

I-083 - AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ULTRAFILTAÇÃO POR MEMBRANAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO NA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

Mara Yoshino de Castro⁽¹⁾

Bacharel em Química pela Faculdade Oswaldo Cruz. MBA em Gestão e Tecnologias Ambientais pela Escola Politécnica da USP .Especialista em Docência no Ensino Técnico pelo Senac. Técnica em Sistemas de Saneamento na empresa SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Antônio Bento ,339-Santo Amaro-São Paulo-SP-CEP:04750-000-Brasil-Tel:(11) 982996237-e-mail: marayc@hotmail.com

RESUMO

À medida que a população mundial aumenta, paralelamente cresce o consumo dos recursos naturais a fim de suprir a crescente demanda por bens e serviços. Neste cenário, a água que é a principal fonte de vida dos seres vivos, tem sido usada de forma intensa e, em grandes partes do mundo, sem um adequado ou nenhum planejamento de seu consumo e tratamento. O aumento dos diversos tipos de poluentes que têm surgido a cada dia os quais são lançados nos corpos hídricos e a má distribuição de água no planeta, tanto pela sua distribuição geográfica como pela falta de infraestrutura adequada, aliados a leis mais rigorosas quanto à qualidade da água para consumo humano, foram alguns dos principais fatores para o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento de água que fossem mais eficazes. Após a segunda guerra mundial, o uso de membranas filtrantes para tratamento de água teve sua primeira grande aplicação comercial, quando os sistemas de abastecimento de água em cidades da Alemanha estavam precários e, assim, havia a necessidade de desenvolver maneiras eficazes de se garantir a potabilidade da água. Logo, vários tipos de membranas surgiram no mercado cujos tamanhos dos poros determinaram seu grau de seletividade .O presente estudo tem como objetivo fazer a avaliação do sistema de membranas ultrafiltrantes na ETA ERJCS,localizada na capital do Estado de São Paulo, abastecida pela represa Guarapiranga a fim de serem avaliados os custos e consumo de energia, os quais se mostraram mais elevados do que o sistema de ciclo completo¹, bem como a qualidade da água produzida deste sistema comparado ao sistema de ciclo completo na mesma ETA ,cujos resultados mostraram melhores reduções dos parâmetros analisados e comparados. Quanto ao espaço requerido, o sistema de membranas necessita de uma área muito menor para atender a mesma vazão. Não há geração de lodos e quanto ao uso de produtos químicos, apenas são utilizados o ácido cítrico e o hipoclorito de sódio no processo de limpeza das membranas enquanto no sistema ciclo completo são necessários o uso de coagulante, polímero, alcalinizante e cloro durante o tratamento o que aumenta o custo em cerca de três vezes (CAMELO, A.C. R.; COUTINHO, M.). O sistema de membranas foi construído devido à crise hídrica nos anos de 2014 e 2016 a fim de aumentar a disponibilidade hídrica na RMSP. As medidas emergenciais tomadas por causa da escassez de chuvas no Sistema Cantareira, fez com que o Sistema Guarapiranga se tornasse o principal sistema de abastecimento de São Paulo no ano de 2015.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, membranas ultrafiltrantes, ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva.

INTRODUÇÃO

A distribuição desigualitária de água doce em várias regiões do mundo, o que ocasiona sérios problemas de escassez como no Oriente Médio, fez com que novas tecnologias emergissem como soluções alternativas para o tratamento da água. Dentre elas, é importante citar a incorporação em escala quase industrial de processos de destilação e a utilização de membranas, esta última no início da década de 1970. Apesar de não terem sido inicialmente desenvolvidas para o tratamento de água de abastecimento, as membranas se adaptaram a esse posteriormente.

¹ Nome recentemente utilizado em substituição ao sistema ciclo completo (coagulação, floculação, sedimentação e filtração).

As membranas sintéticas surgiram como uma tentativa de se assemelhar as membranas naturais, em particular quanto as suas características únicas de seletividade e permeabilidade. A filtração por membrana envolve a separação de compostos dissolvidos, coloidais e partículas constituintes a partir de um fluido pressurizado usando materiais microporosos. Em geral, os processos de separação por membranas são classificados em termos do tamanho dos poros ou do peso molecular de corte e da pressão aplicada. Com base no tamanho dos poros, as membranas são classificadas em quatro grupos principais: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa.

Atualmente há uma enorme variedade de membranas, cujas diferenças básicas são os materiais e, como já mencionado, o tamanho dos poros. As principais vantagens da implementação desse material no processo de tratamento de água são: ganhos operacionais – devido à maior automação –, diminuição da quantidade de resíduos (lodo) gerados, ganho em qualidade da água tratada, algo de extrema importância considerando a situação de diversificação de poluentes. As principais desvantagens são: o preço das membranas, que ainda é elevado, e o aumento do consumo de energia. Além disso, a adaptação da mão de obra a uma nova tecnologia já é um obstáculo à implementação. Diante desse problema e às adequações da legislação, cuja tendência é aumentar as exigências de qualidade da água tratada, a modernização do sistema de tratamento se faz necessária.

O presente estudo tem como objetivo a avaliação do tratamento de água por membranas ultrafiltrantes na ETA RJCS que utiliza as águas do Sistema Produtor Guarapiranga, cuja implantação foi devida à crise hídrica ocorrida entre os anos de 2014 e 2016. O sistema Guarapiranga é composto pelas represas Guarapiranga, Capivari e Billings (Braço Taquacetuba). A represa Guarapiranga, principal manancial, é de propriedade da Empresa Metropolitana de Águas e Energia – EMAE, e possui uma capacidade de armazenamento de 171 bilhões de litros de água, formando o segundo maior Sistema Produtor da Região Metropolitana de São Paulo. Seus principais afluentes são os Rios Embu Guaçu, Embu Mirim e Rio Parelheiros, bem como as águas transferidas das represas Billings e do rio Capivari através de estações elevatórias.

A água captada na represa é encaminhada para a Estação de Tratamento de Água Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva responsável pelo abastecimento público de grande parte da zona sul e sudoeste da Grande São Paulo. Atualmente a produção alcança até 15 m³/s de água, para o sistema de ciclo completo.

Devido à crise hídrica ocorrida entre os anos de 2014 a 2016, o governo do Estado de São Paulo decidiu aumentar a disponibilidade hídrica e iniciou, através de contratos por licitação, o projeto de tratamento de água por sistemas de membranas. A ampliação da ETA conta com um sistema de ultrafiltração por membranas e foi dividida em duas fases. A primeira fase, inaugurada em dezembro de 2014, produz 1m³/s e a segunda fase inaugurada em julho de 2015 produz mais 1m³/s.

Devido ao aumento da demanda de água potável na cidade de São Paulo e a grande necessidade de compensar a crise hídrica naquele momento, a Sabesp buscou, então, uma tecnologia que pudesse acrescentar 2 m³/s de produção de água em um período relativamente curto de projeto e que produzisse água de boa qualidade. Isto possibilitou que o novo aumento de produção de água tratada ajudasse a reduzir a retirada do Sistema Cantareira, permitindo ao Guarapiranga avançar em novas áreas, principalmente na região da Avenida Paulista.

A implantação das membranas fez parte do pacote de medidas que foram efetuadas para o enfrentamento da crise hídrica ocorrida entre os anos de 2014 e 2016 a fim de aumentar a disponibilidade hídrica na RMSP. Com as medidas emergenciais tomadas por causa da escassez de chuvas no Cantareira, o Sistema Guarapiranga tornou-se, em 2015, o principal sistema de abastecimento de São Paulo. Além disso, foram levados em consideração a qualidade superior da água tratada, além da economia de espaço físico e da velocidade de implantação.

OBJETIVOS

Avaliar o sistema de ultrafiltração por membranas para tratamento de água quanto ao consumo e custo energético e a qualidade da água em relação ao sistema de ciclo completo, a partir do estudo de caso na ETA ERJCS.

O ESTADO DA TÉCNICA

O TRATAMENTO DE ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA AO LONGO DOS TEMPOS

Podemos pensar que os dois processos de tratamento de água mais convencionais na história da humanidade são a filtração e a ebólition. Baker (1948), em seu histórico livro “The quest for pure water: The History of water purification from the earliest records to the twentieth century”, mostra uma enorme variedade de processos que foram utilizados por diversas sociedades ao longo da história tais como a destilação, técnicas de aeração e técnicas primitivas de coagulação e floculação. Até a descoberta da Teoria dos Germes, no século XIX, não se tinha explicação científica clara sobre a necessidade de se tratar a água antes do consumo.

O primeiro sistema de distribuição de água surgiu há cerca de 4.500 anos, mas o homem aprendeu a armazenar a água para benefício próprio há muito tempo antes. Os sumérios (5.000-4.000 a.C.) relacionavam a água às mais importantes divindades, tendo construído, nesse período, canais de irrigação, galerias, recalques, cisternas, reservatórios, poços, túneis e aquedutos. Na Índia, existem evidências de que algumas cidades já possuíam redes de esgotos e sistemas de drenagem por volta de 3.200 a.C. (Piterman & Greco, 2005). O homem também aprendeu que a água imprópria, podia causar doenças. A preocupação com a água imprópria, potencial transmissora de doenças, levou os egípcios, em 2.000 a.C., a utilizarem o sulfato de alumínio na clarificação da água. Naquela época, eles já sabiam sobre os cuidados que deviam ter com a água de consumo, tais como seu armazenamento em vasos de cobre, sua exposição ao sol e sua filtração através do carvão. Tais escritos descrevem a purificação da água pela fervura ao fogo, aquecimento ao sol ou a introdução de uma barra de ferro aquecida na massa líquida, seguida por filtração através de areia e cascalho grosso. A primeira represa para armazenar água foi construída no Egito em 2.900 a.C., pelo faraó Menes, para abastecer a capital, Memphis (Rosen, 1994; Resende & Heller, 2002). Os gregos perceberam que era importante organizar e disciplinar o uso da água não só nas cidades, mas também no campo. Os romanos destacaram-se por erguer grandes construções destinadas ao transporte de água, chamadas aquedutos. No entanto, o primeiro aqueduto conhecido foi construído em 700 a.C., por Ezequiel, rei de Judá, para abastecer Jerusalém.

O império romano declinou no início da Idade Média e, nesse período, o consumo da população da Europa era apenas de um litro de água por pessoa por dia. O abastecimento sofreu um retrocesso no aspecto sanitário, pois enquanto os romanos faziam captação de longas distâncias, essas novas regiões faziam a captação diretamente dos rios. Com a queda de Roma, o conhecimento ficou arquivado em mosteiros religiosos. Só foi revelado algo sobre saneamento em 1425. Logo, os ensinamentos sobre hidráulica, saneamento e sua gestão ficaram ignorados durante toda a Idade Média. A responsabilidade de gerenciar a água deixou de ser do governo e passou a ser coletivamente dos cidadãos. Parte do consumo de algumas famílias era garantido por meio de compra transportada por carregadores. Já outras, em sua maioria, escavavam poços dentro de suas casas, próximas a fossas e esterco de animais, causando contaminação. Isto causou a proliferação em massa de doenças como cólera, lepra e tifo em um período de grandes epidemias. Na época, a peste negra, transmitida através da pulga de ratos, infectou metade da população e matou cerca de um terço da população Europeia. Na China e na Índia mais de 23 milhões de pessoas foram levadas a óbito em menos de 12 anos.

No início do século XIX as primeiras estações municipais de tratamento de água foram construídas, sendo a Escócia o país pioneiro. Elas podem ser caracterizadas por um processo básico: a filtração lenta em areia. Mesmo básico, os investimentos feitos nessa tecnologia foram questionados, dada a crença de que a água não era responsável por nenhuma doença e a curiosa constatação de que a preocupação com a qualidade da água por si só poderia denegrir a imagem da cidade e prejudicar os investimentos numa época de expansão do capitalismo industrial. Mesmo após a descoberta científica de que microrganismos patogênicos habitavam fontes de água, nenhum novo método foi aplicado até o início do século XX, quando se descobriu o poder desinfetante do cloro. Na Bélgica, Middelkerke foi a primeira cidade a aplicar o cloro em seu processo de tratamento de água, no ano de 1902. É importante destacar que até aquele momento, as estações de tratamento de água não aplicavam nenhum tipo de químico no processo (SALZMAN, 2012). Os ingleses, contudo, promoveram grandes avanços em saneamento e tratamento de água no século XIX. A primeira estação de tratamento da água foi construída em Londres, em 1829, e filtrava a água do Rio Tâmisa com areia. Esse avanço não impediu que, em 1854, ocorresse um grave surto de cólera em uma área restrita de Londres, causando a morte de grande número de pessoas em curto período (Silva Rodrigues, 1998). O século XX foi caracterizado por um abuso dos diferentes recursos hídricos do Planeta.

Em 1829, a França criou leis que previam punições, como prisão ou multa, para quem lançasse produtos, resíduos que levassem os peixes à morte. Nesta época também se iniciou a implantação do saneamento, bem como sua administração e legislação em conjunto com outros serviços públicos.

Os resíduos industriais foram incluídos na lei britânica de controle da poluição das águas. Em 1842, Edwin Chadwick iniciou um estudo que serviu de base para o desenvolvimento das relações entre saneamento e saúde, e iniciou a medicina preventiva. A preocupação com a higiene criou grande notoriedade ao final do século XIX. No decorrer do século XX, novos processos como a coagulação, floculação e decantação foram adicionados às estações de tratamento. Os materiais e a própria estrutura das estações de tratamento se diversificaram, no entanto, os processos básicos mantiveram-se nos últimos 100 anos. Embora o uso do cloro tenha sido uma grande descoberta, mostrou-se limitado para certos poluentes presentes na água bruta, devido à formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana. A água salgada e salobra em alguns países fez o processo de dessalinização aumentar. Somando-se a esses fatos a diversificação dos poluentes foram surgindo novas técnicas de tratamento de água como as por membranas ultrafiltrantes. Existem múltiplos tipos de membranas, cuja capacidade de filtração é maior do que os convencionais filtros de areia. As técnicas como a desinfecção por radiação ultravioleta, desinfecção por ozônio e troca iônica são exemplos de tecnologias emergentes nesse setor (SALZMAN, 2012).

MEMBRANAS

As membranas são barreiras porosas que controlam o fluxo de partículas químicas em contato com elas e são capazes de reter partículas menores que 1 µm (BAKER, 2012). Os primeiros experimentos de laboratório ocorreram no século XVIII, quando Abbé Nolet cunhou o termo osmose, descrevendo a água permeada por um diafragma. Ao final do século XIX, a medição da pressão osmótica de soluções por meio de membranas foi a base para a elaboração da famosa equação de Van't Hoff. As primeiras membranas comerciais foram desenvolvidas no início do século XX e eram feitas de nitrocelulose e posteriormente de acetato de celulose. Mas foi no final da 2ª Guerra Mundial que houve a primeira grande aplicação comercial das membranas para o tratamento de água, quando os sistemas de abastecimento de água em cidades da Alemanha estavam precários e, assim, havia a necessidade de desenvolver maneiras eficazes de se garantir a potabilidade da água. Naquele período, devido ao fato de as membranas serem pouco confiáveis, pouco seletivas, muito lentas e muito caras houve dificuldades para a expansão desta tecnologia.

Estes fatores ocasionou uma grande preocupação na indústria desde 1960. A comercialização da tecnologia para estações municipais de tratamento de água e esgoto enfrentava obstáculos tecnológicos como baixo fluxo, causado pelos mecanismos de deterioração (principalmente incrustação e entupimento dos poros). No final da década de 80, o desenvolvimento de membranas de baixa pressão e membranas submersas de ar comprimido possibilitou a resolução parcial dos problemas, possibilitando a popularização cada vez mais crescente da tecnologia. Passados os anos, diversos tipos de membranas foram desenvolvidos o que foi permitido classificá-las de acordo com suas características como: material (sintético ou biológico), homogeneidade (isotrópico ou anisotrópico), densidade, tamanho dos poros, etc. As membranas são separadas em: microfiltrantes, ultrafiltrantes, nanofiltrantes e de osmose reversa cuja classificação é basicamente relacionada ao tamanho dos poros das membranas.

MICROFILTRAÇÃO

As membranas de microfiltração (MF) são as que conseguem filtrar partículas de até 0,1 µm. A aplicação da pressão tem um papel importante, pois influí na capacidade de rejeição das membranas e, consequentemente, no tamanho mínimo das partículas que conseguem filtrar, podendo aumentar a até 10 µm. Isto porque o aumento da pressão pode facilitar a passagem de partículas de tamanho quase igual ao tamanho dos poros da membrana (BERGAMASCO et al., 2011). Quando essas membranas são utilizadas, os dois processos mais comuns são: in-line e cross-flow. No primeiro, o bombeamento pressiona o fluido contra. Esse é um processo típico de filtração caseira de água, cuja qualidade já é relativamente boa, o que aumenta a eficiência da membrana. No segundo, a circulação na superfície da membrana faz com que a parte permeada seja separada da parte concentrada formando um sistema de três vazões: alimentação, permeado e concentrado. Devido à simplicidade

do processo, de um modo geral, o in-line é o mais utilizado. No entanto possui a desvantagem de requerer mais pressão com o tempo devido à deterioração do material, o que diminui a vida útil da membrana.

ULTRAFILTRAÇÃO

No processo de ultrafiltração (UF), as membranas podem possuir poros até 10 vezes menores ($0,01\mu\text{m}$) do que as de microfiltração (AWWA, 2008). O peso molecular das substâncias é o indicador de capacidade de filtração de membranas UF. No entanto, muitos fatores como a forma das moléculas (linear ou globular) e o pH podem influenciar a rejeição dessas membranas (BAKER, 2012). Para este tipo de membrana, também ocorrem problemas de diminuição de fluxo por deterioração causada por entupimento dos poros e incrustação. De acordo com Howe e Clark, 2002, o problema de deterioração é causado tanto por partículas suspensas quanto por partículas dissolvidas, só que de maneiras diferentes. Enquanto as partículas suspensas - cujo tamanho é maior do que os poros da membrana - cria uma camada superficial também conhecida como gel, reduzindo o fluxo por criar mais uma barreira à passagem de água, as partículas dissolvidas alguma vezes conseguem penetrar pelos poros, causando posteriormente a obstrução. Esse, no entanto, não é o único mecanismo causado pelas partículas dissolvidas, que também podem criar uma camada superficial ou adsorver dentro dos poros, reduzindo, embora não completamente, o diâmetro interno.

NANOFILTRAÇÃO

As membranas de nanofiltration possuem menor consumo energético e maior fluxo do que as membranas de Osmose Reversa o que as tornam como alternativas a estas e podem ser consideradas como intermediárias entre membranas de ultrafiltração e osmose reversa, devido aos mecanismos de separação. O tamanho dos poros é de aproximadamente 1 nm. O processo de remoção dos poluentes se dá tanto por exclusão por tamanho, por efeitos de carga quanto por processo de difusão devido à superfície com carga elétrica definida. Assim, compostos orgânicos, cujo tamanho é relativamente grande, são removidos por mecanismo de “peneiração” enquanto sais inorgânicos são removidos por efeitos de carga (SHON et al, 2013). Para essas membranas, a rejeição é maior para íons divalentes do que para íons monovalentes (BAKER, 2012).

OSMOSE REVERSA

Estas membranas se baseiam no processo da passagem de água do meio mais concentrado para o meio menos concentrado. Assim, é necessário que se aplique uma pressão maior que a pressão osmótica da solução alimentadora. Possuem os menores poros entre as membranas, o que lhes dão a capacidade de reter substâncias com tamanhos menores do que 1 nm. Assim, possibilita ter os maiores índices de rejeição de moléculas orgânicas e inorgânicas. Esse índice de rejeição pode, inclusive, ser de 100% para algumas substâncias. O processo de dessalinização da água é a principal e até mesmo mais conhecida aplicação dessas membranas tanto para uso industrial quanto para abastecimento público. O processo de dessalinização por meio de membranas é estudado desde o século XIX bem como o fenômeno de osmose cuja patente foi adquirida em 1931. De toda a capacidade instalada mundial atual, aproximadamente metade da produção se concentra nos Estados Unidos, Europa e Japão, estando o resto concentrado no Oriente Médio e outras regiões desérticas (BAKER, 2012). A figura 1 apresenta a seletividade que a variação no tamanho dos poros proporciona. À medida em que os diâmetros dos poros diminuem, o grau de pureza da água aumenta.

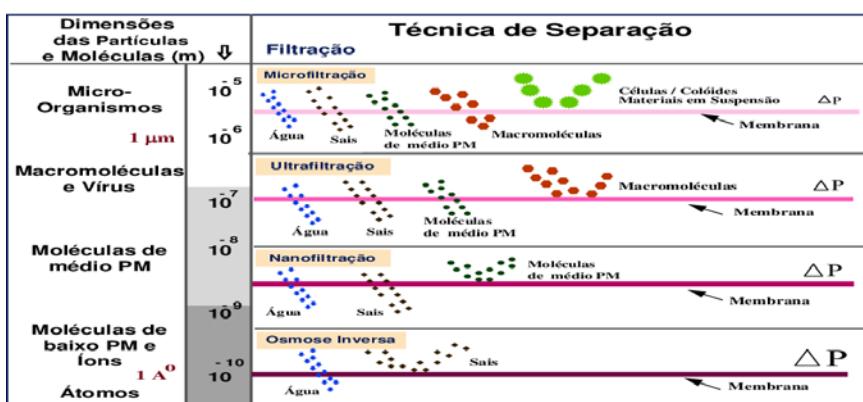


Figura 1- Seletividade na variação do tamanho dos poros

Fonte: Habert et al., 1997.

TRATAMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE MEMBRANAS

Neste tipo de processo ocorre remoção total de todos os sólidos suspensos incluindo turbidez e microrganismos (protozoários, bactérias e vírus) sem ter que adicionar reagentes mesmo que ocorram mudanças na qualidade da fonte de abastecimento. Este fato é devido à porosidade destas membranas UF que possuem 0,01 μm de tamanho e constituem-se numa barreira total. Esta característica faz este processo ser totalmente diferente dos processos convencionais. A eficiência total da UF para desinfecção tem sido amplamente pesquisada e demonstrada (JACANGELO et al., 1995). As escolhas de diferentes tecnologias de membranas utilizadas em tratamento de água são em função do tamanho dos poros das membranas e do diâmetro médio das partículas que se encontram nas águas as quais serão submetidas. Assim a microfiltração trabalha na faixa de tamanhos de partículas entre 10 e 0,1 mm, a ultrafiltração entre 0,2 e 0,001 mm e a nanofiltração, entre 0,01 e 0,0004 mm.

Segundo Mierzwa (2006), um aspecto de grande importância no processo de separação por membranas refere-se ao material que as membranas são fabricadas, especialmente para as poliméricas. Destacam-se duas características no tratamento de água em relação ao tipo de polímero utilizado nas membranas:

- O potencial para a formação de depósitos que está associado com sua afinidade à água;
- Resistência aos agentes oxidantes, pois algumas substâncias, em contato com a membrana, podem degradá-las;

O entupimento da membrana é o principal fator limitante do processo de ultrafiltração (UF). Embora a adsorção da matéria orgânica natural seja conhecida por causar um entupimento irreversível, as condições de operação irão influenciar o grau de irreversibilidade do entupimento.

Os agentes desinfetantes formam subprodutos quando reagem com a matéria orgânica natural (MON). Logo, existe uma preocupação, cada vez maior, para a remoção da MON nas águas brutas de abastecimento. Os processos mais utilizados para remoção de MON podem ser a coagulação associado com a sedimentação, a adsorção no carvão ativado granular (CAG), e a filtração por membranas. Destes, a coagulação é o mais amplamente usado. Quando a coagulação não pode atingir a concentração adequada de MON ou controlar a formação de subprodutos, outras tecnologias tais como CAG e nanofiltração podem ser usadas (JACANGELO et al., 1995).

O tratamento de água para abastecimento é a maior aplicação para este processo devido à grande variedade de poluentes que surgem frequentemente os quais, com o tratamento ciclo completo, não ocorre um nível de remoção adequado e devido à maior limitação da legislação em relação aos limites de poluentes permissíveis. A principal limitação do processo de ultrafiltração (UF) identificado no tratamento de água potável é o entupimento da membrana. As condições de operação irão influenciar o grau de irreversibilidade do entupimento. Estudos realizados por CROZES (1997) examinaram o impacto de vários parâmetros de operação sobre o entupimento das membranas, incluindo fluxo ou a vazão, velocidade do concentrado nas fibras ocas, frequência de retrolavagem, e pressão da transmembrana. Para estes testes, foram utilizadas as

membranas de derivado de celulose, hidrofílicas, membranas poliméricas acrílicas e hidrofóbicas. O teste mostrou que o entupimento irreversível pode ser controlado, se o entupimento reversível foi limitado durante o ciclo de filtração, pelo aumento da velocidade do concentrado, reduzindo-se o fluxo, e com o aumento da frequência de retrolavagem. O ciclo de filtração aumentou consideravelmente, com o correto controle dos parâmetros hidráulicos.

O tipo de água irá determinar a sua classificação em relação aos tipos de contaminantes a serem removidos. Podemos citar os mais comumente encontrados como as águas com turbidez variável e problemas de contaminação microbólica, com pouca turbidez e cor, problemas de dureza, contaminadas com pesticidas, solventes clorados, etc. e águas superficiais que apresentem todos os problemas de poluição citados. No primeiro caso, os problemas de contaminação estão relacionados com partículas e as membranas atuam como clarificadoras e desinfetantes na água. A coagulação, adsorção e oxidação são processos utilizados em associação com a micro ou ultrafiltração a fim de melhorar a performance do processo. Como já foi citado, de acordo com a característica da água bruta será escolhido o método de filtração mais adequado. Assim, para águas duras e/ou águas coloridas, empregam-se respectivamente a nanofiltração e a ultrafiltração com baixo peso molecular de corte. Assim, nos três casos citados no início deste parágrafo, os processos de membranas são suficientes para a potabilização. Nos casos de águas com poluição orgânica aguda ou crônica, ou acidentais, somente a técnica de filtração por membranas não seria capaz de remover todos os poluentes. Problemas com a contaminação de água potável devido à intrusão de sais nas águas subterrâneas tem sido pesquisada recentemente. Para as águas superficiais com alta concentração de matéria orgânica dissolvida, independentemente do peso molecular de corte, a MF e a NF não podem ser aplicadas diretamente para a produção de água potável. Estes tipos de águas apresentam turbidez média de 10 NTU com picos eventualmente maiores que 50 NTU, vários tipos e milhares de bactérias, vírus e microrganismos, alta concentração de matéria orgânica (COT de 3 a 6 mg/L), absorção em UV - 254 nm, e potencial de formação de THM entre 150 mg/L a 300 mg/L. Frequentemente, verifica-se a ocorrência de micropoluentes em altas concentrações, pesticidas ou solventes clorados, gerando problemas de odor e sabor. Altas e variadas concentrações de amônia (0,5 mg/L) e algum conteúdo mineral também são encontrados.

A baixa turbidez que algumas águas brutas apresentam poderiam dispensar o pré-tratamento de clarificação. No entanto, elas podem apresentar problemas de dureza, salinidade ou cor as quais estão geralmente acompanhadas por alta concentração de matéria orgânica que poderia contribuir para a formação de produtos durante o passo final da cloração. E mais, algumas águas podem ser contaminadas com micropoluentes orgânicos, atacando os tecidos das membranas. A remoção de pesticidas e outros micropoluentes orgânicos são eliminados satisfatoriamente na filtração por membranas. A retenção dos compostos depende de sua natureza, sendo fortemente influenciada pelo material aplicado na membrana, dependendo, também, da composição da água bruta e das condições de processo. O uso de NF dá um alto grau de eliminação de material orgânico, mas geralmente necessita ser associado com a oxidação e/ou a adsorção para garantir uma remoção total de pesticidas. O processo conhecido como CRISTAL que é um tratamento combinado, usa UF com adsorção sobre carvão ativado, podendo com isto eliminar altas proporções de matéria orgânica (Anselme, 1994). Este processo tem duas vantagens sobre a nanofiltração: pode eliminar totalmente os pesticidas, e não retém sais. Além disto, pode ser aplicado diretamente no tratamento de águas superficiais.

A poluição por micropoluentes pode ser removida através de associações de tecnologias de membranas com tratamentos convencionais como oxidação, floculação, coagulação ou adsorção sobre carvão ativado. Somente uma combinação de tratamento como oxidação, coagulação, adição de carvão ativado pulverizado e microfiltração torna possível a remoção de diferentes compostos orgânicos em uma água superficial (matéria orgânica natural, micropoluentes, precursores de trihalometanos, compostos causadores de odor e sabor) e pode produzir uma água tratada cumprindo os padrões de potabilidade, fornecendo um eficiente processo de desinfecção final. Comparativamente, os processos do tratamento de ciclo completo apresentam forte dependência das características da água a ser tratada e das condições de operação da estação de tratamento, isto é, concentrações dos reagentes, pH, temperatura, tempo de contato e de parâmetros hidráulicos entre outros. Isto confere uma limitação na sua qualidade e confiabilidade.

REPRESA GUARAPIRANGA E SUAS CARACTERÍSTICAS GERAIS

A RMSP é considerada a maior área urbana brasileira e apresenta o desafio de buscar soluções para o abastecimento público de água, em termos de qualidade e de quantidade necessárias à sua população. Ela é formada por 39 municípios, ocupa uma área de 8.051 km² e conta com uma população estimada em 21,6 milhões de pessoas (EMPLASA, 2018). Os maiores mananciais da RMSP (Cantareira, Billings e Guarapiranga) são responsáveis por aproximadamente 70% do abastecimento desta região. São caracterizados por apresentarem problemas de desmatamento, urbanização, despejos de esgotos, assoreamento e erosão no entorno. A ocupação desordenada provocou a retirada das matas ciliares na maior parte dos corpos d'água da RMSP.

Em 1.908, a Companhia Light & Power construiu a represa Guarapiranga com a finalidade de geração de energia elétrica. Somente em 1924 sua funcionalidade passou a ser o abastecimento público da cidade de São Paulo. A represa situa-se na porção sudeste da RMSP, fazendo parte do território de Itapecerica da Serra (183 km²) e Embu Guaçu (162 km²), parte dos municípios de São Paulo (211 km²) e Embu das Artes (41 km²), além de porções relativamente pouco extensas e pouco habitadas dos municípios de Juquitiba, São Lourenço da Serra e Cotia totalizando uma área de 638 km². O relevo da bacia é variado, com elevações da ordem de 730 m a 900 m de altitude em alguns pontos da divisa com a bacia do Rio Cotia e a Serra do Mar, com clima tropical úmido e tropical suboceânico e superúmido. O regime de precipitação na bacia caracteriza-se por um período seco, entre abril e setembro, e outro mais úmido (chuvisco), entre outubro e março (Bicudo, 2010). As áreas com vegetação remanescente de Mata Atlântica, essenciais para a manutenção da capacidade de produção hídrica e para o equilíbrio ambiental da região, encontram-se reduzidas a menos da metade. Até mesmo as Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram ocupadas, o que causa sérias consequências para a produção de água (Borelli, 2006; Whately & Cunha, 2006). Pelo censo de 2000, foram registrados aproximadamente 750 mil habitantes na área da bacia, sendo que 88% contavam com abastecimento de água e 53% com coleta de esgoto (COBRAPE, 2011). Da população que não era servida pela rede de coleta de esgoto 16% possuíam fossa séptica e 30% despejavam seu esgoto em valas e cursos d'água (Whately & Cunha, 2006; SMA, 2008).

A represa Guarapiranga é um dos mananciais mais ameaçados da RMSP devido à ocupação desordenada que lança esgotos neste manancial contribuindo para o aumento da má qualidade da água. A ocupação urbana promove o desmatamento das matas ciliares nas áreas de manancial, causando a erosão do solo, assoreamento dos rios e diminuindo também a capacidade natural de produção de água. Além disso, a ocupação na Guarapiranga é caracterizada por áreas extremamente adensadas por residências deficientes em infraestrutura, principalmente no que se refere à coleta de esgoto (SMA, 2008; Whately & Diniz, 2009; Andrade, 2015).

Apesar disto, ultimamente devido ao período de escassez de chuvas na região sudeste esta passou a ser, temporariamente, responsável pelo abastecimento da maior parte da população da RMSP ultrapassando o sistema Cantareira. A principal fonte de poluição são os despejos domésticos recorrentes das ocupações mal planejadas. A ocupação nas margens da Guarapiranga tem gerado grande impacto ambiental, desde 1960 a represa tem sido reportada como eutrófica (Mozeto, et al., 2001) e a produtividade primária considerada como hipereutrófica em pontos onde o reservatório recebe a descarga de seus tributários. No início da década de 1980, as florações de cianobactérias se intensificaram e passaram a influenciar o processo de tratamento da água (Pompêo, 2008; Otomo, et al., 2015). Segundo levantamento realizado no banco de dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) foi identificado que no ano de 2000, pouco mais de 75% da população total da RMSP era atendida por coleta de esgoto e somente metade do esgoto coletado era efetivamente tratado, sendo restante despejado pelas redes públicas de coleta de esgoto em rios e córregos, inclusive em mananciais de abastecimento como a Billings e Guarapiranga (Whately & Diniz, 2009).

O consumo de produtos químicos utilizados no tratamento das águas captadas na represa Guarapiranga foi 25% superior em relação as outras estações de tratamento de água (ETAs) da RMSP (COBRAPE, 2011).

O despejo de esgotos e de poluição resulta em grandes aportes de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e de coliformes totais. A deterioração da qualidade da água vem ocorrendo desde a década 80, quando foram registrados relatos do incremento de florações de algas e crescente processo de eutrofização do reservatório. Essa tendência continua até os dias atuais e pode ser medida através da quantidade de algicidas aplicados para conter essas florações, bem como na quantidade de produtos químicos utilizados na ETA ERJCS, onde o tratamento da água utiliza tecnologias avançadas e com custos crescentes. Ultimamente, o excesso de poluição

na represa fez surgir as “ilhas de plantas”. Estas são formadas por enormes quantidades de plantas aquáticas (macrófitas aquáticas) principalmente alface d’água (*Pistia stratiotes*), *Salvinia (Salvinia auriculata)* e *Polygonum sp*, conhecida como erva-de-bicho. Em quantidades excessivas provocam fonte adicional de matéria orgânica e assoreamento da represa (Whately & Cunha, 2006). Ambientes eutrofizados favorecem eventos de florações de algas e cianobactérias, como já foi citado, no entanto, vale destacar os compostos odoríferos 2-metilisoborneol (MIB) e trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol (Geosmina) que ocorrem frequentemente neste manancial. Estes compostos conferem gosto e odor de terra e mofo à água, sendo detectados a concentrações bastante baixas, da ordem de 10 ng/L (YOUNG et al., 1996). Eventualmente, a água potável distribuída apresenta gosto e odor de mofo e terra devido à presença de MIB e Geosmina, respectivamente, uma vez que estes compostos são pouco removidos pelos processos convencionais de tratamento (HOEHN; MALLEAVIALLE, 1995; SRINIVASAN; SORIAL, 2011). O gosto e o odor são considerados como problema estético pelos Órgãos reguladores, não afetando diretamente a saúde. Isto se reflete nos padrões de potabilidade estabelecidos por diversos países. No Brasil, gosto e odor enquadram-se na categoria de padrões de aceitação, sendo seu valor máximo permitível de intensidade 6 (BRASIL, 2017). Alguns autores como Jardine, Gibson e Hrudey (1999) argumentam que gosto e odor têm um efeito indireto sobre a saúde, pois afirmam que água de gosto desagradável pode causar efeitos psicossomáticos, como dores de cabeça, estresse e náusea, afetando particularmente aos grupos mais vulneráveis da população.

A Figura 2 apresenta os três maiores sistemas produtores de água da RMSP e a densa ocupação de moradias ao redor da represa Guarapiranga.



Figura 2-Os três grandes sistemas produtores de água da RMSP e a represa Guarapiranga, respectivamente, cujo entorno apresenta grande urbanização.

Fonte: <https://vejasp.abril.com.br/cidades/represa-Guarapiranga-problemas-ambientais/> 2017.

PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017

A Portaria 2.914, agora substituída pela Consolidação 5, estava em vigor desde 2011. Sua função, desde a data de sua publicação, foi a de dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, isto é, do seu padrão de potabilidade. Agora substituída pela Consolidação 5 ou PRC nº 5, as leis do setor demandam novamente a atenção de gestores e especialistas.

Quando se diz que uma portaria é “revogada por consolidação”, o efeito prático é o de trocar algo que funcionava de modo provisório por uma lei permanente. Em outras palavras, agora, as deliberações estão consolidadas, gravadas nas leis de forma definitiva.

Alguns artigos ou mesmo capítulos da portaria 2.914 eram contraditórios com trechos de alguns outros documentos da área. Esses detalhes foram corrigidos e a expectativa é que agora se possa contar com um corpo de normas mais coeso. Os padrões não foram alterados. As normas às quais os especialistas estão acostumados são as mesmas.

No que diz respeito à frequência e prazo das análises, as coisas permanecem mais ou menos as mesmas também.

A mudança mais significativa foi no prazo estipulado para que as empresas atinjam o valor máximo para filtração da água. Antes, elas tinham 24 meses para chegar ao valor de 0,5 UT para filtração rápida. Agora, esse prazo não existe mais.

As mudanças mais significativas são mesmo a centralização do conteúdo da lei em um documento único e a sua perenidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho foi realizada em quatro etapas por um período total de dois meses. Na primeira etapa, foi feita uma pesquisa através de dados secundários referenciados neste trabalho a respeito das características da ETA ERJCS e do sistema de membranas da mesma. Na segunda etapa, foram executadas as etapas de operação do sistema de membranas, através de comando executado por programa específico, KOCH membrane systems, salvo nos casos em que houve necessidade de operação em local, e feitas as observações pertinentes a cada etapa do processo de funcionamento. Na terceira etapa, foram coletadas as informações referentes ao consumo e gasto de energia por meio de entrevista com pessoal especializado que atua na parte elétrica e instrumental, além de consulta de manuais técnicos e coleta de dados em campo tanto do sistema de membranas como de ciclo completo. Na quarta etapa, tratou-se da execução e avaliação dos resultados de análises laboratoriais para a verificação da qualidade da água a qual foi realizada no âmbito do Laboratório de operação da ETA ERJCS, responsável monitoramento do tratamento conforme os padrões de qualidade de água tratada para consumo humano referente à Portaria de Consolidação 5, anexo XX, aos limites internos de qualidade da ETA ERJCS e as metodologias de ensaios de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Foram feitas análises físico-químicas para efeitos de comparação em relação ao sistema de ciclo completo, portanto não foram realizados todos os parâmetros constantes na Portaria PRC5, anexo XX.

DESENVOLVIMENTO

CARACTERIZAÇÃO DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

A ETA ERJCS é abastecida pelo Sistema produtor Guarapiranga o qual é o segundo maior produtor de água da RMSP, responsável por atender aproximadamente 4,9 milhões desta região. Está localizada em um bairro residencial próximo a vias de grande circulação na zona sul da capital paulista. Utiliza-se da água da represa Guarapiranga por bombeamento 24 horas. Inicialmente, foi projetada para tratar 14,0 m³/s. A produção média é de 14,5 m³/s para o sistema de ciclo completo e de 1,0 m³/s no tratamento por membranas ultrafiltrantes, o que totaliza 15,5 m³/s. A área do tratamento é de, aproximadamente, 39123 m².

A água bruta é captada na estação elevatória por um conjunto de seis grupos moto - bombas e chega à estação por uma adutora de diâmetro 2.500mm e 7,2 km de extensão. Possui basicamente uma câmera de chegada de água bruta onde ocorrem a mistura com coagulante e polímero, este último age como auxiliar de coagulação, dois medidores de vazão nas duas adutoras de água coagulada, oito flokuladores, oito decantadores de fluxo horizontal, 32 filtros rápidos formados por carvão antracito e areia sobre camada suporte de pedregulho, instalações para estocagem de produtos químicos, quatro extintores de cal, seis cloradores, cinco evaporadores de cloro, dois reservatórios subterrâneos com capacidade total de 45.000 m³, dois reservatórios metálicos do tipo apoiado com 40.000 m³ de capacidade total e tanques de armazenamento de produtos químicos.

A Figura 3 mostra o sistema de membranas e o sistema de ciclo completo.



Figura 3-Vista aérea da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva. Evidência da diferença de área ocupada pelo sistema de membranas e o sistema de ciclo completo.

Fonte: Google maps, 2018.

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEMBRANAS DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

A implementação do Sistema de membranas ultrafiltrantes ocorreu devido à crise hídrica nos anos de 2014 e 2016 a fim de aumentar a disponibilidade hídrica na RMSP. Com as medidas emergenciais tomadas por causa da escassez de chuvas na região do Cantareira, o Sistema Guarapiranga se tornou o principal sistema de abastecimento de São Paulo em 2015. A utilização dessas membranas permite a redução no tempo de tratamento da água. O processo que demoraria duas horas, em média, passou a ser concluído entre 20 e 30 minutos. O funcionamento é automatizado e utiliza uma quantidade menor de produtos químicos. As membranas foram importadas da Alemanha.

A primeira fase do projeto foi concluída no final de 2014 sendo entregues seis módulos de unidades de ultrafiltração e a segunda fase foi concluída em agosto de 2015 sendo entregues mais seis módulos. Estes 12 módulos totalizam um acréscimo de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ de vazão para o tratamento.

A área total ocupada pelos doze *Skids* é cerca de $800,0 \text{ m}^2$. A área de todo o sistema é de, aproximadamente, 2.489 m^2 .

A recuperação da água que entra no sistema é de 94%. Destes, 90% vai para o sistema de ciclo completo para ser tratada e 6% é descartado como efluente de acordo com os parâmetros de lançamento de efluentes líquidos do Decreto 8468/76. O gasto com produtos químicos é de, aproximadamente, R\$ 0,020/m³ para o sistema de membranas e de R\$ 0,057/ m³ para o de ciclo completo. (CAMELO, A.C.R.; COUTINHO, M., 2016)

O produto, denominado PURON® HF, é composto por módulos de membranas submersas com fibra oca reforçada fabricada em PVDF (fluoreto de polivinilideno) com poros de $0,03 \mu\text{m}$, possui a maior densidade de empacotamento do mercado (2650m^2) e uma tolerância a concentrações de sólidos suspensos superior a 1000mg/L.

O sistema possui processos de retrolavagem, com auxílio de aeração, limpezas químicas de manutenção e recuperação, com ácido cítrico e hipoclorito de sódio, cujo objetivo é retirar as incrustações que se aderem aos poros da membrana. A Figura 4 mostra o módulo de membranas os quais compõem o sistema de membranas da ETA ERJCS.



Módulo PURON® HF HF2650

Figura 4- Representação de um módulo de membranas

Fonte: Manual de operação e manutenção-Módulo PURON HF, 2015.

O produto, denominado PURON® HF, é composto por módulos de membranas submersas com fibra oca reforçada fabricada em PVDF (fluoreto de polivinilideno) com poros de 0,03 µm, possui a maior densidade de empacotamento do mercado (2650m^2) e uma tolerância a concentrações de sólidos suspensos superior a 1000mg/L.

O sistema é composto por:

- Cinco bombas de alimentação as quais tem a função de introduzir a água para dentro dos módulos;
- Duas unidades com capacidade de reter partículas de até 1mm e quatro unidades com capacidade de reter até 300 µm;
- Válvulas pneumáticas-para funcionamento dos sistemas de alimentação dos *Skids* (módulos), aeração, ventilação, permeado, comporta de alinhamento de drenagem;
- Válvulas solenoides;
- 12 tanques de membranas;
- 84 módulos;
- 12 bombas de lóbulo-para sucção de água permeada;
- Dois sopradores de ar-para funcionamento do sistema de aeração;
- Dois compressores de ar-para funcionamento de válvulas de ar pressurizado;
- Três bombas de retorno de dreno;
- Três bombas dosadoras de hipoclorito;
- Três bombas dosadoras de ácido cítrico;
- Uma bomba de carregamento de hipoclorito-para encher o tanque de hipoclorito;
- Uma bomba de carregamento de ácido cítrico- para encher o tanque de ácido cítrico;

A seguir as fotografias 1,2,3 e 4 mostram as fibras e módulos de membranas, *Skid* coberto de água decantada e água suja durante o processo de limpeza e parte das bombas e tubulações do sistema de membranas, respectivamente.



Fotografia 1-Fileira de membranas para o módulo

Fonte: O autor, 2018.



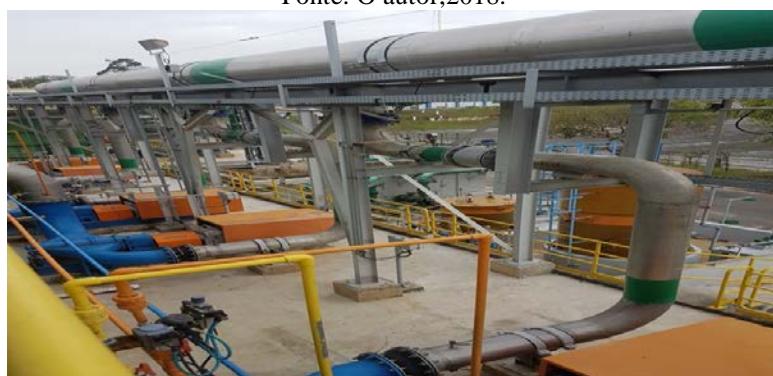
Fotografia 2- Skid com membranas submersas em água decantada

Fonte: O autor, 2018.



Fotografia 3- Skid com membranas submersas em água suja devido ao processo de limpeza das membranas.

Fonte: O autor, 2018.



Fotografia 4- bombas de lóbulos dentro das caixas laranjas, linha de hipoclorito de sódio em amarelo, linha de ácido cítrico em laranja, tanques de hipoclorito de sódio e ácido cítrico, tubulação de aço inferior de água permeada e superior de água decantada/bruta.

Fonte: O autor, 2018.

FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE MEMBRANAS

As operações foram feitas automaticamente através de programa específico, *KOCH membrane systems*. Quando alguma manobra não respondia por controle automático a mesma foi feita em local, assim como intervenções para medidas de reparo e ou manutenção efetuadas pelas equipes especializadas na parte elétrica, instrumental e ou mecânica. O sistema foi alimentado por dois pontos distintos: um da entrada de água bruta do sistema de ciclo completo e outro do canal de água decantada.

A água bruta que entrou no sistema necessitou de tratamento químico onde a coagulação foi utilizada, pois serviu tanto para ajudar no processo de filtração quanto para a remoção do material orgânico, a oxidação com

cloro que serviu para realizar a redução de DBO², DQO³, amônia, fósforo e compostos orgânicos não biodegradáveis, porém o ajuste de pH não foi necessário. Após a seleção do tipo de água succionada pelas bombas de alimentação, a mesma seguiu para os pré-filtros (primeiro os de 1 mm e depois os de 300 µm) para a remoção de sólidos suspensos que podiam obstruir as membranas.

Durante a filtração, a água foi introduzida no tanque de membrana, conhecido como *Skid*, então a água permeada, a qual passou pelas membranas, foi extraída por vácuo parcial no interior das fibras das mesmas. Os sólidos que se acumularam no *Skid* tiveram suas concentrações controladas através de drenos ou descarte de pequeno fluxo do rejeito para fora do *Skid*. A unidade de filtração podia funcionar no modo *dead end*, mais usado, onde os níveis de sólidos nos *Skids* foram controlados usando uma combinação de drenagem parcial e drenagem completa do *Skid* e o modo *feed and bleed* em que os níveis de sólidos foram controlados por um descarte contínuo.

O fluxo de permeado dos *Skids* se dirigiu às bombas de lóbulo, cada uma para cada *Skid*, as quais operaram em dupla rotação: succão de água permeada e realização do processo de retrolavagem. Após, o permeado seguiu para o canal principal de água tratada que se misturou com a água do tratamento ciclo completo recebendo os produtos químicos desta etapa do tratamento.

O sistema necessitou de aeração periódica a fim de manter a permeabilidade e os módulos livres de deposição de sólidos.

A seguir são apresentadas as características das principais etapas do processo.

PROCESSO DE RETROLAVAGEM

Foi utilizado para controlar a concentração de sólidos na superfície da membrana. Neste processo, a água foi forçada para cima no interior de cada fibra de membrana contida no módulo. A frequência de retrolavagem variou entre 10 a 40 minutos a qual dependeu da concentração de sólidos e a duração foi entre 20 e 60 segundos.

PROCESSO DE AERAÇÃO

Foi utilizada em conjunto com a retrolavagem a fim de controlar a concentração de sólidos na superfície da membrana. Iniciou entre 15 e 60 segundos antes da retrolavagem e terminou entre este mesmo período. Ocorreu o modo *dead end* e o *feed and bleed*.

PROCESSO DE LIMPEZA DAS MEMBRANAS COM PRODUTOS QUÍMICOS

Esta limpeza foi necessária para eliminar uma incrustação mais forte na superfície da membrana que ficaram depositados quando não foram retirados pela retrolavagem o que contribuiu para diminuir a permeabilidade da membrana. Utilizou-se solução de hipoclorito de sódio de concentração 12% para remover incrustação orgânica e biológica. A solução de ácido cítrico 50% foi utilizada para remover a incrustação de ferro, sais metálicos e sais de cálcio entre outros. É recomendado uma limpeza com hipoclorito de sódio de baixa concentração uma vez por dia a uma vez por semana afim de manter o sistema sanitizado, evitar o excesso de bactérias e incrustações.

²DBO-Demandâ Bioquímica de Oxigênio corresponde à quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica no meio aquático por processos biológicos, sendo expresso em miligramas por litro (mg/L). É o parâmetro mais empregue para medir poluição.

³DQO-Parâmetro que mede a quantidade de matéria orgânica suscetível de ser oxidada por meios químicos que existam em uma amostra líquida. Expressa em mg O₂/litro.

LIMPEZA DE MANUTENÇÃO

Existem a limpeza padrão e a intensiva. No primeiro caso, é uma limpeza de curta duração e baixa concentração para estender o tempo de limpeza de recuperação. Foi utilizada a solução de hipoclorito de 100,0 a 200,0 mg/L e a de ácido cítrico 2000,0 mg/L (pH entre 2,05 e 3,0), quando as membranas apresentaram alta incrustação. As membranas foram imersas nestas soluções separadamente ocorrendo enxague com água entre uma solução e outra. Na limpeza intensiva, utilizaram-se os mesmos produtos químicos com as mesmas concentrações, mas o uso da solução de ácido cítrico foi obrigatório acompanhada de aeração. As membranas ficaram submersas no molho químico por um período de 10 a 30 minutos.

LIMPEZA DE RECUPERAÇÃO

Esta limpeza foi utilizada quando a membrana apresentou alta sujidade e não poderia mais operar naquelas condições, pois sua pressão foi de 0,6 bar, o que significa uma pressão máxima para permitir a melhor permeabilidade nas membranas. O processo foi semelhante à limpeza de recuperação intensiva, mas utilizou-se a concentração de hipoclorito de sódio de 500,0 a 1000,0 mg/L. O molho químico foi entre 2 ou 8 horas. Após efetuadas as limpezas os Skids foram drenados com água permeada e está água residual foi encaminhada para o tanque de descarte.

FREQUÊNCIA DE LIMPEZA

Devem ser levados em consideração os fatores como temperatura operacional, tipo de água, química específica do fluido que é submetido à filtração, conclusão do processo de degradação biológica, taxa de fluxo do permeado, Intensidade da aeração, potencial de incrustação do fluido e condição da membrana.

OBTENÇÃO DOS DADOS QUANTO AO CONSUMO E CUSTO ENERGÉTICOS

Para o objetivo de avaliar consumo e o gasto de energia entre os dois sistemas, foram feitas pesquisas por meio de entrevistas com perguntas específicas para dois profissionais especializados. Um profissional, cujo cargo é de encarregado responsável pelo setor de elétrica e instrumentação e formação na área de engenharia elétrica e outro cujo cargo é de instrumentista responsável pela manutenção de equipamentos e formação na área técnica de eletricidade. As medições de energia foram feitas através de aparelhos digitais medidores de grandezas elétricas de forma direta, medidores multiparâmetros, colocados em pontos específicos de medição onde ocorria a entrada de energia nas subestações para cada sistema de tratamento.

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PERMEADA

A fim de avaliar a qualidade da água que sai do sistema de membranas, foram realizados ensaios no laboratório de operação da ETA ERJCS, para os parâmetros de alumínio, cloro residual livre, cor, ferro, flúor, manganês, pH, turbidez. O laboratório atende às normas de qualidade para execução dos ensaios e à Portaria de Consolidação nº 5, anexo XX para os limites de cada parâmetro. Os dados coletados referem-se à média mensal de cada parâmetro obtida no ano de 2017 e estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 no Capítulo Resultados e Discussões, mais adiante.

Para a execução dos ensaios foram utilizados os seguintes métodos, todos referenciados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*:

- Alumínio-método fotométrico ECR (Hach);
- Cor-método colorimétrico com equipamento digital;
- Cloro Residual Livre-método titulométrico com DPD;
- Ferro- método fotométrico Triazina (Merck);
- Flúor-método com eletrodo de íon seletivo;
- Manganês- método fotométrico Formaldoxima (Merck);
- pH-método potenciométrico;
- Turbidez-método com turbidímetro digital;

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do sistema de membranas teve como base a necessidade da escolha de pré-tratamento a qual estava atrelada às características da água bruta para que as membranas pudessem operar com os parâmetros requeridos pelo fabricante, a área requerida, a qualidade da água tratada e os custos de implantação, operação e manutenção. Através de informações técnicas, foi determinada a área requerida pelo sistema de membranas e o número de *skids* necessários para a vazão de produção da ETA. O tipo de membrana e o fabricante são de suma importância para implementação do sistema que está atrelado a cada tipo de tratamento, no caso, água para consumo. As informações técnicas geralmente especificam um ou mais parâmetros para a filtração direta. Tais parâmetros são importantes, pois definem a capacidade de filtração e a eficiência das membranas.

Segundo Tian et. Al (2013), em seu estudo sobre a correlação entre importante deteriorante de membranas ultrafiltrantes e a resistência dessas membranas, o principal indicador de deterioração das membranas, que também será um indicador de custos operacionais e eficiência do sistema, são os biopolímeros, macromoléculas como polissacarídeos e proteínas, apresentando uma correlação considerada muito forte entre concentração dessas substâncias e a deterioração das membranas. Outro fator a ser considerado é a matéria particulada, representada tanto pelos sólidos suspensos quanto pela turbidez, podendo ser utilizada como indicador principal de deterioração, o que indica a necessidade do pré-tratamento ou não dependendo dos valores. Estes fatores foram verificados quando houve bastante alarmes de alerta no sistema de membranas devido à presença destas partículas.

O pré-tratamento tem como objetivo obstruir substâncias causadoras de deterioração da membrana. Essas substâncias causam diminuição gradativa do fluxo de água, o que é operacional e economicamente ruim. Arhin et al (2016) faz uma revisão das principais técnicas de pré-tratamento e sua relação com o controle da deterioração das membranas. Dentre elas, coagulação, adsorção em carvão ativado e resinas de troca iônica. Segundo Kabsch-Korbutowics, Bilyc e Molezan (2006) e Bing-zhi et al (2007) as matérias orgânicas naturais na água a ser tratada são consideradas as principais substâncias responsáveis pela deterioração do fluxo. Na ETA ERJCS, por conta destes e outros interferentes que afetariam o processo de tratamento com membranas, a água utilizada para tratamento passou a ser da água bruta para a água decantada a fim de evitar rápida deterioração das membranas. Foi observado que durante a aplicação de carvão ativado na água bruta para remoção de gosto e odor, mesmo utilizando-se água decantada, as partículas de carvão causam um entupimento progressivo no sistema de membranas que causam deterioração do fluxo. Por isto, ao ser aplicado carvão ativado na água bruta, para remoção de gosto de odor na represa Guarapiranga, e esta estiver sendo utilizado diretamente no sistema de membranas ou utilizando-se água decantada cujo número de partículas de carvão é bem menor, optou-se por parar o sistema de membranas. Caso contrário, deveria ser feito um pré-tratamento para remoção das partículas de carvão ativado.

Quanto à área requerida, foi determinado pelo projeto proposto levando-se em consideração o volume de água a ser tratado para avaliar a quantidade de *skids*, bombas, pré filtros, sopradores, compressores, área de armazenamento e dosagem de produtos químicos e sala de painéis elétricos e de comandos. Os *skids* reúnem um conjunto de membranas e tubulações já pré-alocados que necessitam somente a interligação ao sistema principal de tubulações e bombas para entrar em funcionamento. Assim como as membranas individuais, possuem vazão de produção estimada, já considerando as perdas com retrolavagem. Além disso, requerem uma área pré-calculada, que é exposta nas informações do produto. A área necessária para o sistema de ciclo completo é cerca de seis vezes mais do que o sistema de membranas para atender a uma mesma vazão. Para este cálculo foi levado em consideração a área do sistema de ciclo completo que envolveram os floculadores, decantadores e filtros cuja relação área/volume foi de $2.239,9 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Para o sistema de membranas foi levado em consideração a área dos *Skids* cuja relação área/volume foi de $400,0 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Logo, $2.239,9 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^3 / 400,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^3 = 5,6$. Quanto à demanda de energia e aos custos energéticos, foram obtidos os valores conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1-Comparação do consumo e gasto de energia entre os sistemas de Membranas de Ultrafiltração e de Ciclo Completo no ano de 2017.

Dados	ETA Membranas	ETA Ciclo Completo
Consumo Kwh/ m ³	0,090	0,017
*Custo R\$/ 1000 ³	24,300	4,590

*Valor médio de R\$ 0,27 do kwh para região sudeste do Brasil, para serviço de saneamento, ano de 2017.
Fonte: O autor,2018.

De acordo com os dados da Tabela 1, o consumo e o custo de energia para o sistema de membranas são cerca de cinco vezes a mais do que os de ciclo completo.

No quesito custos de implantação, o custo inicial é o mais elevado pois está relacionado ao investimento, principalmente, na aquisição dos materiais. Segundo Mierzwa et al (2008), o custo de aquisição de membranas pode ser de quase 50% do investimento inicial total. O custo torna-se competitivo em relação ao sistema de ciclo completo com carvão ativado em termos de qualidade, ou seja, para que este alcance a mesma qualidade do sistema de membranas seu custo seria aumentado. Segundo dados da Sabesp, o custo inicial do sistema de membranas ultrafiltrantes é 25% maior do que o sistema de ciclo completo (SABESP,2016).

Quanto à qualidade da água, a filtração por membranas é uma técnica promissora por remover pesticidas e outros micropoluentes orgânicos da água. A retenção dos compostos depende de sua natureza, sendo fortemente influenciada pelo material aplicado na membrana, dependendo, também, da composição da água bruta e das condições de processo. Segundo Snyder et al (2007) mostra que membranas ultrafiltrantes podem ser eficientes para bloquear o triclosan (rejeição de 87,5%), embora sejam pouco eficientes para bloquear cafeína (rejeição de 7%), ibuprofeno (rejeição de 8,3%) e carbamapezina (rejeição de 15, 7%). A remoção de Giárdia e *Cryptoporiidium* é de 99,9 %, há ausência de coliformes fecais para uma amostra de 100 ml e eliminação acima de 95,0% para partículas de tamanho até 20,0 µm (CENTROPROJEKT,2016). Conforme já citado, as membranas utilizadas possuem poros de 0,03 µm o que promove a remoção de partículas, substâncias, vírus e bactérias nesta faixa. A Figura 5 exemplifica a grande vantagem na remoção de compostos cujos tamanhos são maiores do que o tamanho dos poros na ultrafiltração.



Figura 5-Representação da retenção de compostos de acordo com o tamanho do poro da membrana
Fonte: <http://www.naturaltec.com.br/ultrafiltracao> (2018).

A fim de verificar a eficiência na remoção de alguns compostos presentes na água, foram realizados ensaios no laboratório de operação da ETA ERJCS cujos resultados encontram-se nas Tabelas 2 e 3 a seguir.

Tabela 2-Valores dos Parâmetros monitorados da água tratada pelo Sistema de Membranas por Ultrafiltração da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva no ano de 2017.

	Cor (UC)	pH	Turbidez (NTU)*	Cloro residual livre (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
PRC 5 /2017*** VMP	15 uH**	Entre 6,0 e 9,500	5,000 uT	5,000	1,500
Janeiro	2,900	6,320	0,100	0,980	0,080
Fevereiro	3,100	6,320	0,090	0,720	0,100
Março	2,500	6,560	0,090	1,200	0,008
Abril	3,000	6,500	0,090	1,120	0,008
Maio	2,600	6,290	0,120	1,150	0,007
Junho	2,500	6,330	0,080	0,820	0,009
Julho	2,000	6,410	0,080	0,950	0,008
Agosto	2,300	6,390	0,110	1,200	0,006
Setembro	2,900	6,190	0,100	0,850	0,007
Outubro	2,100	6,270	0,090	0,770	0,009
Novembro	2,200	6,420	0,090	1,200	0,007
Dezembro	2,500	6,790	0,100	0,850	0,009
Média	2,550	6,339	0,095	0,984	0,021
	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)		
PRC 5 /2017 *** VMP	0,200	0,300	0,100		
Janeiro	0,020	0,005	0,012		
Fevereiro	0,010	0,019	0,015		
Março	0,025	0,008	0,025		
Abril	0,023	0,017	0,008		
Maio	0,029	0,001	0,014		
Junho	0,023	0,005	0,006		
Julho	0,010	0,005	0,005		
Agosto	0,024	0,003	0,028		
Setembro	0,018	0,004	0,012		
Outubro	0,026	0,006	0,010		
Novembro	0,014	0,005	0,008		
Dezembro	0,013	0,006	0,006		
Média	0,020	0,007	0,012		

*1NTU equivale a 1uT.

**1uH equivale a 1UC.

*** VMP-Valor máximo permitível para água final da Portaria de Consolidação nº 5, anexo XX.

Fonte: O autor, 2018

Tabela 2-Valores dos Parâmetros monitorados da água tratada pelo Sistema de Ciclo Completo da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva no ano de 2017.

	Cor (UC)	pH	Turbidez (NTU)*	Cloro residual livre (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
PRC 5 /2017***					
VMP	15 uH**	Entre 6,0 e 9,5	5,000 UC	5,000	1,500
Janeiro	3,200	6,089	0,320	1,750	0,109
Fevereiro	3,500	6,112	0,260	1,365	0,098
Março	2,900	5,962	0,310	1,552	0,122
Abril	3,200	5,996	0,390	1,856	0,129
Maio	3,100	6,002	0,410	1,645	0,102
Junho	2,800	6,125	0,260	1,335	0,089
Julho	3,300	6,254	0,270	1,023	0,139
Agosto	3,400	5,986	0,290	1,556	0,144
Setembro	2,900	5,965	0,330	1,340	0,109
Outubro	3,000	6,105	0,280	1,268	0,124
Novembro	3,100	5,992	0,350	1,026	0,119
Dezembro	3,300	6,002	0,350	1,754	0,123
Média	3,142	6,049	0,318	1,456	0,117
PRC 5 /2017***					
VMP	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)		
	0,200	0,300	0,100		
Janeiro	0,063	0,010	0,018		
Fevereiro	0,055	0,010	0,022		
Março	0,066	0,018	0,015		
Abril	0,075	0,023	0,017		
Maio	0,069	0,020	0,024		
Junho	0,082	0,025	0,033		
Julho	0,063	0,009	0,014		
Agosto	0,070	0,018	0,023		
Setembro	0,056	0,009	0,018		
Outubro	0,059	0,008	0,012		
Novembro	0,062	0,010	0,025		
Dezembro	0,059	0,011	0,015		
Média	0,065	0,014	0,020		

*1NTU equivale a 1uT.

**1uH equivale a 1UC.

*** VMP-Valor máximo permitível para água final da Portaria de Consolidação nº 5, anexo XX.

Fonte: O autor,2018.

A partir dos resultados obtidos foi verificado que os valores dos dois tipos de sistemas estiveram bem abaixo do limite máximo permitível pela Portaria PRC5/2017 para a água final. A referência foi da água final, pois esta é a distribuída para o consumo. A Portaria não possui valores dos parâmetros de potabilidade para água filtrada, somente para a turbidez cujo valor máximo permitível é de 0,500 NTU. De acordo com os dados das tabelas 2 e 3, ao comparar o sistema de membranas em relação ao de ciclo completo, houve remoção, a mais, de 18,79% de cor, 31,80% de turbidez, 32,42% de cloro livre, 82,05% de flúor, 69,23% de alumínio, 64,28% de ferro, e 40,00% de manganês. Os compostos causadores de gosto e odor, Metilisoborneol e Geosmina, não puderam ser executados devido a restrições internas naquele período. Somente foram obtidos os valores para a água final⁴.Foram encontradas as médias anuais de 45,0 ng/L⁵ para o MIB e valores abaixo de 4,0 ng/L⁶ para a GEO

⁴ Denominação para a água que passou por todas as etapas do tratamento e será encaminhada para reserva e depois distribuição.

⁵ Limite máximo interno do processo é menor que 75,0 ng/L para Metilisoborneol (MIB) . O valor máximo permitível para este composto ainda não consta na PRC5/2017.

⁶ Limite máximo interno do processo é menor que 20,0 ng/L para Geosmina (GEO). Os valor máximo permitível para este composto ainda não consta na PRC5/2017.

apenas para tratamento no sistema de ciclo completo associado à aplicação de carvão ativado. Estes parâmetros foram realizados pelo método da AWWA ,1987 realizados no laboratório da ETA Guaraú, através de cromatografia gasosa com espectrometria de massa. É importante ressaltar que quando ocorrem florações de algas responsáveis pela formação destes compostos é feita a aplicação de carvão ativado antes da entrada de água bruta na ETA, pois somente o sistema de ciclo completo não é capaz de fazer sua adequada remoção. Devido à ausência de dados para a remoção de tais compostos, uma vez que estes parâmetros não são analisados para a água que sai do sistema de membranas já que ela se mistura com água do tratamento de ciclo completo na etapa final do tratamento, foi necessário recorrer a pesquisas referenciadas. Segundo Reiss et al (2006), em estudos no rio Hillsborough, Flórida, no processo de tratamento químico associado à coagulação/flocação /sedimentação houve remoção de 71% de MIB enquanto que, para os processos de microfiltração e ultrafiltração associado à baixa dosagem de coagulante, houve remoção de 5% a 14% deste composto. Para o composto GEO, no processo de tratamento químico associado à coagulação/flocação /sedimentação houve remoção de 78% e para os processos de microfiltração e ultrafiltração houve remoção de 28% a 42% deste composto. Para águas superficiais de um manancial com alta carga orgânica, os processos de microfiltração e ultrafiltração por membranas teve a remoção de 5% a 40% para estes compostos.

CONCLUSÕES

Através dos dados apresentados, fica evidente que o tratamento de água por membranas ultrafiltrantes representa uma alternativa tecnológica para tratamento de água com alta qualidade, uma vez que a membrana retém compostos de até 0,03 µm. Devido às características da água bruta proveniente da represa Guarapiranga possuir turbidez considerada alta para os parâmetros da membrana e considerável quantidade de substâncias poluentes oriundas de efluentes industrial e doméstico, foi necessário realizar um pré-tratamento na água ao invés de ocorrer a filtração direta nas mesmas. Caso contrário, a operação poderia ficar inviável devido a problemas constantes de deterioração do fluxo e reposição de membranas. A ETA ERJCS possui o tratamento de ciclo completo, assim foi utilizada a água da etapa de decantação para posterior tratamento na ultrafiltração. O problema da presença de poluentes emergentes nas águas utilizadas para tratamento é uma constante preocupação, pois muitos deles não podem ser totalmente removidos pelo tratamento de ciclo completo, o que potencialmente significaria a presença desses poluentes na água consumida. Com a utilização das membranas ultrafiltrantes muitos destes são eliminados devido à sua maior seletividade pelo tamanho dos poros. Tal processo pode ser otimizado com a associação deste tratamento a outros como o método CRISTAL, associação de carvão ativado e ultrafiltração. Quanto aos custos de implantação do sistema de membranas, os mais expressivos foram os custos de aquisição das membranas, cerca de 25% do custo inicial. Os custos de operação e manutenção necessitam de maiores reservas de capital devido, respectivamente, ao aumento da demanda de energia e da reposição dos componentes do sistema, como bombas e válvulas, que tem custos elevados.

As membranas necessitam operar dentro dos limites especificados pelo fabricante para que não haja o desgaste e ou obstrução das mesmas. O monitoramento dos valores das variáveis do processo, como pressão, temperatura ou consumo de produtos químicos é de suma importância, pois valores anormais indicam alguma anomalia no processo. Como exemplo, valores de pressão altos no processo de retrolavagem indicam uma grande quantidade de partículas de sujeiras acumuladas na superfície da membrana.

Devido às leis mais rigorosas e a diminuição da disponibilidade de fontes adequadas de águas brutas, tanto em qualidade como em quantidade, faz com que mais pesquisas se façam necessárias sobre o uso de processos de filtração por membranas para a produção de água potável tornando uma alternativa ao tratamento ciclo completo. O tipo de membrana, a escolha de um tratamento específico, combinado ou associado (coagulação, CAP, oxidação, Cristal) interferem na qualidade da água desejada.

Os principais custos do sistema de ciclo completo foram mão de obra, produtos químicos e disposição de lodo, e os do sistema de membranas ultrafiltrantes são energia e manutenção. O custo com energia deve ser destacado, podendo representar aproximadamente 50% dos custos operacionais do sistema de membrana (MIERZWA, 2008). Na ETA ERJCS o gasto e o custo energéticos para o sistema de membranas ultrafiltrantes foram cerca de cinco vezes maiores devido a maior quantidade e diversidade de componentes como bombas, compressores e sopradores de ar, válvulas elétricas entre outros. Entretanto, necessita de uma área cerca de seis vezes menor para uma mesma vazão. Não houve produção de lodo e os custos com produtos químicos foram

,aproximadamente, três vezes menor para o sistema de membranas por metro cúbico de água tratada (CAMELO, A.C.R.; COUTINHO, M.,2016).Os benefícios observados, desde o início de operação do sistema foram o não acúmulo de produtos dentro da membrana, uma vez feitos os processos de limpeza indicados, o que viabiliza a operação contínua, não há necessidade de produtos químicos no tratamento de água bruta, uma vez que foi utilizada água do processo de decantação (pré-tratamento), a planta é compacta e automatizada, a área requerida é menor do que para uma estação de tratamento ciclo completo, há a obtenção de água tratada de melhor qualidade devido ao tamanho dos poros da membrana (0,03 µm) o que promove a remoção de partículas, substâncias, vírus e bactérias nesta faixa. Como já foi citado, o sistema de ultrafiltração possui a capacidade de produzir água de qualidade e atende à portaria PRC5 anexo XX a qual, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dos valores constantes nas tabelas 2 e 3, foram constatados que, do sistema ciclo completo para o sistema de membranas de ultrafiltração, houve melhor remoção dos parâmetros analisados. No sistema de membranas por ultrafiltração, segundo estudos realizados por Reiss et al (2006), a remoção destes compostos não chega a ser maior do que 40% para um manancial de água superficial de alta carga orgânica como a da represa Guarapiranga. O que significa que seria necessária uma associação de técnica para melhorar a eficiência da remoção.

Os inconvenientes no sistema são o aumento da demanda de energia, possível necessidade de pré-tratamento da água bruta a fim de não obstruir muito rapidamente a membrana, reposição de peças podem ser mais demoradas e caras por serem de origem estrangeira e representarem uma tecnologia relativamente mais nova. Pode-se concluir que os custos elevados podem ser compensados quando se pretende obter uma água de igual qualidade através do tratamento de ciclo completo associado a outras técnicas de pré tratamento e representa uma tecnologia que não utiliza produtos químicos no tratamento, somente nos processos de limpeza com uso do hipoclorito de sódio e do ácido cítrico, não há geração de lodos e opera automaticamente. Do que foi exposto,conclui-se que o tratamento por membranas ultrafiltrantes é uma alternativa para o tratamento cujo benefício maior é a qualidade da água produzida o que representa um ganho para a melhoria no abastecimento público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington: APHA, 2017.
2. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIA-TION. Identification and treatment of taste and odors in drinking water. Denver, AWWARF, December, 1292p.
3. ANDRADE, M.R.M. et al. Mapeamento de uso da terra para avaliação da qualidade das águas do reservatório Guarapiranga. São Paulo, UNESP. Geociências, v. 34, n. 2, p. 258-274, 2015.
4. ANSELME, C.; MANDRE, V.; BAUDIN, I.; MALLEVIALLE, J. Membrane Technology. Water Supply, v12, no 1-2, 1994.
5. ARHIN, S.G.; BANADDA, N.; KOMAKECK, A.J.; KABENGE, I.; WANYAMA, J. Membrane fouling control in low pressure membranes: A review on pretreatment techniques for fouling abatement. Department of Agricultural and Bio-Systems Engineering, Makerere University, P.O. Box 7062, Kampala, Uganda, 2016. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/304794446_Membrane_fouling_control_in_low_pressure_membranes_A_review_on_pretreatment_techniques_for_fouling_abatement>. Acesso em 27 de set. de 2018.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2005.
- a. AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water. Journal-American Water Works Association, v. 100, n. 12, p. 84-97, 2008.
7. BAKER, M.N. The quest for pure water: the history of water purification from the earliest records to the twentieth century, Volume 1. Front Cover. American Water Works Assn., 1948.
8. BAKER, W. R. Membrane Technology and Applications. John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
9. BERGAMASCO, R.; KONRADT-MORAES, L.C.; VIEIRA, M.F.; FAGUNDES-KLEN,
- a. M.R.; VIEIRA, A.M.S. Performance of coagulation-ultrafiltration hybrid process for water supply treatment. Clerical Engineering Journal, v. 166, 483-489, 2011.
10. BICUDO, E.C.M. Reconstrução Paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento.

- Projeto temático ,2010-2015. Disponível em :< <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto>>. Acesso em 27 de set.de 2018.
11. BING-ZHI, D.; HUA-QIANG, C.LIN, W. et al. The removal of bisphenol A by follow fiber microfiltration membrane. Desalination, 2010.
 12. BORELLI, E. A Bacia do Guarapiranga: ocupação em áreas de mananciais e a legislação ambiental. Política e Trabalho. Revista de Ciências Sociais. v.25, p.189-202, out 2006.
 13. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017. Disponível em: <http://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017_356387.html>. Acesso em 05 de dez.de 2018.
 14. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Federal nº 518/04 de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 05 de dez.de 2018.
 - a. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Federal no 2914, de 12 de dezembro de 2011 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 14 dez. 2011, Seção 1, Nº 239, p. 39-46. Disponível em:<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 05 de dez.de 2018.
 15. BRUSIUS, V. Processos por Separação por membranas: Treinamento Sabesp ABV, 27,2015.
 16. CAMELO, A.C. R.; COUTINHO, M.ETA –Sabesp-Alto da Boa Vista: Implantação da maior ultrafiltração para água potável do Brasil. São Paulo, CentroProjekt do Brasil, 2016. Disponível em :<<https://docplayer.com.br/14906571-Eta-sabesp-alto-da-bos-vista-implantacao-da-maior-ultrafiltracao-para-agua-potavel-do-brasil-anna-carolina-raposo-camelo-mauro-coutinho.html>>. Acesso em 31 jul.2018.
 17. CENTROPROJEKT BRASIL. Disponível em <http://www.centropunkt-brasil.com.br/07_oberas.htm>Acesso em 01set.2018.
 18. CHADWICK, E. Relatório sobre a condição sanitária da população trabalhista da Grã-Bretanha, 1843.
 - a. CHO, J. Nanofiltration for water and wastewater treatment – a mini review Drink. Water Eng. Sci. v. 6, 2013.
 - b. COBRAPE. Relatório complementar ao "Meio ambiente Paulista - Relatório de Qualidade Ambiental 2011". São Paulo: SMA/CPLA, 2011.
 19. CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA IV REGIÃO DE SÃO PAULO. Disponível em: <www.crq4.org.br/sms/files/file/Palestra_2_-Tratamento_de_aguas_e_efluentes_com_membranas_filtrantes_-_Eduardo_Pacheco.pdf> Acesso em 31 de jul. De 2018.
 20. CROZES, G.F; JACANGELO, J.G.; ANSELME, C; LAÎNÉ, J.M. Journal of Membrane Science 124 (1), 63–76, 1997.
 21. DOSSIÉ-MEMÓRIA SABESP. Disponível em:<www.memoriasabesp.sabesp.com.br/acervos/dossies/pdf/9_sistema_guarapiranga.pdf>Acesso em 31 de jul. De 2018.
 22. EMPLASA. Disponível em :<www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>. Acesso em 11 de dez.de 2018
 23. GAVIOLLI, J. Abastecimento público de água na Região Metropolitana de São Paulo: escassez, demanda e aspectos de saúde pública. 150.Dissertação –Pós-Graduação em Saúde Pública, faculdade de saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em :<www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&ved=0ahUKEwjlvLdoLzcAhXHCpAKHaxLDksQFgiWATAN&url=http%3A%2F%2Fwww.theses.usp.br%2Fteses%2Fdisponiveis%2F6%2F6134%2Ftde-12112013-104028%2Fpublico%2FJulianeGaviolli.pdf&usg=AQvVaw3yl4qGXpxAPu8ZD40dVFp>. Acesso em 31 de jul. De 2018.
 24. KAIRALLA, A.M. Procedimentos Operacionais de aplicação na unidade: Instrumento Organizacional. São Paulo, Sabesp, 2018,53.
 25. GLOBO.COM. Disponível em: <g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/07/sabesp-entrega-unidade-que-amplia-tratamento-de-agua-da-guarapiranga.html>. Acesso em 31 de jul.de 2018.
 26. I.H.; MALEVILLE, J.; KAWCZYNSKI, E. Advances in Taste-and-Odor Treatment and Control. Denver, CO. American Water Works Association Research Foundation and Lyonnaise des Eaux, 1995.
 27. JACANGELO, J.G., et al. Select processes for removing NOM: an overview. Journal American Water Works Association, pág. 64-77, January, 1995.

28. JARDINE, C.G.; GIBSON, N.; HRUDEY, S.E. Detection of odour and health risk perception of drinking water. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 6, 1999.
29. KABISCH-KORBUTOWICZ, M.; BILYK, A.; MOLCZAN, M. The Efect of Feed Water Pretreatment on Ultrafiltration Membrane Performance. *Polish journal of environmental studies*, v.15, n.15,2006.
30. KOCH Membrane Systems Inc. Manual de Operação e Manutenção – Módulo PURON® HF, 124,2015.
31. MATEUS, R.S. Modelo Hidrológico da Bacia hidrográfica da represa do Guarapiranga-São Paulo (SP),2010,156 f. Tese (Mestrado em Geografia Física) -Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. São Paulo. Disponível em: <[file:///C:/Users/Mara/Downloads/TESE_ROSIANE_SILVA_MATEUS%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Mara/Downloads/TESE_ROSIANE_SILVA_MATEUS%20(1).pdf)>. Acesso em 01 de dez.de 2018.
32. MENDES P. R. A.; FARIA. L. F. F. Avaliação do Uso de processos de Separação por Membranas em Efluentes de Laticínios Pré-traçados por Coagulação/Flocação. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/300655159_AVALIACAO_DO_USO_DE_PROCESSOS_DE_SEPARACAO_POR_MEMBRANAS_EM_EFLUENTES_DE_LATICINIOS_PRE-TRATADOS_POR_COAGULACAOFLOCULACAO>. Acesso em 27 de set.de 2018.
33. MIERZWA, J.C. Processos de separação por membranas para tratamento de água. Capítulo 8. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Valter Lúcio de Pádua (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 504 p. 2006.
34. MIEZERWA, J.C. SILVA, M.C.C. DA; RODRIGUES, L.D.B. HESPANOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas ciclo completo e ciclo completo com carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.13,2008.
35. MOZETO, A. A.; SILVÉRIO, P. F.; SOARES, A. Estimates of benthic fluxes of nutrients across sediment and water interface (Guarapiranga Reservoir, São Paulo, Brazil). *Science of the Total Environment*, EUA, v. 266, n.1-3, 2001.
36. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World Health Statistics 2016: Monitoring Health for the SDGs. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2016.p.88
37. OTOMO, J.I. Contribuição antrópica na qualidade das águas da represa do Guarapiranga. Um estudo sobre interferentes endócrinos. 2015.216 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas energéticas e Nucleares, São Paulo, 2015.
38. PITERMAN, A. GRECO, R. M.A água seus caminhos e descaminhos entre os povos. v.8,2005.
- a. Química.com. br. Disponível em:<www.quimica.com.br/tecnologia-ambiental-sabesp-fecha-contrato-montar-estacao-agua-potavel-ultrafiltracao>. Acesso em 31 de jul. de 2018.
39. REISS C.R.; ROBERT, C.; OWEN, C.; et al. (2006). Control of MIB, Geosmin and TON by membrane systems. *Journal of Water Supply Research and Technology - AQUA*, v. 55, n. 2, p. 95-108.
40. RESENDE, S.C. HELLER L.O Saneamento no Brasil: políticas e interfaces. Belo Horizonte: UFMG-Escola de Engenharia, 2002.310 p. Revista TAE-especializada em tratamento de águas e efluentes. Disponível em:<www.revistatae.com.br/6489-noticias>. Acesso em 31 de jul. de 2018.
41. ROSEN, G. Uma história da Saúde Pública. São Paulo; Hucitec: Universidade Estadual Paulista; Rio de Janeiro: associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, 1994.
42. SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo- ETAs ALTO DA BOA VISTA e RIO GRANDE: Implantação de Tratamento de Agua por Membranas de Ultrafiltração. Caminhos da Engenharia- Capítulo X – Crise Hídrica em São Paulo, 2016. Disponível em <<https://ie.org.br/site/ieadm/arquivos/arknot10314.pdf>> Acesso em 31 de jul. de 2018.
43. SALZMAN, J. Drinking Water: a history. The Overlook Press, 2012. Saneamento Ambiental. Disponível em <www.sambiental.com.br/noticias/eta-com-membranas-para-Sabesp>. Acesso em 31 de jul. de 2018.
44. SÃO PAULO. Decreto Estadual n. 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 09 set. 1976. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-846808.09.1976.html>>. Acesso em: 05 de dez. de 2018.
45. SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. Fixa a orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas e dá providências correlatas. Resolução n.8 de 31 de janeiro de 2008. Disponível em:<

- http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_08.pdf. Acesso em 27 de set. de 2018.
- 46. SHON, H.K., PHUNTSOHO, S., CHAUDHARY, D.S., VIGNESWARAN, S.,
 - 47. WHATELY, M. CUNHA, P. Seminário Guarapiranga: Proposição de ações prioritárias para garantir água de boa qualidade para abastecimento público. São Paulo: Instituto Socioambiental. 171 p.2006. Disponível em :< <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2017/11/IV-060.pdf>>. Acesso em 26 de set. de 2018.
 - 48. SILVA R.E. Os cursos da água na história: simbologia, moralidade e a gestão dos recursos hídricos. 1998. 166f. Tese (Doutorado) -Fundação Oswaldo Cruz/Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro,1998.
 - 49. SRINIVASAN.R. SORIAL, G.A. Treatment of taste and odor causing compounds 2-methylisoborneal and geosmin in drinking water: a critical review. Journal of Environmental Sciences, v.23, n.1, 2011.
 - 50. SNYDER, S.A. et al. Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. Desalination, v.202, 2007.
 - 51. TIAN, J.; ERNST, M.; CUI, F.; JEKEL, M. Correlations of relevant membrane foulants with UF membrane fouling in different waters. Water research, v. 47, n. 3, p. 1218-1228, 2013.
 - 52. WHATELY, M., DINIZ, L.T. Água e esgoto na grande São Paulo: situação atual, nova lei de saneamento e programas governamentais propostos. São Paulo, Instituto Socioambiental, 2009. Disponível em:< <http://www.bibliotecadigital.abong.org.br/bitstream/handle/11465/1210/10369.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 27 de set. de 2018.
 - 53. YOUNG, W.F.; HORTH, H.; CRANE, R.; ET AL. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. Water Research, v.30, n.2