

## I-043 – ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO DO USO DE MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS COM ELEVADA TURBIDEZ

**André Lermontov**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Escola de Química da UFRJ. Mestre em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Doutor em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Gerente de Tecnologia do Grupo Águas do Brasil S/A com mais de 16 anos de experiência em saneamento ambiental, tratamento de água e efluentes.

**Rodrigo Alves dos Santos Pereira**

Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia da UFF. Analista de Pesquisa e Tecnologia do Grupo Águas do Brasil S/A. Mestrando em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ.

**Isadora Argentoni Nagaoka**

Engenheira Ambiental pela UNESP. Engenheira de processos na Koch Membrane Systems. 5 anos de experiência em saneamento ambiental, tratamento de água e efluentes.

**Kevin Phillips**

Gerente de desenvolvimento de produto, Koch Membrane Systems – USA.

**Manny Singh**

Vice presidente de Pesquisa e Desenvolvimento, Koch Membrane Systems – USA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Marquês do Paraná, 110 - Centro - Niterói - RJ - CEP: 24030- 211 - Brasil - Tel: +55 (21) 2729-9200 - e-mail: [andre.ermontov@grupoaguasdobrasil.com.br](mailto:andre.ermontov@grupoaguasdobrasil.com.br)

### RESUMO

O tratamento de água para potabilização utiliza uma série de processos físicos e químicos, no intuito de remover impurezas e patógenos da água que servirá para consumo da população. Com intuito de avaliar de maneira técnica e econômica o uso das membranas, foi realizado o estudo com uma planta piloto de ultrafiltração para tratamento de água. Os testes mostraram resultados favoráveis à tecnologia de membranas, onde em momento algum a turbidez de saída foi superior a 0,5 NTU, segundo exigência da portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Além disso, foi possível observar a redução de custos operacionais da estação de UF, R\$ 86.079,40 e R\$ 431.150,13, para 20 e 100 l/s respectivamente, enquanto estações convencionais apresentavam R\$ 282.476,21 e R\$ 931.616,66, para as mesmas vazões. Apesar do investimento inicial mais elevado, o custo operacional é em geral menor do que o de uma estação convencional, o que ao considerarmos um longo período de concessão se torna atraente. O sistema de UF garante segurança ao processo, podendo ser adotado como estratégia para assegurar o abastecimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ultrafiltração, Avaliação Técnica Econômica.

### INTRODUÇÃO

O tratamento de água para potabilização utiliza uma série de processos físicos e químicos, no intuito de remover impurezas e patógenos da água que servirá para consumo da população. Durante um longo tempo observamos poucas alterações no processo, porém recentemente novas tecnologias têm sido incorporadas ao processo.

O uso de membranas filtrantes no tratamento, antes considerado uma alternativa onerosa, tem começado a aparecer como uma solução viável, uma vez que é um processo seguro e capaz de atender as exigências da nova portaria 2.914 do Ministério da Saúde.

## OBJETIVO

Com intuito de avaliar o uso de membranas de ultrafiltração (UF) de maneira técnica e econômica, a concessionária Águas do Imperador, localizada em Petrópolis – RJ, cedeu espaço para instalação de uma planta piloto de tratamento de água da Koch Membrane Systems (KMS). Localizada na estação de tratamento de água de um bairro específico da concessionária, a planta piloto foi acompanhada diariamente pela equipe responsável.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi instalada uma unidade de tratamento de água piloto, com um cartucho de membranas KMS MegaPure<sup>TM</sup>, na ETA. O sistema trabalhou com membranas tipo *dead-end* e operou com vazão constante de 3,0 m<sup>3</sup>/h. Foi utilizado somente um módulo de membranas de fibra oca, com filtração *outside-in*. Os módulos de MegaPure<sup>TM</sup> possuem área superficial de 51m<sup>2</sup> e são confeccionadas em PVDF .

A planta piloto foi controlada por supervisório e todos os seus processos (retrolavagem, limpeza de manutenção, etc.) foram realizados de acordo programação prévia, sem necessidade de operadores.

Durante os procedimentos de limpeza a alimentação era interrompida, por se tratar de um sistema simples com somente um módulo de membranas. Descontados os tempos em que a ETA para sua produção, foi calculada a quantidade de água produzida diariamente, que foi de 59 m<sup>3</sup>/dia.

Foram realizadas coletas pontuais da água bruta, da água tratada e da água utilizada na lavagem das membranas, para verificar a quantidade de sólidos e no último caso para quantificar a quantidade lodo oriundo do processo.

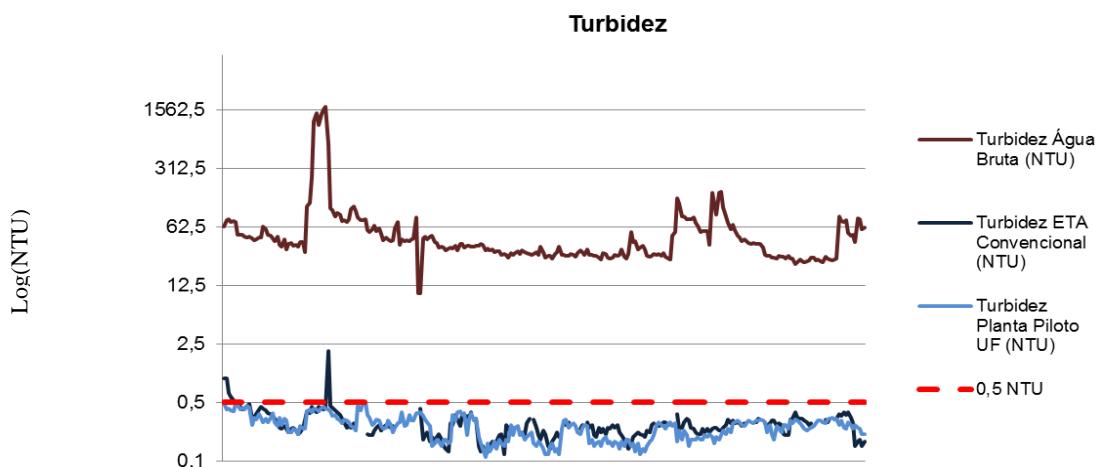
De maneira a realizar comparação entre o tratamento convencional e com membranas, foram observados diariamente o consumo de energia das plantas, e em intervalos de uma hora a turbidez de ambas e da água bruta. Além do já citado, a análise considerou o uso de produtos químicos e os gastos com operador de estação.

## RESULTADOS

Com base nos dados coletados foram realizadas análises em relação à turbidez, energia, lodo, área requerida e gastos com operadores, o que ao final resultou em uma análise econômica comparativa entre os processos em duas ordens de grandeza, 20 e 100 l/s.

## TURBIDEZ

A turbidez da água tratada em momento algum durante o mês de abril foi superior a 0,5 NTU, enquanto a ETA convencional apresentou valores acima. Na Figura 1, pode ser observado o consolidado para o mês de abril, e a comparação entre as plantas.



**Figura 1 - Consolidado do mês de abril para turbidez ETA UF e ETA Itaipava**

A ETA piloto de UF atendeu aos requisitos da nova Portaria 2.914 do Ministério da Saúde para potabilização da água, durante o tempo que observamos a operação. Mostrando que a tecnologia é eficaz para remoção de sólidos da água, e garante maior confiabilidade ao sistema de tratamento.

## ENERGIA

Os dados com gastos de energia da planta piloto foram coletados pelo operador no inicio do turno, sempre às 7h da manhã. Assim, foi possível avaliar a quantidade de energia gasta pela planta piloto e relacionar com a quantidade de água produzida.

A Tabela 1 mostra os valores anotados e quantidade de energia consumida por metro cúbico de água produzida, lembrando que a ETA apresentou vazão de saída constante, enquanto não realizava procedimentos de limpeza.

**Tabela 1 - Energia Consumida ETA UF**

	24/04/2013		25/04/2013		26/04/2013	
	Inicial (kWh)	Final (kWh)	Inicial (kWh)	Final (kWh)	Inicial (kWh)	Final (kWh)
<b>Energia</b>	10242	10298	10298	10350	10350	10421
<b>Consumo (Final - Inicial)</b>	56		52		71	
<b>kWh/m<sup>3</sup> tratado</b>	0,95		0,88		1,20	

No dia 26 de abril, a planta deixou de receber somente água bruta, e passou a receber água com coagulante. Durante a mudança de ponto de coleta de água para alimentação, foi trocada também a bomba por uma de maior potência, o que pode justificar o aumento no consumo energético.

A ETA Itaipava, segundo informado pela concessionária, produz diariamente cerca de 1.728 m<sup>3</sup>, e o consumo médio de energia nos últimos três meses foi de aproximadamente 30.556 kWh, onde está inclusa a captação de água bruta. Isso representa um gasto de 0,58 kWh por metro cúbico de água tratada.

O índice obtido para ETA UF foi baseado nos dados coletados durante o período observado e foi feita a opção de utilizar 0,88 kWh por metro cúbico de água tratada. No entanto, segundo a Koch Membrane Systems, não é possível realizar um “scale-up” linear da planta piloto para estações maiores, pois é possível obter redução do

consumo energético em escalas maiores. Nesse caso, conforme a informações da empresa, o gasto utilizado para os cálculos teóricos deve ser de aproximadamente 0,35 kWh / m<sup>3</sup> de água tratada (sem valores de captação).

Em termos de economia, ao compararmos com outras estações convencionais, como a ETA Juturnaíba (Águas de Juturnaíba – Araruama - RJ), ETA Santo Eduardo (Águas do Paraíba – Campos - RJ) e a ETA Itaipava (Águas do Imperador – Petrópolis - RJ), é possível verificar a diferença em termos monetários ao longo de um ano, como mostrado na Tabela 2, 3, 4 e 5, para ETA's de 20 e 100 L/s. As Tabelas 2 e 4 consideram o custo com a captação de água bruta, enquanto nas Tabelas 3 e 5 esse custo não é considerado na avaliação.

**Tabela 2 - Energia – Projeção de Custo anual e Diferença em Relação à UF (ETA 20L/s)**

Estações	Energia				
	Índice (kWh/m <sup>3</sup> tratado)	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Custo da Energia (R\$/kWh)	Custo Anual (R\$/ano)	Diferença em relação à UF (R\$/ano)
ETA Itaipava	0,58			118.775,75	62.513,55
ETA Juturnaíba	0,60	1.730	0,33	125.027,10	58.345,98
ETA Santo Eduardo	0,66			137.529,81	45.843,27
ETA UF	0,88			183.373,08	-

Dados fornecidos pelas concessionárias.

**Tabela 3 - Energia - Projeção de Custo anual e Diferença em Relação à UF (ETA 20L/s)**

Estações	Energia				
	Índice (kWh/m <sup>3</sup> tratado)	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Custo da Energia (R\$/kWh)	Custo Anual (R\$/ano)	Diferença em relação à UF (R\$/ano)
ETA Itaipava	0,39			81.267,62	-8.335,14
ETA Juturnaíba	0,42	1.730	0,33	87.518,97	-14.586,50
ETA Santo Eduardo	0,48			100.021,68	-27.089,21
ETA UF	0,35			72.932,48	-

Dados fornecidos pelas concessionárias.

**Tabela 4 - Energia - Projeção de Custo anual e Diferença em Relação à UF (ETA 100L/s)**

Estações	Energia				
	Índice (kWh/m <sup>3</sup> tratado)	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Custo da Energia (R\$/kWh)	Custo Anual (R\$/ano)	Diferença em relação à UF (R\$/ano)
ETA Itaipava	0,58			593.192,16	312.206,40
ETA Juturnaíba	0,60	8.640	0,33	624.412,80	291.392,64
ETA Santo Eduardo	0,66			686.854,08	228.951,36
ETA UF	0,88			915.805,44	-

Dados fornecidos pelas concessionárias.

**Tabela 5 - Energia - Projeção de Custo anual e Diferença em Relação à UF (ETA 100L/s)**

Estações	Energia				
	Índice (kWh/m <sup>3</sup> tratado)	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Custo da Energia (R\$/kWh)	Custo Anual (R\$/ano)	Diferença em relação à UF (R\$/ano)
ETA Itaipava	0,39			405.868,32	<b>-41.627,52</b>
ETA Juturnaíba	0,42			437.088,96	<b>-72.848,16</b>
ETA Santo Eduardo	0,48	8.640	0,33	499.530,24	<b>-135.289,44</b>
ETA UF	0,35			364.240,80	<b>-</b>

Dados fornecidos pelas concessionárias.

## GERAÇÃO DE LODO

Foram coletadas amostras pontuais para realização de ensaios de sólidos no laboratório da concessionária. É possível, então, estimar em parte a quantidade de lodo descartado pela ETA de UF, considerando somente o descarte via backflush, pois a limpeza de manutenção tem uma duração muito superior e com diversos estágios, o que inviabilizou uma coleta adequada.

Os resultados dos ensaios de sólidos totais, apresentados na Tabela 6, correspondem ao backflush realizado com água. No dia 26 de abril foi feito uso de coagulante na água de alimentação da planta piloto, com intuito de verificar se ocorreria melhoria no desempenho da planta.

**Tabela 6 - Sólidos Totais do Backflush**

Data:	Sólidos Totais (mg/L)		
	24/04/13	25/04/13	26/04/13
Água Bruta	125	180	240
Saída ETA	10	0	20
Descarte ETA	850	720	1.030

**Tabela 7 - Sólidos Suspensos Totais do Backflush**

Data:	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)		
	24/04/13	25/04/13	26/04/13
Água Bruta	23	7	69
Saída ETA	0	0	0
Descarte ETA	382	320	910

Houve um considerável aumento na concentração de sólidos, após o uso de coagulante, o que era esperado, uma vez que o produto químico tende a aglutinar os sólidos e formar flocos de maior massa. A diferença no desempenho da planta piloto de UF não foi perceptível, o que nos indica que o uso de coagulantes não é necessário.

Com base nas informações coletadas em campo, calculamos o fator de geração de lodo da ETA piloto e avaliamos a produção de lodo projetada em estações de 20 e 100 L/s, comparando com estações convencionais do grupo, a ETA Juturnaíba, já citada anteriormente, e a ETA Coroa, de propriedade de Águas do Paraíba.

Para o estudo, foi considerado que o lodo da ETA piloto de UF possuiria uma maior concentração de sólidos (em torno de 40%) depois de desaguado, uma vez que não é realizada aplicação de coagulantes no processo, o que facilita a remoção de água. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 8 – Projeção de Lodo ETA UF x Convencional – 20 L/s**

Estações (ETA's)	Concentração de Sólidos %	Fator de Geração de Lodo (kg/m³)	Geração de Lodo (kg/dia)	Geração de Lodo Média (kg/dia)	Geração Anual de Lodo (t/ano)	Custo por tonelada (R\$/ton)	Custo Anual (R\$/ano)
UF	40%	0,10	86,50	86,50	31,57		5.540,97
Juturnaíba	20%	0,26	449,80		527,65	175,50	33.799,94
Coroa	20%	0,35	605,50				
UF							
X	-	-	-	-	-441,15	-161,02	-28.258,97
Convencional							

**Tabela 9 – Projeção de Lodo ETA UF x Convencional – 100 L/s**

Estações (ETA's)	Concentração de Sólidos	Fator de Geração de Lodo	Geração de Lodo	Geração de Lodo Média	Geração Anual de Lodo	Custo por tonelada	Custo Anual
		%	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/dia)	(kg/dia)	(t/ano)	(R\$/ton)
UF	40%	0,10	432,00	432,00	157,68		27.672,84
Juturnaíba	20%	0,26	2.246,40			175,50	
Coroa	20%	0,35	3.024,00	2.635,20	961,85		168.804,32
UF x Convencional	-	-	-	-	-2.203,20	-804,17	-141.131,48

Observamos a menor geração de lodo em estações de UF (sem necessidade de uso de coagulantes e sem formação de flocos), o que representa redução de custos com transporte e disposição do lodo.

## ÁREA REQUERIDA

As estações de UF para tratamento de água é em geral oito vezes menor do que uma estação convencional, ou seja, demanda uma área muito reduzida para implantação. Apesar de não ser considerado o valor do terreno nesse estudo, entendemos que, em função do tamanho reduzido da estação, será uma redução no investimento inicial.

## OPERACÃO

Em ETA UF devido ao elevado grau de automação não é necessária à presença de um operador integralmente no local, diferente de ETA's convencionais. Considerando um salário de R\$ 2500,00 mensais por operador (total com encargos), e, visto que normalmente com o sistema de turnos e folgas, são utilizados quatro operadores, a redução de custos anuais seria de R\$ 120.000,00.

ANÁLISE ECONÔMICA

Para compreender como se comporta o investimento ao longo do tempo, trouxemos para o valor presente às alternativas de projeto estudadas, e assim possibilitando a comparação. Na Tabela 1 são mostrados os custos

operacionais (OPEX) de cada opção, os valores de investimento (CAPEX) e o valor presente líquido (VPL) de cada projeto, onde foi considerada uma taxa de juros de 12% a.a. em um o período de 25 anos.

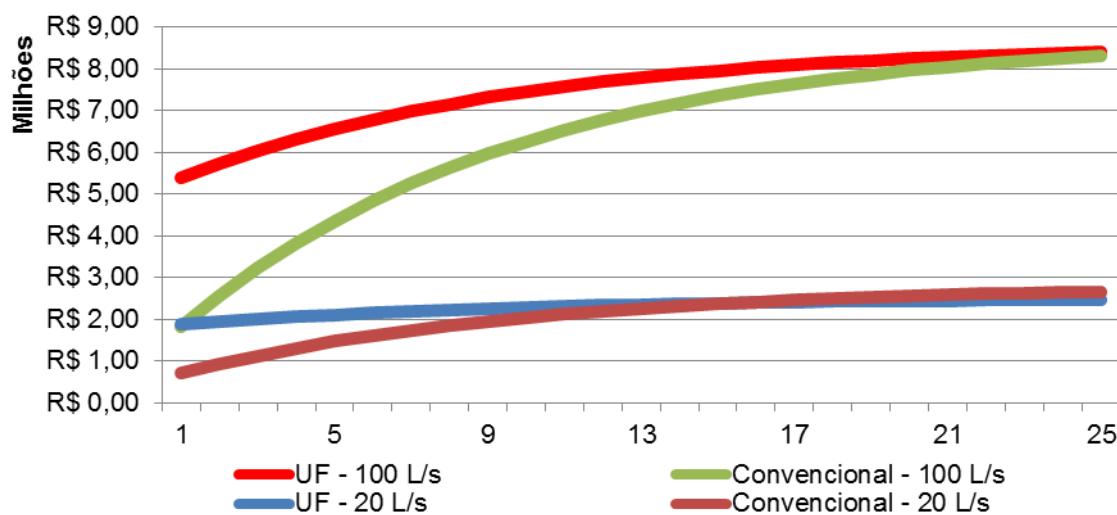
**Tabela 10 - Custos Operacionais e Avaliação Econômica**

Custos Operacionais	UF - 20 L/s	Convencional - 20 L/s	UF - 100 L/s	Convencional - 100 L/s
	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano
Energia	72.932,48	89.602,76	364.240,80	447.495,84
Lodo	5.540,97	33.799,94	27.672,84	168.804,32
Produto Químico	7.605,96	39.073,52	39.226,49	195.316,50
Operador	-	120.000,00	-	120.000,00
OPEX	86.079,40	282.476,21	431.150,13	931.616,66
CAPEX	1.800.000,00	450.000,00	5.000.000,00	1.000.000,00
VPL	-2.475.132,75	-2.649.156,83	-8.381.491,99	-8.306.799,09

\*Considerado como investimento único, realizado somente uma vez.

No Gráfico 2 é possível verificar a evolução ao longo de 25 anos, tempo usual de concessão.

**Gráfico 2 - VPL ao longo de 25 anos**



Projetos de UF de porte maior, como o caso de 100 L/s apresentado, se mostram como uma alternativa ligeiramente mais onerosa, porém podem ser justificados pela segurança do processo, evitando paradas no sistema e possíveis não conformidades com a legislação vigente, que ocasionam multas. No caso de projetos menores a opção pela UF se mostra interessante, apesar de um investimento inicial maior, o VPL do empreendimento se mostra menor que o de estações convencionais ao longo de 25 anos.

Se for considerado o custo do terreno, uma vez que a ETA UF ocupa uma área oito vezes menor em relação a ETA convencional, a opção pela ultrafiltração pode ser ainda mais favorável ou equivalente a convencional.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As membranas apresentam um grande avanço no tratamento da água, sendo uma importante melhoria e garantindo a eficiência do processo. Com custos operacionais inferiores ao de projetos de estações convencionais, a ultrafiltração ainda possui valores elevados para implantação, o que causa receio no momento de realizar o investimento.

No entanto, a tecnologia garante a qualidade da água para consumo, mesmo para águas de turbidez elevada, o que assegura o cumprimento das exigências legais feitas após a publicação da portaria 2.914/11. O que a torna bastante atraente, uma vez que conseguirá atender ao exigido em legislação e evitando riscos de possíveis não conformidades, que resultem em multas.

A ETA de UF funciona com um sistema de automação bastante completo, não sendo necessária a presença de operadores no local integralmente. Além disso, a dosagem de produtos químicos é feita de acordo com a programação pelo equipamento, o que reduz o contato dos operadores (ou volantes) com as substâncias, reduzindo assim os riscos de acidentes.

Em sistemas menores, a análise econômica mostrou que é vantajosa a opção pela ETA UF. Apesar do investimento inicial mais oneroso, o custo operacional é em geral menor do que o de uma estação convencional, o que ao considerarmos um longo período de concessão se torna atraente. O sistema de UF garante segurança ao processo, podendo ser adotado como estratégia para assegurar o abastecimento. Além disso, ocupa uma área bastante reduzida em relação aos projetos convencionais.

Dessa forma, o uso de membranas filtrantes em sistemas de tratamento de água, deve ser visto com cautela em função da escala dos projetos, e assim poderá constituir uma interessante estratégia para melhoria do processo e garantir a confiabilidade do sistema de abastecimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LI, N. N., FANE, A.G., WINSTON HO, W.S., MATSUURA, T.. "Advanced Membrane Technology and Applications", 1<sup>a</sup> edição. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
2. HILIS, P. "Membrane Technology in Water and Waste Water Treatment" 1<sup>a</sup> edição. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2000.