da tabela 3 que a maior remoção de cor ocorreu com a máxima concentração do coagulante, entretanto, em menor relevância a partir do jarro 3 com concentrações acima de 80 mg/L.

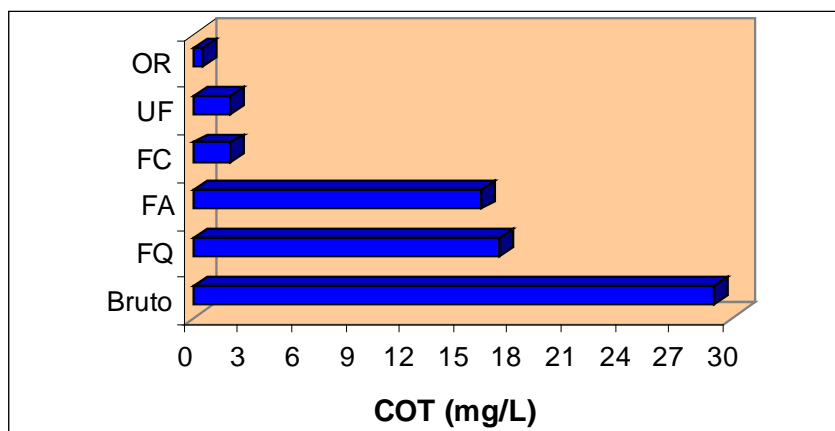
Dessa forma, foi adotado para operação contínua da unidade piloto, o pH de 6,5 e uma concentração de 80 mg/L de PAC. Sendo que após esta etapa o efluente foi encaminhado para os filtros e em seguida para o sistema de osmose reversa. Assim, os resultados, em cada etapa podem ser visto na tabela 4.

**Tabela 4 – Valores das variáveis analisadas em função da fase de tratamento**

Ponto de coleta	COT (mg/L)	UV (abs)	Condutividade (mS/cm <sup>2</sup> )	COR (uC)
Bruto	4,23	NM	1717	80
Físico-Químico	2,7	NM	893	4
Filtro areia	2,18	0,036	NM	NM
Filtro carvão	1,11	ND	NM	NM
UF	0,45	ND	854	1
OR s/ recirculação	0,19	ND	70	0
OR c/ recirculação	0,33	0,002	86	0

NM – Não Medido e ND – Não Detectado

Como o principal os dois principais poluentes a serem removidos, para uso em caldeira de alta pressão, são condutividade elétrica e COT, além foi feita também a plotagem dos valores de COT para visualização da sua remoção em cada etapa de tratamento, como mostra o gráfico da figura 1.



**Figura 1: Concentrações de COT em função da etapa de tratamento**

Analisando os resultados da tabela 4, observa-se que foi alcançado uma remoção de cerca de 36% de COT através dos tratamento físico-químico e quase 90% pelo sistema completo de pré-tratamento para entrada no sistema de osmose reversa. Em relação a viabilidade técnica de todo o sistema para uso desta água em caldeiras as variáveis de COT e Condutividade elétrica mostraram-se satisfatórias, uma vez que, para caldeiras de alta pressão os valores máximos permitidos segundo MIERZWA, 2002, são 0,5 mg/L e 312  $\mu$ S, respectivamente.

Para determinação das condições operacionais de produção da membrana de OR foi realizado o ensaio para garantir a máxima recuperação global e uma recuperação por membrana de no máximo 10% para sua preservação e maior durabilidade. Os resultados deste ensaio podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Dados de operação de trabalho em função da variação da pressão de entrada

Hora	Pressão (bar)	Qp (L/h)	Qc (L/h)	Qr (L/h)	Recuperação	
					Global	Membrana
17:50	10	180	250	0	41,9%	41,9%
16:05	10	130	222	2580	36,9%	4,4%
16:10	10	133	200	2520	39,9%	4,7%
16:15	10	130	170	2520	43,3%	4,6%
16:20	10,5	165	200	2400	45,2%	6,0%
16:25	10,5	163	203	2400	44,5%	5,9%
16:30	10,5	185	162	2400	53,3%	6,7%
16:30	11	185	200	2370	48,1%	6,7%
16:35	11	183	190	2370	49,1%	6,7%
16:40	11	261	200	2370	56,6%	9,2%
16:40	12	235	100	2280	70,1%	9,0%
16:50	12	294	194	2220	60,2%	10,9%
16:50	13	280	115	1920	70,9%	12,1%
16:55	13	282	100	1920	73,8%	12,3%
17:00	13	340	248	1920	57,8%	13,6%
17:00	14	337	220	1800	60,5%	14,3%
17:10	14	376	230	1800	62,0%	15,6%
17:10	15	370	260	1500	58,7%	17,4%
17:15	15	400	300	1500	57,1%	18,2%
17:20	16	400	300	1380	57,1%	19,2%
17:25	16	450	350	1380	56,3%	20,6%
17:25	17	450	330	1140	57,7%	23,4%
17:30	17	444	320	1140	58,1%	23,3%
17:35	17	390	342	1140	53,3%	20,8%

Pode-se dizer que um bom desempenho do sistema em termos de recuperação esteve quando atingida uma pressão de 12 bar. Como pode ser observado na tabela 10, quando atingida esta pressão a vazão de permeado – Qp ficou em 235 L/h, o que representou uma recuperação por passagem de 9%, sendo que o valor recomendado pelo fabricante está na faixa de 10 a 15% e a recuperação global, em função da recirculação ficou em 70%, o que é muito bom para um sistema de osmose reversa.

## CONCLUSÕES

Pelos estudos realizados na estação piloto de tratamento do laboratório do CIRRA, concluiu-se que.

Houve um desempenho adequado na sequência dos sistemas propostos para remoção de COT, com vistas a aplicação do reúso de água em caldeira de alta pressão;

A condutividade, como era esperada, teve um aumento na sua concentração, nos sistemas utilizados como pré-tratamento, pois como são adicionados produtos químicos, coagulante, alcalinizante e polímero, e esses sistemas não fazem remoção de sais, a tendência era que ocorresse realmente essa elevação

O sistema como um todo obteve remoções de 98% de COT e 93% de condutividade elétrica, resultando em 0,33 mg/L e 312  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ .

O filtro de areia apesar de também não ser muito eficaz na remoção do COT, é recomendado, pois sua função principal será de proteger o filtro de carvão, garantido, assim, que sua utilização seja para a remoção da matéria orgânica

A sequência de tratamento obteve uma boa remoção do contaminante estudado e demonstrou que teve uma complementação muito eficaz entre os equipamentos utilizados. Entretanto, uma possibilidade, observando os resultados, é fazer o *by-pass* do sistema filtro de MF, ou seja, eliminar esta unidade, uma vez que praticamente não há remoções significativas.

Em termos de desempenho do sistema de osmose reversa, foi possível observar que as pressões entre 12 e 14 bar foram as que demonstraram melhor rendimento e proteção as membranas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MIERZWA, J.C. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak brasileira. Tese de Doutorado, apresentada ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da USP/SP, 2002.
2. REALI, M. A. P. Clarificação por flotação de água bruta com cor moderadamente elevada. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.
3. SILVA, M. C. C. Clarificação do concentrado gerado no tratamento de água por ultrafiltração: Estudo de caso na Represa do Guarapiranga. Dissertação de Mestrado, apresentada ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da USP/SP, 2008.