

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA INDÚSTRIAS LOCALIZADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ)

Water supply economical assessment for industries located in the Rio de Janeiro Metropolitan Region (RJMR)

Evaluación económica del suministro de agua para las industrias ubicadas en la Región Metropolitana de Río de Janeiro (RMRJ)

PARANHOS, G. R. S.¹; ZANELLA, L.²

Resumo

Indústrias em operação e em fase de instalação da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) encontram-se em situação eminente de escassez hídrica, concorrendo com o abastecimento humano em relação à captação de águas doces superficiais. Estas indústrias devem optar por alternativas de adução de água que promovam o equilíbrio entre disponibilidade e demanda, assim como a conservação dos recursos hídricos no estado. A pesquisa apresentada desenvolve uma avaliação econômica de alternativas de abastecimento de água para indústrias localizadas na RMRJ, principalmente nas proximidades da Baía de Guanabara. São avaliadas alternativas de abastecimento a partir da captação de água bruta superficial, dessalinização de água do mar e reúso de água tratada em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) da RMRJ, que podem ser implementadas em conjunto ou de forma independente. Os cenários de oferta de água para as alternativas de abastecimento consideram vazões entre 1.000 m³/h (0,28 m³/s) até 2.000 m³/h (0,56 m³/s). Os cálculos financeiros foram realizados sobre despesas de capital (CAPEX) e despesas operacionais (OPEX) dos sistemas de abastecimento acrescidos de tributos, considerando o tempo de depreciação de ativos de 20 anos (período de concessão) e a amortização de diferido de 5 anos. Os resultados indicam a proposta de reúso de águas provenientes de ETEs municipais para finalidades industriais como a alternativa mais atrativa do ponto de vista econômico.

Palavras-chave: Escassez hídrica; alternativas de abastecimento de água; captação de água bruta; dessalinização; reúso industrial.

¹Graduando em Engenharia Química, Universidade Federal de São Paulo.  orcid: [0009-0009-1131-5503](https://orcid.org/0009-0009-1131-5503) grsparanhos@gmail.com

²Prof. Dr. do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Centro Tecnológico do Ambiente Construído.  orcid: [0000-0002-4380-7096](https://orcid.org/0000-0002-4380-7096) lucianoz@ipt.br

Data da Submissão:
30junho2022
Data da Aprovação:
14abril2023
Data da Publicação:
22junho2023

COMO CITAR:

PARANHOS, G. R. S.; ZANELLA, L.. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA INDÚSTRIAS LOCALIZADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ). **Engenharia Urbana em Debate**. São Carlos, V4, n1, 2023. <https://doi.org/10.59550/engurbdebate.v4i1.70>



Abstract

Industries in operation and in the installation phase of the Rio de Janeiro Metropolitan Region (RJMR) have been facing an imminent situation of water scarcity, competing with the human supply for surface fresh water. These industries should develop water supply alternatives, aiming at a balance between availability and demand, as well as the conservation of water resources in the state. The research presented develops a economical assessment of water supply alternatives for RMRJ industries, mainly near Guanabara Bay. Water supply alternatives are evaluated due to abstraction of raw water from the Guandu River; desalination of sea water of Guanabara Bay and reuse of final effluents from Waste Water Treatment Plants (WWTPs) of RJMR, which can be implemented together or independently. Water provision scenarios for the supply alternatives consider flows between 1,000 m³/h (0.28 m³/s) to 2,000 m³/h (0,56 m³/s). Financial analysis were made based on capital expenditure (CAPEX) and operating expense (OPEX) of water supply systems plus taxes, considering an asset depreciation time over 20 years (concession period) and amortization of deferred over 5 years. Results indicate the proposal to reuse water from municipal WWTPs for industrial use as the most attractive alternative from an economic point of view.

Keywords: Water scarcity; water supply alternatives; raw water intake; desalination; industrial reuse.

Resumen

Las industrias en funcionamiento y en proceso de instalación en la Región Metropolitana de Río de Janeiro (RMRJ) se encuentran en una situación eminente de escasez de agua, compitiendo con el abastecimiento humano en relación a la captación de agua dulce superficial. Estas industrias deben optar por alternativas de abastecimiento de agua que promuevan el equilibrio entre la disponibilidad y la demanda, así como la conservación de los recursos hídricos en el estado. La investigación presentada desarrolla una evaluación económica de alternativas de abastecimiento de agua para industrias localizadas en la RMRJ, principalmente cerca de la Bahía de Guanabara. Se evalúan alternativas de abastecimiento de agua a partir de la captación de agua cruda superficial, desalinización de agua de mar y reutilización de agua tratada en Plantas de Tratamiento de Efluentes (ETEs) de la RMRJ, que pueden ser implementadas en conjunto o de forma independiente. Los escenarios de abastecimiento de agua para las alternativas de suministro consideran caudales entre 1.000 m³/h (0,28 m³/s) hasta 2.000 m³/h (0,56 m³/s). Los cálculos financieros se realizaron sobre los gastos de capital (CAPEX) y de operación (OPEX) de los sistemas de abastecimiento más impuestos, considerando un tiempo de depreciación de los activos de 20 años (período de concesión) y una amortización de los activos diferidos de 5 años. Los resultados señalan la propuesta de reutilización del agua de las depuradoras municipales para usos industriales como la alternativa más atractiva desde el punto de vista económico.

Palabras clave: Escasez de agua; alternativas de suministro de agua; captación de agua bruta; desalinización; reutilización industrial.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o uso da água está disseminada no conjunto da indústria brasileira, sobretudo as hidrointensivas (CNI, 2012; LIMA, 2018) e que têm operações em zonas de escassez hídrica (CNI, 2012; BRASIL, 2017). A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) formada por 22 municípios (RIO DE JANEIRO, 2018) encontra-se em situação de criticidade qualitativa de água (BRITTO, 2016). A RMRJ é altamente povoada e concentra indústrias responsáveis por destacar o Estado do Rio de Janeiro como produtor do segundo maior PIB industrial do Brasileiro (IBGE, 2022). As demandas hídricas para as atividades industriais na RMRJ concorrem com o abastecimento público (BRASIL, 2015; BRITTO, 2016). A projeção é de falta d'água no estado em 2035, quando a demanda para o consumo urbano será superior à oferta projetada (FIRJAN, 2015). Face à disputa de águas superficiais

entre abastecimento industrial e o consumo humano, estratégias de abastecimento de água industrial devem considerar alternativas diferentes da captação de água bruta superficial.

Em regiões costeiras, a dessalinização da água salgada do mar, das águas salobras superficiais ou subterrâneas, pode ser utilizada para abastecimento hídrico humano ou industrial. As tecnologias de dessalinização da água são enquadradas em processos térmicos ou processos de separação por membrana (BURGARDT, 2017). Na dessalinização de águas salobras e salgadas, os processos por membrana apresentam vantagens técnicas e financeiras em comparação com os processos térmicos (MOREIRA *et al.*, 2018).

Em regiões densamente povoadas, a estratégia de reúso de águas inicialmente consideradas inservíveis ao abastecimento humano, como águas tratadas em estações de tratamento de esgotos municipais, torna-se bem avaliada para o abastecimento da indústria (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). A prática de reúso apresenta justificativas auspiciosas, tais como: menor risco contra a falta de suprimento de água de outras fontes, a preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental, tendência de economia de recursos e benefícios sociais, e valorização da imagem da empresa junto à sociedade (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

O presente estudo desenvolve a avaliação financeira de três alternativas de abastecimento de água industrial na região da Baixada Fluminense, a saber: 1) captação de água bruta do rio Guandu; 2)

dessalinização de água do mar; 3) reúso de água tratada em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) da RMRJ. As premissas de suprimento hídrico consideram a qualidade de água para fins industriais (água industrial), em cenários de vazões de 1.000 m³/h (0,28 m³/s) e 2.000 m³/h (0,56 m³/s).

As avaliações financeiras consideram apenas os custos dos sistemas de tratamento. Não são contemplados os custos do sistema adutor, que consiste de estação elevatória e tubulações adutoras para transferência das águas até as plantas de tratamento e para os locais de utilização das águas tratadas, bem como os custos dos emissários de rejeitos. O estudo tem vistas para segurança hídrica do setor industrial presente na RMRJ e a garantia dos usos múltiplos da água, em perspectiva econômica de desenvolvimento sustentável.

2. MÉTODOS

2.1 Dimensionamento de Sistemas de Tratamento de Águas

Para cada alternativa de abastecimento foram concebidos pré-projetos de tratamento de águas e realizadas análises econômico-financeiras, que permitem a comparação da oferta de água e dos custos envolvidos. O presente estudo analisou os cenários de abastecimento em vazões de 1.000 m³/h (0,28 m³/s) e 2.000 m³/h (0,56 m³/s), de acordo com a disponibilidade do recurso hídrico e as características técnicas das alternativas de abastecimento.

Após elaboração do dimensionamento do sistema, para composição de custos do processo de tratamento, foram consultadas empresas de engenharia

e fornecedoras de equipamentos reconhecidas no mercado brasileiro, que fazem parte da lista de opções de fornecedores (vendor list) das principais empresas de sistemas de tratamento de águas e efluentes. Todos os valores reportados são referenciais para composição de custos e não possuem as margens utilizadas pelas empresas fabricantes (Original Equipment Manufacturers - OEMs).

2.2 Análise Financeira

A análise de custos de investimento (CAPEX) dos sistemas de tratamento de águas toma como premissa preços médios de equipamentos de tratamento de água disponíveis para o mercado brasileiro praticados nos anos de 2020 e 2021, revisados em 2022, os gastos em construção civil, tubulações e válvulas, componentes de elétrica, instrumentação e controle, montagem eletromecânica, posta em marcha, pré-operação e assistência técnica, serviços de engenharia e coordenação.

Para os custos de construção civil, foram estimados os volumes de concreto de cada planta, a partir das dimensões dos tanques, e utilizado um custo de R\$ 5.000,00/m³ concreto, no qual já estão embutidos valores de supervisão de obra, formas, mobilização, etc. Para a posta em marcha, pré-operação e assistência à partida foi previsto o acompanhamento de um técnico até o início do processo.

Para as propostas de equipamentos a serem importados apresentadas em dólares (US\$), foi utilizada cotação de R\$ 5,30/US\$ atingida entre os anos de 2020, 2021 e 2022, para conversão em reais (R\$). No cálculo do custo em reais, também

é necessário adicionar os impostos brasileiros pertinentes, bem como custeio de trâmite portuário e frete até o cliente final. Considera-se para os equipamentos importados um Ex-Tarifário especial, que reduz o custo do imposto de importação.

Os custos de operação (OPEX) consideram bens consumíveis e serviços prestados, como:

- Operadores (custos diretos);
- Custo de insumos (energia elétrica; outros);
- Custos de produtos químicos utilizados;
- Controle de qualidade (laboratório e certificações);
- Custos de disposição de lodo;
- Custos de manutenção;
- Outros custos necessários (custos indiretos de gerenciamento, engenharia e administração).

Para cálculos do custo de energia utilizada em equipamentos de tratamento e bombas foram utilizadas as tarifas ALTA TENSÃO - ESTRUTURA HORO-SAZONAL AZUL da LIGHT, estabelecidas pela Revisão Tarifária Periódica de 2022 da Light SESA. Para equipamentos de tratamento e bombas em operação contínua foram consideradas 20 horas diárias em jornada fora de ponta e 4 horas diárias em jornada de ponta.

Os cálculos financeiros foram realizados sobre CAPEX e OPEX das alternativas de abastecimento acrescidos de tributos, considerando o tempo de depreciação de ativos de 20 anos (período de concessão) e a

amortização de diferido de 5 anos.

O Retorno sobre Investimento (*Return on Investment* - ROI) exigido do investimento em capital próprio é o que será utilizado para o cálculo da tarifa de equivalência financeira. Esta taxa é característica de cada empreendedor e também do tipo de projeto estudado, mais especificamente como o projeto altera o nível de risco sistemático do empreendedor. No Brasil constata-se que para a concessão de estradas e sistemas de água em projetos estruturados o ROI tem sido da ordem de 14% após a consideração do imposto de renda. Recentemente, a economia brasileira mostra brusca variação no comportamento das taxas de juros, em função da taxa básica da economia. A expectativa é que estas concessões venham a operar com taxas de juros mais baixas do que as históricas observadas. Neste sentido, considera-se a taxa de 16% a.a (real e após imposto de renda) como adequada para o cálculo das tarifas de equilíbrio.

Durante o período de concessão, foi atribuído um percentual de 2,0% do valor do CAPEX ao ano em reinvestimentos para recomposição de ativos, e a taxa de financiamento com valor de 6,7% a.a. sobre o valor total de investimento.

Foram considerados como impostos incidentes sobre a renda de água o PIS/COFINS de 9,25%. e ICMS de 19%. A inclusão ou não do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) deverá ser detalhadamente estudada por tratar-se de "água de reúso". Considera-se duas situações: com e sem ICMS, que são aplicadas também para captação de água bruta do Rio Guandu e para dessalinização. A alíquota do Imposto

de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ) adotada é de 32%.

A análise de investimento é disponibilizada em quadros comparativos de CAPEX, OPEX e da tarifa de equilíbrio das alternativas de abastecimento, e permite a interpretação das opções de investimento mais vantajosas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Captação de Água Bruta do Rio Guandu

Para a qualidade de água bruta do Rio Guandu, considera-se um sistema de tratamento baseado na clarifloculação, composto pelas seguintes etapas de processo:

- Uso de Hipoclorito de Sódio (NaClO) para oxidação química e ajuste de pH;
- Sistema químico-físico composto de coagulação com Cloreto Férrico (FeCl_3), floculação com polímero aniônico e separação de sólidos por decantação lamelar;
- Filtração em filtros sob pressão em dupla camada (areia e antracito);
- Retorno de águas de contralavagem dos filtros e do sistema de desidratação para o tanque de equalização instalado no início do tratamento;
- Espessamento de lodo em adensadores e desaguamento em centrífugas com dosagem de polímero catiônico;
- Disposição final do lodo em aterro sanitário.

A Figura 1 apresenta o diagrama de proposto para água bruta do rio blocos simplificado do tratamento Guandu.

Figura 1. Diagrama simplificado do tratamento de água bruta do rio Guandu.



Fonte: Elaboração própria.

O tratamento de clarifloculação proposto tem condição de garantir os valores de parâmetros de qualidade de água referenciados na Tabela 1, tomando em consideração dados encontrados no plano de monitoramento do rio Guandu realizado pelo INEA (INEA, 2012) e a eficiência alcançada por esta tecnologia de tratamento de águas.

Os custos de investimento para as ETAs com processo de clarifloculação são apresentados na Tabela 2. O CAPEX total da ETA convencional de clarifloculação para abastecimento de água a partir do rio Guandu no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 25.306.414,00 e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 37.280.640,00.

Tabela 1. Qualidade de água esperada após o tratamento em ETA para abastecimento com água bruta.

Parâmetro	pH	Cor (mg Pt/L)	Turbidez (NTU)	Sulfatos (mg/L)	Ferro Total (mg/L)	Alumínio Total (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L)
Valor após ETA	6 a 7	< 5,0	< 5,0	< 20,0	< 0,3	< 1,2	0,5	150	< 5,0

Fonte: autoria própria.

Tabela 2. CAPEX do sistema de clarifloculação para abastecimento com água bruta.

Cenários	Equipamentos (R\$)	Civil (R\$)	Tubulação e Válvulas (R\$)	Elétrica, Instrumentação e Controle (R\$)	Montagem Eletromecânica (R\$)	Posta em Marcha, Pré- operação e Assistência Técnica (R\$)	Engenharia e Coordenação (R\$)
ETA							
Cenário 1 1.000 m ³ /h	10.560.214,00	3.337.440,00	1.689.634,00	3.168.064,00	3.854.478,00	396.000,00	2.300.583,00
ETA							
Cenário 2 2.000 m ³ /h	15.784.773,00	4.688.280,00	2.525.564,00	4.735.432,00	5.761.442,00	396.000,00	3.389.149,00

Fonte: autoria própria.

Na Tabela 3 são apresentados os dados utilizados como base de cálculo do OPEX das plantas de tratamento da água do rio Guandu para dois diferentes cenários de vazões de adução, com uma vida útil (lifespan) de 20 anos. O OPEX total da ETA convencional de clarifloculação para abastecimento de água a partir do rio Guandu no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 2,95/m³ e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 2,75/m³.

Tabela 3. OPEX do sistema de pré-tratamento e clarifloculação para abastecimento com água bruta.

Cenários	Energia (R\$/m ³)	Disposição de Lodos (R\$/m ³)	Produtos Químicos (R\$/m ³)	Centrífuga (R\$/m ³)	Manutenções Gerais (R\$/m ³)	Equipe Operacional (R\$/m ³)	Análises de Monitoramento (R\$/m ³)
ETA							
Cenário 1 1.000 m ³ /h	0,14	1,24	1,20	0,003	0,035	0,23	0,11
ETA							
Cenário 2 2.000 m ³ /h	0,12	1,24	1,20	0,002	0,026	0,11	0,05

Fonte: autoria própria.

3.2 Dessalinização de Água do Mar

Esta alternativa visa promover a dessalinização de água do mar para utilização na indústria. A captação de água do mar para plantas de dessalinização pode ser feita de forma direta e indireta. As captações diretas são estruturas que extraem água direto do oceano. Podem ser construídas off-shore abaixo da superfície da água ou como um canal aberto (BURGARDT, 2017).

Captações indiretas retiram a água do mar de um ponto abaixo do fundo do mar ou do solo e seu uso depende das condições da geologia e hidrogeologia local, e das especificações de projeto. Os tipos de captação indiretas convencionalmente são mais complexas que as estruturas de captação direta e incluem poços verticais, poços horizontais, poços inclinados, poços de perfuração horizontal e galerias de infiltração (BURGARDT, 2017).

Para o estudo de caso optou-se por realizar a captação pelo método de

canal artificial aberto, através de um canal de tomada de água do mar existente ou a ser construído.

O conceito do projeto de dessalinização, o qual foi tomado como base para levantamento dos custos, consiste em:

- Captação de água do mar através do canal de tomada de água existente ou a ser construído;
- Instalação de sistema de pré-tratamento no canal de tomada de água com gradeamento grosseiro e fino;
- Instalação de tratamento químico-físico, com adição de agente oxidante, coagulante e separação de sólidos em suspensão por flotação;
- Desaguamento do lodo em centrífugas com dosagem de polímero catiônico;
- Disposição final do lodo em

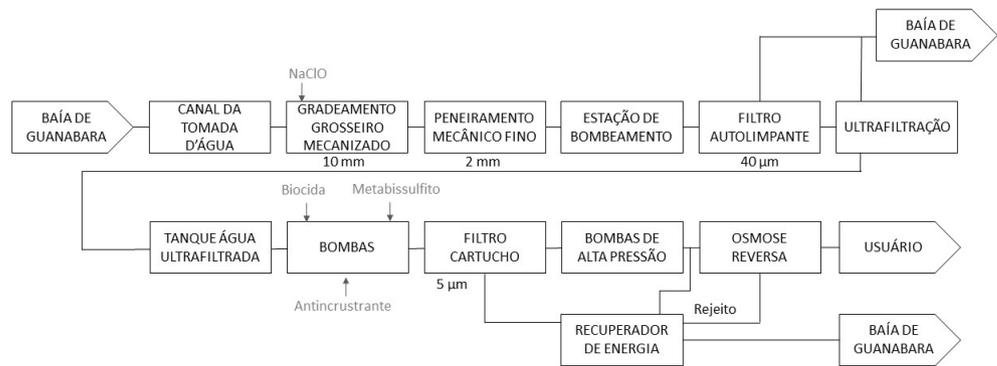
aterro sanitário;

- Implantação da planta de dessalinização com sistema de ultrafiltração (UF) e osmose reversa (OR);
- Retorno do rejeito salino para o mar.

de boa qualidade para alimentar a osmose reversa e aumentar sua vida útil. A osmose reversa será responsável pela remoção dos sais da água do mar, fornecendo água com concentração máxima de sólidos totais dissolvidos de 250 mg/L. A concepção da planta de dessalinização segue o previsto no diagrama simplificado da Figura 2.

Considerou-se o processo de ultrafiltração para assegurar água

Figura 2. Diagrama simplificado do sistema de dessalinização.



Fonte: Elaboração própria.

Para qualidade de água tratada são esperados os valores de parâmetros referenciados na Tabela 4, baseando-se nas eficiências das tecnologias de tratamento propostas. Além dos

parâmetros referenciados na Tabela 4, considera-se necessária a ausência de Coliformes (com valores dados em NMP/100 mL) e Enterococos (com valores dados em NMP/100 mL).

Tabela 4. Qualidade de água esperada após osmose reversa (OR) para dessalinização.

Parâmetro	pH	DBO (mg/L)	Oxigênio Dissolvido – OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg/L)
Valor após OR	6,8	< 1	8	< 0,1	< 0,3	< 1	< 1	< 1	< 250

Fonte: autoria própria.

Os custos de investimento para pré-tratamento e ultrafiltração são apresentados de forma indissociada na Tabela 5. A qualidade da água após estes processos garantirá o perfeito funcionamento da osmose reversa, que reduzirá a salinidade em níveis

apropriados para o uso industrial. O CAPEX total do sistema de pré-tratamento e ultrafiltração (UF) para dessalinização no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 79.453.798,00 e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 134.961.810,00.

Tabela 5. CAPEX do sistema de pré-tratamento e ultrafiltração (UF) para dessalinização.

Cenários	Equipamentos (R\$)	Civil (R\$)	Tubulação e Válvulas (R\$)	Elétrica, Instrumentação e Controle (R\$)	Montagem Eletromecânica (R\$)	Posta em Marcha, Pré-Operação e Assistência Técnica (R\$)	Engenharia e Coordenação (R\$)
Pré-Tratamento + UF							
Cenário 1 1.000 m ³ /h	32.235.854,00	6.879.480,00	8.058.964,00	9.670.756,00	14.989.672,00	396.000,00	7.223.073,00
Pré-Tratamento + UF							
Cenário 2 2.000 m ³ /h	55.496.414,00	10.471.280,00	13.874.104,00	16.648.924,00	25.805.833,00	396.000,00	12.269.255,00

Fonte: autoria própria.

Os custos de investimento para o sistema de osmose reversa são apresentados na Tabela 6. O CAPEX total do sistema de osmose

reversa (OR) para dessalinização no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 41.721.323,00 e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 73.744.120,00.

Tabela 6. CAPEX do sistema de osmose reversa (OR) para dessalinização.

Cenários	Equipamentos (R\$)	Civil (R\$)	Tubulação e Válvulas (R\$)	Elétrica, Instrumentação e Controle (R\$)	Montagem Eletromecânica (R\$)	Posta em Marcha, Pré-Operação e Assistência Técnica (R\$)	Engenharia e Coordenação (R\$)
OR							
Cenário 1 1.000 m ³ /h	16.072.395,00	5.146.600,00	4.018.099,00	4.821.718,00	7.473.664,00	396.000,00	3.792.848,00
OR							
Cenário 2 2.000 m ³ /h	29.443.727,00	7.315.000,00	7.360.932,00	8.833.118,00	13.691.333,00	396.000,00	6.704.011,00

Fonte: autoria própria.

O processo de dessalinização pelo tratamento proposto, ultrafiltração e osmose reversa, tem aproveitamento de aproximadamente 40 - 50% da vazão de alimentação (BURGARDT, 2017). Dessa forma, as adutoras que levam a água do mar até a planta de dessalinização devem ser dimensionadas para 3 vezes a vazão de produção de água industrial. Por se tratar de água do mar, o material a ser considerado para a tubulação da adutora e emissário deverá ser aço inox, apresentando custos mais elevados se comparados ao do aço carbono.

O retorno do rejeito salino para o corpo hídrico receptor poderá ser feito por gravidade em uma tubulação de diâmetro fixo, que atende à todos cenários de vazões, não necessitando

de sistema de bombeamento. Mesmo desconsiderado o investimento na estação elevatória, o CAPEX do emissário é elevado, devido ao material da tubulação, sua extensão e aos custos de assentamento de tubulação.

Na Tabela 7 é apresentado um resumo contemplando todos os custos envolvidos no fornecimento de água dessalinizada à uma indústria instalada em região próxima ao mar. Devido às grandes vazões utilizadas no processo de dessalinização, os valores dispendidos com estruturas tratamento da água do mar mostram-se bastante elevados. Os custos do sistema de adução de água do mar e retorno do rejeito salino para o mar não foram estimados neste estudo.

Nos itens abaixo são apresentados os dados utilizados como base de cálculo do OPEX das plantas de dessalinização, para uma vida útil (lifespan) de 20 anos.

Os custos operacionais para o sistema de pré-tratamento e

ultrafiltração são apresentados na Tabela 8 considerando o preço por metro cúbico de água tratada. O OPEX total do sistema de pré-tratamento e ultrafiltração (UF) para dessalinização no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 2,67/m³ e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 2,50/m³.

Tabela 7. CAPEX TOTAL para dessalinização.

Cenários	Pré-Tratamento + UF (R\$)	OR (R\$)	CAPEX Total Dessalinização (R\$)
Cenário 1 1.000 m ³ /h	79.453.798,00	41.721.323,00	121.175.121,00
Cenário 2 2.000 m ³ /h	134.961.810,00	73.744.120,00	208.705.930,00

Fonte: autoria própria.

Tabela 8. OPEX do sistema de pré-tratamento e ultrafiltração (UF) para dessalinização.

Cenários	Energia (R\$/m ³)	Disposição de Lodos (R\$/m ³)	Produtos Químicos (R\$/m ³)	Reposição de Membranas (R\$/m ³)	Manutenções Gerais (R\$/m ³)	Análises de Monitoramento (R\$/m ³)
Pré-Tratamento + UF Cenário 1 1.000 m ³ /h	0,69	0,01	1,43	0,41	0,02	0,11
Pré-Tratamento + UF Cenário 2 2.000 m ³ /h	0,58	0,01	1,43	0,41	0,02	0,05

Fonte: autoria própria.

Os custos operacionais para o sistema de osmose reversa são apresentados na Tabela 9 considerando o preço por metro cúbico de água tratada. As análises de monitoramento indicadas na composição do OPEX desta alternativa contemplam apenas a água aduzida no processo

de dessalinização e não se estendem ao monitoramento do corpo hídrico de água salgada. O OPEX total do sistema de osmose reversa (OR) para dessalinização no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 3,76/m³ e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 3,70/m³.

Tabela 9. OPEX do sistema de osmose reversa (OR) para dessalinização.

Cenários	Energia (R\$/m ³)	Produtos Químicos (R\$/m ³)	Reposição de Membranas (R\$/m ³)	Reposição de Cartuchos (R\$/m ³)	Manutenções Gerais (R\$/m ³)	Análises de Monitoramento (R\$/m ³)
OR Cenário 1 1.000 m ³ /h	2,71	0,65	0,26	0,03	0,01	0,11
OR Cenário 2 2.000 m ³ /h	2,70	0,65	0,26	0,03	0,01	0,05

Fonte: autoria própria.

Observa-se na Tabela 9 que o maior custo de operação do sistema de osmose reversa é em energia. Isto ocorre em função das elevadas vazões de tratamento e do bombeamento necessário para permear a água pela membrana de osmose reversa. Comparativamente, a Tabela 8 e Tabela 9 mostram que o custo operacional total do sistema de osmose reversa é maior que o de pré-tratamento e ultrafiltração, mesmo

que a osmose reversa apresente valores mais otimistas de consumo de produtos químicos, de reposição de membranas e manutenção geral.

A Tabela 10 apresenta os custos operacionais do sistema completo de dessalinização, considerando o preço por metro cúbico de água tratada. Os custos operacionais do emissário são nulos pois este sistema opera por gravidade.

Tabela 10. OPEX TOTAL para dessalinização.

Cenários	Pré-Tratamento + UF (R\$/m ³)	OR (R\$/m ³)	OPEX Total Dessalinização (R\$/m ³)
Cenário 1 1.000 m ³ /h	2,67	3,76	6,43
Cenário 2 2.000 m ³ /h	2,50	3,70	6,20

Fonte: autoria própria.

3.3 Reúso de Água Tratada em ETEs da RMRJ

O presente estudo considera somente a análise das ETEs com vazões de projeto mais representativas da RMRJ, a dizer: ETE Alegria, ETE Penha, ETE Pavuna e ETE Sarapuí. Estas ETEs operam atualmente em vazão inferior à de projeto e torna-se necessário elevar a vazão de tratamento de esgotos nestas estações para atender a todos cenários de abastecimento contemplados neste estudo.

O conceito do projeto, o qual foi tomado como base para levantamento dos custos, consiste na coleta do esgoto tratado à nível secundário da ETE, implantação de Tratamento biológico terciário do tipo MBR, com remoção biológica de nitrogênio, nas áreas próximas às ETEs (quando há área disponível) e implantação de sistema de osmose reversa para remoção de salinidade

do efluente tratado pelo processo biológico terciário. Não foram estimados custos da construção elevatória e adutora que conduzirá a água de reúso da ETE de interesse até a indústria.

Considera-se que as águas tratadas em ETEs seriam desviadas de corpos hídricos superficiais para servirem à indústria por meio do reúso. O presente estudo não conduziu a análise do impacto de déficit hídrico nos corpos receptores e nas captações de água a jusante dos pontos de lançamento de efluentes das ETEs.

O conceito do projeto, o qual foi tomado como base para levantamento dos custos, consiste em:

- Recuperação das águas de

ETEs e condução até sistema de pré-tratamento;

- Instalação de pré-tratamento com gradeamento fino;
- Instalação de um tratamento biológico terciário com separação de sólidos por membranas submersas de ultrafiltração (MBR);
- Adição de coagulante no reator de membranas para garantir remoção de fósforo até os níveis desejados;
- Recirculação da MBR para a câmara anóxica, com vazão de 3 vezes a de alimentação;
- Os lodos gerados em excesso nos processos biológicos serão extraídos e serão enviados para um adensador. De forma geral, os lodos biológicos purgados apresentam baixa concentração de sólidos, com valores variando entre 1,0 a 1,5%, em média e apresentam características de difícil desidratação. Portanto, para proporcionar um lodo mais concentrado, permitindo que a centrífuga a ser instalada seja de menor porte e opere com maior estabilidade e eficiência, proporcionando um lodo desidratado com menor umidade, optou-se por prever a instalação de adensadores, apesar de referências em literatura indicarem que o lodo do MBR pode ser enviado diretamente para desidratação. Assim, os adensadores foram dimensionados de acordo com a carga de sólidos gerada;
- Desaguamento do lodo em centrífugas do tipo decanter com dosagem de polímero catiônico;
- Disposição final do lodo em aterro sanitário;

- É previsto uma etapa complementar de osmose reversa que tem como objetivo principal reduzir a concentração de sais presentes no esgoto. O permeado da osmose reversa será utilizado para reúso e o rejeito poderá ser descartado nos corpos hídricos superficiais;

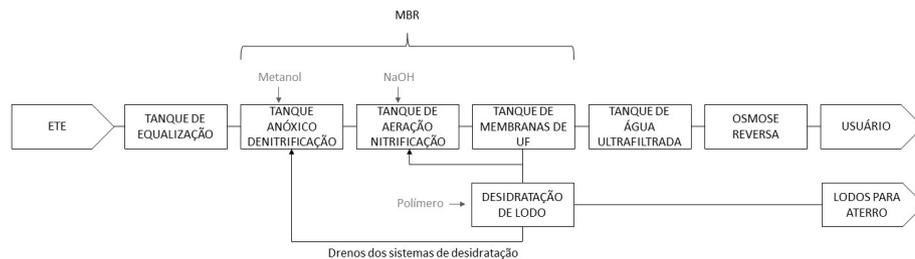
- Instalação de uma unidade de Ultrafiltração que irá assegurar uma água isenta de sólidos suspensos, patógenos e baixíssimas concentrações de metais, fornecendo uma água própria para reúso.

Ao final do processo biológico, a biomassa precisa ser separada do esgoto tratado. Na MBR, o processo de separação se dará por membranas de ultrafiltração submersas. A recirculação da MBR para a câmara anóxica, com vazão de 3 vezes a de alimentação é proporcionada por uma bomba centrífuga instalada no fim do tanque.

Compostos nitrogenados não são aceitáveis para água de reúso, exigindo etapas complementares de nitrificação e desnitrificação, realizadas em ambiente aeróbio e anóxico, respectivamente. A etapa de desnitrificação é benéfica ao sistema pois proporciona a remoção de matéria orgânica sem a necessidade de introdução de oxigênio, reduzindo o tamanho do reator aeróbio durante o dimensionamento e recuperando uma fração de alcalinidade, que é consumida na nitrificação. As etapas se complementam com um sistema de recirculação contínua entre os reatores aeróbios e anóxicos.

A configuração do sistema de reúso de água tratada em ETEs da RMRJ contempla estações de tratamento com processo descrito no diagrama simplificado da Figura 3.

Figura 3. Diagrama simplificado do sistema de reúso de ETEs.



Fonte: Elaboração própria.

São esperados os valores de parâmetros da Tabela 11 para qualidade de água após os sistemas de MBR e osmose reversa. Além dos parâmetros referenciados na Tabela 11, considera-se necessária a

ausência de Coliformes (com valores dados em NMP/100 mL) e Escherichia Coli (com valores dados em NMP/100 mL).

Tabela 11. Qualidade de água

esperada após o tratamento em MBR e osmose reversa para reúso de água tratada em ETEs.

Parâmetro	pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg/L)
Após MBR	7	< 10,0	< 5,0	< 1,0	< 0,5	< 5,0	< 5,0	< 5,0	600
Após OR	7	< 10,0	< 1,0	< 1,0	< 0,5	< 5,0	< 5,0	< 5,0	100

Fonte: autoria própria.

Os custos de investimento para o sistema de MBR são apresentados na Tabela 12. O investimento em equipamentos desse sistema é inferior ao sistema de ultrafiltração da dessalinização (Tabela 5). O CAPEX total do sistema de MBR para reúso de água tratada em ETEs no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$46.867.206,00 e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 84.089.390,00.

Tabela 12. CAPEX do sistema de MBR para reúso de água tratada em ETEs.

Cenários	Equipamentos (R\$)	Civil (R\$)	Tubulação e Válvulas (R\$)	Elétrica, Instrumentação e Controle (R\$)		Montagem Eletromecânica (R\$)	Posta em Marcha, Pré-Operação e Assistência Técnica (R\$)	Engenharia e Coordenação (R\$)
MBR								
Cenário 1 1.000 m ³ /h MBR	21.023.772,00	3.842.167,00	3.363.804,00	6.307.132,00	7.673.677,00	396.000,00	4.260.655,00	
Cenário 2 2.000 m ³ /h	38.581.662,00	5.637.367,00	6.173.066,00	11.574.499,00	14.082.307,00	396.000,00	7.644.490,00	

Fonte: autoria própria.

Os custos de investimento para osmose reversa são apresentados na Tabela 13. Os custos de investimento em equipamentos de osmose reversa da alternativa de dessalinização (Tabela 6) são aproximadamente duas vezes superiores aos custos deste sistema na alternativa de reúso de água tratada em ETEs da RMRJ. Convém destacar que altas vazões de tratamento da água do mar são necessárias para produção de água industrial pela alternativa de dessalinização. O CAPEX total do sistema de osmose reversa (OR) para reúso de água tratada em ETEs no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$23.100.983,00 e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 39.080.450,00.

Tabela 13. CAPEX do sistema de osmose reversa (OR) para reúso de água tratada em ETEs.

Cenários	Equipamentos (R\$)	Civil (R\$)	Tubulação e Válvulas (R\$)	Elétrica, Instrumentação e Controle (R\$)	Montagem Eletromecânica (R\$)	Posta em Marcha, Pré- operação e Assistência Técnica (R\$)	Engenharia e Coordenação (R\$)
OR							
Cenário 1 1.000 m³/h	7.823.535,00	5.481.000,00	1.564.707,00	2.347.061,00	3.520.591,00	264.000,00	2.100.089,00
OR							
Cenário 2 2.000 m³/h	14.094.196,00	7.780.000,00	2.818.839,00	4.228.259,00	6.342.388,00	264.000,00	3.552.768,00

Fonte: autoria própria.

Na Tabela 14 é apresentado um resumo contemplando todos os custos de investimento envolvidos no fornecimento de água de reúso a partir dos esgotos tratados à nível secundário pelas ETEs da RMRJ.

Tabela 14. CAPEX TOTAL para reúso de água tratada em ETEs.

Cenários	MBR (R\$)	OR (R\$)	CAPEX Total Reúso ETE (R\$)
Cenário 1 1.000 m³/h	46.867.206,00	23.100.983,00	69.968.189,00
Cenário 2 2.000 m³/h	84.089.390,00	39.080.450,00	123.169.840,00

Fonte: autoria própria.

Nos itens abaixo são apresentados os dados utilizados como base para cálculo do custo de operação das plantas, para um tempo de vida útil (lifespan) de 20 anos.

Os custos operacionais para o sistema de MBR são apresentados na Tabela

15 considerando o preço por metro cúbico de água tratada. O OPEX total do sistema de MBR para reúso de água tratada em ETEs no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 0,99/m³ e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 0,89/m³.

Tabela 15. OPEX do sistema de MBR para reúso de água tratada em ETEs.

Cenários	Energia (R\$/m³)	Disposição de Lodos (R\$/m³)	Produtos Químicos (R\$/m³)	Manutenções Gerais (R\$/m³)	Reposição de Membranas (R\$/m³)	Manutenção de Centrifugas (R\$/m³)	Equipe de Operadores (R\$/m³)	Análises de Monitoramento (R\$/m³)
MBR Cenário 1 1.000 m³/h	0,25	0,03	0,121	0,07	0,19	0,0006	0,22	0,11
MBR Cenário 2 2.000 m³/h	0,33	0,03	0,119	0,064	0,18	0,0003	0,11	0,05

Fonte: autoria própria.

Para o OPEX da osmose reversa tratada em ETEs no Cenário 1 de não foi considerado o custo com operadores, pois este valor já foi atribuído à operação da ETA. Os custos operacionais para o sistema de osmose reversa são apresentados na Tabela 16 considerando o preço por metro cúbico de água tratada. O OPEX total do sistema de osmose reversa (OR) para reúso de água tratada em ETEs no Cenário 1 de 1.000 m³/h é de R\$ 1,31/m³ e no Cenário 2 de 2.000 m³/h é de R\$ 1,21/m³.

A Tabela 17 apresenta os custos operacionais do sistema completo de reúso de água tratada em ETEs, considerando o preço por metro cúbico de água tratada.

Tabela 16. OPEX do sistema de osmose reversa (OR) para reúso de água tratada em ETEs.

Cenários	Energia (R\$/m³)	Produtos Químicos (R\$/m³)	Manutenções Gerais (R\$/m³)	Reposição de Membranas (R\$/m³)	Reposição de Cartuchos (R\$/m³)	Análises de Monitoramento (R\$/m³)
OR Cenário 1 1.000 m³/h	0,27	0,37	0,38	0,16	0,03	0,11
OR Cenário 2 2.000 m³/h	0,27	0,37	0,34	0,16	0,02	0,05

Fonte: autoria própria.

Tabela 17. OPEX TOTAL para reúso de água tratada em ETEs.

Cenários	MBR (R\$/m³)	OR (R\$/m³)	OPEX Total Reúso ETE (R\$/m³)
Cenário 1 1.000 m³/h	0,99	1,31	2,30
Cenário 2 2.000 m³/h	0,89	1,21	2,10

Fonte: autoria própria.

3.4 Resumo de CAPEX e OPEX das Alternativas

Os custos de investimentos para as alternativas de abastecimento hídrico são sintetizados na Tabela 18 em dois cenários de vazões.

Enquanto a captação de água bruta do rio Guandu é a que exige menor investimento de infraestrutura, a alternativa de dessalinização

desponta como a mais onerosa em todos dois cenários de vazões estudados.

Os custos operacionais, por sua vez, são sintetizados na Tabela 19 para os mesmos dois cenários de vazões. Para a alternativa de abastecimento deve-se considerar que o OPEX é

fortemente influenciado pelos custos de adução. Quanto mais distante a fonte hídrica da planta de tratamento e do local de utilização das águas, maior a demanda de energia para bombeamento necessária.

Tabela 18. CAPEX das alternativas de abastecimento em 2 cenários de vazões.

Cenários	Captação Guandu (R\$)	Dessalinização (R\$)	Reúso de ETE (R\$)
Cenário 1 1.000 m ³ /h	25.306.414,00	121.175.121,00	69.968.189,00
Cenário 2 2.000 m ³ /h	37.280.640,00	208.705.930,00	123.169.840,00

Fonte: autoria própria.

Tabela 19. OPEX das alternativas de abastecimento em 2 cenários de vazões.

Cenários	Captação Guandu (R\$/m ³)	Dessalinização (R\$/m ³)	Reúso de ETE (R\$/m ³)
Cenário 1 1.000 m ³ /h	2,95	6,43	2,30
Cenário 2 2.000 m ³ /h	2,75	6,20	2,10

Fonte: autoria própria.

A dessalinização mantém altos valores para OPEX. No caso da dessalinização o alto custo de energia não está atrelado à distância da fonte hídrica, mas à elevada vazão de operação da planta de tratamento.

3.5 Tarifa de Equilíbrio

A composição da tarifa de equilíbrio pretende encontrar a valor em reais do metro cúbico de água tratada que viabilize projeto. A tarifa de equilíbrio representa o valor pago pelo consumidor que permite a recuperação de investimentos dentro do prazo estipulado.

O cálculo da tarifa de equilíbrio considera o CAPEX e OPEX das

alternativas de abastecimento acrescidos de tributos, considerando o tempo de depreciação de ativos de 20 anos (período de concessão) e a amortização de diferido de 5 anos. Foi acrescido ao CAPEX TOTAL das alternativas um percentual de 2,0% ao ano em reinvestimentos, para recomposição de ativos durante o período de concessão. Para taxa de financiamento utilizou-se o valor de 6,7% a.a. sobre o valor de investimento acrescido do valor de reinvestimento. Para todas alternativas foi adotado o período de um ano e meio após obtenção do financiamento para instalação dos sistemas, e a taxa de atratividade do projeto em 16% a.a..

Foi considerada a alíquota do Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ) adotada de 32%, a taxa de 9,25% para PIS/COFINS e para avaliação da tarifa de equilíbrio acrescida de ICMS o valor de 19% correspondente a este tributo.

A inclusão ou não do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) deverá ser detalhadamente

Tabela 20. Tarifas de equilíbrio sem ICMS para as alternativas de abastecimento em 2 cenários de vazões.

Cenários	Captação Guandu	Dessalinização	Reúso de ETE
	(R\$/m ³)	(R\$/m ³)	(R\$/m ³)
Cenário 1			
1.000 m ³ /h	4,50	12,54	5,50
Cenário 2			
2.000 m ³ /h	4,27	11,24	4,52

Fonte: autoria própria.

A alternativa de abastecimento de água bruta do rio Guandu possui as melhores tarifas de equilíbrio para os dois cenários estudados. O investimento no cenário de abastecimento de 2.000 m³/h de água bruta do rio Guandu mostra-se mais atrativo que o cenário de menor vazão, considerando que não há necessidade de instalação de nova adutora e sua capacidade atende às duas opções de abastecimento.

O custo do metro cúbico de água de uma mesma alternativa de abastecimento tende a diminuir à medida que a vazão de adução aumenta. Quanto maior a vazão de adução mais vantajoso torna-se o investimento de abastecimento.

O custo do metro cúbico de água varia expressivamente entre as alternativas de abastecimento, podendo quase triplicar na comparação entre a

estudada por tratar-se de "água de reúso". Considera-se duas situações: com e sem ICMS, que são aplicadas também para captação de água bruta do Rio Guandu e para dessalinização. As tarifas de equilíbrio para as alternativas de abastecimento são apresentadas na Tabela 20 sem ICMS, e na Tabela 21 acrescidas do ICMS.

mais econômica e a mais onerosa (dessalinização). O CAPEX e OPEX da dessalinização, com necessidade de elevados investimentos em sistemas de membranas (MBR e osmose reversa) e de equipamentos de reposição/manutenção, tornam esta alternativa a mais custosa entre as opções de abastecimento avaliadas.

O reúso de ETEs mostra-se a melhor alternativa de abastecimento para vazões superiores a 2.000 m³/h, independente da ETE selecionada.

A aplicação de ICMS sobre a tarifa de equilíbrio não é necessária para todas alternativas estudadas e sua real utilização deve ser avaliada junto às empresas de água e Receita Federal. Com finalidade comparativa e elucidativa, a Tabela 21 apresenta o valor de ICMS somado ao custo do metro cúbico de água para todas alternativas de abastecimento.

Tabela 21. Tarifas de equilíbrio com ICMS para as alternativas de abastecimento em 2 cenários de vazões.

Cenários	Captação Guandu	Dessalinização	Reúso de ETE
	(R\$/m ³)	(R\$/m ³)	(R\$/m ³)
Cenário 1	5,72	15,95	7,00
1.000 m ³ /h			
Cenário 2	5,44	14,31	5,75
2.000 m ³ /h			

Fonte: autoria própria.

4. Conclusão

Dentre as alternativas de abastecimento de água para indústrias da RMRJ identificadas como promissoras, a saber: 1) captação de água bruta do rio Guandu; 2) dessalinização de água do mar; 3) reúso de água tratada em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), a captação de água bruta do rio Guandu mostra-se a mais econômica para o abastecimento nos dois cenários de vazões avaliados. As tarifas de equilíbrio encontradas para o abastecimento com água doce superficial foram de 4,50 R\$/m³ para o cenário de 1.000 m³/h e de 4,27 R\$/m³ para o cenário de 2.000 m³/h. O CAPEX e OPEX de tratamento da água doce superficial é inferior ao das demais alternativas de abastecimento devido à instalação de uma ETA de clarifloculação, que utiliza equipamentos convencionais de tratamento e tem custo operacional otimizado.

Os cenários de adução adicional de água superficial do rio Guandu incorrem à negociação com a CEDAE e o INEA, assim como com os Comitê Guandu-RJ e CEIVAP. Uma vez que a alternativa concorre com o abastecimento público, a captação de água bruta do rio Guandu não é promissora. Considerados os

aspectos normativos que promovem o uso prioritário da água para consumo humano e os aspectos ambientais que primam pela segurança hídrica através da conservação de recursos naturais, torna-se imprescindível que a captação de água bruta superficial seja sempre avaliada além dos aspectos financeiros.

Para as outras alternativas de abastecimento foram igualmente realizados estudos em cenários de abastecimento com vazões de 1.000 m³/h e 2.000 m³/h. Para sistemas de dessalinização foram dimensionados tratamentos com ultrafiltração e osmose reversa. Para sistemas de reúso foram dimensionados tratamentos com equipamentos de membrana MBR e osmose reversa.

Os sistemas de dessalinização e de reúso têm maior facilidade na concessão de licenças de obras pelos órgãos ambientais, pois possuem forte apelo ambiental e boa imagem perante a opinião pública. São projetos amparados por tecnologia de ponta, consolidada no mercado de tratamento de águas e efluentes, que entregam performance de tratamento quando em condições ideais de operação.

A proposta de dessalinização de água do mar mostra-se uma alternativa vantajosa no que tange o equilíbrio entre disponibilidade e demanda de água, no entanto, não é a mais economicamente atrativa. O elevado CAPEX e OPEX de membranas de dois sistemas consecutivos de filtração operando em elevadas vazões, considerados os valores de tecnologias atualmente existentes, torna esta alternativa de abastecimento de água onerosa e pouco atrativa.

Em função dos projetos de captação de água do mar serem altamente dependentes das condições locais e o descarte do rejeito salino possivelmente impactar o ecossistema próximo à zona de mistura, são necessárias atividades de monitoramento contínuo do corpo hídrico receptor, não contempladas neste estudo. Atividades de monitoramento do mar podem representar uma parcela significativa do OPEX de projeto e então contribuir para inviabilidade da alternativa de dessalinização. As avaliações de dessalinização de águas do mar devem contemplar um criterioso EIA/RIMA, onde serão definidas as estratégias, locais e frequências de monitoramento do mar, respeitando o equilíbrio ecológico através da conservação da biodiversidade local.

A prática do reúso de águas tratadas em ETES da RMRJ em sistemas industriais cumpre metas de racionalização de uso da água. Esta alternativa é uma opção robusta para o suprimento de água, que permite manter a continuidade de negócios em eventos que imponham restrições ao consumo industrial.

Em perspectiva atual, as vazões operacionais das ETES da RMRJ são

bastante inferiores às vazões de projeto consideradas. Para que a solução de reúso de águas tratadas em ETES seja apreciada em um horizonte próximo de investimentos, devem ser contempladas vazões de duas ou mais ETES, e/ou estimulada a captação e tratamento de esgotos na RMRJ, de forma a atingir a capacidade operacional das ETES.

Além da articulação estadual promovida por meio do INEA e da CEDAE, a iniciativa de reúso de água tratada em ETES carece de constante articulação com os municípios onde as ETES estão instaladas e também aqueles envolvidos na instalação da infraestrutura de adução. Convém destacar a necessidade de consulta ao Comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e de Jacarepaguá (CBH-BG), uma vez que as águas tratadas em ETES seriam desviadas de corpos hídricos superficiais para servirem à indústria por meio do reúso.

Para a apreciação completa das alternativas de abastecimento, além dos aspectos econômicos de tratamento de águas, também devem ser avaliados aspectos técnicos ambientais, normativos e institucionais, de forma que contribuam para o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). *Água na indústria: uso e coeficientes técnicos*. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). *Conjuntura dos*

- recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial.* Brasília: ANA, 2015.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Produto Interno Bruto - PIB.* Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php> >. Acesso em: 12 de março de 2022.
- BRITTO, A. L., FORMIGA-JOHNSSON, R. M., CARNEIRO, P. R. F. *Abastecimento Público e Escassez Hidrossocial na Metrópole do Rio de Janeiro.* Ambiente & Sociedade. São Paulo, 2016.
- BURGARDT, T. ; SENS, M. L. ; Guedes, T. L. *Filtração em sedimento de mar como pré-tratamento a osmose inversa.* Revista Hydro. São Paulo, 2017.
- Confederação Nacional da Indústria (CNI). *Avanços da indústria brasileira rumo ao desenvolvimento sustentável: síntese dos fascículos setoriais.* Confederação Nacional da Indústria. Brasília: CNI, 2012.
- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN). *Manual de conservação e reúso de água na indústria / Sistema FIRJAN.* Rio de Janeiro: 2015.
- HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O.M. (Coord.). *Conservação e Reúso de Água – Manual de Orientações para o setor industrial – Volume 1.* São Paulo: FIESP/CIESP, 2004.
- Instituto Estadual do Ambiente (INEA). *Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. Comitê da Bacia Hidrográfica Guandu (RJ).* Rio de Janeiro: INEA, 2012.
- LIMA, E. P. C. *Água e Indústria: experiências e desafios.* 1ª. ed. / Eduardo Pedroza da Cunha Lima: Infinita Imagem, 2018. 119 p.
- MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. *Água na indústria – Uso racional e reúso.* Oficina de Textos. São Paulo, 2005.
- MOREIRA, F. S.; RANGEL, A. L.; ANTUNES, A. M.; BORSCHIVER, S. *Membranas poliméricas para dessalinização da água: uma avaliação da balança comercial brasileira.* Cad. Prospec., Salvador, v. 11, Edição Especial, p.440-452, abr./jun. 2018.
- RIO DE JANEIRO, 2018. *Lei Complementar no 184, de 27 de dezembro de 2018.*