



# **Potenciais Destinações para o Rejeito Salino Gerado no Processo para o Reúso de Água**

Paola Galera Teixeira

Syssa de Carvalho Felix Pereira

## **Projeto de Final de Curso**

Orientadora

Prof<sup>ª</sup>. Adelaide Maria de Souza Antunes, D. Sc.

Agosto de 2010

# POTENCIAIS DESTINAÇÕES PARA O REJEITO SALINO GERADO NO PROCESSO PARA O REÚSO DE ÁGUA

*Paola Galera Teixeira*

*Syssa de Carvalho Felix Pereira*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

---

Prof<sup>a</sup>. Lídia Yokoyama, D. Sc.

---

Prof<sup>a</sup>. Ana Mehl, D. Sc.

---

Prof. Marco Antonio Gaya de Figueiredo, D. Sc.

Orientado por:

---

Prof<sup>a</sup> Adelaide Maria de Souza Antunes, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2010

Teixeira, Paola Galera. Pereira, Syssa de Carvalho Felix.

Potenciais destinações para o rejeito salino gerado no processo para o reúso de água/Paola Galera Teixeira. Syssa de Carvalho Felix Pereira. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2010.

xii, 86 p.; il.

Projeto Final de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2010

Orientador: Adelaide Maria de Souza Antunes

1. Prospecção Tecnológica. 2. Reúso de água. 3. Rejeito salino. 4. Projeto Final de Curso. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Adelaide Maria de Souza Antunes. I. Título.

Dedicamos este trabalho a todos que sempre  
torceram pelo nosso sucesso.

*“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado  
é alguém que acredite que ele possa ser  
realizado.”*

Roberto Shinyashiki

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora e orientadora Adelaide Antunes, por todo o seu apoio e dedicação, sempre disposta a ajudar com sua experiência e conhecimento.

Aos nossos familiares, por todo carinho, incentivo e confiança durante todo este percurso.

Aos nossos amigos, pela amizade e companheirismo nos momentos que precisamos.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

## **POTENCIAIS DESTINAÇÕES PARA O REJEITO SALINO GERADO NO PROCESSO PARA O REÚSO DE ÁGUA**

Paola Galera Teixeira

Syssa de Carvalho Felix Pereira

Agosto, 2010

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Adelaide Maria de Souza Antunes, D. Sc.

As crescentes taxas pelo uso da água aliadas às restrições impostas quanto ao lançamento de efluentes no ambiente fizeram com que indústrias consumidoras de grandes volumes deste recurso implementassem programas para a minimização de resíduos e reúso de água em seus processos. A osmose inversa e a eletrodialise são tecnologias que utilizam processos de separação por membranas e têm se mostrado eficientes para a remoção de sais dissolvidos presentes na água. Esta remoção é necessária para o reúso, pois a presença destes constituintes pode comprometer a vida útil de equipamentos como torres de resfriamento e caldeiras. Porém, este tratamento irá gerar, além da água tratada, um rejeito com alta concentração salina, que se lançados diretamente no ambiente poderão causar diversos danos. O objetivo deste trabalho é prospectar potenciais destinações para o rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, através da análise de artigos publicados sobre o tema. As análises dos artigos demonstram dois principais focos de estudo: os efeitos provocados pela descarga direta do rejeito salino em corpos hídricos e, neste sentido, o desenvolvimento de tecnologias visando o descarte zero com a conseqüente necessidade de recuperação de sais a partir do concentrado, agregando valor ao rejeito.

## SIGLAS

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>BOT</b>	Build, Operate and Transfer
<b>Cedae</b>	Companhia de Saneamento Carioca
<b>CIRRA</b>	Centro Internacional de Referência em Reúso de Água
<b>CNRH</b>	Conselho Regional de Recursos Hídricos
<b>CSIC</b>	Conselho Superior de Investigações Científicas da Espanha
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>ED</b>	Eletrodialise
<b>EDR</b>	Eletrodialise Reversa
<b>ESCWA</b>	Economic and Social Commission for Western Asia
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água
<b>ETDI</b>	Estação de Tratamento de Despejos Industriais
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>LCZ</b>	Zona Convectiva Inferior
<b>MBR</b>	Biorreator a Membranas
<b>MED</b>	Destilação de Múltiplos Efeitos
<b>MF</b>	Microfiltração
<b>MSF</b>	Flash em Múltiplo Estágio
<b>NCZ</b>	Zona Não Convectiva
<b>NF</b>	Nanofiltração
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>OI</b>	Osmose Inversa



<b>PCRA</b>	Programa de Conservação e Reúso de Água
<b>PRO</b>	Osmose Retardada pela Pressão
<b>PVC</b>	Policloreto de Vinila
<b>RSE</b>	Spray de Evaporação Rápida
<b>Sabesp</b>	Companhia Paulista de Saneamento
<b>Singreh</b>	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
<b>SDT</b>	Sólidos Dissolvidos Totais
<b>SST</b>	Sólidos Suspensos Totais
<b>UCZ</b>	Zona de Convecção Superior
<b>UF</b>	Ultrafiltração

## ÍNDICE

Introdução.....	1
CAPÍTULO 1 .....	3
1. Reúso de água .....	3
1.1. Principais aplicações da água nas indústrias.....	5
1.2. Reúso de água nas indústrias .....	7
1.3. Benefícios promovidos pela prática de reúso .....	11
1.4. Aspectos legais para o reúso de água no Brasil .....	12
CAPÍTULO 2 .....	14
2. Tecnologias de tratamento da água para o reúso.....	14
2.1. O processo de dessalinização.....	19
2.2. Osmose inversa .....	23
2.3. Eletrodiálise .....	27
2.4. Comparação entre Osmose Inversa e Eletrodiálise.....	30
2.5. Projetos de reúso de água no Brasil .....	32
CAPÍTULO 3 .....	36
3. O rejeito salino gerado no processo para o reúso de água .....	36
3.1. Métodos para a disposição do rejeito salino .....	36
3.1.1. Descarga em corpos hídricos.....	37
3.1.2. Descarga direta em plantas de tratamento de efluentes.....	38
3.1.3. Sistemas de irrigação .....	39
3.1.4. Aquicultura .....	40
3.1.5. Injeção em poços profundos.....	41
3.1.6. Lagoas de Evaporação .....	42
3.1.7. Geração de energia .....	45
3.1.8. Recuperação de sais.....	46
CAPÍTULO 4 .....	49
4. Potenciais destinações para o rejeito salino .....	49

4.1. Estratégias para a recuperação de artigos publicados.....	49
4.2. Análise dos artigos.....	50
4.2.1. Tendência temporal de publicação .....	53
4.2.2. Análise geográfica .....	55
4.2.3. Instituições de pesquisa .....	58
4.2.4. Revistas de publicação.....	61
CAPÍTULO 5 .....	62
5. Conclusão.....	62
Referências Bibliográficas.....	64
ANEXO .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Disponibilidade de água no planeta .....	3
Figura 1.2: Reúso indireto não planejado da água.....	7
Figura 1.3: Reúso direto planejado de água .....	8
Figura 2.1: Alternativas para o processos de tratamento da água para o reúso.....	15
Figura 2.2: Esquema simplificado do processo de dessalinização .....	19
Figura 2.3: Fontes de água para dessalinização no mundo .....	20
Figura 2.4: Capacidade global de dessalinização por tecnologia em 2008 .....	22
Figura 2.5: O processo de osmose (a), equilíbrio osmótico (b) e osmose inversa (c).....	23
Figura 2.6: Módulo de membrana em espiral.....	25
Figura 2.7: Típico fluxograma da Osmose Inversa .....	25
Figura 2.8: Processo de eletrodialise com membranas catiônicas (C) e aniônicas (A).....	28
Figura 2.9: Processos de OI e ED.....	30
Figura 3.1: Tecnologia SAL-PROC .....	47
Figura 4.1: Tendência temporal de publicação de artigos.....	53
Figura 4.2: Principais países com publicações .....	55
Figura 4.3: Tendência temporal para os principais países com publicações.....	58
Figura 4.4: Principais instituições de pesquisa.....	59
Figura 4.5: Principais revistas de publicação .....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Processos utilizados para a remoção de constituintes encontrados em águas residuais para o reúso .....	17
Tabela 2.2: Processos de separação por membranas .....	18
Tabela 2.3: Os 10 países líderes em dessalinização no mundo .....	21
Tabela 2.4: Taxas de remoção de constituintes pela osmose inversa.....	26
Tabela 2.5 – Comparação entre os processos de osmose inversa e eletrodíálise .....	31
Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens do método de descarga direta em planta de tratamento de efluentes .....	39
Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens de lagoas de evaporação .....	44
Tabela 4.1: Resultado da estratégia de busca por artigos publicados.....	50
Tabela 4.2: Principais destinações para o rejeito salino .....	51
Tabela 4.3: Tendência temporal de publicações por destinação .....	54
Tabela 4.4: Destinações para o rejeito salino em publicações da Espanha.....	56
Tabela 4.5: Destinações para o rejeito salino em publicações dos Estados Unidos.....	57
Tabela 4.6: Destinações para o rejeito salino em publicações de Omã.....	57

## **Introdução**

O crescente aumento do consumo de água fez com que problemas relacionados à sua escassez e poluição tornassem mais evidentes. Medidas tiveram de ser tomadas por parte dos governos para controlar o uso e manter a conservação dos recursos hídricos. A cobrança pelo uso da água e restrições quanto ao lançamento de efluentes no meio ambiente motivam a procura por estratégias que resultem em um maior aproveitamento deste recurso e minimizem a geração de rejeitos.

O reúso de água passa a ser uma alternativa economicamente atrativa e importante para o desenvolvimento sustentável das empresas. Indústrias que consomem grandes quantidades de água estão tratando seus efluentes de forma a recuperar e reaproveitar a água em seus processos.

As tecnologias que deverão ser utilizadas para o tratamento da água irão depender da qualidade do efluente a ser tratado e do nível de tratamento necessário para adequá-lo ao reúso. Essas tecnologias poderão ser empregadas, isoladamente ou acopladas, para atender às necessidades desejadas.

Por exemplo, a osmose inversa (OI) e a eletrodialise (ED) são tecnologias que utilizam processos de separação por membranas que têm se mostrado eficientes para a remoção de sais dissolvidos presentes na água. Esses constituintes devem ser removidos, pois podem comprometer a vida útil dos equipamentos. Grandes refinarias já estão utilizando essas tecnologias em seus processos para o reúso de água em torres de resfriamento e caldeiras.

Os processos para a remoção de sais presentes na água, chamados de dessalinização, irão gerar como produto principal a água dessalinizada para o reúso, e um efluente salino como rejeito, também chamado de concentrado. Devido às questões ambientais, alternativas para a destinação deste rejeito devem ser avaliadas.

Atualmente, a prática mais comum para a disposição do rejeito salino é o descarte direto em águas superficiais, como rios e mares. Esta prática pode gerar grandes danos ao ambiente aquático devido à alta salinidade do rejeito, acarretando em impactos na fauna e na flora do local de recebimento.

Outras práticas vêm sendo estudadas para a destinação deste concentrado salino, como, por exemplo, a recuperação dos sais, que poderão ser utilizados como insumo ou matéria-prima em diversos processos industriais, de forma a agregar valor ao rejeito gerado.

Este trabalho tem como objetivos identificar as alternativas existentes e avaliar, através de Prospecção Tecnológica, os potenciais métodos para a destinação do rejeito salino gerado no processo de reúso de água.

De forma a atender aos objetivos propostos, este trabalho está estruturado em 5 Capítulos. O Capítulo 1 é dedicado ao conceito do reúso de água, e sua aplicação nas indústrias. Serão apresentados os benefícios promovidos pela prática de reúso e os aspectos legais no Brasil.

Um panorama sobre as tecnologias de tratamento que podem ser empregadas para a remoção de constituintes presentes na água será apresentado no Capítulo 2, onde serão detalhados os processos de osmose inversa e eletrodialise, mostrando as vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Alguns projetos de reúso já implantados no Brasil serão identificados de maneira a exemplificar as tecnologias que estão sendo empregadas.

O Capítulo 3 é voltado para o rejeito salino gerado no processo para o reúso da água. Serão apresentados os principais métodos encontrados na literatura para destinação deste efluente salino.

No Capítulo 4, é feita Prospecção Tecnológica em artigos técnicos para avaliar os métodos mais citados como objeto de estudo, identificando as prioridades atuais de pesquisa. Os resultados encontrados podem ser utilizados para auxiliar na escolha da estratégia a ser implementada para aplicação do concentrado salino. O Capítulo 5 finaliza o projeto apresentando as conclusões obtidas com o estudo e em seguida constam as referências e o anexo composto pela análise dos artigos.

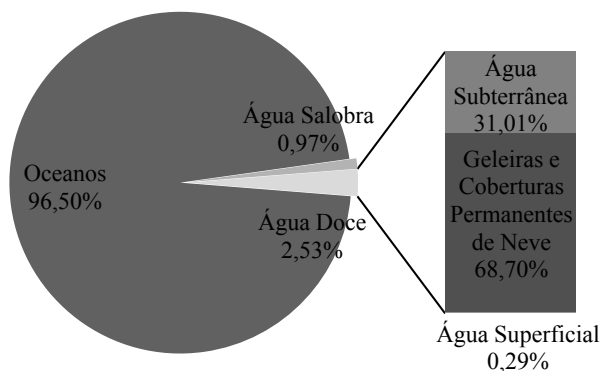
## CAPÍTULO 1

### 1. Reúso de água

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento da sociedade. Suas principais aplicações estão voltadas para o abastecimento público, industrial e agrícola.

No Brasil, o consumo de água do setor agrícola representa 70% do total consumido, e as atividades industriais respondem por aproximadamente 20% do consumo total, onde mais da metade é tratada de forma inadequada ou não recebe nenhum tipo de tratamento (CIRRA).

A disponibilidade de água no mundo é de aproximadamente 1,4 bilhões de km<sup>3</sup>. Deste volume, apenas 2,53% são de água doce, onde 31% estão presentes em águas subterrâneas, 68,7% em geleiras e coberturas permanentes de neve, e somente 0,29% em águas superficiais (Figura 1.1).



**Figura 1.1: Disponibilidade de água no planeta**

Fonte: MAYS (1996) apud MIERZWA et al. (1999)

O Brasil detém, aproximadamente, 14% da água utilizável do mundo. Com a idéia de abundância, não existiam grandes preocupações com seu consumo. No entanto, 70% das águas nacionais estão localizadas na Amazônia, onde se encontram somente 5% dos



brasileiros, sendo que os outros 30% de fontes de água, abastecem os 95% da população brasileira (GERBER).

Considerando a limitação de reservas de água doce no mundo e diante da tendência de contínuo crescimento populacional e industrial, a demanda por este recurso tende a aumentar ao longo do tempo, enquanto as reservas disponíveis são mantidas aproximadamente constantes em termos de vazão, mas não em termos de qualidade. Com isso, o problema da escassez passa a ser uma preocupação mundial.

Em regiões áridas e semi-áridas, como o nordeste brasileiro, a água se torna um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Entretanto, este fenômeno de escassez não é somente atributo exclusivo dessas regiões. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para satisfazer as demandas excessivas, também experimentam conflitos com o consumo, que afetam o desenvolvimento e a qualidade de vida (HESPANHOL, 2003).

Precocemente, em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, propôs, especialmente para áreas carentes em recursos hídricos, que “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para os usos que toleram águas de qualidade inferior”. Essas águas de qualidade inferior envolvem esgotos de origem doméstica, efluentes de sistemas de tratamento de água, efluentes industriais, entre outras. Sempre que possível, devem ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos (HESPANHOL, 2008). As águas de qualidade superior devem ser disponibilizadas para usos mais exigentes, de forma a controlar o consumo e reduzir a captação de águas.

O conceito de conservação e preservação do meio ambiente passa a ser introduzido como tentativa para diminuir os danos provocados pelos impactos ambientais gerados pelo uso descontrolado da água. A Organização das Nações Unidas (ONU) divulgou, em 22 de março de 1992, a Declaração Universal dos Direitos da Água, apresentando uma série de medidas, sugestões e informações para despertar a consciência ecológica da população e dos governantes para a questão da água.

No mesmo ano, foi realizada no Rio de Janeiro, a ECO-92, que trouxe como principal resultado a Agenda 21, documento desenvolvido pela ONU que estabeleceu a importância de cada país a se comprometer a refletir, global e localmente, sobre a forma pela qual governos,

empresas, organizações não-governamentais e todos os setores da sociedade poderiam cooperar no estudo de soluções para os problemas sócio-ambientais.

Recentemente, novas leis foram introduzidas para promover o uso racional e controlar o lançamento de efluentes nos recursos hídricos. Instrumentos de gestão como a outorga e a cobrança pelo uso da água passaram a ser implantados.

Considerando-se então, a limitação de reservas de água doce no mundo, o crescente aumento pela demanda de água para o consumo humano, a prioridade de utilização dos recursos hídricos disponíveis para o abastecimento público, bem como as restrições que vêm sendo impostas com relação à liberalização de efluentes para o meio ambiente, torna-se necessária a adoção de estratégias que visem maximizar a utilização dos recursos hídricos e minimizar os impactos negativos à geração de efluentes pelas indústrias (MIERZWA et al., 1999).

Esta situação tem conduzido muitas indústrias à busca por um novo modelo para o gerenciamento da água em seus processos, considerando novas opções e soluções que impliquem em autonomia no abastecimento de água e racionalização no seu consumo, onde o reúso se torna não apenas uma forma de garantir seu crescimento, mas até mesmo uma questão de sobrevivência (FIESP/CIESP, 2004).

### **1.1. Principais aplicações da água nas indústrias**

A água pode ser utilizada para diversos fins industriais, onde suas principais aplicações são:

- **Como fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** nestes casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor, ou então, devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento;
- **Como matéria-prima:** em processos industriais;
- **Como fluido auxiliar:** em atividades como a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;

- **Uso para geração de energia:** para este tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- **Consumo humano:** em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;
- **Outros Usos:** combate à incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

Os processos de resfriamento e aquecimento costumam ser os que demandam a maior quantidade de água nas indústrias, sendo comum adotar a prática de reúso para essas aplicações.

Há estimativas de que apenas 1% da indústria brasileira conte com sistemas de reúso de água, enquanto nos Estados Unidos, por exemplo, cerca de 60% das empresas incluem algum tipo de tecnologia de recuperação em seus circuitos (FURTADO, 2005).

## 1.2. Reúso de água nas indústrias

O reúso de água pode ser classificado de acordo com a maneira que é realizado, diferenciando quando o processo envolve a diluição dos efluentes em corpos hídricos antes do reúso ou não, pode decorrer de ações planejadas ou não planejadas. As formas de reúso são descritas a seguir:

- **Reúso indireto não planejado** (Figura 1.2): ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração);

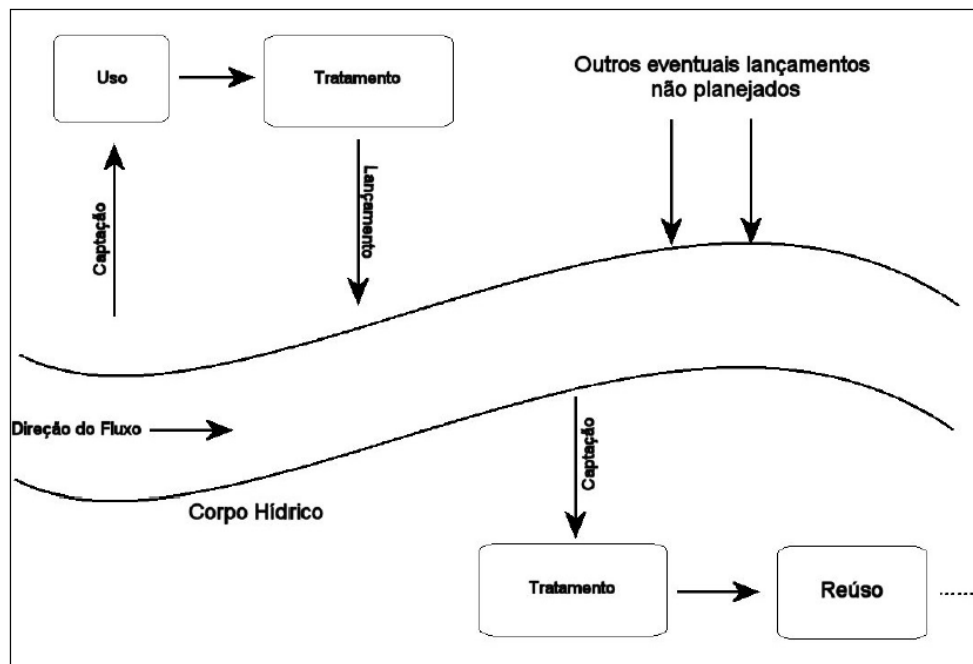


Figura 1.2: Reúso indireto não planejado da água

Fonte: BARBOSA (2009)

- **Reúso indireto planejado:** ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. Pressupõe também que exista um controle

sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reúso objetivado;

- **Reúso direto planejado** (Figura 1.3): ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

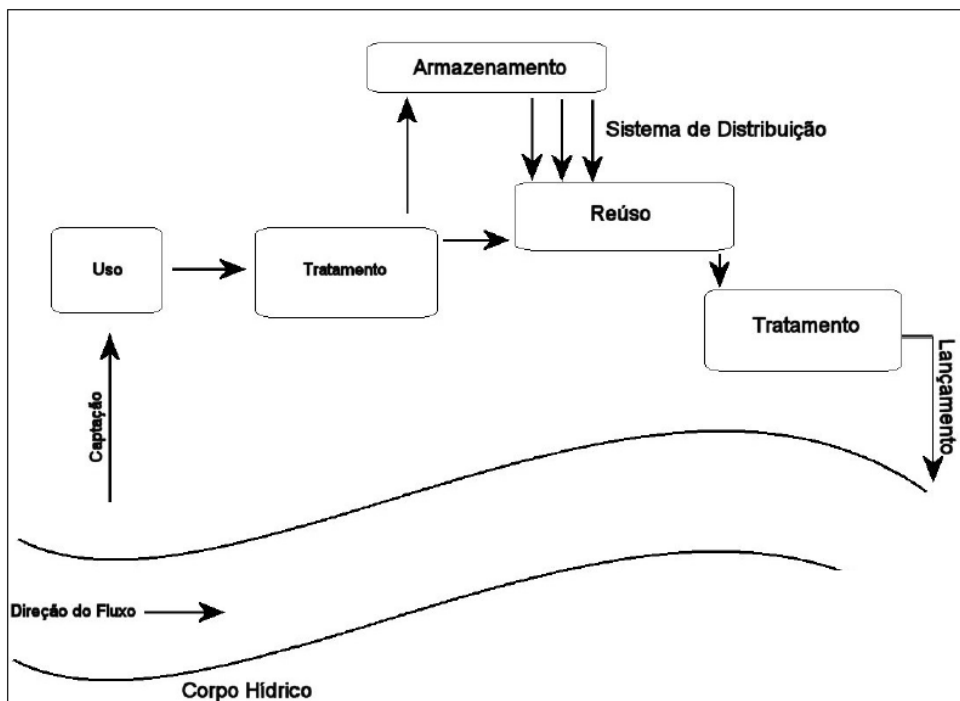


Figura 1.3: Reúso direto planejado de água

Fonte: BARBOSA (2009)

O reúso de água industrial pode ser realizado através do aproveitamento dos efluentes produzidos na própria indústria (com ou sem tratamento prévio) ou pela utilização dos efluentes tratados proveniente das estações de tratamento das companhias de saneamentos, que os distribui por uma rede paralela de alimentação. O primeiro é chamado como reúso macro interno, e o segundo como macro externo.

A existência de estações de tratamento de esgoto (ETE) nas proximidades de zonas industriais contribui para a implantação de programas de reúso, uma vez que aumenta o potencial de viabilizar sistemas de distribuição de águas de reúso compatíveis com a demanda industrial (HESPANHOL, 2008).

O reúso macro interno em uma indústria pode ser feito de duas maneiras: reúso em cascata ou reúso de efluentes tratados. No reúso em cascata, o efluente gerado em um processo industrial é diretamente usado em outro processo, sem necessidade de um tratamento prévio. O reúso de efluentes tratados consiste na utilização de efluentes que foram submetidos à processos de tratamento, sendo esta prática mais discutida atualmente.

Os métodos para o tratamento dos efluentes deverão ser escolhidos baseados na qualidade final da água necessária, de acordo com a aplicação desejada. Cada indústria, dependendo do seu setor, irá determinar as características de qualidade da água a ser utilizada em sua planta. Lembrando que uma indústria necessita de águas com diferentes qualidades, dependendo da sua aplicação.

O grau de qualidade exigido da água segundo as aplicações na indústria são (FIESP/CIESP, 2004):

- **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** Para a utilização da água na forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante elevado, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer um grau de qualidade bem menos restritivo, devendo-se levar em consideração a proteção e a vida útil dos equipamentos com os quais esta água irá entrar em contato;
- **Matéria-Prima:** Para esse tipo de uso, o grau de qualidade da água pode variar significativamente, podendo-se admitir a utilização de uma água com característica equivalente ou superior à da água utilizada para consumo humano, tendo-se como principal objetivo a proteção da saúde dos consumidores finais e/ou a garantia da qualidade final do produto;
- **Fluido auxiliar:** Da mesma forma que a água é utilizada como matéria-prima, o grau de qualidade da água para uso como um fluido auxiliar irá depender do processo à que esta se destina. Caso essa água entre em contato com o produto final, o grau de qualidade será mais ou menos restritivo, em função do tipo de produto que se deseja obter. Não havendo contato da água com o produto final, esta poderá apresentar um

grau de qualidade menos restritivo que o da água para consumo humano, principalmente com relação à concentração residual de agentes desinfetantes;

- **Geração de energia:** dependendo do processo de transformação utilizado a água deverá apresentar graus muito diferentes de qualidade. No aproveitamento da energia potencial ou cinética, a água é utilizada no seu estado natural, podendo-se utilizá-la na forma bruta, captada de um rio, lago, ou outro sistema, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia. Já para o aproveitamento da energia térmica, após aquecimento e vaporização da água por meio do fornecimento de energia térmica, a mesma deve apresentar um elevado grau de qualidade, para que não ocorram problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia;
- **Consumo humano:** água potável, atendendo às características estabelecidas pela Portaria nº 518 – Norma de qualidade da água para consumo humano, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde ([www.saude.gov.br](http://www.saude.gov.br)).

Com as tecnologias atuais, é possível tratar o efluente para qualquer nível desejável, onde a principal questão estará no custo do tratamento. Deve-se avaliar o custo e benefício do tratamento para que o mesmo seja viável.

Dentre os diversos parâmetros de qualidade que podem ser utilizados para a identificação de aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) pode ser o mais adequado. Isto se justifica em razão da concentração de SDT ser utilizada como um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, mais comumente utilizados, apresentam para remover este tipo de contaminante.

Outro fator que justifica o uso da concentração de SDT na avaliação do potencial de reúso de efluentes está associado ao aumento de sua concentração, pois à medida que o reúso do efluente é efetuado, uma carga adicional de sais vai sendo incorporada seja devido ao processo de evaporação da água ou pela adição de compostos químicos.

Recentemente, de acordo com Hespanhol (2008), as indústrias, particularmente as do Estado de São Paulo, já vêm aplicando recursos financeiros significativos na implantação de Programas de Conservação e Reúso de Água (PCRA), obtendo redução de consumo da ordem de 40% a 80%.

Um PCRA é composto por um conjunto de ações específicas de racionalização do uso da água na unidade industrial, que devem ser detalhadas a partir da realização de uma análise de demanda e oferta de água, em função dos usuários e atividades consumidoras, com base na viabilidade técnica e econômica de implantação das mesmas.

A implantação de PCRA's pelo setor industrial, reverte-se em benefícios econômicos que permitem aumentar a eficiência produtiva, tendo como consequência direta a redução do consumo de água, a redução do volume de efluentes gerados e, como consequências indiretas, a redução do consumo de energia, de produtos químicos, a otimização de processos e a redução de despesas com manutenção. Na maior parte dos casos, os períodos de retorno envolvidos são bastante atrativos (FIESP/CIESP, 2004).

### **1.3. Benefícios promovidos pela prática de reúso**

Diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais são promovidos pela prática do reúso, tais como (FIESP/CIESP, 2004):

- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas;
- Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada;
- Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.;
- Mudanças nos padrões de produção e consumo;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da competitividade do setor;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.
- Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

Esses benefícios promovem um maior investimento das indústrias em sistemas de tratamento de efluentes, juntamente com sistemas de conservação, redução de perdas e reúso da água em seus processos, que são favoráveis para o seu crescimento sustentável.



#### **1.4. Aspectos legais para o reúso de água no Brasil**

A Constituição de 1988 estabelece que a água seja considerada como um bem da União ou dos estados, ressaltando que o seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades.

Em 1997, entrou em vigor a Lei nº 9.433/1997, também conhecida como “Lei das Águas”, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh), dando ênfase ao uso sustentável da água.

Segundo a Lei 9.433/1997, a água é considerada como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. O instrumento legal prevê, ainda, que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. A Lei também prevê que em situações de escassez o uso prioritário da água é para o consumo humano e para a dessedentação de animais (ANA).

A Política Nacional de Recursos Hídricos envolve os seguintes instrumentos:

- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos;
- Planos de Recursos Hídricos.

Em 2000, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), instituição responsável pela implementação dos instrumentos de outorga e pela cobrança do uso da água, punindo as indústrias em termos de captação de água e lançamento de efluentes.

A outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos de água, e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. Essas medidas irão induzir a prática do reúso nas indústrias, tornando-se fundamental para a sustentabilidade da produção industrial.

O Decreto de 22 de março de 2005 institui a Década Brasileira da Água, cujos objetivos são promover e intensificar a formulação e implementação de políticas, programas e projetos relativos ao gerenciamento e uso sustentável da água.

Ainda em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece, com a Resolução nº 54, modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional. As cinco modalidades regulamentadas são: reúso para fins urbanos, para fins agrícolas e florestais, para fins ambientais, fins industriais e reúso na aquicultura.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos desenvolve atividades desde junho de 1998, ocupando a instância mais alta na hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. É um colegiado que desenvolve regras de mediação entre os diversos usuários da água sendo, assim, um dos grandes responsáveis pela implementação da gestão dos recursos hídricos no País. Por articular a integração das políticas públicas no Brasil é reconhecido pela sociedade como orientador para um diálogo transparente no processo de decisões no campo da legislação de recursos hídricos.

## CAPÍTULO 2

### 2. Tecnologias de tratamento da água para o reúso

O tratamento que deverá ser empregado na água para o seu reúso irá depender da qualidade da água residual a ser tratada e do objetivo específico para o reúso, ou seja, da aplicação que será dada para a água.

Diferentes tecnologias podem ser utilizadas, sozinhas ou acopladas, para alcançar os níveis desejados de remoção dos constituintes (Figura 2.1). Os tratamentos são realizados em etapas e podem ser classificados como:

- **Tratamento preliminar ou pré-tratamento:** há a remoção dos sólidos mais grosseiros com processos como o gradeamento, remoção da areia por caixas de areia e desengorduramento nas chamadas caixas de gordura ou em pré-decantadores;
- **Tratamento primário:** a matéria orgânica poluente é separada da água por sedimentação ou flotação. Pode ser ajudado pela adição de agentes químicos que através de uma coagulação/floculação possibilitam a obtenção de flocos de matéria poluente de maiores dimensões e assim mais facilmente decantáveis ou flotáveis. Após o tratamento primário, a matéria poluente que permanece na água é de reduzidas dimensões, normalmente constituída por sólidos dissolvidos, não sendo por isso passível de ser removida por processos exclusivamente físico-químicos;
- **Tratamento secundário:** processa, principalmente, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. Geralmente consiste em um processo biológico, do tipo lodo ativado ou filtro biológico, onde a matéria orgânica (poluente) é consumida por microorganismos em biorreatores. Estes reatores são normalmente constituídos por tanques com grande quantidade de microorganismos aeróbios, havendo por isso a necessidade de aeração. Posteriormente, os microorganismos sofrem um processo de sedimentação. Após a fase primária e secundária, a eliminação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) deve alcançar 90%. Esta etapa permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental;

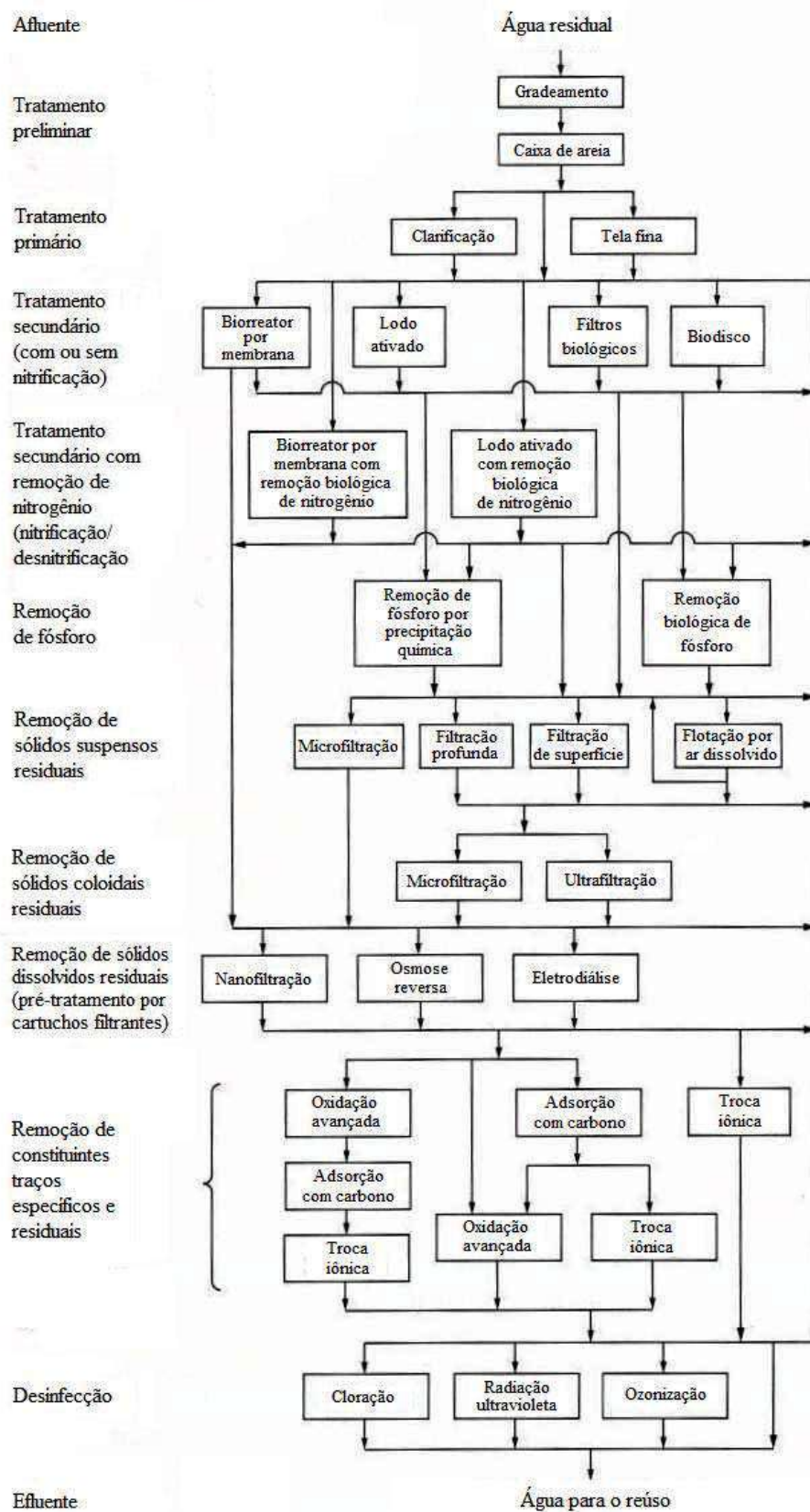


Figura 2.1: Alternativas para o processos de tratamento da água para o reúso

Fonte: ASANO et al. (2007)

- **Tratamento terciário:** remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis, ou eliminação adicional de poluentes não degradados na fase secundária como a remoção de sólidos suspensos, sólidos coloidais e sólidos dissolvidos residuais;
- **Tratamento avançado:** remoção de constituintes traços, que não são removidos suficientemente por tratamentos convencionais ou terciários.

Normalmente antes do lançamento final no corpo receptor, é necessário proceder à desinfecção das águas residuais tratadas para a remoção dos organismos patogênicos. A desinfecção pode ser feita por métodos como a cloração, ozonização ou radiação ultravioleta. A cloração contribui significativamente na redução de odores em estações de tratamento de esgoto (ETE).

Existe atualmente, um grande número de técnicas de tratamento aplicadas tanto para a água quanto para efluentes, que vão de tecnologias mais simples até as mais avançadas. As principais tecnologias utilizadas para remoção de constituintes presentes em águas residuais para o reúso são exibidas na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1: Processos utilizados para a remoção de constituintes encontrados em águas residuais para o reúso**

Processo	Classe dos Constituintes										
	Sólidos Suspensos Totais (SST)	Sólidos Coloidais	Matéria Orgânica (particulada)	Matéria Orgânica Dissolvida	Nitrogênio	Fósforo	Constituintes Traços	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Bactérias	Cistos e Oocistos de Protozoários	Vírus
Tratamento Secundário	x			x							
Secundário com remoção de nutrientes				x	x	x					
Filtração profunda	x								x	x	
Filtração superficial	x		x						x	x	
Microfiltração	x	x	x						x	x	
Ultrafiltração*	x	x	x						x	x	x
Flotação por ar dissolvido	x	x	x							x	x
Nanofiltração			x	x			x	x	x	x	x
Osmose Inversa				x	x	x	x	x	x	x	x
Eletrodialise*		x						x			
Adsorção de carbono				x			x				
Troca Iônica					x		x	x			
Oxidação avançada			x	x			x		x	x	x
Desinfecção				x					x	x	x

Fonte: ASANO et al. (2007)

\*atualmente a ultrafiltração e a eletrodialise não são mais utilizadas para remover sólidos coloidais.

Os processos de separação por membranas estão sendo amplamente aplicados para os tratamentos terciários e avançados e incluem a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose inversa (OI) e eletrodialise (ED). Esses processos utilizam a diferença de pressão ( $\Delta P$ ) ou a corrente elétrica ( $\Delta E$ ) para favorecer o transporte do solvente através da membrana. As diferenças e aplicações de cada tecnologia podem ser observadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2: Processos de separação por membranas**

Processo	Força Motriz	Material Retido	Material que permeia	Aplicações
Microfiltração (MF)	$\Delta P$ (0,5 - 2 atm)	Material em suspensão, bactérias	Água e sólidos dissolvidos	Esterilização bacteriana; clarificação de vinhos e cervejas; concentração de células; oxigenação de sangue
Ultrafiltração (UF)	$\Delta P$ (1 - 7 atm)	Colóides, Macromoléculas	Água (solvente), sais solúveis de baixa massa molar	Fracionamento/ concentração de proteínas, recuperação de pigmentos/óleos
Nanofiltração (NF)	$\Delta P$ (5 - 25 atm)	Moléculas de massa molar média	Água, sais e moléculas de baixa massa molar	Purificação de enzimas; biorreatores a membrana
Osmose Inversa (OI)	$\Delta P$ (15 - 80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão	Água (solvente)	Dessalinização de águas; concentração de frutas; desmineralização de águas
Eletrodialise (ED)	$\Delta E$	Macromoléculas e compostos não iônicos	Íons	Concentração de soluções salinas; purificação de águas

Fonte: HABERT et al. (2006)

No presente trabalho, são detalhadas a OI e ED, que são tecnologias utilizadas para a dessalinização, ou seja, remoção de sais dissolvidos que não foram removidos pelo tratamento secundário. Esses sais podem causar problemas de corrosão nos equipamentos, principalmente nas torres de resfriamento.

Entre outros fatores, os sais podem estar presentes na água devido ao alto nível de minerais na fonte de água usada ou pela adição de produtos químicos durante o processo de recuperação, como coagulantes e hipoclorito de sódio.

Como o foco do trabalho é no rejeito salino gerado no processo para a dessalinização, primeiramente será discutido o processo e posteriormente as tecnologias de OI e ED.

## 2.1. O processo de dessalinização

A dessalinização é um processo de separação utilizado no tratamento de águas para remoção de sais dissolvidos. A água salina a ser tratada passa por um processo de separação gerando como produto uma corrente de água com baixa concentração de sais e um rejeito com alta concentração de sais. O consumo de energia é necessário para o processo e diversas tecnologias podem ser empregadas para a separação, como a OI e a ED. O esquema simplificado do processo é exibido na Figura 2.2.

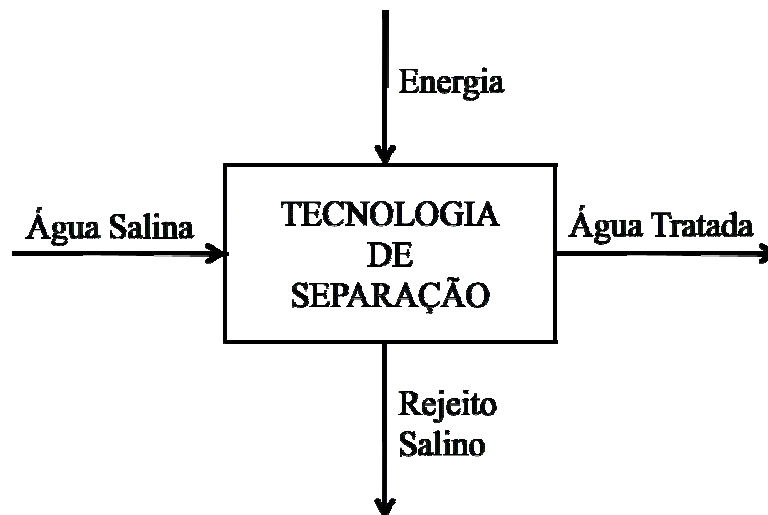


Figura 2.2: Esquema simplificado do processo de dessalinização

Fonte: BUROS (2000), adaptado

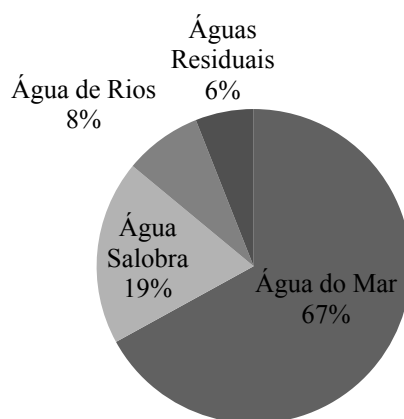
O processo de dessalinização pode ser aplicado para o tratamento de diversos tipos de fontes de água. A água do mar e a água salobra são comumente dessalinizada para serem usadas como fontes alternativas para o abastecimento de água em países com escassez desse



recurso. Também pode ser utilizado para promover o reúso de água nas indústrias, principalmente em torres de refrigeração e na alimentação de caldeiras, como mencionado no capítulo anterior.

É comum em indústrias a utilização do processo chamado de desmineralização, que é baseado no mesmo processo da dessalinização, se diferenciando pelo fato de que a dessalinização promove a remoção de sais menores. A desmineralização é também aplicada em efluentes industriais para sua adequação aos processos.

De acordo com ESCWA (2009), a capacidade global de dessalinização é de aproximadamente 60 milhões m<sup>3</sup>/dia, incluindo todos os tipos de fontes de água. O processo mais comum é a dessalinização da água do mar, que representa 67% da produção, devido ao grande volume de água que trata. Águas residuais representam 6% deste valor, o equivalente a cerca de 3,6 milhões de m<sup>3</sup> de água tratada por dia. A Figura 2.3 apresenta o percentual de cada fonte de água que é utilizada no processo de dessalinização no mundo.



**Figura 2.3: Fontes de água para dessalinização no mundo**

Fonte: DesalData apud ESCWA (2009)

As plantas de dessalinização estão predominantemente localizadas no Oriente Médio, tratando a água do mar para o consumo da população. Este fato deve-se aos recursos limitados de água doce na região e ao grande investimento nesta tecnologia, impulsionado pelos recursos obtidos com o petróleo.

A maior parte das plantas que processam água do mar possui capacidade superior a 50.000 m<sup>3</sup>/dia. O Golfo Pérsico, o Mar Mediterrâneo e o Mar Vermelho são as principais fontes para essa dessalinização.

Os três países que lideram a indústria de dessalinização no mundo são: Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos e Estados Unidos. Juntos representam 45% da capacidade global de produção (ESCWA, 2009). Os dez países líderes em dessalinização no mundo são apresentados na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3: Os 10 países líderes em dessalinização no mundo**

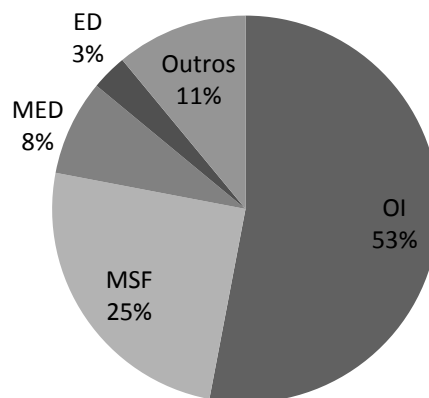
País	Capacidade (milhões m <sup>3</sup> /dia)	Participação na Produção Global (%)
1. Arábia Saudita	10,6	17
2. Emirados Árabes Unidos	8,7	14
3. Estados Unidos	8,3	14
4. Espanha	5,4	9
5. China	2,6	4
6. Kuwait	2,4	4
7. Catar	2,0	3
8. Argélia	1,8	3
9. Austrália	1,5	2
10. Japão	1,2	2

Fonte: ESCWA (2009)

No Brasil, o método de dessalinização é ainda é pouco empregado quando comparado a esses países. Além da aplicação industrial para o reúso de água, plantas de pequena escala para a dessalinização de água salobra de poços têm sido implantadas no nordeste do país para o abastecimento de água em pequenas comunidades.

As principais tecnologias empregadas para a dessalinização no mundo envolvem os processos de OI e a ED. Os processos de separação térmicos, como a destilação Flash em múltiplo estágio (MSF) e a destilação de múltiplos efeitos (MED), também são empregados para a remoção de sais em grandes volumes de água, sendo mais utilizados para a dessalinização da água do mar. Esses processos são baseados na evaporação para separar a água dos sais nelas dissolvidos.

Considerando todas as fontes de águas usadas em plantas de dessalinização no mundo, a OI é a tecnologia dominante, representando 53% da capacidade global. Em seguida está o MSF, representando 25%. Esse quadro mudou recentemente, onde o MSF era o processo mais empregado. A MED e a ED são utilizadas em menor escala (ESCWA, 2009). A Figura 2.4 mostra a capacidade global de dessalinização por tecnologia empregada.



**Figura 2.4: Capacidade global de dessalinização por tecnologia em 2008**

Fonte: DesalData apud ESCWA (2009)

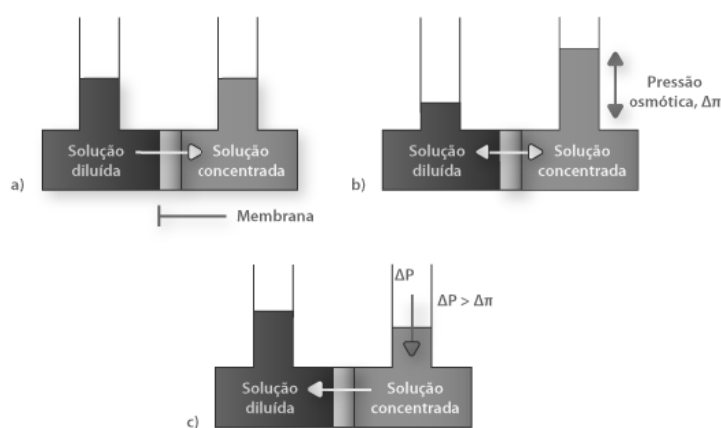
Juntamente com o aumento da capacidade houve a diminuição dos custos de produção das membranas, devido a melhorias na tecnologia. Ao longo das últimas três décadas, as despesas com elementos de membrana diminuíram em torno de 75%(CAMPBELL et al., 2005).

Empresas especializadas no tratamento de águas e efluentes estão utilizando os métodos de separação por membranas em seus projetos. Normalmente, essas empresas são contratadas para a construção de plantas para o reúso de água em indústrias. Como a OI e a ED são as tecnologias mais empregadas atualmente para a dessalinização, as mesmas serão detalhadas nos próximos itens.

## 2.2. Osmose inversa

A osmose inversa (OI) é um processo de separação por membranas usada para a remoção de materiais dissolvidos, retendo solutos de baixa massa molar, como sais inorgânicos ou pequenas moléculas orgânicas. O processo permite a passagem de partículas na ordem de 1 a 0,1 nanômetros, utilizando a diferença de pressão como força motriz. A pressão de operação utilizada pode ser da ordem de 12 a 18 atm (para águas com baixo SDT, 1.000 a 2.500 mg/L), chegando até 54 a 84 atm (para a água do mar). Quanto maior a concentração de sais no efluente, maior será a pressão necessária.

No processo de osmose, uma membrana semipermeável (permeável somente ao solvente) separa uma solução concentrada (menor potencial químico) de uma solução diluída (maior potencial químico), havendo um fluxo de solvente para a solução de maior concentração (Figura 2.5a). Este fluxo deixa de ocorrer quando a pressão da coluna, ou seja, a pressão osmótica da solução ( $\Delta\pi$ ) promove a igualdade dos potenciais químicos em ambos os lados da membrana, atingindo o equilíbrio osmótico (Figura 2.5b). Na osmose inversa, ao se aplicar uma diferença de pressão no lado mais concentrado, ocorrerá a inversão do fluxo osmótico, fazendo que o solvente escoe da solução mais concentrada para o lado do solvente puro (Figura 2.5c). Este processo permite que o solvente, como a água, seja separado de um soluto com baixa massa molar, como sais.



**Figura 2.5: O processo de osmose (a), equilíbrio osmótico (b) e osmose inversa (c)**

Fonte: Portal de Laboratórios Virtuais de Processos Químicos

A água que transpassar pelas membranas é denominada de permeado (água desmineralizada ou dessalinizada) e a parte que não conseguir passar pelas membranas, é denominada de rejeito ou concentrado.

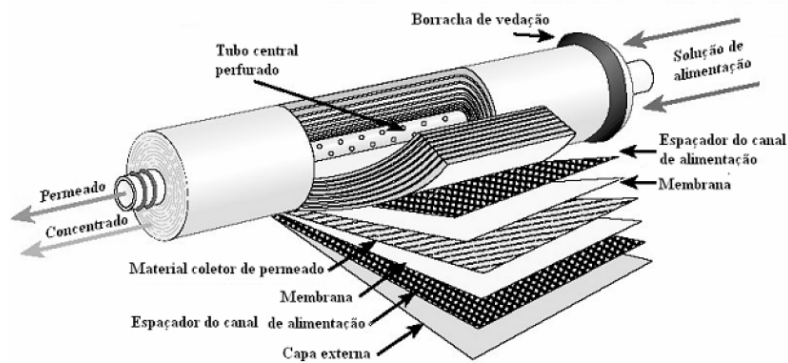
A dessalinização da água por OI é um processo muito utilizado para potabilização de águas salobra e do mar. Na desmineralização por OI, a tecnologia envolvida é a mesma, porém com pressão de bombeamento mais baixa. Este processo pode reter mais de 99% dos íons presentes na água. A vazão de recuperação é variável e irá depender de diversos fatores. Um valor médio de referência é 75%, significando que para cada 75% de água desmineralizada, 25% será de rejeito.

O rejeito gerado nos dois processos é uma variável a ser considerada na seleção desta tecnologia, ou seja, deve-se estudar a possibilidade de seu reaproveitamento, cuja concentração geralmente é 2 a 4 vezes maior que concentração da água a ser tratada.

A desmineralização da água por OI é a principal inovação tecnológica em relação à tecnologia convencional por troca iônica. Enquanto a de troca iônica requer paradas periódicas e geralmente diárias para a regeneração das resinas iônicas, a tecnologia de OI é um processo contínuo que requer paradas somente mensais, podendo ser trimestrais para limpeza das membranas. Por esta razão a OI tem um consumo de produtos químicos e geração de efluentes consideravelmente menores que a tecnologia de troca iônica (CENTROPROJEKT).

Comparada com outras membranas de separação por diferença de pressão, a OI apresenta uma maior resistência à permeação e, conseqüentemente, pode utilizar pressões mais elevadas.

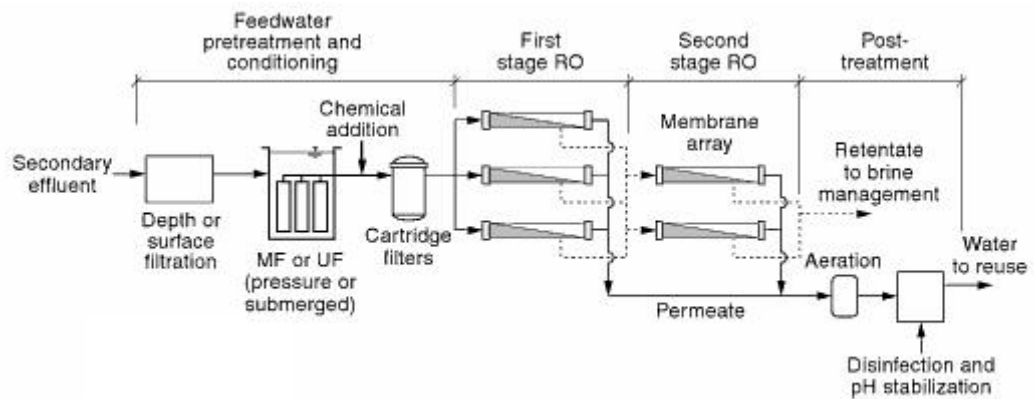
As membranas são condicionadas no interior de elementos denominados “módulos”, que é o elemento básico de um sistema com membranas. Sua construção tem como objetivo separar a corrente de alimentação da corrente permeada através da membrana, assim como, possibilitar a remoção da corrente contendo o material retido, denominada como corrente do concentrado. Um módulo de membrana em espiral é mostrado na Figura 2.6.



**Figura 2.6: Módulo de membrana em espiral**

Fonte: HABERT et al. (2005)

No reúso de água, a OI é usada para remover os constituintes dissolvidos que restaram na água residual após o tratamento com filtração profunda, MF ou UF. Essas tecnologias são utilizadas como pré-tratamento para a OR. O típico fluxograma da OI pode ser observado na Figura 2.7.



**Figura 2.7: Típico fluxograma da Osmose Inversa**

Fonte: ASANO et al.(2007)

Os sistemas de membranas por OI vêm sendo empregados para tratar águas residuais que poderão ser utilizadas para a recarga de aquíferos (promovendo o aumento das águas superficiais), torres de resfriamento, resfriadores evaporativos e como alimentação de caldeiras de alta pressão.

A OI possui uma alta taxa de remoção para maioria de seus constituintes, principalmente quando a água a ser tratada possui baixa concentração de sais (1.000 a 2.500 mg/L). Neste caso, a taxa de rejeição de seus constituintes pela membrana caminha para o valor máximo. Na Tabela 2.4, são exibidas as típicas taxas de remoção dos constituintes pela OR.

**Tabela 2.4: Taxas de remoção de constituintes pela osmose inversa**

Constituintes	Unidade	Taxa de Rejeição
SDT	%	90- 98
Carbono orgânico total	%	90-98
Cor	%	90-96
Dureza	%	90-98
Cloreto de sódio	%	90-99
Sulfato de sódio	%	90-99
Cloreto de cálcio	%	90-99
Sulfato de magnésio	%	95-99
Nitrato	%	84-96
Fluoreto	%	90-98
Arsênio (+5)	%	85-95
Atrazina	%	90-96
Proteínas	log	4-7
Bactérias <sup>a</sup>	log	4-7
Protozoários <sup>a</sup>	log	>7
Vírus	log	4-7

<sup>a</sup>Teoricamente todos os microorganismos devem ser removidos. Esses valores refletem a preocupação com integridade.

Fonte: ASANO et al. (2007)

### **2.2.1. Vantagens da Osmose Inversa**

- Pode remover mais de 90% de SDT
- Remove microorganismos e muitos contaminantes orgânicos antropogênicos
- Possui mais experiências comprovadas para a desmineralização da água
- Mistura de fontes de água irá reduzir o tamanho do sistema
- Pode produzir água de alta qualidade

### **2.2.2. Desvantagens da Osmose Inversa**

- Requer altas pressões para alcançar alta taxa de rejeição de sal
- Requer processos de pré-tratamento para minimizar as incrustações
- Manutenções de rotina são necessárias para manter a performance

### **2.3. Eletrodialise**

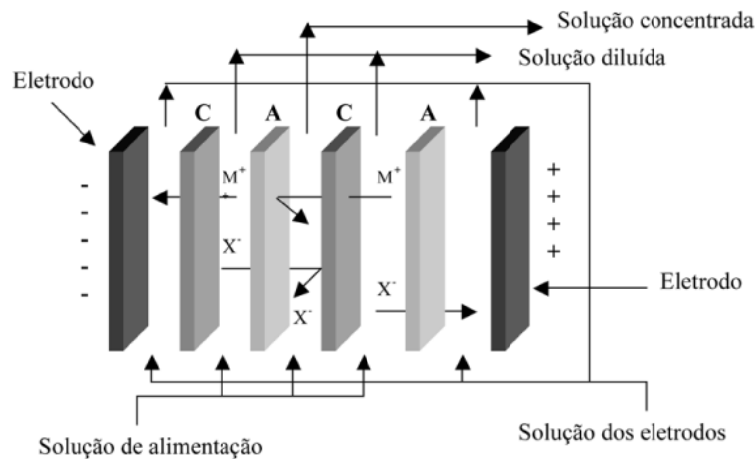
A eletrodialise (ED) é um processo de separação eletroquímica que utiliza como força motriz um gradiente de potencial elétrico. Membranas com cargas positivas (catiônicas) e membranas carregadas com carga negativa (aniônicas) são posicionadas alternadamente entre dois eletrodos.

As membranas podem ser monopolares ou bipolares. As monopolares podem ser classificadas em catiônicas ou aniônicas. A membrana de troca catiônica tem fixado em sua matriz grupos de cargas negativas que permitem a passagem apenas de íons positivos, enquanto que na membrana de troca aniônica, os grupos fixados são de cargas positivas, permitindo, portanto, a passagem de íons negativos. As membranas bipolares são aquelas que contêm em um dos lados uma camada de troca aniônica e no outro lado uma camada de troca catiônica. Estas membranas contêm cerca de 30% a 50% de água e possuem poros de diâmetro inferior ao da molécula de água, não permitindo a sua passagem, permitindo apenas a passagem de íons (AMORIM et al., 2005).

Cada membrana é separada, uma da outra, por espaçadores, formando compartimentos individuais. O resultado final é o aumento da concentração de íons em compartimentos



alternados e uma redução na concentração dos íons nos compartimentos restantes, resultando na formação de duas correntes: uma diluída e outra concentrada. Esse princípio está apresentado na Figura 2.8.



**Figura 2.8: Processo de eletrodialise com membranas catiônicas (C) e aniônicas (A)**

Fonte: AMORIM et al. (2005)

Diferente da OI, onde há o transporte de água através da membrana e a retenção dos sais, na ED os sais são gradualmente removidos da solução, deixando uma solução diluída contendo materiais particulados. A ED permite a passagem de partículas na ordem de 10 a 0,1 nanômetros.

A remoção de sólidos dissolvidos irá depender da temperatura da água, da corrente elétrica utilizada, quantidade e tipo de íons, permeabilidade e seletividade da membrana, vazão da corrente de alimentação, potencial de incrustação da água e número e configurações das etapas.

### 2.3.1. Eletrodialise Reversa (EDR)

A eletrodialise reversa (EDR) possui o mesmo princípio de operação da ED, podendo ser considerada como uma versão modernizada da ED, pois opera com a reversão periódica da polaridade, promovendo a limpeza contínua da membrana garantindo uma maior taxa de recuperação.

A EDR pode ser utilizada em efluentes contendo de 10.000 a 12.000 mg/L de SDT, mas como necessita de grande quantidade de energia (de 1 a 1,2 Kwh/m<sup>3</sup> para remover 1 Kg de sal), é mais adequada para tratar águas com SDT mais baixo, de 1.000 a 5.000 mg/L. O processo pode remover de 50 a 95% dos sais.

A EDR é considerada ideal para remoções não tão radicais de sais e para operações mais “brutas” como a petroquímica.

### **2.3.2. Vantagens da Eletrodialise**

- Requer um pré-tratamento mínimo (filtração é recomendada)
- Opera em baixas pressões
- Não necessita de anti-escalantes
- Expectativa de vida da membrana é longa porque as incrustações são removidas continuamente durante o processo reverso
- Requer menor manutenção do que a OI devido ao processo reverso

### **2.3.3. Desvantagens da Eletrodialise**

- Limitada a 50% de rejeição de sais para um único estágio de membrana
- Possui menores experiências comprovadas para a desmineralização da água
- Não é efetiva para a remoção de microorganismos e muitos contaminantes orgânicos antropogênicos
- Necessitam de requisitos para a segurança elétrica

## 2.4. Comparação entre Osmose Inversa e Eletrodialise

Os processos de OI e ED podem ser diferenciados pela maneira em que promovem o tratamento da água pela membrana. Na OI, a pressão aplicada faz com que a água passe pela membrana, e o concentrado fique retido. Já a ED usa o potencial elétrico para movimentar os sais seletivamente pela membrana, deixando para trás a água tratada como produto (Figura 2.9).

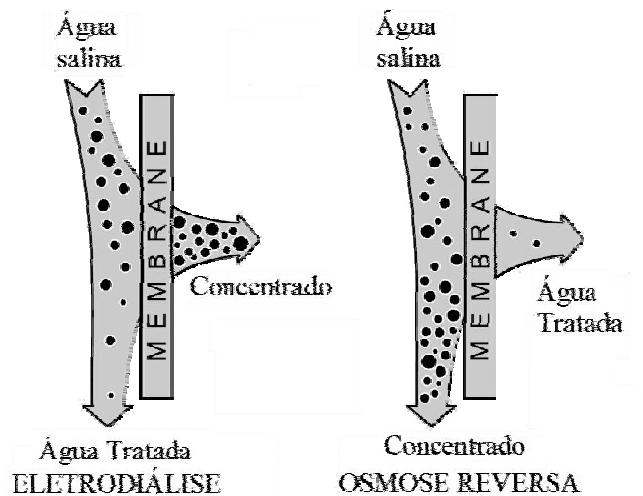


Figura 2.9: Processos de OI e ED

Fonte: BUROS (2000)

Segundo especialistas da área, a EDR ao contrário da OI, aceita muito mais contaminações orgânicas e tolera o cloro e outros oxidantes. Além de não precisar de produto químico para lavagens periódicas e de pré-tratamento rigoroso como na osmose. A EDR remove de 80% a 85% dos sais da água, abaixando a condutividade de 3.500 mS/cm para 200 mS/cm. Os principais fatores de comparação entre esses processos são mostrados na Tabela 2.5.

**Tabela 2.5 – Comparação entre os processos de osmose inversa e eletrodialise**

Fator	Processo de Separação por Membranas	
	Osmose Inversa	Eletrodialise
Força motriz	Diferença de pressão	Força eletromotiva
Mecanismo de separação	Sorção/Difusão	Membrana íon seletiva
Tamanho do poro (nm)	1 - 0,1	10 - 0,1
Material Permeado	Água, moléculas muito pequenas, solutos iônicos	Água, solutos iônicos
Constituintes típicos removidos	Todo material solúvel ou em suspensão (Moléculas pequenas, cor, dureza, sulfato, nitrato, sódio, outros íons)	Solutos iônicos carregados
Pressão de operação	12 – 18atm (SDT de 1.000 - 2.500 mg/L) 54 - 84 atm (SDT da água do mar)	n.a.
Energia consumida	1,5 - 2,5 kWh/m <sup>3</sup>	1,1 - 2,6 kWh/m <sup>3</sup>
Configuração	Espiral, fibras ocas	Folhas
Aplicações	Dessalinização de águas, Concentração de sucos de frutas, Desmineralização de águas	Concentração de soluções salinas, Purificação de águas

n.a. - não aplicável

Fonte: ASANO et al. (2007)

## 2.5. Projetos de reúso de água no Brasil

A implementação de programas de minimização de resíduos e reúso de água vêm se tornando cada vez mais comum em empresas no Brasil, principalmente em indústrias consumidoras de grandes volumes de água, devido às crescentes taxas de cobrança pelo uso e lançamento de efluentes no meio ambiente.

Enquanto há alguns anos essa prática se limitava apenas a pesquisas e estudos, atualmente diversas empresas já estão executando projetos nesta área. Uma prática muito comum é a contratação de serviços de empresas especializadas em tratamento de água e efluentes na forma de regime BOT (Build, Operate and Transfer), espécie de leasing em que a empresa financia a obra e opera a estação de tratamento por um determinado período, ao término do qual a estação é transferida para o cliente.

Algumas empresas que fazem o tratamento de água e efluentes para o reúso no Brasil são: Veolia, Enfil, Centroprojekt, Haztec Geoplan.

A seguir serão citados alguns projetos de reúso de água que estão sendo realizados por grandes empresas no Brasil, conforme publicações da Revista Química e Derivados que constam na referência.

### **Petrobras**

A Petrobras planeja investir em torno de R\$ 600 milhões por ano em projetos de reúso, com o propósito de economizar em uma primeira etapa por volta de 650 milhões de litros por mês de água, diminuindo consideravelmente a pressão para conseguir novas outorgas de captação nos corpos d'água brasileiros.

Segundo o Relatório de Sustentabilidade da Petrobras, o volume de água reciclada e reutilizada pela empresa em 2009 foi de 17,3 milhões de m<sup>3</sup>, representando aproximadamente 10% da água doce captada no período.

Na Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Repar), localizada em Araucária-PR, o projeto contém uma estação de biorreator a membranas (MBR), pilhas de EDR que receberão uma vazão aproximada de 240 m<sup>3</sup>/h de efluente tratado (sem matéria orgânica, mas com elevada salinidade, com condutividade de até 3.500 mS/cm), reduzindo a condutividade da água para 200 mS/cm. O rejeito salino será descartado e o permeado, cerca de 200 m<sup>3</sup>/h,

seguirá para tanque de armazenagem para posterior passagem por estação de desmineralização por troca iônica. Na sequência, um leito com carvão ativado, seguido por um de resinas catiônicas, uma torre de descarbonatação (stripping), um leito aniônico e, por fim, o polimento misto. O propósito é produzir água para alimentar as caldeiras, o uso mais nobre da refinaria.

A Refinaria Gabriel Passos (Regap), localizada em Betim–MG, possui uma unidade protótipo de reúso de água para o sistema de resfriamento que permite o reaproveitamento de 60 m<sup>3</sup>/h, reduzindo significativamente a captação de água. O projeto conta com um sistema de decantação acoplado a EDR para reúso em reposição de água em torres de resfriamento.

No Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras (Cenpes) existe um projeto para recuperação de 60 m<sup>3</sup>/h de efluentes do centro de pesquisa, sendo 45 m<sup>3</sup> doméstico e o restante dos laboratórios e de purga das torres. O sistema contará com a instalação de um MBR, com pré-tratamento com filtro de casca de nozes e uma unidade de OI se responsabilizará pela desmineralização.

O projeto da Refinaria Henrique Lage (Revap), em São José dos Campos–SP, prevê a construção de uma nova estação de tratamento de despejos industriais (ETDI) e outra de tratamento de água (ETA), responsável por polir o efluente tratado para usos mais nobres. A ETA contemplará um clarificador de alta taxa lamelar, seguido de filtro de areia e de carvão ativado, mais uma unidade de UF, outra de OI (duplo passe e duplo estágio) e o polimento misto de resinas de troca iônica, para remoção da sílica (principal inimigo da água desmineralizada em caldeiras). Essa etapa tratará 300 m<sup>3</sup>/h de água tratada vinda da ETDI e mais 500 m<sup>3</sup>/h captados do Rio Paraíba do Sul. Dimensionada em 1.100 m<sup>3</sup>/h, a nova planta produzirá inicialmente deste total 800 m<sup>3</sup>/h de água desmineralizada para alimentar seis caldeiras.

A Refinaria Abreu e Lima (Rnest), em Ipojuca-PE, tratará seus efluentes com MBR, os quais prosseguirão em uma vazão aproximada de 400 m<sup>3</sup>/h, junto com a purga das torres de resfriamento (180 m<sup>3</sup>/h), para a pré-desmineralização em um EDR. Depois, a corrente é destinada a uma estação de resinas de troca iônica, com seis leitos de polimento misto de resinas. Para atender aos padrões de salinidade mais baixos requeridos pela troca iônica, a alta salinidade da água em Pernambuco fez com que a EDR precisasse contar com uma série de quatro pilhas.

Em 2008, foi inaugurada a estação de reúso de água da Refinaria de Capuava (Recap), em Mauá - SP, que permite o descarte zero de efluentes e a economia de 880 mil m<sup>3</sup>/ano. Todo o efluente é reaproveitado por outras empresas da região para fins industriais.

Em 2009, havia 35 projetos para uso racional da água nas instalações da empresa, envolvendo a reutilização do insumo no processo produtivo do petróleo, purificação de efluentes para reúso, maior eficiência nos sistemas de dessalinização em plataformas marítimas e aprimoramento do sistema de acompanhamento e gestão de informações sobre o tema.

### **Braskem**

Em 2006, a Braskem iniciou um projeto de reúso de água em parceria com a Geoplan, do Grupo Haztec, em sua unidade de especialidades de PVC, no bairro da Vila Prudente-SP. Considerada uma das regiões de água mais cara do País, o projeto visa deixar de descartar na rede da Sabesp os efluentes orgânicos que saem dos reatores de polimerização do PVC. Com o reúso, a empresa reduz a compra de água da companhia paulista de saneamento.

O projeto envolve uma estação com MBR, que conjuga tanque de tratamento biológico com um skid de membranas submersíveis de ultrafiltração. Este sistema será o polimento da ETE existente hoje na unidade e que praticamente condicionará a água para o reúso. Com o MBR, ainda não definido de qual fornecedor, de maneira compacta, há um processo conjunto que resulta em água de alta qualidade, livre até mesmo de vírus e bactérias. Como a necessidade da Braskem é de uma água também desmineralizada para realimentar seus reatores, a Geoplan ainda instalará uma unidade de osmose inversa ou de eletrodialise.

Como polimento da “desmi”, para reduzir o teor de sílica, a idéia é manter o atual leito de resinas de troca iônica que funciona até então para desmineralizar a água comprada da Sabesp.

O contrato de BOT na Braskem, para seis anos, é de R\$ 2 milhões e vai tratar de 4,5 mil a 6 mil m<sup>3</sup>/mês de efluentes, produzindo de 3 mil a 3,5 mil m<sup>3</sup> de água desmineralizada. O rejeito salino da osmose inversa continuará a seguir para a rede da Sabesp. Com o contrato, toda a operação da estação de tratamento, até a existente convencional e o leito de resinas, ficará a cargo da Geoplan.

## **Bayer**

A Bayer utiliza em seu Parque Industrial, localizado em Belford Roxo-RJ, técnicas para redução do uso de água potável para fins industriais. Um dos projetos reaproveita parte dos efluentes líquidos em processos industriais a partir de uma tecnologia Bayer.

O segundo projeto, parceria entre a Bayer e a empresa Haztec, contou com a implantação da ETA no Parque Industrial de Belford Roxo, que utiliza técnicas avançadas para o tratamento e reúso da água do Rio Sarapuí.

Dependente da água da companhia de saneamento carioca (Cedae), considerada cara, a Bayer passou a captar água do poluídíssimo rio Sarapuí – que passa a jusante da unidade e recebe esgoto in natura da vizinhança – para tratamento e consequente uso industrial. Com a implementação desses sistemas, a Bayer deixou de consumir 80 milhões de litros de água potável por mês.

A estação construída contempla um tanque para clarifloculação, uma bateria de filtros (areia, bag e cartucho) e uma unidade de osmose inversa para reduzir os cloretos da água e permitir seu uso principalmente nas torres de resfriamento. Serão captados 230 m<sup>3</sup>/hora do rio e a unidade produzirá 80 mil m<sup>3</sup>/mês de água industrial. O rejeito salino, livre de impurezas, retornará para o rio.

## **Vicunha Têxtil**

A Vicunha Têxtil possui um projeto de reúso de água em duas de suas unidades localizadas no Ceará, realizado em parceria com a Haztec Geoplan. O projeto com duração de dez anos foi iniciado em 2000 e teve a construção de cinco ETAs compactas para produzir 150 mil m<sup>3</sup>/mês e uma ETE para reúso, com osmose inversa para produzir 50 mil m<sup>3</sup>/mês.

O efluente tratado é estocado e distribuído para o consumo na fábrica de tecido índigo. Deste volume, 95% são reutilizados no processo industrial e 5% são destinados para irrigação e consumo de banheiros. Cerca de 70% de seus efluentes são recuperados.



## CAPÍTULO 3

### 3. O rejeito salino gerado no processo para o reúso de água

Uma grande preocupação em plantas de tratamentos para a dessalinização é o concentrado salino gerado. Esse concentrado é a porção da corrente de processo que contém sais e outros constituintes rejeitados pela membrana (ver Figura 2.2). A gestão desse concentrado é uma problemática em plantas que tratam grandes volumes de água, pois irão gerar grandes volumes de concentrado. Na OI, o volume da corrente varia de 15 a 50% do volume da corrente de alimentação (ASANO et al., 2007).

A concentração salina do rejeito irá depender da fonte de água que foi tratada. Plantas que fazem a dessalinização da água do mar por OI geram uma salmoura com concentração de 65.000 a 85.000 ppm. Estes valores são próximos ao dobro da salinidade original da água do mar, que possui concentração entre 30.000 e 40.000 ppm.

Além da alta salinidade, em processos utilizados para a remoção de contaminantes específicos, como o arsênio, haverá a geração de um rejeito que pode ser classificado como rejeito líquido perigoso. Sendo assim, o lançamento deste concentrado salino em águas superficiais entra em contradição quanto ao propósito do reúso, levantando novamente questões ambientais. Para isso, métodos para a disposição deste rejeito salino devem ser avaliados.

#### 3.1. Métodos para a disposição do rejeito salino

A disposição final do rejeito gerado em plantas de tratamento para o reúso da água é de suma importância para o processo, tanto do ponto de vista econômico como ambiental. A disposição inadequada pode acarretar grandes danos ao solo, águas subterrâneas, como também sobre o ambiente aquático.

Diversos fatores devem levados em consideração para a escolha do método a ser utilizado (MICKLEY et al., 1993), que incluem:

- Concentração do rejeito;
- Volume ou quantidade;

- Qualidade ou constituintes;
- Localização física ou geográfica do ponto de descarga;
- Disponibilidade do local de recebimento;
- Permissibilidade do método;
- Aceitação pública;
- Capital e custos de operação;
- Capacidade de expansão da instalação;
- Valor de mercado do produto recuperado.

De acordo com o ESCWA, o custo para a disposição do rejeito pode variar de 5 a 33% do custo total do processo. Este custo irá depender das características do rejeito, do nível de tratamento necessário antes do descarte, do método de eliminação, do seu volume e da natureza do ambiente de recepção.

A seguir serão apresentados os principais métodos para destinação do rejeito salino, sendo estes:

- Descarga em corpos hídricos;
- Descarga direta em plantas de tratamento de efluentes;
- Sistemas de irrigação;
- Aquicultura;
- Injeção em poços profundos;
- Lagoas de evaporação;
- Geração de energia;
- Recuperação de sais.

### **3.1.1. Descarga em corpos hídricos**

A descarga do rejeito salino em corpos hídricos é a prática mais comum atualmente para disposição do rejeito. Ainda que os custos desta destinação sejam relativamente baixos, deve-se atentar para o impacto sobre a vida aquática, nos rios e mares receptores.

A elevada presença de produtos químicos, introduzidos na fase de pré-tratamento, pode prejudicar o ambiente aquático na zona da descarga do concentrado. Os principais efeitos sobre a biota aquática estão relacionados diretamente ao aumento na concentração de

sal. Por esse motivo, essa alternativa não é recomendada, embora sob certas condições (plantas pequenas, por exemplo), por causa de fatores econômicos, seja uma opção a ser considerada para plantas localizadas próximas à aquíferos. Como é uma fonte contínua e cumulativa de contaminação, essa descarga resulta em um dano permanente à flora e fauna dos corpos receptores.

Os principais impactos observados no ambiente receptor são:

- Danos à fauna, como mortandade, migração e alteração do ciclo reprodutivo;
- Alteração da concentração de nutrientes causando desequilíbrio, como por exemplo, proliferação de algas, efeito tóxico e diminuição da disponibilidade de oxigênio dissolvido na água;
- Variação da temperatura e pH do ambiente.

### **3.1.2. Descarga direta em plantas de tratamento de efluentes**

Uma opção para a disposição do rejeito salino é a descarga em plantas de tratamento de efluentes. As ETEs visam tratar águas residuais de origem doméstica e/ou industrial para o seu posterior reúso. O concentrado pode ser diluído com os efluentes tratados pelas ETEs antes do descarte, reduzindo o impacto sobre o ambiente.

Esta pode ser uma opção viável se a planta de dessalinização estiver localizada próxima a uma ETE. Algumas características da planta de tratamento e do rejeito devem ser levadas em consideração anteriormente: o volume e a composição do rejeito salino em relação à capacidade da estação de tratamento de efluentes, possíveis impactos do concentrado em equipamentos, tubulações ou processos e outros (SVENSSON, 2005).

As vantagens e desvantagens do método de descarga direta em plantas de tratamento de efluentes são apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens do método de descarga direta em planta de tratamento de efluentes**

Vantagens	Desvantagens
Utiliza uma infraestrutura já existente	ETEs não são projetadas para reduzir os níveis de SDT
Diluição dos níveis de SDT com o esgoto doméstico tratado pode reduzir o impacto sobre meio receptor	A alta salinidade do rejeito pode impactar nas possibilidades de disposição dos efluentes da ETE
	Necessidade de carga hidráulica adicional
	Só é economicamente viável se o volume e os níveis de SDT são baixos

Fonte: ABDUL-WAHAB et al. ( 2009)

### 3.1.3. Sistemas de irrigação

A atividade de irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos desse recurso natural. Dentro dela, os consumos específicos variam bastante, dependendo do método de irrigação empregado, da natureza do solo, das características das diferentes culturas e dos índices de evaporação das regiões. O rejeito salino, depois de submetido a alguma diluição, mostrou-se eficaz em processos de irrigação de algumas culturas.

Para uso na agricultura em geral existem restrições, pois este tipo de disposição só pode ocorrer onde a água de irrigação não irá prejudicar as culturas ou as águas subterrâneas. A qualidade da salmoura deve satisfazer aos requisitos tanto da cultura quanto do solo. Caso contrário, o rejeito salino precisa passar por etapas de tratamento para remover possíveis contaminantes.

Diversos estudos mostraram que uma boa opção para a aplicação do concentrado seria o uso na irrigação de erva-sal (plantas halófitas) que pode ser usada tanto para pastagem (produção de feno ou pasto natural), como para a recuperação de áreas desertificadas. As halófitas têm a habilidade não só de suportar altos níveis de salinidade do complexo solo-água, mas também, acumular significativas quantidades de sais em seus tecidos.

Considerações importantes devem ser feitas para evitar a contaminação do solo e das águas subterrâneas, como a concentração de sal e a presença de produtos químicos na água. Os níveis de concentração destes devem ser ditados pela tolerância da vegetação e pela salinidade das águas subterrâneas subjacentes. Além disso, devem haver métodos alternativos disponíveis para sua utilização quando ocorre o período de chuvas (SVENSSON, 2005).

#### **3.1.4. Aquicultura**

O rejeito salino pode ser utilizado na piscicultura, cultivos de algas e artêmias. O emprego de efluentes da dessalinização como meio líquido na aquicultura é vantajoso não somente pelos benefícios que o processo traz ao meio ambiente, como também por permitir a produção de alimentos com fins econômicos (AMORIM et al., 2001). Antes da utilização, o concentrado salino deve ser submetido a um pré-tratamento quando houver a necessidade de remoção de algum poluente.

##### **3.1.4.1. Piscicultura**

Algumas espécies de peixe podem sobreviver em águas com alto teor de salinidade. Estudos mostraram que a utilização do rejeito salino no cultivo de tilápias possibilitou a formação de um ambiente aquático favorável a sua criação, permitindo inclusive o ganho de peso e reprodução da espécie. Além disso, observou-se que a textura da carne é superior à observada em tilápias cultivadas em água doce. Assim, o cultivo de tilápias nesses ambientes pode resultar em produtos extremamente atrativos quanto ao aspecto do sabor, além de se prestarem melhor à comercialização (KUBITZA, 2005).

##### **3.1.4.2. Cultivo de algas**

O cultivo de algas para a produção de beta-caroteno é possível em águas altamente salinas, com salinidade superior a 200 g/L. A produção de algas em um projeto piloto na Austrália foi excepcional, com mais de 400.000 células / mL, após apenas oito semanas (SVENSSON, 2005).

### **3.1.4.3. Cultivo de Artêmia**

A artêmia é vendida como comida para peixes tropicais em aquários. Pode ser cultivada junto com a criação de peixes, pois utilizam os nutrientes gerados por eles e, em contrapartida, qualquer excesso de artêmia serve como complemento alimentar. A artêmia pode remover a matéria orgânica nas lagoas e remover grande parte dos íons de cálcio.

O concentrado salino é ideal para a cultura de artêmia, pois o nível de salinidade da água é alto, fazendo com que predadores ou competidores não sobrevivam neste ambiente, resultando naturalmente em uma monocultura (SVENSSON, 2005).

### **3.1.5. Injeção em poços profundos**

Neste método, a salmoura é injetada em poços perfurados em formações rochosas de superfície porosa, com profundidade variando normalmente entre 1.000 e 8.000 m. As formações rochosas que recebem os resíduos devem possuir a habilidade natural para contê-lo e isolá-lo. Se a injeção da salmoura for devidamente planejada e efetuada, os resíduos permanecem lá indefinidamente.

O local de escolha para a injeção é extremamente importante para o projeto. Antes de perfurar o poço de injeção, uma avaliação cuidadosa das condições geológicas deve ser realizada para determinar a profundidade e a localização adequada dos reservatórios. Os poços não devem ser localizados em áreas vulneráveis a terremotos ou regiões com recursos minerais, ou em locais onde águas subterrâneas são utilizadas para o abastecimento doméstico e uso agrícola. Além disso, é necessário o condicionamento e filtração do rejeito salino antes da injeção.

Vários fatores contribuem para o desempenho e a confiabilidade da técnica de injeção. No entanto, este método de disposição do concentrado salino é considerado o mais rentável na prática, em comparação com outros sistemas utilizados em plantas de dessalinização no interior do continente. Uma das mais importantes restrições é a presença de sólidos suspensos (SST) no fluido de injeção, pois podem causar o entupimento dos poros na formação rochosa. Medições do SST devem ser feitas frequentemente para assegurar o bom desempenho (ABDUL-WAHAB et al., 2009).

O custo total deste processo inclui, principalmente, custos com estudos geográficos, perfuração do poço, bombas, gasto energético para injetar a solução salina no poço, pré-tratamento do resíduo para controle dos níveis de SST, acompanhamento, manutenção e verificação periódica das condições do poço até atingir a estabilidade.

Algumas desvantagens desta tecnologia, segundo Mickley et al. (1993), são:

- Seleção de um local apropriado;
- Custos envolvidos com o condicionamento do rejeito salino;
- Possibilidade de fuga e posterior corrosão no revestimento do poço;
- Atividade sísmica, que poderia causar danos ao poço e, posteriormente, provocar contaminação de águas subterrâneas;
- A incerteza do tempo de vida, que só pode ser estimada usando técnicas de simulação matemática.

A injeção em poços profundos é atualmente aplicada em todo o mundo para a eliminação de resíduos industriais, municipais e resíduos líquidos perigosos (SARIPALLI et al., 2000). Esta tecnologia tem sido considerada como uma opção para a eliminação de efluentes salinos em plantas de dessalinização localizadas no interior do continente.

### **3.1.6. Lagoas de Evaporação**

Neste método, a salmoura é disposta em lagoas onde há a evaporação da água, reduzindo o volume do rejeito salino e obtendo sais cristalizados. A lagoa pode ser projetada para a remoção periódica do sal ou com o acúmulo contínuo de sal ao longo do tempo. O lago deve possuir um forro impermeável para isolar o conteúdo do tanque da superfície do terreno e das águas subterrâneas

Esta opção requer grandes áreas para construção das lagoas, pequenos volumes de rejeito e deve ser localizada em regiões com clima quente e seco, para uma alta taxa de evaporação. O aumento da salinidade diminui a taxa de evaporação. Como necessitam de grandes áreas, as lagoas de evaporação são viáveis onde existe a disponibilidade de terrenos a baixos custos.

A construção de pequenas lagoas ligadas em série umas as outras, através de dutos, é mais vantajosa do que a construção de grandes lagoas. Isso minimiza os danos provocados por ondas nos diques e também facilita o gerenciamento. A profundidade ideal para as lagoas fica entre 25 e 45 centímetros (SVENSSON, 2005).

O processo foi baseado na produção de sal marinho, onde a água é exposta ao sol e à medida que evapora, os sais se concentram, atingem seus pontos de saturação ou solubilidade, e se precipitam de acordo com suas características químicas.

A principal preocupação ambiental associada às lagoas de evaporação é o vazamento, que pode resultar na subsequente contaminação do aquífero. Todas as instalações atuais são revestidas com polietileno ou folhas de vários outros polímeros. A instalação dos forros impermeáveis deve ser realizada com cuidado, pois a selagem das juntas é fundamental para evitar o vazamento. A aplicação de forros duplos é recomendada, com a instalação de detectores de vazamento entre as camadas (GLATER et al., 2003).



As vantagens e desvantagens do uso de lagoas de evaporação são descritas na Tabela 3.2a seguir.

**Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens de lagoas de evaporação**

Vantagens	Desvantagens
Relativamente fáceis de construir	Grandes áreas são necessárias em locais com baixa taxa de evaporação ou grandes volumes de efluente gerado. A eficiência da lagoa diminui a medida que a área também diminui
Exigem pouca manutenção e pouca atenção do operador	Necessita de condições metereológicas favoráveis
Servem como armazenamento alternativo antes da eliminação ou reúso do efluente	Má construção pode contaminar os aquíferos subterrâneos de água potável
Não utilizam equipamentos mecânicos, somente bombas para transportar o efluente para a lagoa	Maior risco de contaminação do terreno e do aquífero com o aumento da área
Minimizam o impacto em corpos hídricos	Exigem forros impermeáveis (de PVC, por exemplo) ou revestimento duplo para evitar vazamentos. Estes requisitos aumentam substancialmente seus custos
São menos onerosas, quando comparadas a outros métodos de disposição, especialmente em áreas com altas taxas de evaporação e baixo custo de terras	Lagoas de água salgada são suscetíveis à formação de crostas, reduzindo seu potencial de secagem
Diminuem o volume do concentrado até o ponto de cristalização, tornado possível a precipitação de sais como materiais sólidos	Sólidos que acumulam nas lagoas devem ser removidos periodicamente (produzem grandes volumes de sal ao longo do tempo)

Fonte: ABDUL-WAHAB et al. ( 2009)

Os principais fatores que determinam o custo de uma lagoa de evaporação são gastos com terreno, terraplenagem, forro impermeáveis, custos diversos como o monitoramento do escoamento e custo de operação e manutenção (SVENSSON, 2005). Cabe um estudo de

viabilidade para reutilização dos sais cristalizados, devido à grande importância para aplicação em diversos setores industriais.

Pesquisas realizadas mostram que a prática ainda é pouco utilizada nos Estados Unidos. Possivelmente por causa da grande quantidade de área necessária e pelo fato de não existir muitas instalações grandes localizadas no interior do continente, longe de superfícies aquáticas onde a descarga do efluente salino é permitida (ABDUL-WAHAB et al., 2009).

O sal cristalizado pode ser recuperado e comercializado. As lagoas de evaporação solar também podem ser utilizadas para geração de energia através do seu gradiente de salinidade e também estabelecer sinergias com atividades produtivas como a piscicultura, cultivo de algas e outras espécies capazes de sobreviver em ambientes com elevado grau de salinidade, conforme descrito anteriormente.

### **3.1.7. Geração de energia**

O concentrado salino pode ser utilizado para gerar energia através do gradiente de salinidade em lagoas de evaporação solar, produzindo energia quando soluções eletrolíticas de diferentes concentrações são misturadas. Este método pode ser considerado renovável e sustentável, pois não consome combustível e não emite CO<sub>2</sub>, tornando-se uma alternativa complementar às fontes de energia convencionais produzidas pela queima de combustíveis fósseis (AHMAD et al., 2009).

Uma lagoa de evaporação solar, normalmente é composta por três camadas: uma camada superior, contendo baixos níveis de salinidade (camada de baixa densidade), uma camada intermediária, com um aumento de salinidade, e uma camada inferior, com salinidade elevada (alta densidade). A primeira camada é chamada de zona de convecção superior (UCZ) e é composta por água e sal com 1 a 4% em peso. A espessura desta zona deve ser de aproximadamente 30 cm, pois o aumento da espessura reduz a capacidade de armazenamento de calor. A segunda camada é chamada de zona não-convectiva (NCZ), é a zona de isolamento, pois possui um gradiente de salinidade indo de concentrações maiores para menores quanto mais próximo da superfície. A espessura desta camada deve ser entre 0,5 e 1,5 m. A camada inferior é chamada zona convectiva inferior (LCZ) e contém uma solução saturada ou quase saturada de sais, com aproximadamente 26% de sal em peso (SVENSSON, 2005).

A eficiência térmica da lagoa de evaporação solar pode ser afetada pela claridade da água salina, espessura das zonas, gradiente salino, manutenção do gradiente vertical de sal e pela área da lagoa (SVENSSON, 2005).

Segundo Ahmad, et al. (2009), é possível recuperar uma quantidade significativa de energia antes da eliminação da salmoura usando sistemas por membranas, como a osmose retardada pela pressão (PRO) e eletrodialise reversa (EDR), uma vez que existe um grande potencial para obtenção de energia limpa através do gradiente de salinidade pela mistura do concentrado em grandes corpos de solução diluída.

### **3.1.8. Recuperação de sais**

O uso da tecnologia de cristalização de sais permite a recuperação de diversos produtos com alto valor agregado como, por exemplo, cloreto de sódio, cloreto de magnésio, cloreto de cálcio, carbonato de cálcio e sulfato de sódio. Porém, é necessário que seja feito um estudo preliminar da viabilidade técnica e econômica antes de se decidir precipitar sais de águas salobras provenientes de processos industriais (ANTUNES et al., 2009).

Com o aumento do volume de efluente gerado e a necessidade de encontrar uma solução eficiente para disposição dos sais gerados, o custo de processamento dos mesmos diminui podendo tornar viável a utilização do efluente salino como fonte de matéria-prima para obtenção de produtos que possuem grande demanda no mercado.

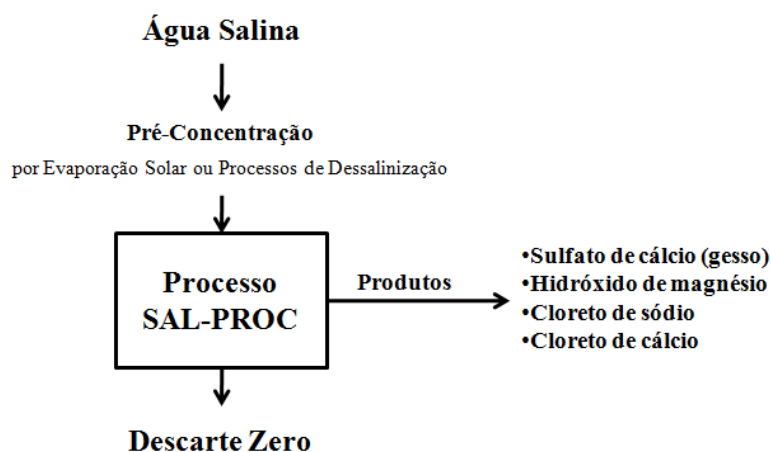
Com objetivo de minimização de efluentes surgiu o conceito de descarte zero de líquido, que se baseia no processo onde todas as correntes são aproveitadas e não há o descarte de rejeitos no meio ambiente. Inclui o uso de evaporadores, concentradores e cristalizadores para separar completamente os sais dissolvidos na água. Esta tecnologia tem sido geralmente aplicada para eliminação de águas residuais provenientes de centrais elétricas, refinarias de petróleo e de certas operações de mineração.

O maior benefício ambiental dessa prática é a geração de um produto final seco, onde sua disposição é mais fácil do que a disposição de resíduos líquidos. O produto seco pode ser recuperado e utilizado como matéria-prima em diversas indústrias. A viabilidade da recuperação irá depender do custo de produção em relação à renda gerada pela venda do produto.

### 3.1.8.1. SAL-PROC

A tecnologia SAL-PROC, patenteada pela empresa australiana Geo-Processors, é baseada em processos integrados para a extração sequencial ou seletiva de elementos dissolvidos em águas salinas na forma de sais e compostos químicos (minerais, lamas ou líquidos). O processo envolve reações químicas controladas, usando produtos químicos não perigosos, combinados com etapas de resfriamento evaporativo, causando a precipitação da água e cristalização dos sais.

Dependendo da composição química do rejeito salino utilizado, o processo pode envolver uma ou mais etapas de reações e etapas de resfriamento evaporativo, complementadas por produtos convencionais e processos químicos. A tecnologia é baseada num simples processo fechado que permite o tratamento parcial ou completo da corrente do rejeito salino gerado na dessalinização para a recuperação de subprodutos valiosos. Estas etapas do processo levam a uma significativa recuperação de sais e redução no volume, minimizando os requisitos para a descarga de efluentes. O processo da tecnologia SAL-PROC é exibido na Figura 3.1.



**Figura 3.1: Tecnologia SAL-PROC**

Fonte: GEO-PROCESSORS USA

Essa tecnologia está baseada no princípio de descarte zero, com a recuperação de sais do concentrado salino e aproveitamento da água. Os produtos produzidos irão depender da

composição da água salina utilizada. Os aspectos econômicos da tecnologia de processamento podem ser melhorados com o acesso a uma fonte de energia barata.

Pode ser aplicado diretamente como um estágio seguinte à OI, onde a corrente de concentrado da OI será a corrente de alimentação do processo, para recuperação de sais (SVENSSON, 2005).

Algumas vantagens do SAL-PROC:

- Tecnologia flexível para a recuperação de produtos valiosos e visando o alcance do descarte zero;
- Demonstrou eficiência para diferentes correntes salinas;
- Disponível para o uso comercial;
- Reduz ou elimina a necessidade de tanques de armazenamento;
- A remoção física de sal reduz responsabilidades dos operadores da planta quanto à eliminação do rejeito;
- Aumento da recuperação de água e aumento da eficiência total do sistema de tratamento;
- Potencializa a recuperação do rejeito como um recurso de valor agregado.

### **3.1.8.2. Spray de Evaporação Rápida (RSE)**

A empresa americana chamada Aquasonics patenteou em 2001 um processo chamado de Spray de Evaporação Rápida (RSE). O método é baseado na produção de gotas muito pequenas do rejeito salino, que são rapidamente evaporadas em um fluxo de ar aquecido. O resultado do processo é a água vaporizada e partículas de sal precipitadas. As partículas de sal são coletadas em forma de pasta ou secas, e o vapor d'água é condensado, resultando em água tratada.

A tecnologia é capaz de separar sólidos a partir de vários tipos de águas, incluindo águas residuárias com até 25% de sólidos dissolvidos. O calor necessário para o processo pode ser gerado a partir de energia geotérmica, turbinas a gás, bombas de calor, aquecimento elétrico ou geração de energia elétrica, lagoas de evaporação solar ou uma combinação destas e outras tecnologias.

## CAPÍTULO 4

### 4. Potenciais destinações para o rejeito salino

Com o objetivo de desenvolver prospecção tecnológica para as potenciais destinações do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água. Inúmeras análises podem ser feitas através de artigos publicados sobre o tema. O objetivo deste trabalho é identificar os métodos que estão sendo mais estudados e onde e por quem estão sendo realizados estes estudos. Para isso, serão descritas as estratégias utilizadas para a busca de artigos e a análise dos mesmos.

#### 4.1. Estratégias para a recuperação de artigos publicados

A base de dados Web of Science<sup>1</sup> foi utilizada para a recuperação de artigos publicados. Algumas estratégias foram seguidas de forma a conseguir um bom resultado, envolvendo sempre a busca por termos que estivessem presentes no título e/ou resumo e/ou palavra-chave do documento, e considerando o período entre 2000 e 2010<sup>2</sup>.

Primeiramente, foi utilizado o cruzamento de diversos termos, como: *reverse osmosis*, *electrodialysis*, *water reuse*, *desalination*, *demineralization*, *brine*, *concentrate*, *wastewater*, *rejectbrine*, *rejectwater*, *saline water*, *disposal*, *discharge* e outros.

Depois de observar os resultados encontrados, foram selecionadas as palavras-chaves dos artigos recuperados com maior importância, restringindo os resultados alcançados para obtenção de informações mais relevantes. Assim, a segunda estratégia envolveu o uso de termos mais específicos, referentes à aplicação e disposição do rejeito salino gerado, levando em consideração o mesmo período de busca. Os termos selecionados, a estratégia de pesquisa e o resultado obtido podem ser observados na Tabela 4.1.

---

<sup>1</sup> Banco de dados do Institute for Scientific Information (ISI) formado por três bases de dados: Science Citation Index Expanded, Social Sciences Citation Index e Arts and Humanities Citation Index. Permite a recuperação de informações sobre os trabalhos publicados nos mais importantes periódicos internacionais.

<sup>2</sup> O acesso à base de dados foi realizado em 20/07/2010. O resultado inclui artigos indexados na base até esta data.

**Tabela 4.1: Resultado da estratégia de busca por artigos publicados**

Termo	Estratégia	Número de artigos encontrados
Brine discharge	TS=("brine discharge*")	54
Brine disposal	TS=("brine disposal")	64
Desalination and Reject water	TS=(desal* and "reject water")	12
Reject brine	TS=("reject* brine")	23
Concentrate disposal	TS=("concentrate* disposal")	23

(\*) o asterisco é utilizado para o truncamento das palavras, significando que a base poderá pesquisar qualquer variação de caracteres após o asterisco, ou mesmo nenhum caractere.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

Como resultado foram encontrados 149 artigos distintos publicados.

#### **4.2. Análise dos artigos**

Foi realizada a leitura de todos os títulos e resumos de cada artigo encontrado para verificar se todos seriam pertinentes ao estudo. Verificou-se que 91 documentos se referiam exatamente aos métodos para destinação do rejeito salino. Com isso, partiu-se para a leitura dos 91 artigos relevantes, visando responder às questões que foram levantadas.

A maior parte dos artigos analisados estuda o rejeito salino gerado no processo de dessalinização da água do mar. Como este processo gera grandes quantidades de rejeito, observa-se um interesse predominante para sua disposição, podendo então estes estudos servir de referência para a disposição de concentrados salinos gerados em processos industriais para o reúso de água.

Os principais métodos citados para a destinação do rejeito são apresentados na Tabela 4.2, chamando atenção para o fato de que mais de uma destinação pode ser citada por um mesmo artigo.

**Tabela 4.2: Principais destinações para o rejeito salino**

Destinação do rejeito salino	Número de artigos	%
Descarga em corpos hídricos	35	38
Recuperação de sais	16	18
Descarte zero ou Descarte zero de líquido	11	12
Avaliação de diferentes métodos	8	9
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	8	9
Lagoas de Evaporação	7	7
Redução do volume de rejeito salino	5	5
Impacto da descarga no solo	4	4
Geração de energia por gradiente de salinidade	4	4
Captura de CO <sub>2</sub>	3	3
Irrigação de culturas	2	2
Descarga em ETE	1	1
Injeção em poços profundos	1	1

Fonte: Elaboração própria com base na leitura dos artigos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

O método de descarga do rejeito salino em corpos hídricos é citado em 35 artigos, sendo que em sua totalidade o mar é considerado como corpo hídrico receptor. Esses artigos analisam o impacto do lançamento do rejeito no ambiente marinho, avaliando tanto a dispersão do efluente quanto o efeito da descarga em vidas marinhas, como por exemplo, macroinvertebrados bentônicos.

Os macroinvertebrados bentônicos têm sido amplamente utilizados como bioindicadores de qualidade de água e saúde de ecossistemas. São organismos sensíveis à diferentes concentrações de poluentes no meio, fornecendo uma ampla faixa de respostas frente a diferentes níveis de contaminação ambiental.

O estudo da recuperação de sais está presente em 16 dos artigos analisados, avaliando principalmente a recuperação de sais de sódio, cálcio e potássio. O conceito de descarte zero ou descarte zero de líquido é mencionado em 11 dos artigos, em sua maioria associada às práticas para a recuperação de sais.



Em 8 publicações são avaliados diferentes métodos para a destinação do rejeito salino, fazendo uma comparação entre as opções existentes para o gerenciamento do rejeito, como as citadas no Capítulo 3.

Também em 8 artigos são mencionadas técnicas para a remoção de constituintes presentes no rejeito, como nitrato, perclorato e íons metálicos (Cs, Rb, Li e U), melhorando a sua qualidade para posterior disposição.

As lagoas de evaporação são citadas em 7 artigos, com estudos focados na avaliação da taxa de evaporação da lagoa, influência do vento na evaporação e a recuperação de sais da lagoa.

Métodos para a redução do volume de rejeito gerado são apresentados em 5 artigos. A diminuição do volume é obtida com métodos para uma recuperação maior de água e minimização do rejeito. As tecnologias de osmose inversa, eletrodialise, ultrafiltração, destilação por membrana e resfriamento evaporativo são avaliadas.

O impacto do rejeito no solo é estudado em 4 publicações, analisando as implicações que podem ser causadas com o lançamento do efluente salino no solo e a possível contaminação de aquíferos subterrâneos.

A geração de energia por gradiente de salinidade é avaliada em 4 artigos, mostrando que pode haver a integração entre a produção de água tratada e a geração de energia.

A investigação da captura de CO<sub>2</sub> com o rejeito salino é apresentada em 3 artigos. Um deles estuda rejeitos de plantas de dessalinização contendo amônia, onde a amônia é reagida com o CO<sub>2</sub> para a sua captura. Um segundo artigo analisa o método de captura de CO<sub>2</sub> via carbonatação com soluções de cloreto de magnésio, que pode ser aplicado em fontes pontuais de emissão de CO<sub>2</sub> e envolver o rejeito salino gerado em plantas de dessalinização. No terceiro, há a investigação experimental das interações de CO<sub>2</sub> com a salmoura variando a temperatura e pressão, analisando as implicações para o sequestro de CO<sub>2</sub>.

Dois artigos abordam a utilização do rejeito salino na irrigação de culturas. Um deles avalia a salinidade e os efeitos de íons específicos na cultura de cebolas, e o outro a utilização de rejeitos salinos na irrigação de plantas halófitas.

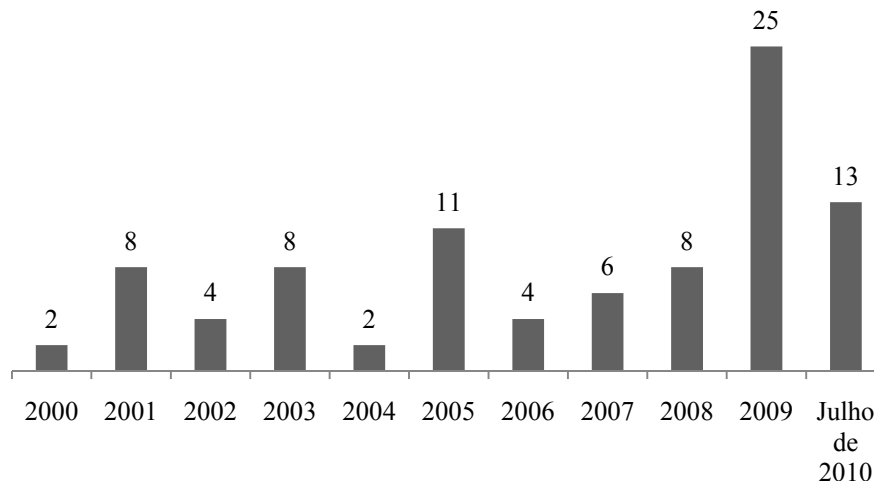
Um artigo analisado fala sobre a descarga do rejeito salino em plantas de ETE. O artigo faz uma análise dos impactos ambientais de uma planta de dessalinização e avalia a

descarga direta do rejeito salino, a descarga em ETE e a diluição com água do mar como um comparativo.

Somente um dos artigos analisados possui como foco principal a injeção em poços profundos, com o desenvolvimento de um programa computacional para simular os impactos da injeção do rejeito nesses poços.

#### 4.2.1. Tendência temporal de publicação

Analisando a tendência temporal dos artigos na última década, observa-se um grande crescimento no número de publicações no ano de 2009. Conforme pode ser visto na Figura 4.1, enquanto existia uma média anual de 6 documentos publicados entre os anos de 2000 e 2008, em 2009 foram publicados 25 artigos sobre o tema, mostrando um recente interesse por alternativas para a destinação do rejeito salino.



**Figura 4.1: Tendência temporal de publicação de artigos**

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

Somente até julho de 2010, haviam sido publicados 13 artigos sobre métodos para a disposição do concentrado salino. Número este maior do que o total de publicação de todos os anos anteriores a 2009. Estes fatos evidenciam a preocupação atual com a destinação deste rejeito.

#### 4.2.1.1. Tendência temporal por destinação do rejeito salino

Uma análise das principais destinações para o rejeito salino ao longo do tempo é importante para conhecer a frequência com que cada técnica está sendo estudada. A Tabela 4.3exibe o número de artigos publicados por ano de acordo com o método avaliado para a destinação do rejeito.

**Tabela 4.3: Tendência temporal de publicações por destinação**

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Julho de 2010
Avaliação de diferentes métodos	1	1	1	2	0	2	0	0	0	1	0
Captura de CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Descarga em corpos hídricos	0	2	0	2	1	6	3	4	5	8	4
Descarga em ETE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Impacto da descarga no solo	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
Descarte zero ou Descarte zero de líquido	0	2	0	0	0	0	1	0	0	6	2
Redução do volume de rejeito salino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Geração de energia por gradiente de salinidade	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Injeção em poços profundos	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Irrigação de culturas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Lagoas de Evaporação	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	0	0	2	0	0	0	0	1	2	1	2
Recuperação de sais	0	3	0	2	1	1	0	1	0	5	3

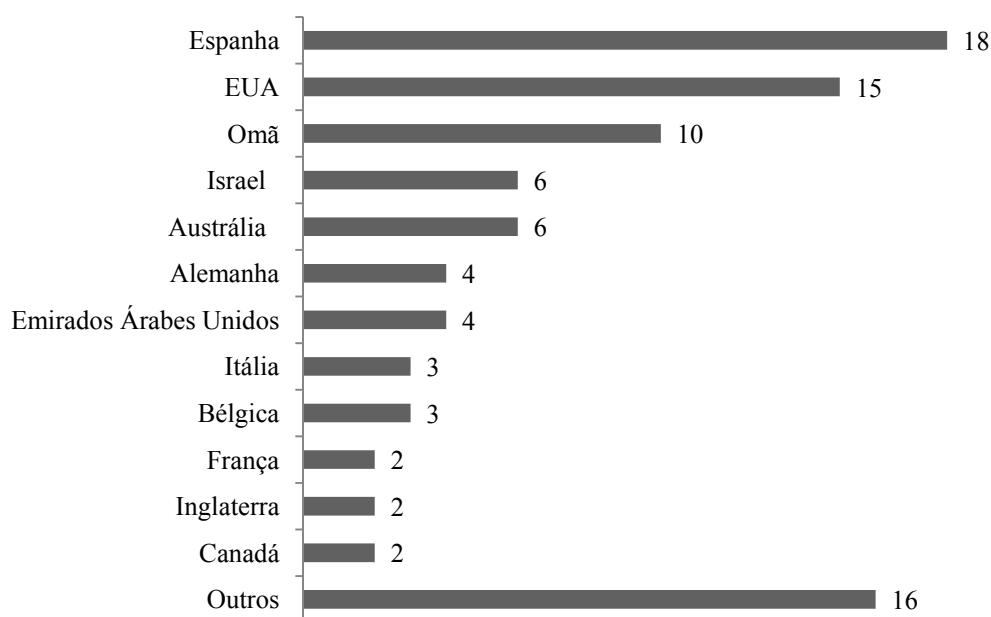
Fonte: Elaboração própria com base na leitura dos artigos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

Avaliando o número de publicações por destinação ao longo dos últimos dez anos, observa-se que a descarga em corpos hídricos é um tema quase sempre presente nos artigos, com uma tendência crescente nos últimos anos. Este fato mostra o interesse cada vez maior pelo estudo dos impactos ambientais causados por essa prática.

Em 2009, observa-se uma tendência por tecnologias de descarte zero, redução do volume de rejeito e a recuperação de sais, que no período anterior não estavam muito presentes. Já em 2010, existe o interesse pelo estudo das diversas possibilidades para destinação do rejeito, com pelo menos um artigo publicado para cada prática.

#### 4.2.2. Análise geográfica

Para verificar quais os países que estão desenvolvendo estudos para o descarte do rejeito, foi analisado o país da instituição do autor principal de cada artigo. O resultado pode ser observado na Figura 4.2. As instituições com maior número de publicações serão apresentadas em seguida.



**Figura 4.2: Principais países com publicações**

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

Existem 29 países com artigos publicados com foco na destinação do rejeito salino no mundo. Nota-se que a Espanha é o país que contém o maior número de publicações na última década, com 18 artigos publicados. Logo em seguida está os Estados Unidos, com 15 artigos publicados. Conforme foi mostrado no Capítulo 2, estes dois países estão entre os 10 maiores líderes em dessalinização no mundo.

A presença de Omã como o terceiro maior país em publicações não surpreende. De acordo com o ESCWA (2009), foi o país do Oriente Médio que obteve o maior crescimento em sua capacidade de dessalinização entre 2000 e 2008. Todos os artigos publicados pelo país são da Universidade de Sultan Qaboos.

Como esses países, Espanha, Estados Unidos e Omã, estão entre os que geram a maior quantidade de rejeito salino no mundo, se mostram como os mais interessados com o destino que será dado ao rejeito gerado.

No gráfico, “Outros” incluem os seguintes países: África, Arábia Saudita, China, Egito, Índia, Japão, Coreia, Kuwait, Líbano, Marrocos, Holanda, Polônia, Escócia, Singapura, Ucrânia e País de Gales, cada um com 1a publicação de 1 artigo entre 2000 e 2010. Não houve nenhuma publicação em revista internacional sobre o assunto pelo Brasil.

Serão analisados os três primeiros países com maior número de publicações para saber o foco principal de estudo de cada país.

## **Espanha**

A Espanha apresenta como foco principal de estudo a descarga do rejeito salino no mar, onde 78% dos seus artigos estão voltados para este método. As diferentes destinações citadas nas 18 publicações da Espanha podem ser observadas na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4: Destinações para o rejeito salino em publicações da Espanha**

Destinação do rejeito salino	Número de artigos	%
Descarga em corpos hídricos	14	78%
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	2	11%
Avaliação de diferentes métodos	1	6%
Descarte zero de líquido	1	6%
Descarga em ETE	1	6%
Lagoas de Evaporação	1	6%

Fonte: Elaboração própria com base na leitura dos artigos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

## **Estados Unidos**

Os Estados Unidos apresenta predominância nas tecnologias por descarte zero ou descarte zero de líquido, presentes em 40% dos seus artigos publicados. A descarga em corpos hídricos e a recuperação de sais representam cada uma 20% das publicações. Outras

destinações são estudadas em menores proporções, mas mostra o interesse dos EUA no estudo de destinações variadas. As diferentes destinações citadas nas publicações dos Estados Unidos podem ser observadas na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5: Destinações para o rejeito salino em publicações dos Estados Unidos**

Destinação do rejeito salino	Número de artigos	%
Descarte zero ou Descarte zero de líquido	6	40%
Descarga em corpos hídricos	3	20%
Recuperação de sais	3	20%
Irrigação de culturas	2	13%
Redução do volume de rejeito salino	2	13%
Avaliação de diferentes métodos	1	7%
Captura de CO <sub>2</sub>	1	7%
Geração de energia por gradiente de salinidade	1	7%
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	1	7%

Fonte: Elaboração própria com base na leitura dos artigos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

## Omã

O principal foco de estudo em Omã para a destinação do rejeito salino é a descarga do rejeito em corpos hídricos, presente em 60% das publicações. A recuperação de sais é avaliada em 2 de seus artigos, representando 20% do total de publicações. As diferentes destinações citadas nas publicações de Omã podem ser observadas na Tabela 4.6.

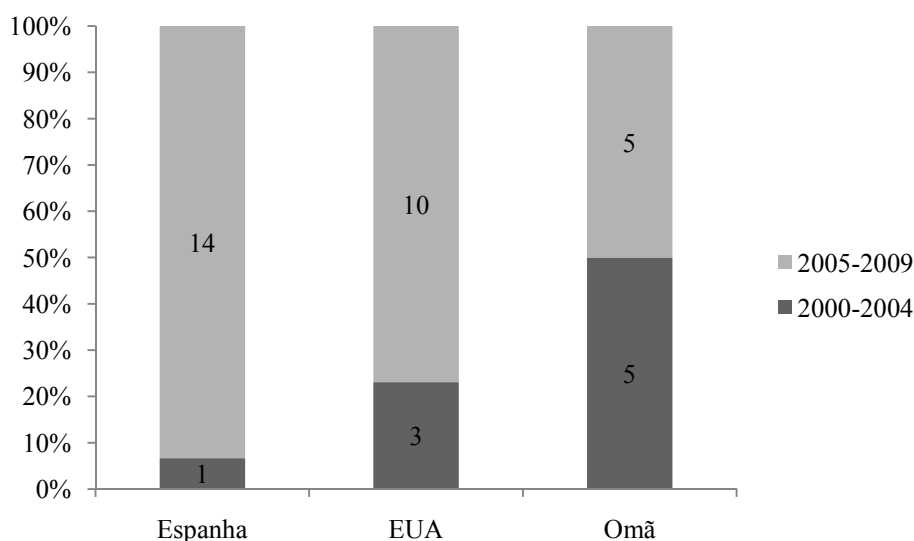
**Tabela 4.6: Destinações para o rejeito salino em publicações de Omã**

Destinação do rejeito salino	Número de artigos	%
Descarga em corpos hídricos	6	60%
Recuperação de sais	2	20%
Avaliação de diferentes métodos	1	10%
Lagoas de Evaporação	1	10%

Fonte: Elaboração própria com base na leitura dos artigos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

#### 4.2.2.1. Tendência temporal para os principais países com publicações

Para verificar a tendência de publicações para os principais países na última década, foram avaliados períodos temporais de cinco anos: 2000 a 2004 e 2005 a 2009, conforme é apresentado na Figura 4.3. O resultado mostra que a Espanha tem um recente interesse pelo assunto, onde suas publicações foram praticamente todas realizadas entre 2005 e 2009.



**Figura 4.3: Tendência temporal para os principais países com publicações**

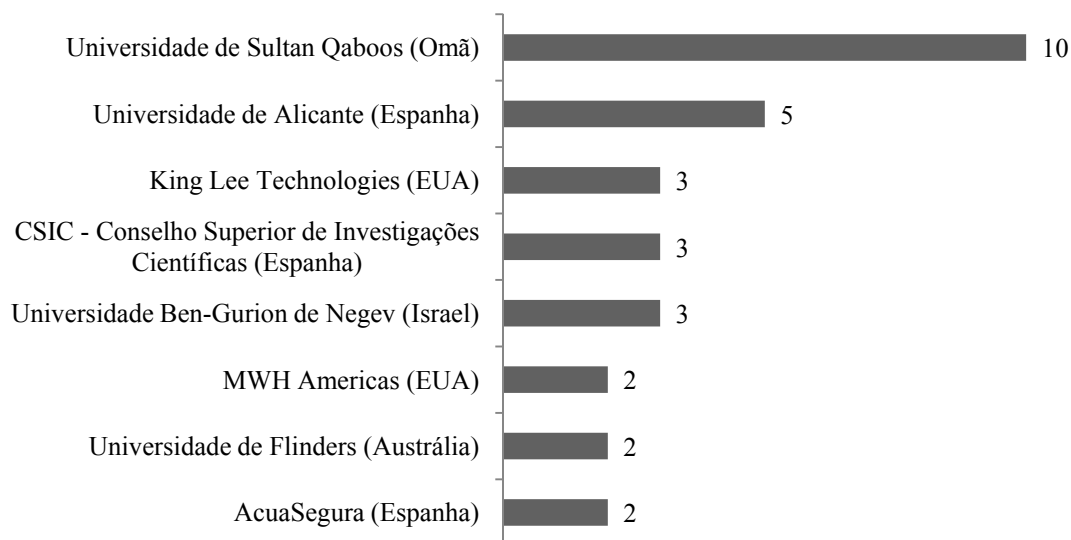
Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos da Web of Science [2000-2010]

Os Estados Unidos também possui uma predominância na publicação de documentos no período mais recente, enquanto Omã apresenta uma distribuição uniforme de artigos publicados nos dois períodos.

#### 4.2.3. Instituições de pesquisa

Conforme é ilustrado na Figura 4.4, a instituição com o maior número de pesquisas para o concentrado salino é a Universidade de Sultan Qaboos, em Omã. A Universidade possui 10 artigos publicados, sendo que 4 deles são do autor Purnama, A. O autor tem como predominância o estudo da descarga do rejeito salino no mar, avaliando modelos de dispersão,

efeito das variações de profundidade do lançamento e alguns critérios para minimizar o impacto da descarga do rejeito no mar.



**Figura 4.4: Principais instituições de pesquisa**

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

Os demais artigos publicados pela Universidade de Omã variam entre a avaliação de diferentes métodos para a destinação do rejeito, a utilização de lagoas de evaporação e a recuperação de sais com a tecnologia SAL-PROC. Um dos artigos mais recentes, do autor Abdul-Wahab, algumas vezes citado neste trabalho, faz um panorama das principais estratégias para o gerenciamento do rejeito, focando na recuperação de hipoclorito de sódio como produto de valor agregado.

A segunda instituição com maior número de publicações é a Universidade de Alicante, onde todos seus artigos são voltados para o descarte do rejeito no mar. A autora Yolanda Fernández Torquemada possui dois artigos escritos sobre o monitoramento da dispersão do rejeito salino quando lançado no mar, a fim de avaliar o impacto provocado por este rejeito hipersalino. A Universidade possui uma publicação onde analisa o efeito da descarga do rejeito em populações do fundo do mar e mais duas publicações sobre o impacto do rejeito: uma na vida da Polychaeta, uma classe de anelídeos, e outra na vida da Posidonia oceânica, uma espécie de grama marinha considerada de grande importância para conservação ambiental do Mar Mediterrâneo.



A King Lee Technologies é uma empresa americana líder em membranas, que tem como foco de estudo em seus artigos publicados a otimização da recuperação do concentrado salino gerado pela a OR. A empresa estuda a recuperação de sais do concentrado, visando o descarte zero de líquido.

O Conselho Superior de Investigações Científicas da Espanha (CSIC), assim como a Universidade de Alicante, possui todos os seus artigos voltados para a descarga do rejeito no mar. Os artigos investigam o efeito do rejeito sobre o ambiente marinho do Mediterrâneo, avaliando a vida de macroinvertebrados bentônicos, da Posidonia oceânica e Cymodocea nodosa, uma espécie de planta marinha da região.

A Universidade Ben-Gurion de Negev, em Israel, estuda principalmente a influência do vento em lagoas de evaporação para diminuição do volume do rejeito salino e recuperação de sais.

A MWH Americas é uma empresa americana de consultoria, engenharia e serviços técnicos em tratamento de água e efluentes, que atua na América no Norte, Central e do Sul. A empresa possui um artigo voltado para a remoção de nitrato e perclorato do rejeito salino utilizando a troca iônica e tratamento biológico, e outro artigo sobre o tratamento do rejeito gerado na OI por ED com membrana bipolar e eletrocloração para recuperação de hipoclorito.

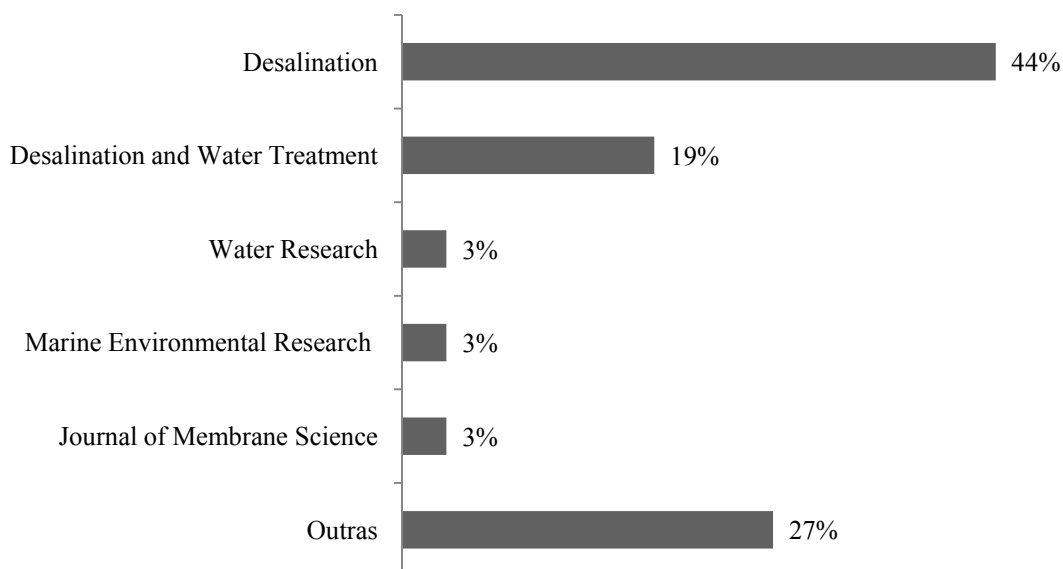
Os dois artigos da Universidade de Flinders, na Austrália, foram publicados em 2009 e avaliam o impacto da descarga do rejeito salino no mar.

A AcuaSegura, da Espanha, investiga os efeitos das descargas de rejeito salino na vida da Posidonia.

Os demais artigos foram publicados por 61 Instituições distintas, com somente uma publicação cada. Instituições americanas representam 16% deste valor, com artigos voltados para o estudo da utilização do rejeito na irrigação de plantas halófitas e de cebola, impacto da descarga direta no mar e a influência desta prática na vida de macroinvertebrados bentônicos, diminuição do volume de rejeito gerado e descarte zero de líquido, entre outros. Instituições da Espanha representam 13%, com estudos predominantes para a investigação da descarga do rejeito no mar.

#### 4.2.4. Revistas de publicação

A revista *Desalination* é a principal fonte de publicação com artigos sobre destinações para o rejeito salino, possuindo 44% dos artigos publicados. Em seguida, está a *Desalination and Water Treatment* com 19% das publicações. As principais revistas com artigos publicados sobre o tema são exibidas na Figura 4.5, onde “Outras” representam 25 revistas distintas com uma publicação cada.



**Figura 4.5: Principais revistas de publicação**

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos da Web of Science [2000 – Julho/2010]

## CAPÍTULO 5

### 5. Conclusão

Tendo em vista toda a atenção voltada para o consumo mais consciente da água e o recorrente apelo ambiental quanto ao lançamento de efluentes no meio ambiente, este trabalho teve como foco pesquisar as alternativas existentes e avaliar os principais métodos para a destinação do rejeito salino gerado no processo de reúso de água. Para isso usou-se a ferramenta de prospecção tecnológica em vista a necessidade de estratégias que possibilitem um maior aproveitamento da água e minimizem a geração de rejeitos.

Com a prospecção tecnológica foi possível observar que a maioria dos artigos analisados trata dos rejeitos salinos gerados na dessalinização da água do mar para produção de água potável. Esta dessalinização é responsável por gerar grandes quantidades de rejeitos, devido ao volume de água que processa. Logo, despertam um maior interesse por alternativas para a destinação do concentrado gerado. Os resultados obtidos podem servir como referência para a disposição de concentrados gerados em processos industriais de reúso de água.

A análise dos principais métodos para a destinação do rejeito salino, quer da dessalinização da água do mar como do reúso de água, revela que os impactos ambientais causados pela descarga direta em corpos hídricos são o foco principal dos estudos atuais. Danos irreversíveis à fauna no ambiente aquático e alteração das condições normais do ambiente no ponto da descarga e ao longo do curso do corpo d'água são apenas algumas das várias motivações dos artigos analisados.

Dentre os métodos citados para a destinação do concentrado salino, destacam-se a recuperação de sais e o descarte zero ou descarte zero de líquido. O primeiro pode ser considerado uma forma de agregar valor aos sais, uma vez que podem ser tanto reutilizados no próprio processo como insumo ou comercializados. Sobre o descarte zero, no decorrer da análise foi possível compreender que esse conceito é praticado em todos os processos que visem o reaproveitamento total das correntes geradas. Ou seja, todo o líquido e todo o sal separados após o processo têm uma destinação que não seja o descarte no ambiente. Esta prática tem sido geralmente aplicada para eliminação de águas residuais provenientes de centrais elétricas, refinarias de petróleo e de certas operações de mineração.

A análise geográfica destacou a Espanha, Estados Unidos e Omã como os países que mais publicaram artigos sobre o tema no período entre 2000 e julho de 2010. Como esses países estão entre os que geram a maior quantidade de rejeito salino no mundo, é esperado que se interessem mais pelo destino do rejeito gerado. Dentre eles, apenas os Estados Unidos se destacou com quantidades maiores de publicações sobre métodos de disposição do rejeito diferentes da usual solução de descarga em corpos hídricos.

No Brasil, o método de dessalinização é ainda é pouco empregado quando comparado a esses países, o que provavelmente explica os poucos estudos sobre a destinação do resíduo salino no país. No entanto alguns esforços já podem ser reconhecidos. Além da aplicação industrial para o reúso de água, plantas de pequena escala para a dessalinização de água salobra de poços têm sido implantadas no nordeste do país para o abastecimento de água em pequenas comunidades. Segundo artigos técnicos, já existem estudos que visam a reutilização desse rejeito salino na criação de tilápias e irrigação de plantas halófitas na região.

Por outro lado, cabe observar que empresas como a Petrobrás, Braskem e Bayer já praticam o tratamento e reúso de água em seus processos, mostrando o crescente interesse pelo assunto, não só pela vertente de atuação responsável como pelo próprio custo da água. No entanto, poucas práticas ainda são vistas em relação ao tratamento e disposição correta do rejeito salino. Apesar de todo o esforço em relação à reutilização da água, ainda não existem grandes preocupações com o rejeito salino, que em maior parte continua sendo descartado no ambiente.

## Referências Bibliográficas

ABDUL-WAHAB, S. A., & AL-WESHAHI, M. A. (2009). Brine Management: Substituting Chlorine with On-Site Produced Sodium Hypochlorite for Environmentally Improved Desalination Processes. *Water Resour Manage* (23), 2437–2454.

AHMAD, M., & WILLIAMS, P. (2009). Application of salinity gradient power for brines disposal and energy utilisation. *Desalination and Water Treatment*, 10, 220–228.

AMORIM, L. V., GOMES, C. M., DA SILVA, F. L., FRANÇA, K. B., LIRA, H. L., & FERREIRA, H. C. (2005). Uso da eletrodialise na eliminação de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e sua influência na reologia de dispersões de argilas bentoníticas da Paraíba. *Cerâmica*, 51 (319).

AMORIM, M. C., PORTO, E. R., & SILVA JÚNIOR, L. G. (2000). Evaporação solar como alternativa de reúso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa. *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*.

AMORIM, M. C., PORTO, E. R., ARAÚJO, O. J., & SILVA JÚNIOR, L. G. (2001). Alternativas de reúso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de Tilápia Koina (*Oreochromis sp.*). *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.

ANA. (s.d.). *Agência Nacional de Águas*. Acesso em 25 de maio de 2010, disponível em <http://www2.ana.gov.br/>

ANTUNES, A. M., & PESSOA, F. L. (2009). *Prospecção Para Aproveitamento do Rejeito Salino, Gerado no Reúso da Água e Alternativa Tecnológica de Minimização do Rejeito*. SIQUIM - Sistema de Informação sobre a Indústria Química.

*AquaSonics International*. (s.d.). Acesso em 28 de julho de 2010, disponível em <http://www.aquasonics.com/tech.html>

ASANO, T., BURTON, F., LEVERENZ, H., TSUCHIHASHI, R., & TCHOBANOGLIOUS, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications* (1 ed.). Metcalf & Eddy, AECOM.

BARBOSA, I. L. (2009). Avaliação de processos de separação por membranas para geração de águas de reúso em um centro comercial. *Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - UFRJ*.

BUROS, O. K. (2000). The ABCs of Desalting. *International Desalination Association (IDA)(2)*. Topsfield, Massachusetts, USA.

CAMPBELL, R. L., & JONES, A. T. (2005). Appropriate disposal of effluent from coastal desalination facilities. *Desalination*, 182, pp. 365–372.

CENTROPROJEKT. (s.d.). *Cetroprojekt do Brasil*. Fonte: <http://www.centroprojekt-brasil.com.br/>

CETESB. (s.d.). *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo*. Acesso em 25 de maio de 2010, disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/>

CIRRA. (s.d.). *Centro Internacional de Referência em Reúso de Água*. Acesso em 29 de maio de 2010, disponível em <http://www.usp.br/cirra/>

ESCWA. (2009). *ESCWA Water Development Report 3 - Role of desalination in addressing water scarcity*. Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA).

FIESP/CIESP. (2004). *Conservação e Reúso de Água. Manual de Orientações para o Setor Industrial*. São Paulo: Volume 1.

FURTADO, M. R. (2009). Água - Abastecimento precário incentiva técnicas de reúso. *Revista Química e Derivados* (487).

FURTADO, M. R. (2010). Desmineralização da Água - Indústria nacional se rende às vantagens da troca iônica. *Revista Química e Derivados* (496).

FURTADO, M. R. (2008). Reúso de água - PETROBRAS começa a implantar projetos. *Revista Química e Derivados* (470).

FURTADO, M. R. (2005). Reúso de Água - Tarifas em alta incentivam os primeiros projetos na indústria. *Revista Química e Derivados* (444).

FURTADO, M. R. (2008). Tratamento de água - Sistemas eletroquímicos ganham mercado em caldeiras e no reúso. *Revista Química e Derivados* (474).

GERBER, L. M. (s.d.). *Outorga do direito de uso da água*. Fonte: [http://www.estig.ipbeja.pt/~ac\\_direito/leda.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~ac_direito/leda.pdf)

GLATER, J., & COHEN, Y. (2003). *Brine disposal from land based membrane desalination plants: Critical Assessment*. Polymer and Separations Research Laboratory, University of California, Los Angeles.

HABERT, A. C., BORGES, C. P., & NOBREGA, R. (2006). *Processos de separação por membranas*. E-papers.

- HABERT, A. C., BORGES, C. P., NÓBREGA, R., DE OLIVEIRA, D. R., DOS RAMOS, G. M., & BERTOLDO, L. C. (2005). *Fundamentos e operação dos processos de nanofiltração e osmose inversa*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Química – COPPE.
- HESPANHOL, I. (2003). Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *BAHIA ANÁLISE & DADOS*, 13 (Especial), 411-437.
- HESPANHOL, I. (2008). Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. 22, pp. 131-158.
- KUBITZA, F. (2005). Tilápia em água salobra e salgada. *Revista Panorama da aquicultura*, 15 (88), 14-18.
- MICKLEY, M., HAMILTON, R., GALLEGOS, L., & TRUESDALL, J. (1993). Membrane concentration disposal. *American Water Works Association* .
- MIERZWA, J. C., & HESPANHOL, I. (1999). Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, visando ao uso racional e à reutilização. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 4 (2).
- SARIPALLI, K. P., SHARMA, M. M., & BRYANT, S. L. (2000). Modeling injection well performance during deep-well injection of liquid wastes. *Journal of Hydrology*, 227, pp. 41–55.
- SVENSSON, M. (2005). *Desalination and the Environment: Options and considerations for brine disposal in inland and coastal locations*. SLU, Department of Biometry and Engineering.

## ANEXO

**Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Avaliação de diferentes métodos	Avalia diferentes métodos para disposição do rejeito salino com o objetivo de minimizar o impacto ambiental.	<i>Brine discharge from the Javea desalination plant</i>	Malfeito, JJ	2005	Espanha
Avaliação de diferentes métodos	Avalia diferentes métodos para disposição do rejeito em plantas localizadas no interior.	<i>Brine disposal from inland desalination plants - Research needs assessment</i>	Ahmed, M	2002	Omã
Avaliação de diferentes métodos	Investiga métodos para eliminação do rejeito salino em diferentes plantas de dessalinização.	<i>Brine disposal from reverse osmosis desalination plants in Oman and the United Arab Emirates</i>	Shayya, WH	2001	EUA
Avaliação de diferentes métodos	Avalia diferentes métodos para destinação do rejeito salino e impactos ambientais da descarga em corpos receptores.	<i>Membrane concentrate management options: a comprehensive critical review</i>	Chelme-Ayala, P	2009	Canadá
Avaliação de diferentes métodos	Avalia diferentes métodos para disposição do rejeito salino.	<i>Nanofiltration concentrate disposal: experiences in the Netherlands</i>	Nederlof, MM	2005	Holanda



**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Avaliação de diferentes métodos	Avalia de métodos para disposição do rejeito salino contendo nitrato.	<i>Nitrate removal with reverse osmosis in a rural area in South Africa</i>	Schoeman, JJ	2003	África
Avaliação de diferentes métodos	Avalia possibilidades para a reutilização, remoção de contaminantes, incineração, descarga direta ou indireta em águas superficiais, subterrâneas, e descarga em ETE. Aplicação do rejeito em indústrias de água potável, couro e têxtil.	<i>Reuse, treatment, and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes</i>	Van der Bruggen, B	2003	Bélgica
Avaliação de diferentes métodos	Avalia diferentes métodos para disposição do rejeito salino.	<i>Reverse osmosis concentrate disposal in the UK</i>	Squire, D	2000	Inglaterra
Captura de CO <sub>2</sub>	Reação da amônia do rejeito salino com o CO <sub>2</sub> para capturá-lo.	<i>A combined approach for the management of desalination reject brine and capture of CO<sub>2</sub></i>	El-Naas, MH	2010	Emirados Árabes Unidos
Captura de CO <sub>2</sub>	Investigação experimental das interações de CO <sub>2</sub> com a salmoura variando temperatura e pressão: Implicações para o seqüestro de CO <sub>2</sub> .	<i>Experimental investigation of CO<sub>2</sub>-brine-rock interactions at elevated temperature and pressure: Implications for CO<sub>2</sub> sequestration in deep-saline aquifers</i>	Rosenbauer, RJ	2005	EUA
Captura de CO <sub>2</sub>	Captura de CO <sub>2</sub> via carbonatação com soluções de cloreto de magnésio. Pode ser aplicado em fontes pontuais de emissão de CO <sub>2</sub> e envolver o rejeito salino gerado em plantas de dessalinização.	<i>Synthesis of nesquehonite by reaction of gaseous CO<sub>2</sub> with Mg chloride solution: Its potential role in the sequestration of carbon dioxide</i>	Mignardi, S	2009	Itália

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Descarga em corpos hídricos	Apresenta um modelo matemático que prevê a interação e o impacto do lançamento de dois efluentes de rejeito salino próximos na costa.	<i>Analytical solutions for brine discharge plumes on a sloping beach</i>	Al-Barwani, HH	2009	Omã
Descarga em corpos hídricos	Estudo sobre a eliminação adequada de rejeitos de dessalinização em plantas situadas na costa.	<i>Appropriate disposal of effluent from coastal desalination facilities</i>	Jones, AT	2005	EUA
Descarga em corpos hídricos	Simulação da dispersão da pluma do rejeito salino no meio marinho, considerando o aquecimento do efluente de uma usina dessalinização.	<i>Brine discharge from desalination plants: a modeling approach to an optimized outfall design</i>	El-Fadel, M	2007	Líbano
Descarga em corpos hídricos	Impactos ambientais da descarga do rejeito salino no mar.	<i>Case studies on environmental impact of seawater desalination</i>	Sadhwani, JJ	2005	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Software para a análise, previsão e design de descargas do rejeito salino em corpos hídricos.	<i>CORMIX-GI systems for mixing zone analysis of brine wastewater disposal</i>	Doneker, RL	2001	EUA

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Descarga em corpos hídricos	Apresenta um programa para calcular as propriedades de efluentes no ponto de descarga (densidade, fluxo, temperatura, salinidade, etc) e as concentrações de certas substâncias no ponto de descarga. A calculadora permite a entrada de até três diferentes tipos de efluentes com diferentes fluxos individuais, propriedades e componentes, que são fundidos no ponto de descarga. Isto permite a consideração da mistura dos efluentes da dessalinização com outros efluentes, como águas residuais tratadas ou águas de resfriamento do próprio processo.	<i>Desalination plant discharge calculator</i>	Bleninger, T	2010	Alemanha
Descarga em corpos hídricos	Recomendações para reduzir a degradação do meio ambiente com o impacto da hipersalinidade do rejeito.	<i>Direct" and socially-induced environmental impacts of desalination</i>	vonMedeazza, GLM	2005	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Modelos de dispersão do rejeito salino no mar.	<i>Dispersion models for brine discharges from desalination plants of Oman</i>	Purnama, A	2004	Omã
Descarga em corpos hídricos	Apresenta os resultados do monitoramento da descarga de rejeito salino no oeste do Mar Mediterrâneo, a fim de estimar a área de influência desses resíduos hipersalinos.	<i>Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants</i>	Fernandez-Torquemada, Y	2009	Espanha

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Descarga em corpos hídricos	Estudo sobre o impacto da descarga do rejeito salino na vida dos macroinvertebrados bentônicos.	<i>Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean</i>	Raventos, N	2006	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Analisa o efeito da descarga do rejeito na vida marinha da <i>Polychaeta</i> .	<i>Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage</i>	Del-Pilar-Ruso, Y	2008	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Impactos ambientais da descarga do rejeito salino no mar.	<i>Environmental concerns of desalinating seawater using reverse osmosis</i>	Tularam, GA	2007	Austrália
Descarga em corpos hídricos	Investiga os efeitos das descargas de rejeito salino na vida da <i>Posidonia oceanica</i> .	<i>Environmental impact of brine disposal on Posidonia seagrass (vol 182, pg 517, 2005)</i>	Latorre, M	2006	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Investiga os efeitos das descargas de rejeito salino na vida da <i>Posidonia oceanica</i> .	<i>Environmental impact of brine disposal on Posidonia seagrasses</i>	Latorre, M	2005	Espanha

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Descarga em corpos hídricos	Estudo sobre o impacto da descarga do rejeito salino oriundo de duas plantas de dessalinização no mar.	<i>Hindcasts of the fate of desalination brine in large inverse estuaries: Spencer Gulf and Gulf St. Vincent, South Australia</i>	Kampf, J	2009	Austrália
Descarga em corpos hídricos	Impacto do rejeito salino no mar.	<i>Identification of the mixing processes in brine discharges carried out in Barranco del Toro Beach, south of Gran Canaria (Canary Islands)</i>	Ruiz, JJQ	2001	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Investiga os efeitos das descargas de rejeito salino na vida da <i>Posidonia oceanica</i> .	<i>Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (Posidonia oceanica) meadow</i>	Gacia, E	2007	Espanha
Descarga em corpos hídricos	A aplicação do modelo hidrodinâmico tridimensional para estudar a diluição do rejeito descarregado no mar.	<i>Impacts of blending on dilution of negatively buoyant brine discharge in a shallow tidal sea</i>	Kampf, J	2009	Austrália

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Descarga em corpos hídricos	Estudo sobre o impacto da descarga do rejeito salino na vida das lulas gigantes.	<i>Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish Sepia apama in the upper Spencer Gulf, South Australia</i>	Gillanders, BM	2009	Austrália
Descarga em corpos hídricos	Estudo sobre o impacto da descarga do rejeito salino na vida dos macroinvertebrados bentônicos.	<i>Influence of Conductivity Dissipation on Benthic Macroinvertebrates in the North Fork Holston River, Virginia Downstream of a Point Source Brine Discharge during Severe Low-Flow Conditions</i>	Echols, BS	2009	EUA
Descarga em corpos hídricos	Efeito das variações de profundidade no lançamento do rejeito salino no mar.	<i>Modeling dispersion of brine waste discharges from a coastal desalination plant</i>	Purnama, A	2003	Omã
Descarga em corpos hídricos	Estudo de casos para determinar a localização ideal de um emissário para descartar o rejeito salino no mar.	<i>Modeling of brine outfall at the planning stage of desalination plants</i>	Malcangio, D	2010	Itália

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Descarga em corpos hídricos	Modelagem correta para a descarga de rejeito salino no mar.	<i>Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants</i>	Bleninger, T	2008	Alemanha
Descarga em corpos hídricos	Monitoramento da dispersão do rejeito salino quando lançado no mar.	<i>Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Espanha)</i>	Fernandez-Torquemada, Y	2005	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Modelo matemático bidimensional para simulação da variação da salinidade do corpo hídrico receptor após a descarga do rejeito salino.	<i>Salinity build-up due to brine discharges into shallow coastal waters</i>	Shao, DD	2009	Singapura
Descarga em corpos hídricos	Investiga os efeitos das descargas de rejeito salino na vida da <i>Posidonia oceanica</i> .	<i>Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants</i>	Sanchez-Lizaso, JL	2008	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Diferentes sistemas de descarga do rejeito salino no mar e seus impactos.	<i>Seawater intake and pre-treatment/brine discharge - environmental issues</i>	Peters, T	2008	Alemanha

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Descarga em corpos hídricos	Avalia o impacto do lançamento do rejeito salino na vida de uma espécie de alga marinha. Concluiu-se que o lançamento do rejeito no ambiente marinho deve ser cuidadoso para não haver deterioramento do habitat.	<i>Sensitivity of the seagrass Cymodoceanodosa to hypersaline conditions: A microcosm approach</i>	Pages, JF	2010	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Apresentação de simulação de modelos de plumas de salmouras lançadas no mar.	<i>Simulating brine plumes discharged into the seawaters</i>	AI-Barwani, HH	2008	Omã
Descarga em corpos hídricos	Crítérios para minimizar o impacto da descarga do rejeito no mar.	<i>Some criteria to minimize the impact of brine discharge into the sea</i>	Purnama, A	2005	Omã
Descarga em corpos hídricos	Avalia o impacto do lançamento do rejeito salino na vida de uma espécie de alga marinha. Concluiu-se que o lançamento do rejeito no ambiente marinho deve ser cuidadoso para não haver deterioramento do habitat.	<i>Sensitivity of the seagrass Cymodoceanodosa to hypersaline conditions: A microcosm approach</i>	Pages, JF	2010	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Apresentação de simulação de modelos de plumas de salmouras lançadas no mar.	<i>Simulating brine plumes discharged into the seawaters</i>	AI-Barwani, HH	2008	Omã
Descarga em corpos hídricos	Crítérios para minimizar o impacto da descarga do rejeito no mar.	<i>Some criteria to minimize the impact of brine discharge into the sea</i>	Purnama, A	2005	Omã



**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Descarga em corpos hídricos	Analisa o efeito da descarga do rejeito em populações do fundo do mar.	<i>Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge</i>	Ruso, YD	2007	Espanha
Descarga em corpos hídricos	Estratégias para descarga do rejeito salino no mar.	<i>Spreading of brine waste discharges into the Gulf of Oman</i>	Purnama, A	2006	Omã
Descarga em corpos hídricos	Efeitos da descarga do rejeito salino na vida marinha.	<i>The footprint of the desalination processes on the environment</i>	Einav, R	2003	Israel
Descarga em corpos hídricos Descarga em ETE	Faz uma análise dos impactos ambientais de uma planta de dessalinização e avalia a descarga direta do rejeito salino, a descarga em ETE e a diluição com água do mar.	<i>Alternatives for Reducing the Environmental Impact of the Main Residue From a Desalination Plant</i>	Castells, F	2010	Espanha
Descarga em corpos hídricos Impacto da descarga no solo	Apresenta uma análise das implicações ambientais da descarga do rejeito salino em ambientes marinhos, de água doce, e terrestres.	<i>Management of Concentrated Waste Streams from High-Pressure Membrane Water Treatment Systems</i>	Khan, SJ	2009	Austrália
Descarte zero	Estudos de diferentes processos para a extração do elemento Rb do rejeito salino para comercialização.	<i>Extraction of rubidium from the concentrated brine rejected by integrated nuclear desalination systems</i>	Nisan, S	2009	França

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Descarte zero	Sistema de dessalinização que utiliza energia solar e possui descarte zero.	<i>Proving test for a solar-powered desalination system in Gaza-Palestine</i>	Abu-Jabal, MS	2001	Israel
Descarte zero de líquido	Descarte zero de líquido como alternativa favorável quando comparada à injeção em poços profundos e lagoas de evaporação.	<i>Recovery optimization of RO concentrate from desert wells</i>	Ning, RY	2006	EUA
Geração de energia por gradiente de salinidade	Produção sustentável de água e energia com a utilização de EDR.	<i>An alternative hybrid concept combining seawater desalination, solar energy and reverse electrodialysis for a sustainable production of sweet water and electrical energy</i>	Brauns, E	2010	Bélgica
Geração de energia por gradiente de salinidade	Analisa a possibilidade de criação de uma usina para geração de energia a partir do poder do gradiente de salinidade do rejeito. Geração de energia limpa, sustentável e renovável, evita a descarga da salmoura no ambiente.	<i>Application of salinity gradient power for brines disposal and energy utilisation</i>	Ahmad, M	2009	País de Gales

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Geração de energia por gradiente de salinidade Descarte zero	Destilação de descarte zero para concentrar o rejeito salino próximo de soluções saturadas de NaCl e usando a solução em lagoas de evaporação para geração de energia por gradiente de salinidade.	<i>Desalination coupled with salinity-gradient solar ponds</i>	Walton, JC	2001	EUA
Geração de energia por gradiente de salinidade Recuperação de sais	Integração da produção de água, geração de energia e recuperação de sais a partir do rejeito salino.	<i>Integrated power, water and salt generation: a discussion paper</i>	Hoey, D	2001	Austrália
Impacto da descarga no solo	Investiga o efeito do rejeito salino sobre o solo e lençóis freáticos	<i>Impact of chemical composition of reject brine from inland desalination plants on soil and groundwater, UAE</i>	Mohamed, AMO	2003	Emirados Árabes Unidos
Impacto da descarga no solo	Impacto da composição química do rejeito salino em solos e aquíferos subterrâneos.	<i>Impact of land disposal of reject brine from desalination plants on soil and groundwater</i>	Mohamed, AMO	2005	Emirados Árabes Unidos

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Impacto da descarga no solo	Avalia os impactos do lançamento do rejeito salino no solo.	<i>Soil deterioration as influenced by land disposal of reject brine from Salbukh water desalination plant at Riyadh, Saudi Arabia</i>	Al-Omran, AM	2010	Arábia Saudita
Injeção em poços profundos	Desenvolvimento de um programa computacional para simular os impactos da injeção em poços profundos do rejeito salino.	<i>Impact of desalination plants brine injection wells on coastal aquifers</i>	Nassar, MKK	2008	Egito
Irrigação de culturas	Utilização de rejeitos salinos na irrigação de plantas halófitas.	<i>Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city</i>	Glenn, EP	2009	EUA
Irrigação de culturas	Avalia a salinidade e os efeitos de íons específicos na cultura de cebolas.	<i>Salinity and specific ion effects on onion establishment in relation to disposal of desalting concentrates</i>	Miyamoto, S	2010	EUA
Lagoas de evaporação	Taxas de evaporação de água doce e salgada com o vento.	<i>Evaporation rates from fresh and saline water in moving air</i>	El-Dessouky, HT	2002	Kuwait

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Lagoas de Evaporação	Utilização de lagoas de evaporação para disposição de rejeitos salinos.	<i>Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants</i>	Shayya, WH	2000	Omã
Lagoas de Evaporação	Influência do vento na redução do volume de água do rejeito salino.	<i>WAIV - wind aided intensified evaporation for reduction of desalination brine volume</i>	Gilron, J	2003	Israel
Lagoas de Evaporação Evaporadores Descarte zero de líquido	Avalia a influência da pressão de vapor dos íons presentes no rejeito salino na taxa de evaporação.	<i>Study of the vapour pressure of saturated salt solutions and their influence on evaporation rate at room temperature</i>	Leon-Hidalgo, MC	2009	Espanha
Lagoas de evaporação Recuperação de sais	Extração de sais (cálcio, magnésio, sais de bário e estrôncio) por lagoas de evaporação.	<i>Combating brine disposal under various scenario</i>	Vedavyasan, CV	2001	Índia
Lagoas de evaporação Recuperação de sais	Vantagens da produção de sal a partir do rejeito salino, impactos causados com a descarga no mar e investimentos associados à disposição do rejeito.	<i>Salt production by the evaporation of SWRO brine in Eilat: a success story</i>	Ravizky, A	2007	Israel

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Lagoas de Evaporação Recuperação de sais	Análise da influência do vento na evaporação da água do rejeito salino, reduzindo seu volume e recuperando sais.	<i>WAIV - Wind aided intensified evaporation for brine volume reduction and generating mineral byproducts</i>	Katzir, L	2010	Israel
Recuperação de sais	Caracterização da fase cristalina fornecendo os limites de precipitação e separação.	<i>Behavior of brine effluents in desalination plants for sea water during isothermal evolution</i>	Atbir, A	2004	Marrocos
Recuperação de sais	Avalia diferentes métodos para destinação do rejeito salino com foco na recuperação do hipoclorito de sódio.	<i>Brine Management: Substituting Chlorine with On-Site Produced Sodium Hypochlorite for Environmentally Improved Desalination Processes</i>	Abdul-Wahab, SA	2009	Omã
Recuperação de sais	Remoção de materiais (fósforo, céσιο, índio, germânio e magnésio) presentes no rejeito salino para recuperação de cloretos (NaCl e KCl).	<i>Extraction of strategic materials from the concentrated brine rejected by integrated nuclear desalination systems</i>	Nisan, S	2005	França

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Recuperação de sais	Viabilidade da produção de sal a partir do rejeito salino gerado em plantas localizadas no interior com a tecnologia SAL-PROC.	<i>Feasibility of salt production from inland RO desalination plant reject brine: a case study</i>	Ahmed, M	2003	Omã
Recuperação de sais	Avaliação da produção de NaCl a partir do rejeito salino.	<i>Ion-exchange membrane electrodialytic salt production using brine discharged from a reverse osmosis seawater desalination plant</i>	Tanaka, Y	2003	Japão
Recuperação de sais	Estudo econômico recuperação de sais a partir do rejeito salino tentando reduzir o impacto negativo de sua descarga no ambiente. Recuperação do NaCl para reutilização em refinarias.	<i>Salt production from brine of desalination plant discharge</i>	Alberti, F	2009	Emirados Árabes Unidos
Recuperação de sais	Produção de fertilizantes com solução concentrada de KCl e K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	<i>Prospects of baromembrane desalination of brackish waters of the south of Ukraine</i>	Goncharuk, VV	2001	Ucrânia
Recuperação de sais Descarte zero	Sistema de OI e EDR para dessalinização da água e recuperação de sais (CaCO <sub>3</sub> e CaSO <sub>4</sub> ).	<i>Brackish water desalination in RO-single pass EDR system</i>	Turek, M	2009	Polônia

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Recuperação de sais Descarte zero de líquido	Utilização de anti-escalante no processo de OI visando uma maior produção de água potável e recuperação de sais concentrados ricos em Ca, Mg, Na e K que podem ser comercializados.	<i>Antiscalants for near complete recovery of water with tandem RO process</i>	Ning, RY	2009	EUA
Recuperação de sais Descarte zero de líquido	Cristalização de sais a partir de rejeitos super concentrados gerados na osmose inversa.	<i>Crystallization of salts from super-concentrate produced by tandem RO process</i>	Ning, RY	2010	EUA
Recuperação de sais Descarte zero de líquido	Tratamento do rejeito gerado na OI por ED com membrana bipolar e eletrocloração para recuperação de hipoclorito.	<i>Innovative beneficial reuse of reverse osmosis concentrate using bipolar membrane electrodialysis and electrochlorination processes</i>	Badruzzaman, M	2009	EUA
Recuperação de sais Descarte zero de líquido	Estuda o desempenho de uma membrana de destilação e cristalização (MDC) em termos de recuperação de água e cinética de cristalização do NaCl, em um processo de dessalinização por OR.	<i>Membrane distillation-crystallization of seawater reverse osmosis brines</i>	Curcio, E	2010	Itália



**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

<b>Destinação para o rejeito salino</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Autor Principal</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>País</b>
Redução do volume de rejeito salino	Recuperação maior de água e diminuição do rejeito gerado, visando o descarte mínimo de líquido.	<i>Brine recovery at industrial RO plants: Conceptual process design studies</i>	Singh, R	2009	EUA
Redução do volume de rejeito salino	Analisa a utilização de ED no tratamento do rejeito proveniente do processo OI visando a diminuição do seu volume e custo de eliminação.	<i>Electrodialysis of brine solutions discharged from an RO plant</i>	Korngold, E	2009	Israel
Redução do volume de rejeito salino	Uso de um sistema de resfriamento evaporativo para reduzir o volume do concentrado.	<i>Stand-alone groundwater desalination system using reverse osmosis combined with a cooled greenhouse for use in arid and semi-arid zones of India</i>	Davies, PA	2009	Inglaterra
Redução do volume de rejeito salino	Utilização de UF como pré-tratamento da OI para diminuição do volume do rejeito.	<i>Ultrafiltration pretreatment to reverse osmosis for seawater desalination - three years field experience in the WangtanDatang power plant</i>	Busch, M	2009	Alemanha

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Redução do volume de rejeito salino Descarte zero de líquido	Alta recuperação do concentrado salino da OI usando FO e destilação por membrana.	<i>High recovery of concentrated RO brines using forward osmosis and membrane distillation</i>	Cath, TY	2009	EUA
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Troca iônica e tratamento biológico para remoção de nitrato e perclorato no rejeito salino.	<i>Divalent cation addition (Ca<sup>2+</sup> OI Mg<sup>2+</sup>) stabilizes biological treatment of perchlorate and nitrate in ion-exchange spent brine</i>	Roberts, DJ	2007	Canadá
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Remoção de perclorato em efluentes industriais por troca iônica.	<i>Electrochemical removal and release of perchlorate using poly(aniline-co-o-aminophenol)</i>	Mu, SL	2010	China
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Desempenho de três adsorventes comerciais na extração íons metálicos (CS, Rb, Li e U) de um rejeito salino oriundo de uma planta de dessalinização da água do mar.	<i>Evaluation of Selective Sorbents for the Extraction of Valuable Metal Ions (Cs, Rb, Li, U) from Reverse Osmosis Rejected Brine</i>	Gibert, O	2010	Espanha
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Remoção de nitrato por troca iônica.	<i>Improved brine recycling during nitrate removal using ion exchange</i>	Bae, BU	2002	Coréia do Sul

**Continuação da Tabela: Análise dos 91 artigos focados na destinação do rejeito salino gerado no processo para o reúso de água, obtidos na base de dados Web of Science, considerando o período entre 2000 e julho de 2010**

Destinação para o rejeito salino	Detalhes	Título do Artigo	Autor Principal	Ano de Publicação	País
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Oxidação eletroquímica para remoção de nitrogênio amoniacal	<i>Indirect electrochemical oxidation of reverse osmosis membrane concentrates at boron-doped diamond electrodes</i>	Verstraete, W	2002	Bélgica
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Utilização de troca iônica magnética (MIEX) para remover matéria orgânica dissolvida, ânions inorgânicos, como nitratos e sulfatos e micropoluentes incluindo pesticidas não-iônicos de rejeitos salinos.	<i>Magnetic ion exchange: Is there potential for international development?</i>	Neale, PA	2009	Escócia
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Troca iônica e tratamento biológico para remoção de nitrato e perclorato no rejeito salino.	<i>Perchlorate and nitrate treatment by ion exchange integrated with biological brine treatment</i>	Lehman, SG	2008	EUA
Remoção de constituintes para melhora do rejeito	Redução nos impactos ambientais provocados pela dessalinização de águas subterrâneas em comparação com a água do mar, devido à menor quantidade de sal no rejeito gerado.	<i>Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources</i>	Munoz, I	2008	Espanha