SEGURANÇA HÍDRICA INDUSTRIAL

O PAPEL DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL



A INDÚSTRIA CRIA.
A INDÚSTRIA É MAIS.

CNI Confederação Nacional da Indústria

SEGURANÇA HÍDRICA INDUSTRIAL

O PAPEL DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI
Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente

Diretoria de Governança Interna e Externa
Danusa Amorim
Diretora

Diretoria de Desenvolvimento Industrial
Jefferson de Oliveira Gomes
Diretor

Mario Sergio Telles
Diretor-Adjunto

Diretoria de Relações Institucionais
Roberto de Oliveira Muniz
Diretor

Diretoria Jurídica
Alexandre Vitorino Silva
Diretor

Diretoria Corporativa
Cid Carvalho Vianna
Diretor

Diretoria de Comunicação
André Nascimento Curvello
Diretor

SEGURANÇA HÍDRICA INDUSTRIAL

O PAPEL DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL



A INDÚSTRIA CRIA.
A INDÚSTRIA É MAIS.

CNI Confederação Nacional da Indústria

© 2026. CNI – Confederação Nacional da Indústria.
Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI
Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

C748s

Confederação Nacional da Indústria.
Segurança hídrica industrial : o papel da dessalinização no Brasil / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2026.

92 p. : il.

ISBN 978-85-7957-562-4

1.Segurança Hídrica 2. Dessalinização I. Título.

CDU: 338.45

Elaborado por Alberto Nemoto Yamaguti - Bibliotecário - CRB-1/2396

CNI
Confederação Nacional da Indústria
Sede
Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3317-9000
Fax: (61) 3317-9994
http://www.portaldaindustria.com.br/cni/

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC
Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992
sac@cni.com.br

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta de água dessalinizada em várias partes do mundo 15
Figura 2 – Localização das usinas de dessalinização na União Europeia 16
Figura 3 – Produção de água dessalinizada por capacidade de unidade produtiva 20
Figura 4 – População brasileira no litoral 23
Figura 5 – Demanda de água por setores no ano de 2025 24
Figura 6 – Produção de água dessalinizada por fonte de água 28
Figura 7 – Usina de Dessalinização Jebel Ali em Dubai 43
Figura 8 – Sistema de dessalinização do Programa Água Doce 48
Figura 9 – Dessalinizador do Programa Água Doce 49
Figura 10 – Equipamento da dessalinização em Fernando de Noronha 53
Figura 11 – Usina de Dessalinização em Fernando de Noronha 54
Figura 12 – Canal de retorno da água ao mar – ArcelorMittal Tubarão 59
Figura 13 – Equipamento da Usina de Dessalinização da ArcelorMittal Tubarão 60
Figura 14 – Sala de visitantes da Planta de Dessalinização para interações educativas 61
Figura 15 – Usina de Dessalinização de Fortaleza 64
Figura 16 – Centro de Testes de Tecnologias de Dessalinização (CTTD) 76
Figura 17 – Sede do Cirra (USP) 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Usinas de dessalinização para atendimento à indústria 21
Tabela 2 – Tarifas de água da empresa Águas do Rio para o setor industrial 25
Tabela 3 – Custo da dessalinização 32
Tabela 4 – Custo de produção por osmose reversa (OR) 32
Tabela 5 – Custo de CAPEX e OPEX por tipo de processo 33
Tabela 6 – Riscos nos projetos de dessalinização 71
Tabela 7 – Desafios a serem superados 88

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 9
SUMÁRIO EXECUTIVO 10
LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS 12
1 DESSALINIZAÇÃO NOS DIAS ATUAIS 15
2 CARACTERÍSTICAS DA DESSALINIZAÇÃO 19
3 POSSIBILIDADES DA DESSALINIZAÇÃO E A INDÚSTRIA BRASILEIRA 23
4 QUALIDADE DA ÁGUA DO MAR E DESSALINIZAÇÃO 27
5 CUSTOS OPERACIONAIS (OPEX) DA DESSALINIZAÇÃO 31
6 IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS 35
7 DESSALINIZAÇÃO E DOCUMENTOS DO GOVERNO DO BRASIL 39
8 CONDIÇÕES PARA USO DA DESSALINIZAÇÃO 43
9 *CASE* – PROGRAMA ÁGUA DOCE 47
10 *CASE* – FERNANDO DE NORONHA 53
11 *CASE* – PROJETO DE DESSALINIZAÇÃO DA CPFL NO NORDESTE BRASILEIRO 57
12 *CASE* – ARCELORMITTAL TUBARÃO 59
13 *CASE* – A CIDADE DE FORTALEZA 63
14 *CASE* – ILHABELA EM SÃO PAULO 69
15 RISCOS ASSOCIADOS AOS PROJETOS DE DESSALINIZAÇÃO 71
16 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO ASSOCIADO À DESSALINIZAÇÃO 75
17 LIÇÕES APRENDIDAS E OPORTUNIDADES PARA O SETOR INDUSTRIAL 79
18 INTEGRAÇÃO COM ENERGIAS RENOVÁVEIS 81
19 FINANCIAMENTO DA DESSALINIZAÇÃO 85
20 CENÁRIO FUTURO DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL 87
AGRADECIMENTO 90
REFERÊNCIAS 91

APRESENTAÇÃO

O estudo *Segurança hídrica industrial: o papel da dessalinização no Brasil* analisa, de forma abrangente, as oportunidades, os desafios e as perspectivas da dessalinização como estratégia para garantir a autonomia hídrica e estimular a competitividade industrial no País.

Este documento explora o panorama global e nacional sobre o tema, com dados sobre a capacidade instalada e tendências tecnológicas, os custos operacionais e de investimento, os impactos ambientais e os requisitos regulatórios. Além disso, trata de casos de sucesso no Brasil e no exterior, mostrando soluções inovadoras e lições aprendidas, e aborda a integração com energias renováveis, alinhada à agenda ESG (responsabilidade ambiental, social e de governança) e à economia circular.

Este estudo é relevante para a indústria brasileira, pois demonstra como a dessalinização reduz riscos operacionais, assegura a continuidade produtiva e fortalece a sustentabilidade. A integração com fontes renováveis, como a energia solar e a eólica, é destacada como fator estratégico para diminuir custos e emissões, posicionando o setor industrial na vanguarda da economia verde.

Além de apoiar decisões empresariais, o trabalho contribui para a formulação de políticas públicas voltadas à segurança hídrica, à inovação tecnológica e à promoção de parcerias público-privadas, essenciais para ampliar a resiliência hídrica do País. A inovação tecnológica é um eixo central, com destaque para avanços que tornam a dessalinização mais eficiente, sustentável e competitiva.

Esperamos que a presente publicação possa colaborar com os esforços do País numa área tão importante para o crescimento da indústria e o desenvolvimento econômico quanto a segurança no abastecimento de água, um insumo imprescindível para a produção industrial e o bem-estar da população.

Boa leitura!

Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente da CNI

SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente estudo sobre dessalinização busca dimensionar o papel estratégico da tecnologia como alternativa para a segurança hídrica do setor industrial brasileiro, alinhada aos princípios da sustentabilidade ambiental e às exigências da agenda ESG. Ao estar amparado em iniciativas nacionais e internacionais, bem como nas experiências e análises já produzidas pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), o documento apresenta uma visão abrangente das oportunidades, dos desafios e das recomendações para o aproveitamento do potencial da dessalinização no contexto brasileiro.

PANORAMA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

A dessalinização, especialmente por osmose reversa (OR), atingiu alto grau de maturidade mundial e destaca-se como solução eficiente para regiões com escassez de água ou restrições de qualidade do recurso hídrico. No Brasil, esse caminho é reforçado por experimentos bem-sucedidos, como os conduzidos por centros de referência, a exemplo do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) e do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da Universidade de São Paulo (Cirra/USP), que promovem pesquisas para adaptar tecnologias e desenvolver modelos de dessalinização capazes de operar, de forma eficiente, em distintas realidades regionais. Os avanços científicos propiciaram, inclusive, a formação de novos especialistas e a geração de inovações, reduzindo custos operacionais, otimizando o consumo de energia e implementando sistemas de reúso e reúso seguro das águas.

A integração entre a dessalinização e o uso de energias renováveis (solar e eólica) aparece como diferencial, tendo potencial para posicionar o Brasil como vanguarda em soluções de baixo carbono no setor, impulsionando a transição para uma indústria mais resiliente e sustentável diante das mudanças climáticas.

IMPACTOS E CONTRIBUIÇÕES PARA A INDÚSTRIA E COMUNIDADES

Casos emblemáticos – como o Projeto Dessalinizador da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) no Semiárido Nordestino e iniciativas do setor de mineração em áreas com restrição hídrica – evidenciam que a dessalinização vai além do fornecimento de água, contribuindo, de modo integral, para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades envolvidas. O acesso à água potável em regiões vulneráveis fortalece o capital social local, melhora indicadores de saúde pública e estimula novas oportunidades econômicas.

Para a indústria, a viabilização de projetos desse porte passa a ser vista sob uma ótica estratégica: além de garantir a continuidade operacional, reduz a dependência de mananciais tradicionais, mitiga riscos associados à variabilidade climática e reforça o compromisso com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente no tocante ao uso eficiente e à produção responsável.

DESAFIOS REGULATÓRIOS E INSTITUCIONAIS

Apesar do progresso tecnológico, persistem entraves ligados à regulação, outorgas de uso da água, licenciamento ambiental e tratamento de salmoura resultante do processo. Os estudos da CNI apontam a necessidade de um arcabouço regulatório moderno, capaz de fomentar investimentos e permitir maior integração das soluções de dessalinização ao planejamento hídrico nacional. O diálogo entre agência reguladora, órgãos ambientais, setor privado e comunidades afetadas mostra-se indispensável ao êxito e à sustentabilidade dos projetos.

Outra frente relevante é a necessidade de linhas de financiamento e incentivos específicos para projetos de pesquisa, desenvolvimento e implantação em larga escala, favorecendo a nacionalização de equipamentos e componentes críticos para tornar o setor ainda mais competitivo.

RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS

O estudo conclui que a adoção estratégica da dessalinização pode posicionar a indústria brasileira como pioneira na gestão sustentável da água, promovendo eficiência operacional, geração de valor compartilhado e liderança regional em inovação. Recomenda-se o fortalecimento das parcerias público-privadas, o investimento contínuo em formação e em capacitação profissional, e a promoção de programas de educação ambiental junto às comunidades beneficiadas.

Dessa forma, apoiar e difundir experiências de sucesso, criar o marco regulatório para a atividade e investir em disseminação tecnológica são passos fundamentais para consolidar a dessalinização como solução relevante dentro da matriz de segurança hídrica nacional, possibilitando novas perspectivas de desenvolvimento para regiões hoje limitadas pela escassez do recurso.

Este estudo, alinhado aos documentos prévios produzidos pela CNI, reforça a importância de uma abordagem integrada e inovadora para garantir água com segurança, qualidade e responsabilidade ambiental, o que contribui para a competitividade e sustentabilidade de toda a indústria brasileira.

Roberto Muniz
Diretor de Relações Institucionais da CNI

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

Aladyr | Associação Latino-Americana de Dessalinização e Reúso de Água
ANA | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANATEL | Agência Nacional de Telecomunicações
BHP | BHP Billiton
BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Cagece | Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CAPEX | despesas de capital (acrônimo em inglês para *capital expenditure*)
Cirra/USP | Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da Universidade de São Paulo
CNI | Confederação Nacional da Indústria
CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Conama | Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNRH | Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Coppe/UFRJ | Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CPFL | Companhia Paulista de Força e Luz
CTTD | Centro de Tecnologias de Testes de Dessalinizadores
ED | eletrodiálise
EDR | eletrodiálise reversa
ESG | ambiental, social e governança (acrônimo em inglês para *environmental, social and governance*)
Finep | Financiadora de Estudos e Projetos
GSI | Gabinete de Segurança Institucional
IA | inteligência artificial (acrônimo em inglês para *artificial intelligence*)
IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDA | International Desalination Association
Insa | Instituto Nacional do Semiárido
IoT | internet das coisas (acrônimo em inglês para *internet of things*)
LABDES | Laboratório de Referência em Dessalinização
MB | Marinha do Brasil
MCTI | Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MD | Ministério da Defesa
MED | destilação por múltiplos efeitos
MED-TVC | destilação de múltiplos efeitos com compressão térmica de vapor (acrônimo em inglês para *multiple-effect distillation with thermal vapor compression*)
MESA | Norte da África e Oriente Médio (acrônimo em inglês para *Middle East and North Africa*)
MCom | Ministério das Comunicações
MGI | Ministério da Gestão e Inovação
MLD | milhões de litros por dia
MMA | Ministério do Meio Ambiente
MSF | destilação flash multiestágio (acrônimo em inglês para *multi-stage flash distillation*)
NF | nanofiltração
ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS | Organização Mundial da Saúde
ONU | Organização das Nações Unidas
OPEX | despesas operacionais (acrônimo em inglês para *operating expenditure*)
OR | osmose reversa
PAD | Programa Água Doce
P&D | pesquisa e desenvolvimento
PNSH | Plano Nacional de Segurança Hídrica
PPA | contrato de compra de energia (acrônimo em inglês para *power purchase agreement*)
PMF | Prefeitura Municipal de Fortaleza
PPP | parceria público-privada
Sabesp | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDI | índice de densidade de silte
SDT | sólidos dissolvidos totais
Senai | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Sesi | Serviço Social da Indústria
SPU | Secretaria do Patrimônio da União
SWRO | osmose reversa com água do mar (acrônimo em inglês para *seawater reverse osmosis*)
Telcomp | Associação Brasileira das Prestadoras de Serviços de Telecomunicações Competitivas
UE | União Europeia
UF | ultrafiltração
UFCG | Universidade Federal de Campina Grande
ZLD | descarga líquida zero (acrônimo em inglês para *zero liquid discharge*)



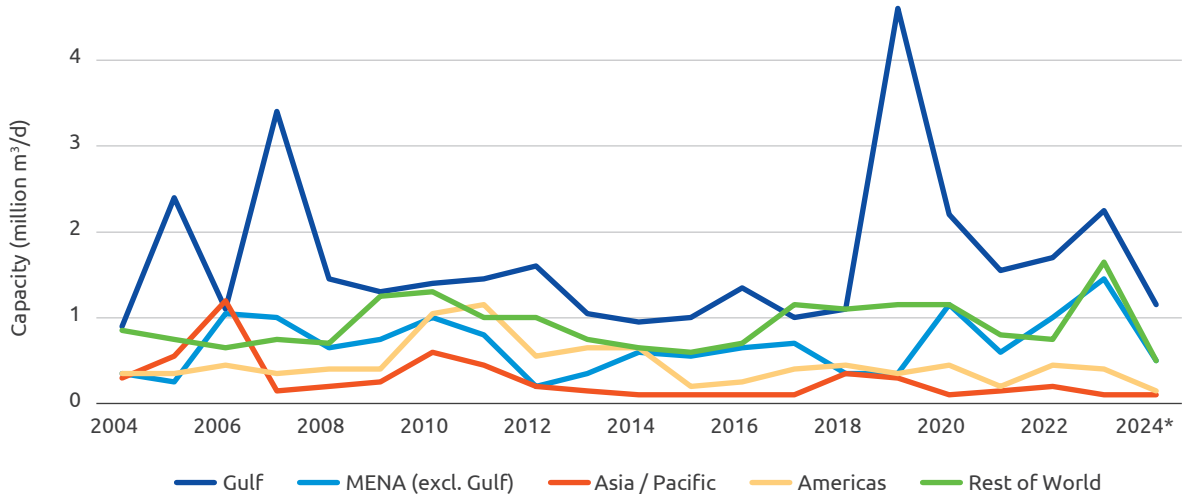
1 DESSALINIZAÇÃO NOS DIAS ATUAIS

A dessalinização é o processo de remover o excesso de sais minerais da água, transformando-a em água doce própria para consumo humano, uso agrícola ou industrial. Trata-se de uma solução moderna, confiável e resiliente frente à limitação e variabilidade das fontes de água doce.

Não se trata de uma tecnologia nova. A dessalinização é uma ferramenta madura, utilizada em grande escala, há décadas, em diversas partes do mundo, com destacada importância em Israel, Arábia Saudita, Qatar, Emirados Árabes Unidos, entre outros. A Arábia Saudita é o país com maior dependência de água dessalinizada, utilizando-a para mais de 86% de suas necessidades de água potável, agrícola e industrial. Com mais de 30 grandes usinas, a atual capacidade de dessalinização na Arábia Saudita é de 12,5 milhões de m³/dia, e espera-se que dobre até 2030.

A Figura 1 ilustra os volumes anuais contratados de água dessalinizada (milhões de m³/dia) em cinco regiões do mundo, no período de 2004 a 2024[1]. Na figura, a região MENA[2] representa o Norte da África (Marrocos, Argélia, Tunísia e Líbia) e o Oriente Médio. A região Gulf (Golfo) é formada por Irã, Iraque, Arábia Saudita, Bahraim, Qatar, Emirados Árabes Unidos e Oman.

FIGURA 1 – Oferta de água dessalinizada em várias partes do mundo



Fonte: IDRA; Global Water Intelligence, 2024-2025, p. 8.

1 INTERNATIONAL DESALINATION AND REUSE ASSOCIATION (IDRA); GLOBAL WATER INTELLIGENCE. **IDRA Desalination & Reuse Handbook**. Handbook. 2024-2025.

2 MENA: Norte da África e Oriente Médio, do acrônimo em inglês para: *Middle East and North África.*

De acordo com o DesalData da GWI[3], existem atualmente 1.901 instalações de dessalinização ativas na União Europeia (UE) capazes de fornecer 7,29 milhões de m³/dia de água doce. Estas incluem instalações alimentadas por água do mar (43%), água interior e/ou salobra (47%), bem como águas residuais (10%). A concentração geográfica dessas usinas é ilustrada com mais detalhes na Figura 2.

FIGURA 2 – Localização das usinas de dessalinização na União Europeia



Fonte: disponível em: https://blue-economy-observatory.ec.europa.eu/eu-blue-economy-sectors/desalination_en.

A dessalinização na UE desenvolveu-se quase exclusivamente em resposta à escassez territorial de água, no início da década de 1990, com pequenas instalações que forneciam água potável a hotéis e *resorts*. A capacidade instalada cresceu significativamente ao longo da primeira década do século, com algumas instalações de grande porte a serem comissionadas para servir grandes cidades costeiras, como Barcelona e Alicante, na Espanha.

Cerca de 65% das usinas em operação na UE estão localizadas em áreas costeiras ou *offshore*. As usinas *offshore* apoiam atividades *offshore*, principalmente campos de petróleo e gás. As usinas em terra são utilizadas para produção de água potável e água industrial, frequentemente por meio de um processo de purificação de água salobra presente em aquíferos locais.

A Espanha é, de longe, o país com a maior capacidade de dessalinização da UE, totalizando quase três quartos da capacidade ativa total – seguida por Itália, Chipre, Malta e Grécia.

A maior proposta de valor da dessalinização para a indústria reside na **autonomia hídrica** que ela proporciona, liberando as operações da dependência de rios, lagos ou aquíferos que podem sofrer com secas, poluição ou conflitos pelo uso. Para indústrias em regiões com estresse hídrico ou que necessitam de alta qualidade e volume constantes, essa independência tem um valor inestimável.

3 Para mais detalhes, pesquisar em: EUROPEAN COMISSION. Desalination. 2026. Disponível em: https://blue-economy-observatory.ec.europa.eu/eu-blue-economy-sectors/desalination_en. Acesso em: 04 de maio de 2026.

Ao contrário das fontes naturais, cuja qualidade pode variar sazonalmente ou ser comprometida por poluentes, a água dessalinizada pode ser tratada para atingir níveis de pureza muito elevados e consistentes. Isso é vital para processos industriais que demandam água com especificações rigorosas, como na indústria farmacêutica, de alimentos e bebidas, eletrônica, entre outras. As indústrias passaram a enxergar a sua gestão hídrica não apenas como um custo ou uma exigência regulatória, mas como uma possibilidade **estratégica** que assegura a operação, protege os ativos e fortalece a cadeia de valor. Além disso, o custo da água dessalinizada avançou em viabilidade.

No início, o processo de osmose reversa (OR) apresentava um consumo energético específico de até 20 kWh/m³, valor considerado economicamente inviável para aplicações de grande escala. Atualmente, esse consumo das plantas de osmose reversa (OR) modernas situa-se na faixa de 2,0 a 4,0 kWh/m³ para instalações de grande porte (Macedo dos Santos, 2025).

Essa diminuição no consumo energético, combinada com a economia de escala de grandes usinas, levou a uma redução nos custos de produção. Enquanto a energia ainda pode representar de 40% a 60% dos custos operacionais, o custo total da água dessalinizada tornou-se a opção escolhida em regiões com intenso estresse hídrico. Contratos recentes para projetos de grande escala no Oriente Médio – uma região com notado estresse hídrico – alcançaram custos médios de US$ 0,50/m³ (Macedo dos Santos, 2025).


R EXTENSION
GE TANK - B

2 CARACTERÍSTICAS DA DESSALINIZAÇÃO

No ano corrente, mais de 150 países já utilizam a dessalinização de uma forma ou de outra para atender a segmentos específicos de demanda hídrica, abastecendo mais de 300 milhões de pessoas com água potável (World Bank, 2019).

A implementação da dessalinização traduz-se em uma série de benefícios estratégicos que posicionam a indústria de forma mais robusta no mercado, entre elas:

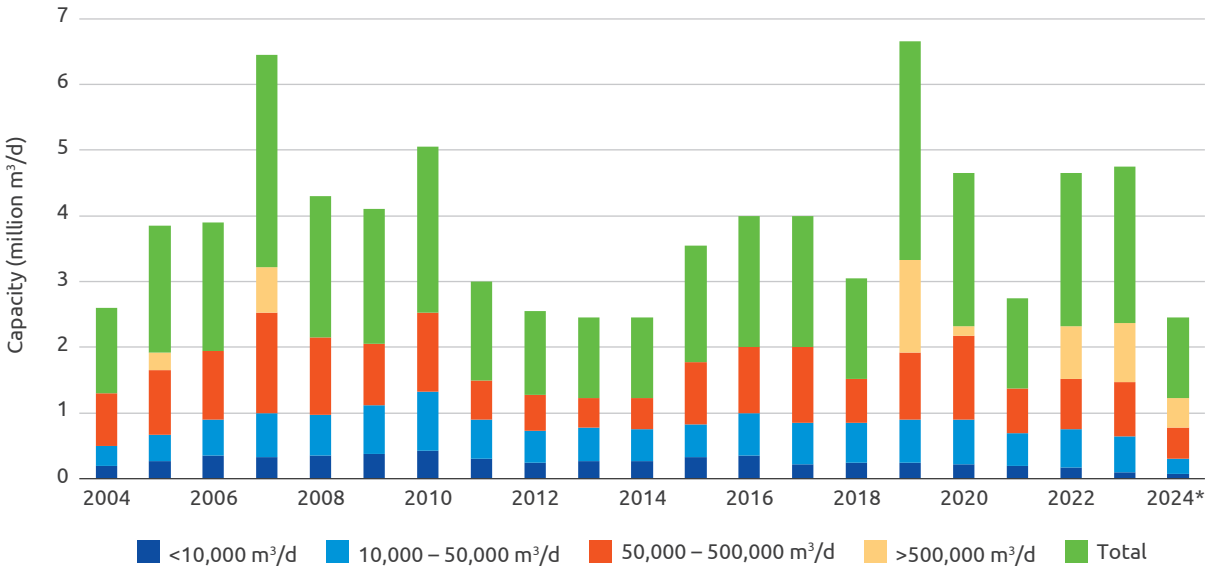
1. **Viabilização de crescimento e expansão:** ao garantir uma fonte de água estável e controlada, a empresa remove uma barreira significativa para o crescimento e a expansão de suas operações, mesmo em regiões com restrições hídricas.
2. **Fortalecimento da agenda ESG[4]:** a gestão hídrica proativa é um componente crucial da governança ambiental. Empresas com um robusto plano de segurança hídrica demonstram compromisso com a sustentabilidade, o que atrai investidores e talentos e melhora sua classificação em índices de sustentabilidade.
3. **Redução de riscos e aumento da resiliência:** a diversificação das fontes de água reduz a exposição a riscos climáticos, regulatórios e de mercado, o que aumenta a resiliência operacional.
4. **Oportunidades de inovação:** o investimento em novas tecnologias de água impulsiona a inovação interna, gera *know-how* e pode, até mesmo, viabilizar novas linhas de negócio ou otimizar processos de forma inesperada.
5. **Vantagem competitiva:** empresas que garantem seu suprimento hídrico, de forma autônoma e sustentável, ganham uma vantagem competitiva sobre aquelas que permanecem vulneráveis à escassez. Podem operar com maior previsibilidade e custo-benefício no longo prazo.
6. **Melhora da relação com a comunidade:** ao reduzir a demanda sobre as fontes de água locais, a indústria fortalece sua licença social para operar e torna-se parceira mais valorizada pela comunidade.

4 ESG: ambiental, social e governança, do acrônimo em inglês para: *environmental, social and governance.*

A dessalinização, em 2023, atingiu a produção global de 4,8 milhões de m³/dia (200.000 m³/hora)[5] A região da Península Arábica – incluindo os países Qatar, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos) – contém 46% da produção global de água dessalinizada. O CAPEX[6] está situado em torno de US$ 900/m³/d, com um OPEX[7] médio de US$ 0,653/m³.

A economia de escala e energia mais barata são críticos para esses valores de CAPEX e OPEX. Os dados recentes mostram a forte dominância dos processos com base em membranas. De forma geral, os processos termais para dessalinização perderam a liderança. A Figura 3 mostra a produção de água dessalinizada por capacidade de produção de unidades produtoras. Observa-se forte predominância das unidades com capacidade de produção de 50.000 – 500.000 m³/d (equivalente a 2.083 – 20.833 m³/h).

FIGURA 3 – Produção de água dessalinizada por capacidade de unidade produtiva



Fonte: IDRA Desalination & Reuse Handbook 2024-2025, p. 9.

Em certas partes do mundo, ocorre um progressivo avanço de usinas de dessalinização para atender ao setor industrial. A Tabela 1 mostra os mais recentes e os maiores projetos de dessalinização associados à indústria.

5 IDRA; Global Water Intelligence, 2024-2025.
6 CAPEX: despesas de capital, do acrônimo em inglês para: *capital expenditure.*
7 OPEX: despesas operacionais, do acrônimo em inglês para: *operating expenditure.*

TABELA 1 – Usinas de dessalinização para atendimento à indústria

Indústria	Produção (m^3/dia)
Codelco SADDN Mining RO, Chile	72.756
Dona Ines de Collahuasi Mining RO, Chile	90.720
Jorf Lasfar Wave 2, Morocco	246.000
Tianjin SWRO, China	150.000
North Field South SWRO, Qatar	110.400
Jiangsu Coal Chemical BWRO, China	106.000
Indosol Solar PV SWRO, Índia	100.000
Wanhua Penglai SWRO, China	100.000

Fonte: IDRA Desalination & Reuse Handbook 2024-2025, p. 13.

Um caso muito especial é o de Israel, pois este país ocupa uma das posições de liderança no desenvolvimento da tecnologia e no uso da dessalinização. Localizado entre o Rio Jordão e o Mar Mediterrâneo, na fronteira norte com o Líbano, a precipitação média anual é de aproximadamente 1.000 mm/ano. Na fronteira sul com o Egito, a precipitação média anual é de aproximadamente 50 mm/ano. Com uma população de quase 9 milhões de habitantes distribuídos em poucos mais de 22.000 km^2, a dessalinização representa 80% do total de água produzida no país. A produção atual de suas usinas plantas de dessalinização é de 600.000.000 m^3 por ano (68.493 m^3/hora). No caso de Israel, a dessalinização moldou o desenvolvimento daquela sociedade.

Indicação de vídeo sobre dessalinização (duração de 3 minutos)



Vídeo 1 sobre dessalinização
https://youtu.be/XSbNUwWkHmM



3 POSSIBILIDADES DA DESSALINIZAÇÃO E A INDÚSTRIA BRASILEIRA

A dessalinização é uma possibilidade para ampliar a segurança hídrica e a adaptabilidade das operações empresariais do Brasil frente às mudanças climáticas. O Brasil tem um litoral com aproximadamente 7.500 km de extensão, banhando 17 estados da Federação. O censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022[8] mostrou que, dos 212 milhões de brasileiros, 111 milhões vivem próximo ao litoral, em uma faixa de território de 150 km da costa (Figura 4). Assim, há boas razões para que a dessalinização componha, sob certas circunstâncias, a matriz de fontes hídricas.

FIGURA 4 – População brasileira no litoral

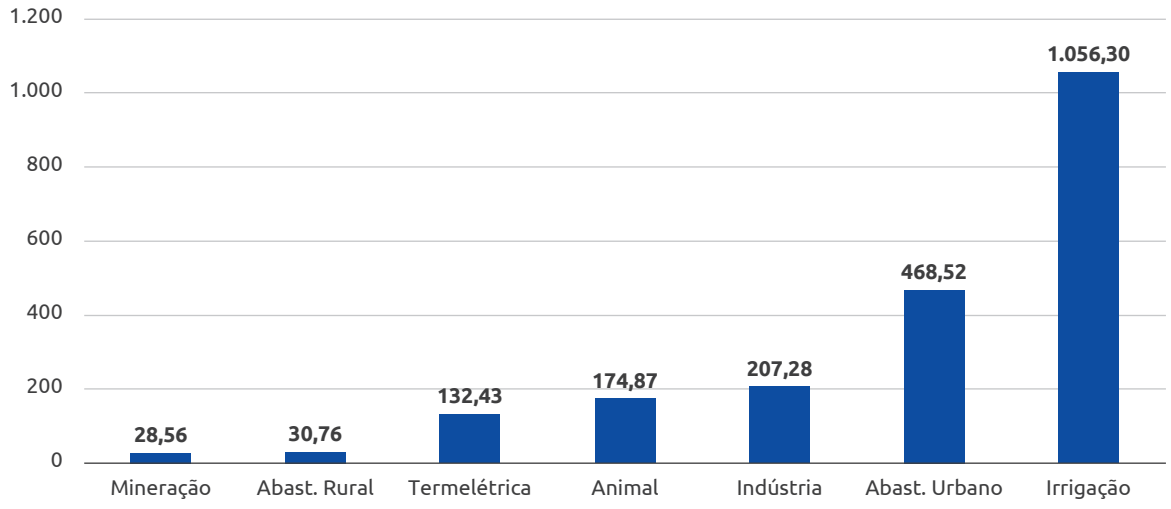


Fonte: disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica

8 ABDALA, Vitor. Mais da metade da população brasileira vive no litoral. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 21 mar., 2024. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-03/mais-da-metade-da-populacao-brasileira-vivem-no-litoral

Conforme o documento **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil** (2024), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a demanda por água para o setor industrial brasileiro, para o ano de 2022, era de 191 m^3/s. A Figura 5 apresenta as demandas setoriais projetadas para 2025. Todavia, não está disponível o recorte da demanda de água da indústria para uma faixa de terras próximas ao litoral.

FIGURA 5 – Demanda de água por setores no ano de 2025



Fonte: ANA, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2025.

Contudo, a indústria pode ter captação própria em rios, mar, lagos ou aquíferos ou ser abastecida por uma companhia de saneamento ou sistemas mistos. Já os custos desse acesso à água variam de acordo com muitos fatores: distância da fonte hídrica, qualidade da água requerida, forma de operação do sistema, tratamento da água para cada processo contido na operação industrial, bem como as despesas para tratamento do efluente para a posterior disposição.

Quando a indústria recebe água de uma companhia de saneamento e sua demanda hídrica exige uma adutora específica para esse serviço, o custo da água costuma ser negociado entre as partes. As tarifas de água para o setor industrial divulgadas pelas companhias de saneamento valem para unidade com pequena demanda hídrica que não requer uma rede de água ou uma qualidade de água especial.

Ainda assim, para efeito comparativo do custo da água, vale a pena conhecer as tarifas médias praticadas pelos serviços públicos ou privados de saneamento para o atendimento industrial. Para ficar com um exemplo de um estado no litoral com forte setor industrial, a Tabela 2 apresenta a tarifa de água da empresa Águas do Rio – responsável pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário em 27 municípios do estado do Rio de Janeiro, incluindo 124 bairros da capital.

TABELA 2 – Tarifas de água da empresa Águas do Rio[9] para o setor industrial

	Faixa de consumo (m³)	Tarifa por m³ (R$)
Região A (Botafogo, Flamengo, São Cristóvão, Lagoa, Ipanema, etc.)	0-20	35,23
	21-30	39,99
	> 30	43,29
	Faixa de consumo (m³)	**Tarifa por m³ (R$)**
Região B (Marechal Hermes, Vila da Penha, São Gonçalo, Parada de Lucas, Maricá, etc.)	0-20	27,93
	21-30	27,93
	31- 130	32,09
	> 130	33,87

Fonte: disponível em: https://aguasdorio.com.br/legislacao-e-tarifas/.

Os custos elevados, associados ao serviço de oferta de água, exigem que o setor industrial revise seus planos diretores de água e estude opções à rede dos serviços públicos ou privados de saneamento. Nesse cenário comparativo, a dessalinização deve ser estudada.

9 ÁGUAS DO RIO. **Legislação e tarifas**. [S.l: s.n.], s.d. Disponível em: https://aguasdorio.com.br/legislacao-e-tarifas/



4 QUALIDADE DA ÁGUA DO MAR E DESSALINIZAÇÃO

No Brasil, com sua vasta linha de costa, com suas águas salobras dos estuários e lagunas, a dessalinização representa um processo viável para produção de água, independentemente das variações climáticas e, das sazonalidades que marcam a oferta hídrica de água doce. A água oriunda do processo de dessalinização oferece não apenas volume, mas também qualidade controlada, essencial para processos industriais que demandam alta pureza. Todavia, é preciso que a escolha do ponto de captação apresente as condições estáveis das características físicas e químicas da água no local da captação. No caso das condições de salinidade que variam, seria preciso que o projeto fosse preparado para a pior condição, o que exigirá CAPEX e OPEX maiores.

Associada às questões da dessalinização, no documento **Mapa estratégico da indústria 2023-2032: o caminho para a nova indústria** (CNI, 2023), está destacada a preocupação ambiental dos consumidores e investidores, ao demandar que as empresas prestem contas sobre sua pegada de carbono, seu uso da água, seu grau de circularidade na produção e sua disposição de resíduos, entre outras variáveis que passam a ser cada vez mais estratégicas. Isso poderá promover estabilidade no fornecimento de água para a indústria.

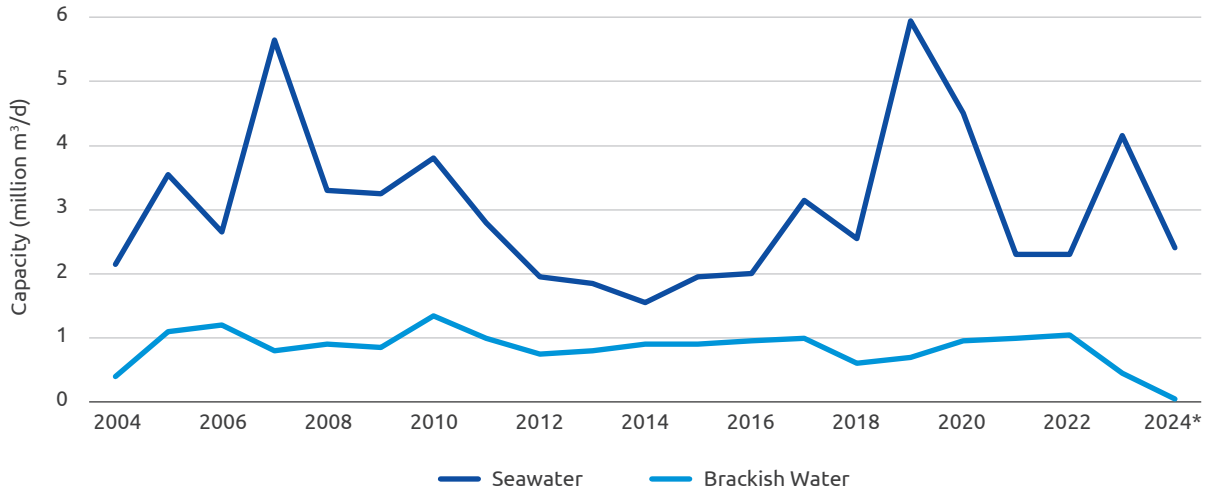
A dessalinização, quando integrada a uma estratégia abrangente de gestão hídrica e sob certos contextos, pode mudar o paradigma da dependência em um de autonomia e resiliência. A dessalinização permite à indústria desassociar seu crescimento da disponibilidade limitada de água doce superficial, conferindo maior previsibilidade e estabilidade às operações, mesmo em cenários de estresse hídrico.

Conforme Macedo dos Santos (2025), quanto ao teor de sais, as águas podem ser assim classificadas:

1. **Água doce:** apresenta sólidos totais dissolvidos (TDS) inferior a **500 mg/L.**
2. **Água salobra (*brackish water*):** possui uma salinidade intermediária, com TDS variando de **500 mg/L a 30.000 mg/L**. Fontes comuns incluem estuários e aquíferos subterrâneos em regiões áridas, como os encontrados no semiárido brasileiro**.**
3. **Água do mar (*seawater*):** tipicamente, apresenta TDS na faixa de **30.000 a 45.000 mg/L**.
4. **Salmoura (*brine*):** refere-se a soluções com TDS superior a **50.000 mg/L**. Este termo é frequentemente usado para descrever o efluente concentrado (rejeito) de um processo de dessalinização.

A esse respeito, a Figura 6 mostra a produção de água dessalinizada por fonte de água marinha ou salobra. Observa-se clara predominância do uso da água salina como fonte do processo. A busca por uma água que apresenta características físicas e químicas estáveis é a razão da escolha.

FIGURA 6 – Produção de água dessalinizada por fonte de água



Fonte: IDRA Desalination & Reuse Handbook 2024-2025, p. 14.[10]

No livro **Desalination project cost estimating and management** (2019), o autor Nikolay Voutchkov destaca que:

1. Os principais parâmetros de qualidade da água que impactam o projeto são sólidos dissolvidos totais (SDT), temperatura, turbidez, índice de densidade de silte (SDI)[11], conteúdo orgânico, nutrientes, algas, bactérias, boro, sílica, bário, cálcio e magnésio.
2. O SDT da água do mar e a temperatura são os dois principais parâmetros de qualidade da água que têm a influência mais significativa nos custos de produção de água por dessalinização.
3. Em geral, os custos de construção e operação e manutenção de usinas de dessalinização aumentam com o aumento da concentração de TDS da água do mar de origem e com a diminuição da temperatura da água.
4. A concentração de TDS da água do mar de origem está diretamente relacionada ao projeto do sistema de osmose reversa (OR) para água do mar (SWRO) [acrônimo em inglês para *sea water reverse osmosis*], às pressões de alimentação operacionais e à configuração geral do projeto da usina.

10 VOUTCHKOV, Nikolay, author. **Title**: Desalination project cost estimating and management. [S.l.]: Editora CRC Press Taylor & Francis Group, 2019.

11 O índice de densidade de sedimentos (SDI), acrônimo em inglês para *silt density index*, é importante parâmetro usado no tratamento de água com membranas de osmose reversa (OR) ou nanofiltração (NF). O SDI é usado para dar uma ideia de quantidade de sedimentos que desfavorecem a operação de nanofiltração e osmose reversa, e serve como base para projetar unidades de pré-tratamento por ultrafiltração (UF) ou filtro multimídia.

O autor alerta que o uso de água do mar com menor salinidade – como água da baía ou uma mistura de água do oceano e salobra ou água doce subterrânea proveniente do fundo do oceano – normalmente permite redução dos custos associados à construção e operação do sistema SWRO. Todavia, é importante observar que a regularidade da concentração de TDS da água é quase tão importante para um projeto bem-sucedido de SWRO de baixo custo, quanto o nível de TDS da água.

Assim, fontes de água doce superficial que podem entrar na captação da usina de dessalinização, como água de rios ou lagos, podem conter turbidez, compostos orgânicos, nutrientes e outros poluentes artificiais que estão em níveis de uma ordem de magnitude mais elevados do que os da água do oceano aberto. Como resultado, a remoção de contaminantes contribuídos pela introdução de água doce superficial na água de alimentação da usina de dessalinização pode exigir um pré-tratamento mais elaborado, o que pode custar mais do que a economia associada a uma menor concentração de TDS na água.

A intrusão da água doce vindo do continente pode alterar as condições físicas e química da água ao longo do tempo – o que trará efeito complicador à operação da DESSAL ao longo do tempo. Como qualquer processo de tratamento de água, a condição ideal é que as características físicas e químicas da água que entra no processo sofram pouca ou nenhuma variação. Também é necessário que um estudo hidrodinâmico das correntes marinhas do local assegure que o lançamento do concentrado não retorne para o ponto de captação.



5 CUSTOS OPERACIONAIS (OPEX) DA DESSALINIZAÇÃO

O OPEX é a espinha dorsal financeira do projeto ao longo de sua vida útil e, muitas vezes, representa a maior parcela do custo total da água produzida. A otimização do OPEX é onde a eficiência tecnológica e a gestão inteligente podem gerar os maiores ganhos. Os principais componentes do OPEX incluem:

1. **Energia elétrica:** este é, invariavelmente, o maior componente do OPEX em qualquer processo de dessalinização por osmose reversa (OR), podendo representar de **40% a 60% do custo total.** Avanços em tecnologias de membranas e, principalmente, em sistemas de recuperação de energia (ERD), acrônimo em inglês para *energy recovery devices*, têm reduzido drasticamente o consumo de energia. A integração com fontes de energia renovável, como solar fotovoltaica, apresenta grande potencial para mitigar esse custo e reduzir a pegada de carbono.
2. **Produtos químicos:** estes são utilizados no pré-tratamento (para evitar incrustação e entupimento das membranas), na limpeza das membranas (CIP), acrônimo em inglês para *cleaning in place*, e no pós-tratamento (ajuste de pH, desinfecção).
3. **Substituição de membranas:** as membranas de osmose reversa (OR) possuem uma vida útil limitada (geralmente de três a sete anos, dependendo da qualidade da água e do gerenciamento). Já a sua substituição periódica possui um custo significativo.
4. **Mão de obra:** custos associados à equipe de operação e manutenção da planta podem ser significativos. A automação pode reduzir o número de operadores, mas a *expertise* técnica continua sendo essencial.
5. **Manutenção e peças de reposição:** é indispensável a manutenção regular de bombas, válvulas, instrumentos e outros equipamentos, além da reposição de peças desgastadas.
6. **Descarte de concentrado (salmoura):** o efluente concentrado ou salmoura requer manejo e descarte adequados. As opções variam de descarga em corpos d'água (com licença ambiental e dentro dos limites permitidos), injeção em poços profundos, até a cristalização para *zero liquid discharge* (ZLD), que pode ter custos mais elevados, mas também pode gerar subprodutos valiosos.

Quanto ao custo operacional total da água dessalinizada, o OPEX tem variado de US$ 0,5 a US$ 1,5 por metro cúbico (m³) de água produzida. Para água salobra, pode ser ainda mais baixo, na ordem de US$ 0,3 a US$ 0,8/m³. No Brasil, o Seminário Segurança Hídrica para a Indústria: Eficiência em Foco[12] mencionou custos competitivos, variando entre US$ 0,5 a US$ 0,8/m³ para o setor industrial, incluindo todos os investimentos no longo prazo, o que se alinha bem com *benchmarks* globais para água salobra ou plantas otimizadas.

O Banco Mundial, em 2019, em sua publicação ***The role of desalination in an increasingly water-scarce world***[13] (**O papel da dessalinização em mundo com escassez hídrica crescente**) apresenta um quadro amplo de custos de OPEX e CAPEX para alguns processos e suas localidades. O leitor pode observar a variação desses custos por volume de água produzido na Tabela 3.

TABELA 3 – Custo da dessalinização

Tipo de processo e localização		CAPEX (US$/ 1000 m³ por dia)		OPEX (US$/m³)		Custo de produção (US$/m³)	
		Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média
MSF		1,7-3,1	2,1	0,22-0,30	0,26	1,02-1,74	1,44
MED-TVC		1,2-2,3	1,4	0,11-0,25	0,14	1,12-1,50	1,39
SWRO Mar Mediterrâneo		0,8-2,2	1,2	0,25-0,74	0,35	0,64-1,62	0,98
SWRO Golfo Arábico		1,2-1,8	1,5	0,36-1,01	0,64	0,96-1,62	1,35
SWRO Mar Vermelho		1,2-2,3	1,5	0,41-0,96	0,51	1,14-1,70	1,38
SWRO (Atlântico e Pacífico)		1,3-7,6	4,1	0,17-0,41	0,21	0,88-2,86	1,82
Híbrido	MSF/MED	1,5-2,2	1,8	0,14-0,25	0,23	0,95-1,37	1,15
	SWRO	1,2-2,4	1,3	0,29-0,44	0,35	0,85-1,12	1,03

Nota: significado dos acrônimos:
MLD: milhões de litros por dia.
SWRO: *sea water reserve osmosis* – osmose reversa com água do mar.
MSF: *multistage flash distillation* – destilação de múltiplos efeitos.
MED-TVC: multiple effect distillation with thermal vapor compression – destilação de múltiplos efeitos com compressão térmica de vapor.

Na mesma publicação, o custo de produção de água dessalinizada por osmose reversa (OR) é apresentado por elementos de despesas, conforme mostra a Tabela 4.

TABELA 4 – Custo de produção por osmose reversa (OR)

Itens de custo	US$/m³	Percentagem do total (%)
Custo variável	0,30	42
Energia	0,22	30
Produtos químicos	0,02	3
Troca de membrana	0,04	6

12 Realizado pela CNI, pela Associação Latino-Americana de Dessalinização e Reúso de Água (Aladyr) e pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), em São Paulo, no dia 23 de outubro de 2023.

13 WORLD BANK. **The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scarce World**. World Bank, Washington, DC: World Bank, 2019.

Itens de custo	US$/m³	Percentagem do total (%)
Disposição do concentrado	0,02	3
Custo fixo	0,42	58
Amortização do investimento	0,32	44
Pessoal	0,02	3
Manutenção	0,03	4
Monitoramento ambiental	0,01	1
Outros	0,04	6
Custo total	0,72	100

Conforme Macedo dos Santos (2025), classificam-se as tecnologias de dessalinização com base no mecanismo físico fundamental empregado na separação dos sais:

1. **Processos de mudança de fase (térmicos):** tecnologias, como a destilação de múltiplos efeitos (MSF) e a destilação por múltiplos efeitos (MED).
2. **Processos de barreira seletiva (membranas):** tecnologias, como a osmose reversa (OR) e a nanofiltração (NF), que utilizam barreiras poliméricas projetadas em escala nanométrica para permitir a passagem seletiva da água sob pressão.
3. **Processos de mobilidade iônica (eletroquímicos):** tecnologias, como a eletrodiálise (ED) e a eletrodiálise reversa (EDR), que utilizam um campo elétrico para mover os íons de sal para fora da água, em vez de mover a água para longe dos sais.

A FAO[14], em 2022 em seu estudo **The Joint Water-Agriculture Ministerial Council Desalination in the Arab region: status, challenges, and prospects** (Conselho Ministerial Conjunto Água-Agricultura Dessalinização na região árabe: situação, desafios e perspectivas) alerta que a escolha do processo impacta o custo de instalação e de operação. A Tabela 5 apresenta os custos médio para os processos MSF e MED.

TABELA 5 – Custo de CAPEX e OPEX por tipo de processo

	CAPEX (US$ /m³)	OPEX (US$ /m³)
MSF	1.200 – 1.500	1.10 – 1.25
MED	900 – 1.000	0.75 – 0.85

Os valores contidos nas Tabelas 3, 4 e 5 ultrapassam, de forma geral, o custo da água das fontes ordinárias – rios, lagos e reservatório com suas estruturas associadas. Dessa forma, o estudo da viabilidade da dessalinização merece um estudo para cada caso, com suas especificidades e suas condições regionais, hidrológicas, ambientais próprias.

14 ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). **The Joint Water-Agriculture Ministerial Council Desalination in the Arab region**: Status, Challenges, and Prospects, 2022.



6 IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS

A gestão do concentrado salino é um dos pontos mais críticos para a sustentabilidade de um projeto de dessalinização. Conforme Macedo dos Santos (2025), o descarte inadequado pode gerar três impactos principais no ecossistema marinho receptor:

1. **Hipersalinidade**: a salmoura, por ter salinidade aproximadamente duas vezes maior que a do oceano, causa estresse osmótico em organismos marinhos que não estão adaptados a tais variações. As comunidades mais vulneráveis são as bentônicas (do fundo do mar), como corais e, especialmente, prados de ervas marinhas, que são a base de muitos ecossistemas costeiros e sensíveis a alterações de salinidade. Regulamentações rigorosas, como as da Califórnia, estabelecem limites precisos para mitigar esse efeito, exigindo que a pluma de descarte não eleve a salinidade ambiente em mais de 2‰ (partes por mil) a uma distância de 100 metros do ponto de lançamento**.**
2. **Toxicidade química**: o efluente da dessalinização contém traços dos produtos químicos utilizados no pré-tratamento para proteger as membranas. Embora aplicados em baixas concentrações, eles concentram-se na salmoura. Substâncias, como anti-incrustantes, coagulantes e biocidas (cloro), podem apresentar ecotoxicidade para a vida marinha se não forem adequadamente diluídos na zona de mistura. O controle desse impacto depende diretamente da eficiência do sistema de dispersão.
3. **Estratificação e anoxia**: por ser mais densa que a água do mar, a salmoura tende a afundar e se acumular no fundo. Se o sistema de descarte não promover uma mistura vigorosa, essa camada de alta densidade pode criar uma estratificação, impedindo a troca de oxigênio entre a coluna d'água e o leito marinho. Essa barreira pode levar a condições de baixo oxigênio (hipoxia) ou ausência total (anoxia) no fundo.

Dessa forma, é necessário que, no processo de licenciamento ambiental, esteja assegurado que a dispersão não afete a salinidade para além do ponto de lançamento, que afete as espécies de flora e fauna aquáticas locais, tendo em vista que a plataforma continental brasileira, em geral, tem pequena declividade.

O ambiente regulatório é fator crítico para a viabilidade e o cronograma de projetos de dessalinização. No Brasil, o cenário ainda está em evolução, o que pode introduzir incertezas e desafios adicionais. O processo de licenciamento ambiental, que abrange a captação de água, a construção da planta e o descarte do concentrado, é notoriamente complexo e, muitas vezes, demorado. A ausência de um marco legal específico e estruturado para a dessalinização

pode resultar em interpretações variadas por parte dos órgãos reguladores, gerando atrasos significativos e custos adicionais.

Além do licenciamento, a conformidade com os padrões de qualidade da água produzida é mandatória, seja para potabilidade (Portaria GM nº 888, de 4 de maio de 2021) do Ministério da Saúde ou para os requisitos específicos do uso industrial. Da mesma forma, as rigorosas legislações de efluentes devem ser estritamente observadas para o descarte da salmoura, evitando multas e sanções que podem comprometer a operação. Esses requisitos podem variar entre diferentes esferas governamentais (federal, estadual, municipal), exigindo uma análise regulatória exaustiva.

O estabelecimento de um diálogo proativo e construtivo com os órgãos reguladores, buscando esclarecimentos e contribuindo para a evolução do arcabouço legal, pode ser estratégico. Além disso, a contratação de assessoria especializada e a participação ativa em associações setoriais, como a Aladyr, podem fortalecer a posição da empresa na defesa de um ambiente regulatório mais claro e propício à inovação em gestão hídrica.

Nos próximos parágrafos, apresentam-se as reflexões sobre a disposição da salmoura de acordo com autor Nikolay Voutchkov[15].

Dependendo das condições específicas do local de determinado projeto, os gastos com descarte de concentrado podem ter uma contribuição mensurável para os custos totais de construção e operação da usina, bem como para o custo total da água. O uso de emissários existentes para descarte de concentrado e, mais especificamente, o descarte conjunto com água de resfriamento de usinas de energia ou efluentes de estações de tratamento de águas residuais geralmente resultam em menores custos de descarte de concentrado.

As regulamentações ambientais são uma das principais ferramentas políticas para controlar os impactos ambientais das descargas de usinas de dessalinização. Todos os países desenvolvidos em todo o mundo possuem regulamentações para descarte de fluxos de resíduos, que exigem que a salinidade da descarga da usina de dessalinização seja reduzida para menos de 10% da salinidade ambiente em um raio de 300 metros a partir do ponto de descarga. Tal meta é alcançável e, na maioria dos projetos de dessalinização construídos em todo o mundo nos últimos 20 anos, a meta de redução de salinidade é alcançada em um raio de 50 a 100 metros a partir do ponto de lançamento da descarga da usina no mar.

Para efeito de comparação, as regulamentações de descarga em muitos outros países – como África do Sul, Estados Unidos, Austrália, Índia e Cingapura – são substancialmente diferentes daquelas na região MENA e exigem a construção de um emissário *offshore* com difusores, o que é significativamente mais caro do que as descargas próximas à costa.

15 Voutchkov, 2019.

Muitas das usinas de dessalinização de SWRO em todo o mundo, construídas nos últimos 10 anos, possuem instalações de manuseio de sólidos projetadas especificamente para tratar a água de retrolavagem dos filtros usados do sistema de pré-tratamento da usina, a fim de evitar a descarga no mar do coagulante químico usado para sua remoção.

Esses sistemas de manuseio de sólidos normalmente incluem sedimentação lamelar e instalações de desidratação mecânica para remoção dos sólidos gerados pelo sistema de pré-tratamento e para seu descarte em aterro sanitário como lodo.

Até o momento, a experiência real mostra que os requisitos regulatórios mais rigorosos, em alguns países com regulamentações específicas para projetos de dessalinização e energia renovável, como a Austrália, não resultaram no uso de tecnologias de dessalinização e proteção ambiental diferentes daquelas já adotadas na região MENA e nunca resultaram em projetos em que as usinas de dessalinização fossem diretamente acopladas a tecnologias de geração de energia renovável.

A dessalinização não se caracteriza como um setor, mas como uma tecnologia que possibilita a segurança hídrica da indústria e das pessoas, então os benefícios a serem alcançados são ambientais, sociais e para o setor industrial.



7 DESSALINIZAÇÃO E DOCUMENTOS DO GOVERNO DO BRASIL

A dessalinização consta de alguns documentos oficiais que tratam da gestão das águas no Brasil. Na Oficina Nacional sobre Cenários Futuros do PNRH 2022-2040[16], evento realizado em julho de 2021, no relatório preliminar dos grupos de trabalho, foram destacados os seguintes elementos para as políticas públicas associadas à dessalinização:

1. Apoio às tecnologias de eficiência de uso e de distribuição da água, barateamento de tecnologias para incremento da oferta de água (reúso, dessalinização, uso de fontes de águas subterrâneas profundas, etc.).
2. Ações de busca de outras fontes de água, como a dessalinização de água do mar.
3. Diversificação da matriz de oferta de água, com o uso de alternativas, como dessalinização e reúso.

No **Atlas Águas**[17], há informações sobre o diagnóstico e o planejamento do abastecimento de água das 5.570 sedes municipais brasileiras. Esse documento é importante instrumento de planejamento e gestão em âmbito nacional, regional, estadual e municipal, além de poderosa ferramenta de transparência e controle social.

No **Atlas Águas**, há menção ao Sistema Produtor – Planta de Dessalinização de Água Marinha no Ceará. Segundo esse documento, o sistema beneficiará a capital Fortaleza, envolvendo a captação de água marinha, o pré-tratamento de água e o tratamento de rejeitos, as unidades de osmose inversa, o emissário submarino para descarte de concentrado, o sistema de fornecimento de energia elétrica e sistema de bombeamento de água.

Por sua vez, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH)[18] busca assegurar ao Brasil um planejamento integrado e consistente de infraestrutura hídrica, com natureza estratégica e relevância regional, com base nos principais problemas de segurança hídrica do País. O PNSH, assim, se soma ao planejamento da gestão de recursos hídricos e preenche o rol de instrumentos

16 Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/oficinas-tematicas/RelatPreliminar_CenariosPNRH

17 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Águas:** Segurança Hídrica no Abastecimento Urbano. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/08/ANA-ATLAS-Aguas-AbastecimentoUrbano2021-compressed.pdf

18 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: https://www.ppi.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/pnsh.pdf

necessários ao alcance de objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece a necessidade de assegurar à atual e às futuras gerações a adequada disponibilidade de água.

No documento PNSH[19], entre as intervenções recomendadas, há algumas observações:

1. A implantação da Política Nacional de Saneamento exige soluções locais para a população dispersa, tais como: cisternas, sistemas simplificados de abastecimento, sistemas de dessalinização e barragens subterrâneas.
2. A dessalinização, especialmente para as regiões litorâneas, e o reúso de água são tecnologias que devem ser estudadas como alternativas complementares a serem utilizadas em períodos de escassez hídrica.

19 ANA, 2019.



8 CONDIÇÕES PARA USO DA DESSALINIZAÇÃO

A trajetória da dessalinização em escala industrial é marcada pelo pioneirismo de regiões severamente afetadas pela escassez hídrica. No Oriente Médio, países como a Arábia Saudita, Qatar, Israel, Emirados Árabes Unidos – onde se situa a usina de dessalinização Jebel Ali, na cidade de Dubai (Figura 7), com capacidade de produzir 92.816 m^3/hora – tornaram-se líderes globais na capacidade instalada de dessalinização.

Desde as primeiras usinas térmicas de grande porte, desenvolvidas a partir dos anos 1970, até as modernas plantas de osmose reversa (OR), a tecnologia de dessalinização tornou-se o pilar da segurança hídrica dessa região, abastecendo cidades, indústrias e agricultura em larga escala. A experiência acumulada nesses projetos contribuiu imensamente para a redução de custos e o aprimoramento tecnológico que hoje beneficiam o mundo todo.

FIGURA 7 – Usina de Dessalinização Jebel Ali em Dubai



Fonte: disponível em: https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2024/11/o-que-e-dessalinizacao-da-agua

A lição primordial desses casos é que, em ambientes de escassez crônica, a dessalinização é uma alternativa, uma solução que viabiliza o desenvolvimento econômico e melhora a condição de vida da população por meio de uma oferta de água de boa qualidade.

Na Europa, a Espanha é outro exemplo notável, pois a dessalinização tornou-se uma resposta estratégica à seca crônica, especialmente na região do Mediterrâneo, com as Ilhas Canárias e a Catalunha exemplificando o uso racional e integrado. O país utiliza essa tecnologia não apenas para abastecimento urbano, mas também para suportar sua indústria agrícola e para o turismo.

A capacidade de integrar a dessalinização de água do mar e salobra a fontes de energia renovável, com vistas à sustentabilidade e à redução da pegada de carbono, constitui lição fundamental, ao demonstrar que a robustez hídrica pode coexistir com a responsabilidade ambiental.

Indicação de vídeo sobre dessalinização (duração de 3 minutos)



Vídeo 2 sobre dessalinização
https://youtu.be/bfr82RB72U8

Ainda no cenário global, o Chile tem consolidado políticas eficazes de dessalinização, especialmente em suas regiões áridas e litorâneas, como forma de apoiar o desenvolvimento produtivo sustentável. Em particular, a indústria de mineração chilena, uma das maiores do mundo, depende fortemente de plantas de dessalinização para seu abastecimento, uma vez que muitas de suas operações estão localizadas em áreas desérticas, longe de fontes de água doce.

A BHP Billiton (BHP) – empresa global do setor de mineração – opera a mina Escondida, que é a maior produtora do mundo de cobre. A mina fica localizada no deserto do Atacama no Chile, em uma das áreas mais secas do mundo. A solução para a oferta de água necessária à atividade de mineração foi complexa e inovadora e exigiu altos investimentos (Soares, 2023).

Nesse cenário, decidiu-se por dessalinizar a água do mar e usá-la na operação da mineração. O empreendimento buscava deixar de extrair água dos aquíferos da região. A primeira fase do empreendimento, comissionada em 2006, era capaz de produzir 525 litros/segundo (L/s) de água dessalinizada, o que exigiu uma tubulação de mais de 180 quilômetro (km) para atingir a mina, que fica 3.200 metros acima do nível médio do mar.

A segunda fase foi comissionada em 2017, tornando possível produzir 2.500 L/s de água dessalinizada. A terceira fase, comissionada em janeiro de 2020, tornou possível produzir 3.800 L/s. Assim, foi possível cessar a extração de água do aquífero Andean para os processos produtivos, contribuindo para a sustentabilidade dessa reserva subterrânea. Também foi cessada a captação no campo de poços Monturaqui.

O investimento realizado na dessalinização foi de US$ 3,4 bilhões. A empresa reconhece, em seu relatório, o impacto dessa opção nos custos de produção de curto prazo, mas assevera que foi uma decisão que permitiu a sustentabilidade da extração e trouxe ganhos para as comunidades regionais e o ambiente local. Outras demandas ambientais ainda persistiam.

Assim, em junho de 2021, um novo acordo foi realizado com os representantes do Conselho de Defesa do Estado (*Consejo de Defensa del Estado*), da Comunidade Indígena Atacameña de Peine (*Comunidad Indígena Atacameña de Peine*), do Conselho de Povos Atacameños (*Consejo de Pueblos Atacameños*), da BHP e do Primeiro Tribunal Ambiental (*Primer Tribunal Ambiental*). Além de garantir que os representantes farão parte da governança das ações a serem desenvolvidas, a mineradora assumiu o compromisso de deixar de utilizar águas do altoplano, trocando-as por águas dessalinizadas.

Na Austrália, projetos de dessalinização foram implementados para proteger grandes cidades e indústrias durante períodos de seca prolongada, demonstrando a escalabilidade e a confiabilidade da tecnologia em condições extremas. Esses exemplos globais reiteram a maturidade da dessalinização como uma tecnologia confiável e estratégica, capaz de assegurar o suprimento hídrico para os mais diversos fins, independentemente da complexidade do ambiente, e evidenciam que políticas públicas de fomento são essenciais para seu avanço.

Na sequência, serão apresentados alguns exemplos exitosos do uso da dessalinização para superar os desafios da oferta hídrica no Brasil.



9 *CASE* – PROGRAMA ÁGUA DOCE

No Brasil, há mais de quatro décadas, a dessalinização de pequena escala é usada largamente em certas pequenas comunidades do sertão nordestino, onde as águas com alto teor de sais impedem seu uso sem o prévio tratamento. Essa ação integra o Programa Água Doce (PAD).

O PAD é uma ação do governo federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente e de Mudança do Clima (MMA) em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil, que visa estabelecer uma política pública permanente de acesso à água de qualidade para o consumo humano, incorporando cuidados técnicos, ambientais e sociais na implantação, recuperação e gestão de sistemas de dessalinização de águas salobras e salinas.

Estima-se que mais de 200 mil pessoas já recebam água por meio dos dessalinizadores financiados pelo programa. Conforme informa o MMA, o desafio do PAD é avançar no caminho da sustentabilidade hídrica, alimentar e energética, ampliando o uso de energia solar fotovoltaica e incorporando boas práticas de conservação do solo e da água.

A distribuição da água potável para a comunidade é realizada próxima ao abrigo do dessalinizador através de um chafariz construído em alvenaria com revestimento em cerâmica, iluminação, portão, conjunto de torneiras para distribuição da água ou equipamento eletrônico instalado dentro do chafariz em que as pessoas da comunidade têm acesso à água por meio de fichas ou cartões magnéticos. O Programa Água Doce prevê o acesso mínimo de 10 litros de água potável por pessoa/dia nas localidades atendidas (Figura 8).

FIGURA 8 – Sistema de dessalinização do Programa Água Doce



Fonte: disponível em: https://globorural.globo.com/Noticias/Pesquisa-e-Tecnologia/noticia/2018/12/tecnologia-de-dessalinizacao-da-agua-creditada-embrapa-foi-desenvolvida-pelo-ministerio-do-meio-ambiente.html.

De acordo com os costumes locais e a qualidade do concentrado produzido, parte desse efluente pode ser utilizado em bebedouros para animais ou para uso secundário doméstico. Em localidades que atendam aos requisitos técnicos estabelecidos pelo programa, esse concentrado pode ser utilizado no sistema produtivo integrado sustentável.

A segunda fase do programa foi iniciada em 2020 com a atualização dos planos estaduais para o período 2020-2029. Em dezembro de 2020, foi concluída a licitação para implantação de sistemas de dessalinização por meio de contratação direta, nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

A implementação do programa em cada estado está dividida em três fases:

1. Realização de diagnósticos para definir, por meio de critérios técnicos, testes de vazão, análises físico-químicas da água dos poços e caracterização socioambiental das comunidades, para identificação das que serão atendidas.
2. Implantação dos sistemas de dessalinização.
3. Manutenção e monitoramento dos sistemas.

Quanto à operação diária do sistema, a gestão compartilhada implementada pelo PAD define que um membro da comunidade assuma a operação do equipamento, sendo os custos de energia elétrica assumidos pelo município ou pela própria comunidade conforme o acordo de gestão. Para tanto, em cada comunidade, é incentivada a criação de um fundo de reserva para

fazer frente aos custos de operação (energia elétrica e remuneração do operador) e pequenos reparos, sendo que cada comunidade estabelece um valor mensal a ser pago por família.

Considerando a vazão mínima de referência para utilização de um poço profundo que irá abastecer um sistema do PAD, aproximadamente 1.000 L/h, o que representa grande parte dos poços localizados no semiárido brasileiro, um sistema do PAD possui potencial para produzir até 20.000 L de água dessalinizada por dia, o que permite o fornecimento de 10 L/dia de água potável por pessoa, para atender diariamente até 2.000 pessoas residentes em comunidades rurais.

Como perspectivas, há o desafio de avançar na utilização de energia solar para alimentar os sistemas de dessalinização implantados pelo programa (Figura 9). Por último, há a possibilidade de avançar na utilização da agricultura biossalina, por meio de Unidades Demonstrativas do Programa Água Doce aliadas à difusão de cultivos apropriados ao semiárido brasileiro que utilizem águas salinas ou salobras no processo de irrigação.

FIGURA 9 – Dessalinizador do Programa Água Doce



Fonte: disponível em: https://abema.org.br/noticias/559-programa-agua-doce-beneficia-mais-de-70-mil-baianos-que-vivem-no-semiarido-sema-ba.

Em 2024, a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf)[20], por meio do Pregão Eletrônico RSP 90117/2024, contratou uma empresa para execução de serviços de implantação, fornecimento e instalação de sistemas de dessalinizadores por osmose reversa (OR), inclusive pré-operação, manutenção do sistema e a capacitação dos operadores, em comunidades de municípios localizados na área de atuação da companhia. A capacidade de cada sistema era de 400 L/h, a um custo unitário de instalação previsto no pregão eletrônico que variou de R$ 423.598,13 (em Sergipe) a R$ 445.649,95 (no Maranhão). Com uma taxa de desconto de 8% ao ano, para uma vida útil de 20 anos, o custo médio da produção de água, considerando apenas o CAPEX, é de cerca de R$ 12,30/m³. A ausência de economia de escala mantém o custo elevado. Admitindo um uso de 4 kWh/m³, a um custo da energia de R$ 0,50/kWh, o custo de operação com energia elétrica seria de R$ 2,0/m³.

20 *Link* para acessar o Pregão Eletrônico: https://editais2024.codevasf.gov.br/licitacoes/sede-brasilia-df/pregao_eletronico/editais-publicados-em-2024/edital-nb0-90117-2024/



10 *CASE* – FERNANDO DE NORONHA

O arquipélago de Fernando de Noronha exemplifica, de forma contundente, o poder transformador da dessalinização. Historicamente, a ilha enfrentava uma condição de estresse hídrico crônico, dependendo de um regime de chuvas irregular e de aquíferos limitados para suprir uma população residente e flutuante em um ecossistema sensível.

Essa precariedade hídrica impunha um severo regime de racionamento que, no início de 2021, chegou ao extremo de um dia com água para nove dias sem abastecimento, com uma oferta total de apenas 50 m³/h. Tal cenário não apenas gerava dificuldades para os moradores, mas também impunha um teto ao turismo e às atividades econômicas da ilha. A mudança ocorreu em 2021 com a implantação de uma nova e moderna usina de dessalinização por osmose reversa (OR) (Figura 10). Com um investimento de R$ 22 milhões, o projeto[21] foi desenhado para resolver o déficit hídrico estrutural da ilha. A nova planta adicionou uma capacidade de produção de 72 m³/h de água potável, mais que dobrando a capacidade de dessalinização anterior (Macedo do Santos, 2025).

FIGURA 10 – Equipamento da dessalinização em Fernando de Noronha



Fonte: disponível em: https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2021/10/governo-do-estado-inaugura-dessalinizador-de-agua-do-mar-em-noronha.html.

21 Disponível em: https://servicos.compesa.com.br/dessalinizador-da-compesa-em-fernando-de-noronha-e-destaque-nacional-como-maior-obra-para-abastecimento-humano-do-pais/

A solução de engenharia adotou um projeto modular, com dois conjuntos de 36 m³/h, garantindo flexibilidade operacional, e um robusto sistema de pré-tratamento com filtros multimídia e de cartucho de 5 micra, essencial para proteger os componentes de osmose reversa (OR) e assegurar a confiabilidade em uma localidade remota (Figura 11).

FIGURA 11 – Usina de Dessalinização em Fernando de Noronha



O impacto da nova usina foi imediato e mensurável. Primeiramente, a oferta total de água na ilha saltou de 50 m³/h para 111 m³/h, um incremento de 122% no volume distribuído, o que permitiu a eliminação completa do racionamento e a instituição de um abastecimento contínuo, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Consequentemente, a dependência de caminhões-pipa para atendimentos emergenciais despencou 97,5%, de uma média de 80 solicitações semanais para apenas duas.

Essa nova realidade de segurança hídrica desbloqueou um potencial socioeconômico. O faturamento da concessionária de saneamento local, a Compesa, registrou um aumento de 85,7%. Mais significativamente, a garantia de água impulsionou a principal vocação da ilha: o turismo. A receita turística da administração local cresceu 69,4% no período pós-implantação, uma evidência direta da correlação entre segurança hídrica e prosperidade econômica em ecossistemas dependentes (Macedo dos Santos, 2025).

O caso de Fernando de Noronha demonstra que o cálculo do retorno sobre o investimento (ROI) em projetos de dessalinização, especialmente em economias insulares ou de alto valor agregado, ultrapassa a análise financeira da concessionária. O investimento de R$ 22 milhões não apenas se paga com o aumento de 85,7% na receita da companhia de água, mas atua como infraestrutura habilitadora que destrava um valor muito maior para toda a economia

local. A situação insular torna a logística complexa e cara. Um investimento recente de R$ 1,5 milhão em conjuntos de motobombas de alta pressão de reserva destaca a necessidade crítica de redundância no local.

Ao remover a restrição hídrica, o projeto permitiu que o setor de turismo, o verdadeiro motor econômico da ilha, pudesse crescer de forma sustentável. Essa perspectiva mais ampla redefine a dessalinização, de um custo de utilidade pública para um investimento estratégico com um efeito multiplicador sobre a economia regional (Macedo dos Santos, 2025).

Por ser um distrito de Pernambuco, o licenciamento ambiental é conduzido pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). No entanto, como o arquipélago é também uma unidade de conservação federal, qualquer projeto de infraestrutura exige a anuência prévia do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Essa dupla camada de licenciamento, envolvendo órgãos estaduais e federais com mandatos distintos, ilustra a necessidade de uma articulação interinstitucional rigorosa em áreas protegidas.



11 *CASE* – PROJETO DE DESSALINIZAÇÃO DA CPFL NO NORDESTE BRASILEIRO

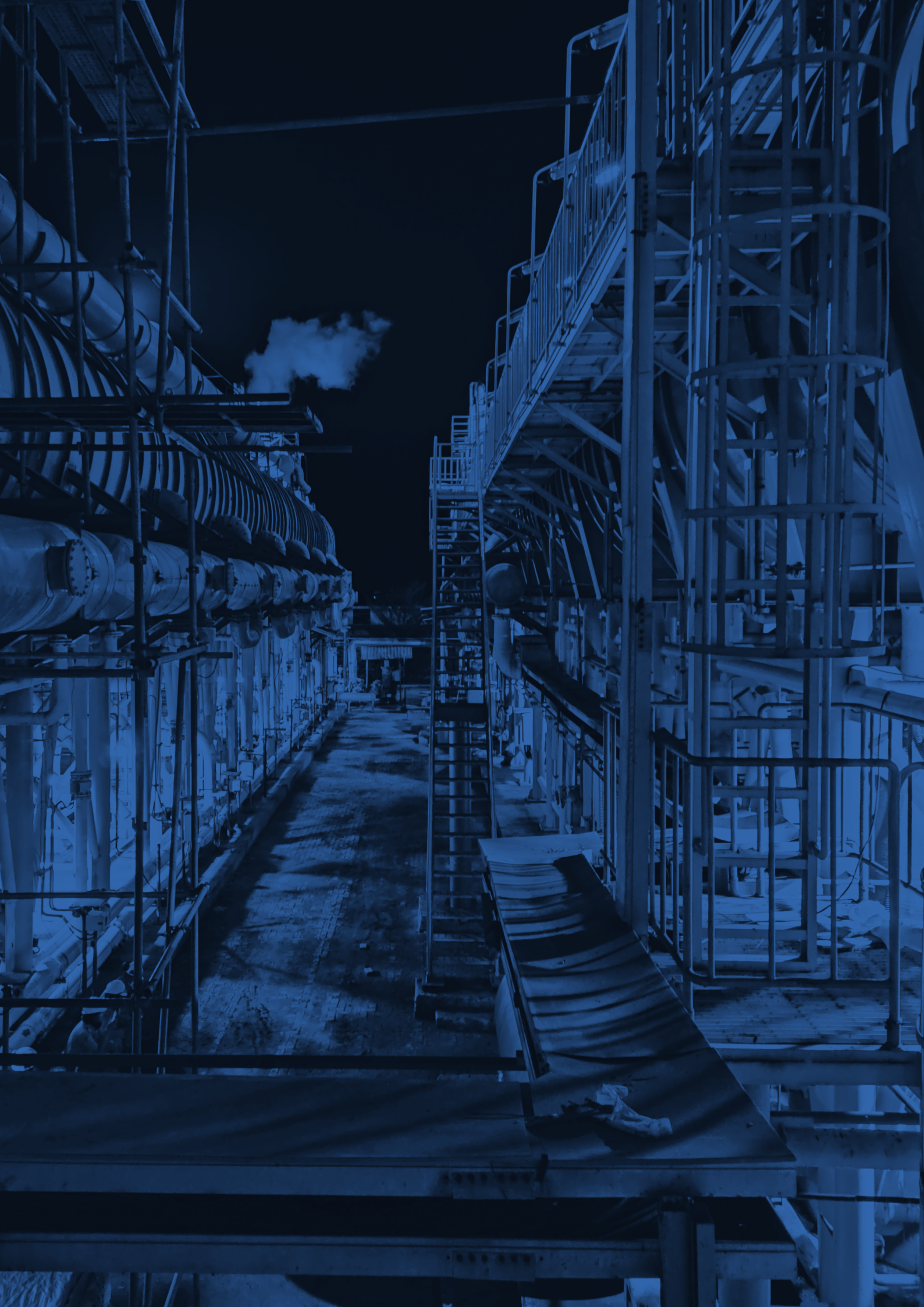
No semiárido nordestino, no estado do Rio Grande do Norte, a CPFL Renováveis, em parceria com a *State Grid*, implantou um dos maiores projetos de extração de água potável via dessalinização da América Latina, focando em comunidades vulneráveis. Esse sistema utiliza água salobra de lençóis freáticos, que antes era imprópria para consumo, e, por meio da tecnologia de OR, produz água potável que atende aos rigorosos padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Trata-se de um sistema inteligente de abastecimento de água e um sistema de geração de energia fotovoltaica com conexão à rede de energia. A usina tem capacidade de produzir até 80 mil litros de água potável, volume superior ao que vem sendo consumido pelos moradores locais. O investimento exigido foi de R$ 8 milhões.

A água é distribuída por meio de uma adutora de 5 km para três chafarizes em Serrote de São Bento, Amarelão e Santa Terezinha, comunidades indígenas em João Câmara, no estado do Rio Grande do Norte. Pela primeira vez na história, as mais de 800 famílias da região de João Câmara estão tendo acesso à água potável para o consumo e atividades domésticas.

O grande diferencial desse projeto reside na sua abordagem inovadora e no impacto social. Em vez de focar apenas na tecnologia, ele combinou esforços do setor privado com o setor público e, crucialmente, o envolvimento comunitário. Isso permitiu que a solução fosse adaptada às necessidades locais, garantindo a apropriação e sustentabilidade do sistema pelas próprias comunidades.

A lição aprendida é que projetos de dessalinização podem ir além da esfera puramente industrial, tornando-se vetores de desenvolvimento social e demonstrando a capacidade da tecnologia de resolver problemas complexos de acesso à água potável em regiões desafiadoras. Para a indústria, esse caso ilustra a importância de parcerias estratégicas (público-privadas) e da consideração do impacto social de suas ações como parte de uma estratégia de valor mais ampla.



12 *CASE* – ARCELORMITTAL TUBARÃO

A maior e mais moderna planta de dessalinização de água do mar do Brasil foi inaugurada no dia 14 de setembro de 2021, no estado do Espírito Santo. O investimento de R$ 50 milhões, realizado pela produtora de aço ArcelorMittal, unidade Tubarão. Entre as características únicas da usina de dessalinização da ArcelorMittal Tubarão, destacam-se:

1. É a maior e mais tecnológica planta de dessalinização de água do mar do Brasil, tendo, por seu ineditismo, o papel de estimular o setor industrial a buscar soluções semelhantes.
2. Sua capacidade inicial de produção de 500 m³ de água por hora pode ser ampliada de acordo com a demanda futura, pois sua estrutura é configurada em módulos. Esse volume inicial é o suficiente para abastecer uma população de 80 mil pessoas. O sistema utilizado é o de OR.
3. O descarte da solução resultante da dessalinização – a salmoura – é realizado no canal principal de água do mar (Figura 12), já existente na usina. Dessa forma, sua composição é diluída em um grande volume (800 m³/h de salmoura para 48 mil m³/h de água do canal), tornando praticamente inexistente o impacto desse efluente no mar.
4. Em projetos de parceria com outras empresas e com instituições de ensino, a dessalinização da ArcelorMittal é utilizada como modelo para estudos e pesquisas, fomentando o desenvolvimento de profissionais especializados nessa tecnologia.

FIGURA 12 – Canal de retorno da água ao mar – ArcelorMittal Tubarão



Fonte: Pedrosa, Valmir (Org.). **Adaptações às mudanças climáticas**: estudo de casos. Vitória: Edição do Autor, 2025.

A implantação foi precedida de rigorosa análise sobre as características da água do mar no entorno da indústria. Além disso, foram estudadas alternativas para alcançar maior eficiência energética, bem como para definir soluções para a gestão dos efluentes, encontrar os melhores fornecedores para cada etapa do projeto e visitar plantas de dessalinização já existentes em outros países, como Argentina e Estados Unidos, buscando as melhores práticas para adotá-las ou, até mesmo, superá-las. O grupo ArcelorMittal apoiou esse processo que teve o envolvimento dos Centros de Pesquisa e Desenvolvimento da ArcelorMittal no Brasil (sediado na unidade de Tubarão) e na Espanha (sediado na unidade de Astúrias).

O resultado é uma planta de dessalinização (Figura 13) cujas qualidades vão muito além da elevada capacidade de produção de água para uso industrial, característica que a posiciona como a maior já instalada no Brasil. Destaca-se, ainda, pela configuração modular do projeto que permitirá à empresa ampliar a capacidade futura em consonância com as demandas de crescimento da usina e com eventuais cenários de escassez hídrica no sistema local.

Em termos de sustentabilidade, a planta tem inovações que atendem a diferentes impactos ambientais. Um deles é a forma de descarte da solução resultante da dessalinização, chamada de salmoura. Além de ser recirculada ao máximo dentro do processo, esse efluente é descartado no canal de retorno da água do mar, já existente na usina, integrado ao sistema de refrigeração de equipamentos.

FIGURA 13 – Equipamento da Usina de Dessalinização da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: Pedrosa, 2025.

Para comprovar o baixo impacto da salmoura na qualidade da água do mar, a empresa realizou um ensaio de modelagem que avaliou a dispersão da solução composta por sal e sólidos suspensos no mar, a partir do padrão de circulação hidrodinâmica na região. A conclusão mostrou que o impacto fica restrito à área próxima ao ponto de lançamento, num raio de cerca de 500 m, e está abaixo da variação natural da salinidade da água do mar no local. Os monitoramentos realizados ao longo dos anos indicam que a variação da salinidade é menor que a variação natural já ocorrida na sazonalidade.

Outro destaque ambiental da dessalinização é o sistema de recuperação de energia da alta pressão no final do processo (na saída da salmoura) que garante a redução de 50% no consumo total de energia elétrica da planta. Cabe acrescentar que a energia utilizada na dessalinização, assim como toda a energia consumida pela usina, é produzida internamente pela empresa, que possui seis termelétricas tendo capacidade total de geração da ordem de 500 MW.

Junto à planta de dessalinização, foi colocado um módulo (Figura 14) para receber visitantes com explicações sobre os processos e o funcionamento da operação. Universidades locais e internacionais, estudantes de nível médio, empresas de diversos portes e autoridades públicas já estiveram entre os visitantes do local para conhecimento e troca de experiências.

FIGURA 14 – Sala de visitantes da Planta de Dessalinização para interações educativas



Fonte: Pedrosa, 2025.

O reconhecimento dos diferenciais da planta de dessalinização da ArcelorMittal já gerou a conquista de duas premiações internacionais, concedidas em congressos da *International Desalination Association* (IDA), principal instituição mundial de dessalinização e tratamento avançado do mundo. No evento de 2019, realizado em Dubai, o projeto da planta venceu o prêmio **Projeto Inovador**. Em 2022, no congresso realizado em Sydney, a empresa foi eleita como o **Melhor Projeto de Responsabilidade Social Corporativa**.



13 *CASE* – A CIDADE DE FORTALEZA

A Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece), no segundo semestre de 2020, realizou o Processo de Concorrência Pública Internacional nº 01/2020 – licitação do tipo menor valor da contraprestação – para concessão dos serviços que compreendem elaboração de projetos, construção, operação e manutenção de planta de dessalinização de água marinha para a Região Metropolitana (RM) de Fortaleza, capaz de produzir 1 m^3 por segundo (31,5 milhões de m^3 por ano).

No dia 6 de outubro de 2020, o consórcio Águas de Fortaleza (Construtora Marquise S/A, PB Construções e Abengoa Água S/A[22]) apresentou a proposta comercial com o menor valor de contraprestação anual de R$ 118.187.178,72 (cento e dezoito milhões, cento e oitenta e sete mil, cento e setenta e oito reais e setenta e dois centavos) – valores para o ano de 2021. Na época, esses valores representavam um custo médio de R$ 3,74/m^3.

A água proveniente da planta de dessalinização será entregue em ponto específico da infraestrutura de distribuição e, a partir desse ponto, seguirá seu caminho até os usuários finais. Cumpre destacar que o custo da água dessalinizada não pode ser comparado diretamente às tarifas vigentes em Fortaleza.

Durante a fase de licenciamento da usina de dessalinização, houve um conflito com a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), por causa dos cabos submarinos que chegam à Praia do Futuro, que são essenciais ao funcionamento das telecomunicações e da conexão de internet no Brasil e para o fluxo internacional de informações.

A Anatel alertou que os cabos submarinos de telecomunicações estão ancorados há décadas na região e que poderiam ser afetados pela operação da usina. Informou, ainda, que esses cabos possuem vida útil determinada e que, diante do aumento constante do tráfego de dados, poderá ser necessária sua substituição ou a instalação de novos cabos na área. Por essa razão, passou a ser considerada desejável a escolha de um novo local para a construção da usina de dessalinização.

22 Governo do Ceará. Ata da reunião da Comissão Central de Concorrências, do dia 6 de outubro de 2020.

Em junho de 2024, representantes da Anatel participaram de uma reunião no Palácio do Planalto, organizada pelo Gabinete de Segurança Institucional[23] (GSI), órgão vinculado à Presidência da República, com a presença de diversas autoridades, incluindo representantes do Ministério das Comunicações (MCom), Ministério da Gestão e Inovação (MGI), Secretaria do Patrimônio da União (SPU), Ministério da Defesa (MD), Marinha do Brasil (MB) e do Governo do Estado do Ceará, além de representantes das associações de empresas de telecomunicações Conexis e **Associação Brasileira das Prestadoras de Serviços de Telecomunicações Competitivas** (TelComp).

Durante o encontro, o governador do estado do Ceará anunciou a realocação da usina para um novo local, que não apresenta riscos às infraestruturas de telecomunicações, especificamente aos cabos submarinos ancorados na Praia do Futuro, na capital cearense.

Conforme a Cagece[24], a usina de dessalinização do Ceará (Figura 15) obteve, no mês de setembro de 2025, Licença de Instalação pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Semace). O documento atesta que o projeto da Companhia de Água e Esgoto do Ceará com a empresa Águas de Fortaleza cumpriu rigorosamente os requisitos previstos na legislação ambiental, o que garantiu a viabilidade da planta de dessalinização para aumentar a segurança hídrica da RM de Fortaleza e a resiliência do abastecimento de água no estado.

FIGURA 15 – Usina de Dessalinização de Fortaleza



Fonte: disponível em: https://www.cmfor.ce.gov.br/comunicacao/noticias/cagece-apresenta-projeto-de-usina-de-dessalinizacao-na-praia-do-futuro-para-vereadores.

23 Disponível em: https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/governo-do-estado-do-ceara-anuncia-a-realocacao-de-usina-de-dessalinizacao-em-fortaleza

24 Disponível em: https://www.cagece.com.br/comunicacao/sem-categoria/dessal-do-ceara-obtem-licenca-de-instalacao-pela-semace/

Com esse avanço, a usina de dessalinização do Ceará cumprirá, ainda, algumas etapas legais antes do início das obras. O projeto segue agora para obtenção do alvará de construção pela Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF), para que as intervenções em terra possam ser iniciadas. A empresa Águas de Fortaleza apresentará o projeto de canteiro de obras, que passará também pela aprovação da gestão municipal.

Conforme o **Estudos de viabilidade**[25], o projeto atenderá aproximadamente 720 mil pessoas. Para além dos beneficiários diretos, a implantação da usina de dessalinização do Ceará também vai beneficiar cidades do interior localizadas em todas as bacias hidrográficas do estado. Com a condição de garantir mais água para Fortaleza, que é a cidade onde está localizada a maior parcela da população cearense, haverá menor pressão sobre o sistema hídrico que abastece os outros municípios do interior.

Com duração de 30 anos, o contrato de Parceria Público-Privada (PPP) com a empresa Águas de Fortaleza terá um valor total de R$ 3,1 bilhões que serão aplicados em investimentos, operação, manutenção e fornecimento de água potável nos reservatórios do Mucuripe e Praça da Imprensa. Desse total, R$ 526 milhões serão investidos na construção da planta de dessalinização e na instalação das tubulações.

Com a adequada manutenção dos equipamentos de dessalinização da usina, com base na experiência de operação e manutenção de instalações de dessalinização similares, haverá disponibilidade de 95,89% das horas de funcionamento a cada ano.

A água bruta será oriunda da costa marinha de Fortaleza. A variação do nível das marés considerada é de 1,8 m, sendo a baixa maré -0,8 m e a maré alta de 1 m, com referência ao nível médio do mar. Já durante implantação dos trechos das tubulações de captação de água do mar e de descarte da salmoura, que envolvem dragagens no leito marinho, será gerada turbidez em larga escala, em razão do revolvimento e da desestabilização do solo marinho.

Foi prevista a adoção de cortinas que impeçam a passagem de sólidos em suspensão na área de dragagem. Com isso, previne-se que a pluma de sedimentos atinja maiores proporções, podendo afetar áreas de pesca. Outra medida de mitigação efetiva poderá ser a adoção de técnicas construtivas que prevejam menor extensão de escavação, com assentamento ancorado das tubulações sobre o leito marinho, ou mesmo e emprego de técnicas não destrutivas, como perfuração horizontal direcionada.

Além disso, visando reduzir os níveis de salinidade da salmoura, o projeto proposto prevê a adoção das medidas a seguir discriminadas, o que contribui para redução do potencial poluidor desse efluente:

25 Estudo 7 do Edital de Chamamento Público para Procedimento de Manifestação de Interesse – PMI 01/2017/CAGECE. Disponível em: https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/EditaisContratacoes/ProcedimentoManifestacaoInteresse/EDITAL_PMI_DeSal_Retificado_Rev-12-P%C3%B3s-Negocia%C3%A7%C3%A3o.pdf.

1. Mistura da água proveniente da lavagem dos filtros de pressão com a salmoura, antes do seu lançamento no corpo receptor, visando reduzir a concentração de sólidos em suspensão para atender à legislação vigente.
2. Dotação de difusores no trecho final do emissário de salmoura, os quais efetuam o lançamento desta no mar, de forma difusa, o que agiliza o processo de dispersão no corpo receptor.
3. Monitoramento da qualidade da água do corpo receptor, para avaliar se haverá risco de impactos sobre a biota marinha decorrentes do lançamento da salmoura.

Entre os impactos incidentes sobre a biota marinha decorrentes da alteração na salinidade da água do mar, pode-se citar a possível ocorrência de danos ao *habitat* da biota marinha, a depender do local de lançamento do concentrado e do comportamento (direção) das correntes marinhas atuantes em região da Praia do Futuro e áreas circunvizinhas, os quais podem exercer influência sobre a capacidade de diluição/dispersão do concentrado no corpo receptor.

Com relação à intersecção com outras infraestruturas de uso público, no caso específico do projeto ora em pauta, a abertura de valas para instalação das tubulações da adutora de interligação ao macrossistema da Cagece deverá resultar em interferências com infraestruturas presentes ao longo da malha viária (redes de abastecimento d'água, redes de esgotos, redes de drenagem, linha férrea, gasoduto, etc.), havendo riscos de danos a essas infraestruturas e interrupção temporária no fornecimento desses serviços, caso não sejam adotadas as medidas cabíveis. As concessionárias desses serviços deverão ser contatadas pela empresa concessionária, para o fornecimento de dados sobre a localização exata dos equipamentos, bem como sobre as regras a serem seguidas durante a execução das obras nos respectivos trechos.

Não são esperados impactos negativos sobre as atividades turística e pesqueira desenvolvidas na região litorânea de Fortaleza, nem tampouco danos à saúde dos pescadores e da população que praticam atividades de recreação e lazer nos respectivos locais.



14 *CASE* – ILHABELA EM SÃO PAULO

O município de Ilhabela, no litoral de São Paulo[26], município-arquipélago, devido à sua formação geográfica com ilhotes e ilha, que enfrenta problemas de escassez de água potável, especialmente durante a alta temporada, está recebendo a construção de uma usina de dessalinização por meio de um projeto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp).

A usina de dessalinização será a primeira desse tipo no estado de São Paulo e visa garantir um abastecimento mais estável e constante para a cidade. A usina de dessalinização de Ilhabela representa um marco para o saneamento básico e a segurança hídrica em uma área costeira de alta demanda e flutuação populacional, cuja população quase triplica durante feriados e na temporada de verão, exercendo grande pressão sobre o sistema de abastecimento.

O projeto de dessalinização de Ilhabela apresenta as seguintes características:

1. Usina de osmose reversa (OR), considerada eficiente para o processo de dessalinização, em que a água salgada é forçada através de membranas semipermeáveis que retêm os sais.
2. A água passará por etapas de pré-tratamento, osmose reversa (OR) (para remover sais e impurezas) e remineralização (para adicionar minerais essenciais) antes de ser distribuída.
3. O subproduto, a salmoura concentrada, será devolvido ao oceano de forma controlada e diluída, com sistemas de dispersão e monitoramento para minimizar o impacto ambiental.
4. Com capacidade para produzir 30 L/s. A usina aumentará a oferta de água potável em 22% e garantirá o abastecimento para cerca de 7.000 famílias, especialmente em períodos de seca. A expectativa é que a usina comece a operar em 2026.
5. Ainda não foram divulgados os valores de investimentos para tal empreendimento.

26 Disponível em: https://www.ilhabela.sp.gov.br/portal/noticias/0/3/13679/prefeitura-de-ilhabela-e-sabesp-unem-esforcos-para-implantar-a-primeira-usina-dessalinizadora-de-sao-paulo-a-terceira-do-brasil



15 RISCOS ASSOCIADOS AOS PROJETOS DE DESSALINIZAÇÃO

A Tabela 6 apresenta 10 riscos associados aos projetos de dessalinização. O conteúdo desta tabela está integralmente contido no livro **Desalination project cost estimating and management**[27].

TABELA 6 – Riscos nos projetos de dessalinização

Riscos de licenciamento	Riscos de licenciamento são riscos associados à obtenção e manutenção de autorizações (licenças) legalmente exigidas para todas as fases da implementação do projeto, incluindo autorizações ambientais (como a autorização de descarga de concentrado e a autorização de produção de água potável), autorizações de construção e autorizações de operação. Como os projetos de dessalinização são relativamente novos para muitas agências licenciadoras e devido à falta de precedentes e experiência no licenciamento desse tipo de projeto, o tempo e os esforços necessários ao licenciamento de projetos de dessalinização são geralmente mais extensos do que aqueles para a obtenção de autorizações para construção e operação de projetos convencionais de tratamento de água e esgoto.
Riscos de titularidade	Os riscos de titularidade são principalmente riscos associados ao controle e aos custos de uso do local e da infraestrutura onde a usina de dessalinização e as instalações associadas serão localizadas, bem como à instalação e operação da infraestrutura para coleta de água do mar da fonte, descarga dos fluxos de resíduos da usina e entrega da água produto aos usuários finais (por exemplo, direitos de passagem para uso ou cruzamento de terras públicas e privadas, estradas e outras infraestruturas). No Brasil, são bens da União o terreno da Marinha e o mar territorial. Para seu uso, é preciso consultar a Secretaria de Patrimônio da União (SPU).
Riscos de fornecimento de energia	Os riscos de fornecimento de energia são riscos associados à disponibilidade de energia e à magnitude da variação do custo unitário de energia ao longo da vida útil do projeto de dessalinização. Como o custo da energia geralmente representa de 20% a 35% do custo total de produção de água, a instituição financeira que financia o projeto exigiria que os custos de operação da usina fossem garantidos por um contrato de fornecimento de energia de longo prazo. As instituições financeiras normalmente esperam que os ajustes na tarifa de energia previstos no contrato de compra de energia (PPA) [acrônimo em inglês para *power purchase agreement*] sejam refletidos e correspondidos aos ajustes na tarifa de água no contrato de compra de água.
Riscos de construção	Riscos de construção são riscos associados ao aumento potencial nos custos de construção durante o período de implementação do projeto devido a: condições incomuns do subsolo do local; atraso na entrega e instalação de equipamentos essenciais; estouros nos custos de construção; erros e omissões de projetistas e empreiteiros de construção; e riscos de desempenho e confiabilidade relacionados à inicialização, ao comissionamento e aos testes de aceitação da planta.

27 Voutchkov, 2019.

Riscos relacionados à água	Os riscos relacionados à água estão associados aos potenciais impactos da qualidade da água do mar captada na operação e no desempenho da usina de dessalinização, bem como aos efeitos de eventuais alterações na qualidade da água da fonte ao longo da vida útil do projeto sobre o custo de produção de água. Por exemplo, o aumento da turbidez da água da fonte, de compostos orgânicos ou de outros constituintes que possam resultar na incrustação acelerada dos elementos de membrana ou na necessidade de um pré-tratamento mais elaborado constitui, normalmente, preocupação para a comunidade financeira.
Riscos tecnológicos	Os riscos tecnológicos estão relacionados às potenciais desvantagens do uso de tecnologias novas e não comprovadas, com histórico limitado ou inexistente em usinas de dessalinização de grande porte. Embora o uso de novas tecnologias normalmente apresente benefícios de desempenho, como a redução dos custos de construção do projeto, do consumo de energia e/ou de produtos químicos e das despesas. Outras eventuais desvantagens são a incapacidade de cumprir as obrigações contratuais de quantidade e/ou qualidade da água produzida e o aumento do tempo de inatividade da usina devido ao baixo desempenho do processo, à falha do equipamento ou ao mau funcionamento de componentes-chave do sistema.
Riscos regulatórios	Riscos regulatórios são riscos associados ao efeito que mudanças nas regulamentações ambientais, de engenharia, de construção ou outras regulamentações governamentais pertinentes a determinado projeto pode ter sobre os custos de construção ou operação e manutenção da usina de dessalinização. Mudanças regulatórias podem ocorrer durante o período de construção da usina de dessalinização (por exemplo, mudanças nos códigos de construção) ou no decorrer da operação da usina – por exemplo, novos requisitos regulatórios para qualidade da água produzida ou regulamentações mais rigorosas para descarte de concentrados e resíduos. A comunidade financeira normalmente busca recursos de flexibilidade no projeto de usinas de dessalinização que permitam acomodar futuras mudanças tecnológicas impulsionadas pela regulamentação e disposições contratuais que permitam a mitigação dos riscos regulatórios por meio de ajustes nas tarifas de custo da água.
Riscos operacionais	Riscos operacionais são riscos associados à operação e manutenção de usinas de dessalinização ao longo da vida útil da instalação/prazo do investimento do credor. A operação e a manutenção consistentes e confiáveis da usina são essenciais para gerar um fluxo de receita adequado e estável, necessário para cumprir as obrigações financeiras associadas ao financiamento do projeto e para cumprir o contrato de fornecimento de água, que geralmente contém cláusulas de penalidade por descumprimento e descumprimento regulatório.
Risco de demanda de água dessalinizada	O risco de demanda de água dessalinizada está intimamente relacionado à necessidade de água de alta qualidade na área de serviço da usina de dessalinização e à acessibilidade dessa água em comparação com as fontes de abastecimento de água existentes. Normalmente, em uma PPP, o credor do projeto buscaria uma cláusula de *take-or-pay* no contrato *BOOT*, que determina que um volume mínimo predeterminado de água dessalinizada seja adquirido, independentemente de seu uso. A comunidade credora considera o risco de demanda de água de projetos de dessalinização relativamente alto em contextos nos quais os custos de fontes alternativas de água doce (ou seja, águas subterrâneas e superficiais) são significativamente menores do que o custo da água dessalinizada e nos quais a necessidade de água é motivada por seca temporária ou escassez sazonal de água doce.
Riscos financeiros	Esses riscos financeiros estão diretamente relacionados à solidez financeira (crédito) da entidade que será a usuária final da água dessalinizada e que será responsável por todas as obrigações de pagamento associadas ao financiamento do projeto, bem como à solidez financeira das partes envolvidas na construção e na operação do empreendimento. Os credores do projeto favoreceriam acordos financeiros com entidades que tenham histórico comprovado de adimplemento de dívidas e obrigações de capital em projetos semelhantes. Outros riscos financeiros são os riscos associados à estabilidade política do país no qual o projeto de dessalinização está planejado para ser construído e à estabilidade da moeda do país (risco cambial).



16 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO ASSOCIADO À DESSALINIZAÇÃO

A inovação tecnológica é um pilar fundamental para a expansão e otimização da dessalinização. As maiores e melhores empresas globais de dessalinização atuam no Brasil, o que tem gerado transferência de tecnologia em planejamento, projeto, operação, manutenção e ampliação da tecnologia de dessalinização em território nacional. Mas há também forte presença dos centros de pesquisas brasileiros nos estudos acerca da dessalinização. Para a liderança industrial, esse caso ressalta a importância de investir e colaborar com centros de pesquisa e desenvolvimento (P&D) nacionais.

O Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), há décadas apresenta pesquisas desenvolvidas para reúso, purificação e dessalinização de águas.

As primeiras atividades do laboratório começaram abrangendo diversas áreas de conhecimento da ciência e tecnologia, para estudar e procurar resolver problemas, de ordem social e ambiental. Por lá, foi projetado um sistema autônomo de dessalinização da água do mar na Ilha de Fernando de Noronha, levando água potável para a comunidade local. A Figura 16 apresenta uma infraestrutura utilizada nas atividades do LABDES.

O laboratório está ligado à fundação do Centro de Tecnologias de Testes de Dessalinizadores (CTTD), em cooperação com o Instituto Nacional do Semiárido (Insa), vinculado ao **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação** (MCTI), desenvolvendo soluções para expansão do acesso à água potável no semiárido nordestino, entre outras atividades.

Um ambiente de testes comerciais foi construído para o CTTD e lá são testadas tecnologias para dessalinização, purificação, filtragem e reaproveitamento de águas consideradas impróprias para consumo humano e uso agropecuário.

O papel do LABDES na realização dessas pesquisas é fundamental para cumprir o seu propósito enquanto catalizador de soluções práticas para a sociedade, promovendo maior integração da universidade com os desafios da realidade regional e nacional.

FIGURA 16 – Centro de Testes de Tecnologias de Dessalinização (CTTD)[28]



Fonte: disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2022/04/instituto-nacional-do-semiarido-insa-mcti-completa-18-anos-nesta-quinta-feira-14.

O LADBES também tem se dedicado à produção de energia limpa mediante pesquisas com energia eólica. Nesse contexto, existem projetos que tratam da produção de energia limpa a partir da energia eólica e fotovoltaica para produção de hidrogênio verde. No Brasil, outros laboratórios dedicam-se ao tema.

No estado do Rio de Janeiro, a Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) tem desempenhado papel pioneiro e estratégico no desenvolvimento de membranas e processos para dessalinização via osmose inversa. A pesquisa desenvolvida na Coppe trata não apenas de soluções globais, mas também de tecnologias adaptadas às águas salinas brasileiras e em sistemas de baixa escala, que são cruciais para comunidades rurais e para descentralização do acesso à água.

O avanço tecnológico buscado pela Coppe visa reduzir custos operacionais e de capital, além de ampliar o acesso à água potável de forma mais sustentável. A pesquisa aplicada, aliada à formação de recursos humanos altamente qualificados, tem sido fundamental ao amadurecimento da tecnologia no Brasil. A proximidade com a pesquisa local pode resultar em soluções mais adequadas às condições brasileiras, com menor custo de importação, maior suporte técnico local e a capacidade de inovar em processos e materiais, garantindo a vanguarda tecnológica e a competitividade do setor.

No estado de São Paulo, o Centro Internacional de Referência em Reúso da Água (Cirra[29]), laboratório vinculado ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola

28 Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/entregas/2019/mcti-implanta-centro-de-testes-de-tecnologias-de-dessalinizacao-cttd-em-campina-grande-pb.

29 Disponível em: https://biton.uspnet.usp.br/cirra/?page_id=37.

Politécnica (Poli) da Universidade de São Paulo USP, foi criado com o objetivo de promover e disponibilizar recursos técnicos e humanos para estimular essas práticas conservacionistas. Como funções básicas, promove-se o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias sustentáveis, proporcionam-se treinamento e divulgam-se informações visando à promoção, à institucionalização e à regulamentação da prática de reúso de água no Brasil. A Figura 17 mostra a sede do Cirra na USP, em São Paulo, capital.

FIGURA 17 – Sede do Cirra (USP)



Fonte: disponível em: https://biton.uspnet.usp.br/cirra/.

Nos anos recentes, o Cirra tem desenvolvido os seguintes trabalhos, entre outros:

1. Projetos de dessalinização e com inovação em membranas.
2. Tratamento de águas residuárias utilizando emissários submarinos para disposição oceânica.
3. Reúso de água em sistemas utilizando o processo de ultrafiltração.
4. Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais.
5. Clarificação do concentrado gerado no tratamento de água por ultrafiltração.
6. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração.
7. Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias.
8. Reúso como ferramentas para gerenciamento de águas e efluentes na indústria.

Nos anos recentes, uma parceria do Cirra com a CNI desenvolveu vários estudos sobre reúso de efluentes para abastecimento industrial para alguns estados brasileiros, incluindo o seminal relatório intitulado **Reúso de efluentes**: **metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial** (2017).



17 LIÇÕES APRENDIDAS E OPORTUNIDADES PARA O SETOR INDUSTRIAL

A análise do emprego da dessalinização, tanto no exterior quanto no Brasil, revela um conjunto de lições cruciais para a liderança industrial que considera a dessalinização como parte de sua estratégia de segurança hídrica.

Em primeiro lugar, a maturidade tecnológica da dessalinização é inegável, com tecnologias, como osmose reversa (OR) demonstrando alta eficiência e confiabilidade em diversos cenários. Contudo, a inovação contínua é fundamental, e a liderança deve estar atenta aos avanços que prometem maior eficiência, menor custo e menor impacto ambiental.

Em segundo lugar, a dessalinização é um investimento estratégico que transcende o custo direto da água. Ela garante continuidade operacional, protege contra a volatilidade do abastecimento tradicional, melhora a qualidade dos processos produtivos e fortalece a agenda ESG da empresa. O sucesso depende fortemente da integração entre inovação tecnológica, gestão ambiental e envolvimento social, pois os custos da "não água" – perdas de produção, danos à reputação, riscos regulatórios – são frequentemente muito maiores do que o investimento em uma planta própria.

Os casos ilustram que desafios operacionais, ambientais e regulatórios são reais, mas são superáveis com planejamento meticuloso, tecnologias apropriadas de pré-tratamento e descarte de salmoura, e um engajamento proativo com os *stakeholders*. A sustentabilidade e o baixo custo operacional são fundamentais para a replicabilidade, e isso é alcançado pela integração de energias renováveis e pela busca por soluções que minimizam o impacto ambiental e aumentam a aceitação social.

Também merece menção a importância das parcerias e do suporte regulatório que emerge como uma lição fundamental. A capacitação técnica local e a formação de parcerias sólidas garantem a operação eficiente e a longevidade dos sistemas. A colaboração com empresas especializadas, institutos de pesquisa e órgãos governamentais pode acelerar a implementação e garantir a conformidade. Projetos adaptados às condições regionais obtêm maior aceitação e efetividade, e a participação ativa da indústria na discussão e proposição de políticas pode ser transformadora, especialmente em contextos nos quais os marcos regulatórios ainda estão em desenvolvimento, conforme evidenciado pelos projetos implementados no Brasil.

Esses casos de sucesso não apenas validam a dessalinização como uma solução viável e estratégica, para determinadas realidades, mas também iluminam o caminho para a indústria brasileira, mostrando que a autonomia e a resiliência hídrica são metas alcançáveis e essenciais para um futuro próspero e sustentável.



18 INTEGRAÇÃO COM ENERGIAS RENOVÁVEIS

A sinergia entre dessalinização e energias renováveis é, sem dúvida, uma das tendências mais transformadoras e estratégicas para o futuro da indústria, especialmente no contexto brasileiro, que dispõe de vasta abundância de recursos naturais. A energia é o componente de custo mais significativo na maioria das plantas de dessalinização, e a flutuação dos preços dos combustíveis fósseis representa um risco constante. A integração com fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica e a eólica, oferece uma solução robusta para esse desafio, reduzindo os custos operacionais a longo prazo e a pegada de carbono, alinhando-se a metas nacionais de redução de emissões e segurança hídrica

Essa integração não apenas aproveita a irradiação solar considerável em grande parte do território brasileiro e também confere maior autonomia energética às operações. O desenvolvimento de microrredes inteligentes, que combinam diversas fontes de energia renovável com sistemas de armazenamento (baterias), permitirá que as plantas de dessalinização operem com autonomia energética cada vez maior. Isso não só mitigará a dependência de fontes poluentes e voláteis, mas também tornará a dessalinização mais acessível e viável em regiões remotas ou com infraestrutura elétrica deficiente, um cenário comum em muitas áreas de atuação industrial no Brasil.

A adoção de energias renováveis na dessalinização também é componente-chave para a resiliência frente à mudança do clima O cenário climático de flutuações e eventos extremos exige uma gestão energética e hídrica mais robusta. Ao descarbonizar a produção de água, a indústria não apenas contribui para a mitigação das mudanças climáticas e ao mesmo tempo fortalece sua agenda ESG, fator cada vez mais relevante para investidores e consumidores. A dessalinização movida a energia limpa posiciona a indústria brasileira na vanguarda da sustentabilidade, transformando um grande consumidor de energia em um modelo de produção ecoeficiente e um ativo estratégico para o futuro.

A dessalinização ganhou ainda mais presença quando passou a ser considerada como ferramenta da economia azul sustentável[30]. Várias iniciativas da União Europeia incentivam investimentos em tecnologias de dessalinização sustentáveis.

30 Disponível em: https://blue-economy-observatory.ec.europa.eu/eu-blue-economy-sectors/desalination_en.

A taxonomia de financiamento sustentável da UE classifica os projetos de dessalinização como ambientalmente sustentáveis, desde que cumpram certos critérios específicos que devem incluir:

1. Utilização eficiente da energia.
2. Manutenção de baixas emissões de gases com efeito de estufa.
3. Minimização dos danos para a biodiversidade.

Na prática, isso significa que as novas centrais de dessalinização devem maximizar a utilização de energias renováveis e garantir que as descargas de salmoura são geridas de forma segura (diluídas ou tratadas) para evitar danos marinhos. Os projetos que cumpram esses requisitos podem ser elegíveis para financiamento verde e, possivelmente, para subsídios nacionais ou da UE.



19 FINANCIAMENTO DA DESSALINIZAÇÃO

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) por meio do Fundo Clima – Indústria Verde passou a financiar projetos de dessalinização. Esse fundo apoia a produção de bens e serviços de maneira ambientalmente responsável e sustentável com vistas a minimizar os impactos negativos no meio ambiente, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, reduzindo o consumo de recursos naturais não renováveis e promovendo práticas de produção alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável, incluindo a economia circular, e adaptando-se aos impactos das mudanças climáticas.

Entre as ações que podem ser financiadas Fundo Clima – Indústria Verde estão o reúso de efluentes e a dessalinização de águas salobras e/ou salinas para aplicações industriais

São apoiáveis as atividades e os empreendimentos de pessoas jurídicas de direito público e de direito privado com sede e administração no Brasil. O valor máximo de financiamento é de R$ 500 milhões por grupo econômico a cada 12 meses. O valor mínimo de financiamento é de R$ 20 milhões. Há um custo financeiro de 6,5% ao ano, somado à taxa do BNDES, cujo valor varia a partir de 1,2% ao ano, para um tempo de amortização de 192 meses, incluindo um prazo de carência de até 60 meses.

Um fato que representa um risco ao financiamento é que a estrutura tributária pode conter ambiguidade. A tributação sobre a importação de equipamentos, produtos químicos e, até mesmo, sobre a água produzida ou reusada, não estar completamente clara, impactando a previsibilidade dos custos do projeto (Seminário de Segurança Hídrica). Para mitigar esses riscos regulatórios, uma análise jurídica e ambiental aprofundada desde as fases iniciais é indispensável.



20 CENÁRIO FUTURO DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL

A escassez hídrica global, agravada pelas mudanças do clima e pela crescente demanda industrial e urbana, posiciona a dessalinização como alternativa, uma estratégia possível para a segurança hídrica desejada. Para a indústria brasileira, diante de um cenário de volatilidade climática e pressões regulatórias e sociais crescentes, compreender tendências, perspectivas e situações de adequabilidade da dessalinização é fundamental para construir resiliência e manter a competitividade.

O setor de dessalinização está em rápida e contínua evolução, impulsionado por necessidades globais crescentes de água potável e industrial, e por uma consciência ambiental cada vez mais acentuada. As tecnologias emergentes estão focadas principalmente na redução do consumo de energia, no aprimoramento da *performance* e seletividade das membranas, e na minimização do impacto ambiental.

Além dessas novas abordagens de processo, a pesquisa em materiais avança rapidamente, com o desenvolvimento de membranas de próxima geração com base em grafeno, nanotubos de carbono e materiais de estrutura metal-orgânica. Esses materiais possuem porosidade otimizada e propriedades que prometem maior fluxo de água e rejeição de sais com menor pressão de operação, traduzindo-se em significativa redução do consumo energético.

Dispositivos de recuperação de energia se tornarão ainda mais sofisticados e comuns, recuperando uma parcela ainda maior da energia utilizada no processo de pressurização. O pré-tratamento da água, etapa crucial para proteção das membranas, também terá inovações com tecnologias mais avançadas e sustentáveis, que buscam minimizar o uso de produtos químicos.

Para a indústria, a adoção e o acompanhamento dessas tecnologias emergentes significarão uma produção de água mais barata, com menor pegada ambiental e maior confiabilidade, fortalecendo a competitividade e a capacidade de inovar em seus próprios processos.

O setor industrial brasileiro tem oportunidade ímpar de assumir a liderança regional em soluções hídricas, posicionando a dessalinização como pilar estratégico para seu futuro. Ao combinar os avanços tecnológicos globais, a capacidade de inovação local e a crescente demanda interna, o Brasil pode tornar-se polo de excelência em gestão hídrica industrial. A incorporação da dessalinização como parte da estratégia de longo prazo para segurança

hídrica não apenas mitigará riscos, mas também agregará valor socioambiental e diferenciará as empresas no mercado.

A autossuficiência hídrica proporcionada por plantas próprias ou contratos de longo prazo com fornecedores de água dessalinizada garantirá a continuidade operacional, protegendo a produção contra paralisações e os custos decorrentes de crises hídricas. Esse é um diferencial competitivo cada vez mais valorizado por investidores e consumidores, especialmente no contexto de um cenário climático em constante mudança, que continua a influenciar a geração de energia e a disponibilidade hídrica.

Além da segurança, a dessalinização de nova geração, alinhada às tendências de eficiência e sustentabilidade, oferecerá vantagens competitivas. A produção de água de alta pureza para processos críticos, a redução dos custos operacionais por meio da eficiência energética e da automação, e a minimização do impacto ambiental – com manejo inteligente da salmoura e uso de energias renováveis – fortalecerão a imagem da indústria brasileira no cenário global.

A Tabela 7 resume alguns dos principais desafios para uma política pública para a dessalinização no Brasil.

TABELA 7 – Desafios a serem superados

Desafios a serem superados	Possíveis respostas
Ausência de uma norma técnica a respeito do lançamento da salmoura.	Criação de norma pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).
Ausência de uma norma técnica específica sobre licenciamento ambiental de usinas de dessalinização.	Criação de norma pelo Conama e pelo CNRH.
Incentivo ao desenvolvimento tecnológico de inovações das membranas da osmose reversa (OR).	Apoio financeiro para pesquisa por meio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e das fundações estaduais de apoio à pesquisa.
Mapeamento de localidades, como cidades litorâneas e ilhas, nas quais a dessalinização possa ser considerada como alternativa para a diversificação das fontes hídricas.	Fazer constar as possibilidades da dessalinização nas próximas versões do Plano Nacional de Segurança Hídrica, do **Atlas Água** e nos Planos Estaduais de Recursos Hídricos.
Mapeamento das localidades de integração da dessalinização com fontes de energias renováveis, em especial a solar e a eólica.	Fazer constar as possibilidades da dessalinização nas próximas versões dos Planos Estaduais de Recursos Hídricos.
Ampliar o financiamento da capacitação de recursos humanos para operação de usinas de dessalinização.	Articular parcerias da CNI, do Serviço Social da Indústria (Sesi), do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), LABDES (UFCG), Coppe/UFRJ, entre outras, para promover a capacitação de pessoal técnico para os desafios da operação de usinas de dessalinização, além do Cirra/USP e do ProfÁgua/ANA.
Incertezas sobre impostos e alíquotas associadas aos componentes e dos insumos dos processos de dessalinização.	Ação junto ao Congresso Nacional para definição de impostos e alíquotas associadas à dessalinização.

Fonte: elaboração própria.

Apesar do futuro promissor, o caminho da dessalinização no Brasil ainda apresenta desafios que precisam ser superados para que todo o seu potencial seja realizado. A redução contínua do custo energético continua sendo uma barreira, embora a integração com energias renováveis esteja mitigando esse problema. A gestão dos resíduos de salmoura e a ampliação da escala das plantas em regiões com alta demanda hídrica e sensibilidade ambiental também representam pontos críticos a serem abordados, exigindo inovação em tecnologias de descarte otimizado.

No entanto, esses desafios possibilitam inúmeras oportunidades para a indústria. O desenvolvimento de **tecnologias modulares** permite maior flexibilidade e escalabilidade, facilitando a implementação em diversas localidades e adaptando-se a necessidades específicas. A **digitalização avançada** – com a internet das coisas (IoT) [acrônimo em inglês para *internet of things*], inteligência artificial (IA) [acrônimo em inglês para *artificial intelligence*] e *machine learning* – transformará a gestão das plantas, otimizando operações e manutenção. A **economia circular aplicada** aos subprodutos da dessalinização, como a recuperação de minerais da salmoura, pode criar novas fontes de receita e reduzir o impacto ambiental. Além disso, o **desenvolvimento de membranas inteligentes**, que se adaptam às condições da água e necessitam de menos energia, é campo fértil para a pesquisa e inovação.

Para sustentar esse avanço, o **investimento contínuo em pesquisa, desenvolvimento e formação técnica** é vital. A colaboração entre a academia, o governo e o setor privado será fundamental para impulsionar a inovação, adaptar tecnologias globais às realidades brasileiras e capacitar a força de trabalho necessária para operar e gerenciar essas complexas infraestruturas. A indústria brasileira, ao abraçar esses desafios como oportunidades, pode consolidar sua posição não apenas como usuária, mas como líder e desenvolvedora de soluções em dessalinização, garantindo um futuro hídrico seguro e sustentável.

AGRADECIMENTO

Agradeço enormemente aos cinco profissionais que entrevistei para colher sugestões, indicação de livros e estudos, e conselhos para a preparação deste documento. Sem o apoio incondicional desses profissionais, este documento não seria possível.

Deixo registrado aqui o meu mais sincero agradecimento a Maria do Socorro Lima Castello Branco, Mário Cardoso, Eduardo Pedroza, Artur Ricardo Macedo dos Santos e José Carlos Mierzwa.

REFERÊNCIAS

ABDALA, Vitor. Mais da metade da população brasileira vive no litoral. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 21 mar., 2024. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-03/mais-da-metade-da-populacao-brasileira-vivem-no-litoral

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Águas:** Segurança Hídrica no Abastecimento Urbano. Brasília, ANA, 2021. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/08/ANA-ATLAS-Aguas-AbastecimentoUrbano2021-compressed.pdf

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Plano Nacional de Segurança Hídrica. / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: https://www.ppi.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/pnsh.pdf

ÁGUAS DO RIO. **Legislação e tarifas**. Disponível em: https://aguasdorio.com.br/legislacao-e-tarifas/

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Mapa estratégico da indústria 2023-2032**: o caminho para a nova indústria /Confederação Nacional da Indústria. – ed. rev. Brasília: CNI, 2023. Disponível em: https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2023/10/mapa-estrategico-da-industria-2023-2032/

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Planta de dessalinização de Fortaleza. Estudos de viabilidade**. Estudo 7. âmbito do Edital de Chamamento Público para Procedimento de Manifestação de Interesse – PMI 01/2017/CAGECE.

INTERNATIONAL DESALINATION AND REUSE ASSOCIATION (IDRA); GLOBAL WATER INTELLIGENCE. **IDRA Desalination & Reuse Handbook**. Handbook. 2024-2025.

MAKI, A.; PEDRERO, F.; HAFSI, M.; & GUERBER, F. **Desalination for agriculture development**: Addressing opportunities and challenges in the context of changing climate and the global agricultural commodity market – eExpert consultation workshop report. Tunis, FAO. 2025. DOI: https://doi.org/10.4060/cd4781en

MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCid); SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento DEZ/2023 Visão Geral ano de referência 2022**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Programa Água Doce. Documento Base**. [S.l: s.n.], 2012. Disponível em: www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/ANEXO_I__PAD__Documento_Base_Final_2012.pdf

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). **The Joint Water-Agriculture Ministerial Council Desalination in the Arab region**: Status, Challenges, and Prospects, 2022.

PEDROSA; Valmir (Org.). **Adaptações às mudanças climáticas**: estudo de casos. Vitória: Ed. do Autor, 2025.

MACEDO DOS SANTOS, Artur Ricardo Macedo dos. **Dessalinização da água do mar**: da teoria à prática sustentável. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2025.

SOARES NETO, Percy Baptista; Valmir Pedrosa. **Construindo a segurança hídrica**. Vitória: GSA Gráfica e Editora, 2018. 237 p.

SOARES, David Veiga; MARTINS, Márcia Viana Lisboa; PEDROSA Valmir **A indústria e a água**: agindo além do perímetro da unidade industrial. Belo Horizonte: Ed. do Autor, 2023.

VOUTCHKOV, Nikolay, author. **Desalination project cost estimating and management.** [S.l.]: Editora CRC Press Taylor & Francis Group, 2019.

WORLD BANK. **The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scarce World**. World Bank, Washington, DC: World Bank, 2019.

CNI
Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente

Diretoria de Relações Institucionais
Roberto de Oliveira Muniz
Diretor

Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade
Davi Bomtempo
Superintendente de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Gerência de Recursos Naturais
Mario Augusto de Campos Cardoso
Gerente de Recursos Naturais

Maria do Socorro Lima Castello Branco
Erica dos Santos Villarinho
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO
André Nascimento Curvello
Diretor de Comunicação

Superintendência de Publicidade e Mídias Sociais
Mariana Caetano Flores Pinto
Superintendente de Publicidade e Mídias Sociais

William Homero Rufino da Silva - FSB Comunicação
Produção Editorial

DIRETORIA CORPORATIVA
Cid Carvalho Vianna
Diretor Corporativo

Superintendência de Desenvolvimento Humano
Flavia Azevedo Moreira de Morais
Superintendente de Desenvolvimento Humano

Gerência de Desenvolvimento e Relacionamento
Carolina Maia Vendramine
Gerente de Desenvolvimento e Relacionamento

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

Danúzia Queiroz
Edição e revisão ortográfica

Editorar Multimídia
Projeto gráfico e diagramação

MGO Consultoria e Planejamento Ambiental
Consultor responsável: Valmir de Albuquerque Pedrosa

www.cni.com.br

/cnibrasil

@CNI_br

@cnibr

/cniweb

/company/cni-brasil



9 788579 575624

CNI Confederação Nacional da Indústria