



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

THAÍSA MAYANE TABOSA DA SILVA

**DESSALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO: UMA ANÁLISE DA
GESTÃO DOS SISTEMAS NOS MUNICÍPIOS DE RIACHO DAS ALMAS E SÃO
CAETANO**

Caruaru - PE

2024

THAÍSA MAYANE TABOSA DA SILVA

**DESSALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO: UMA ANÁLISE DA
GESTÃO DOS SISTEMAS NOS MUNICÍPIOS DE RIACHO DAS ALMAS E SÃO
CAETANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.

Caruaru - PE

2024

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

S586d Silva, Thaísa Mayane Tabosa da.
Dessalinização no semiárido pernambucano: uma análise da gestão dos sistemas nos municípios de Riacho das Almas e São Caetano. / Thaísa Mayane Tabosa da Silva. – 2024.
120 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2024.
Inclui Referências.

1. Água - Escassez. 2. Dessalinização da água. 3. Semiárido. 4. Pernambuco I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2024-043)

THAÍSA MAYANE TABOSA DA SILVA

**DESSALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO: UMA ANÁLISE DA
GESTÃO DOS SISTEMAS NOS MUNICÍPIOS DE RIACHO DAS ALMAS E SÃO
CAETANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Aprovado em: 28/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dra. Sylvana Melo dos Santos (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Profª. Dra. Simone Rosa da Silva (Examinadora Externa)
Universidade de Pernambuco - UPE

Prof. Dr. José Roberto Lopes da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me fazer sentir acolhida, ouvida e por iluminar sempre meu caminho, mantendo acesa em mim a fé que foi fundamental para enfrentar os momentos difíceis.

Ao meu orientador Anderson Paiva, pelo exemplo de profissionalismo, dedicação e incansável participação nesta importante etapa, através de elementos fundamentais que me direcionaram rumo ao conhecimento e contribuíram de forma indispensável neste trabalho. Sua dedicação e empenho sempre fazem o diferencial.

À minha mãe Marilene Tabosa, pela sua confiança e incentivo de nunca desistir. Obrigada por me permitir ser quem sou até aqui.

Ao meu esposo Henrique Tabosa que caminhou junto ao meu lado, ofertando sempre um apoio incondicional, dedicação e paciência ao longo desta trajetória.

Aos meus avós Marliete Cordeiro e Ivo Tabosa pelo apoio e carinho oferecidos, que nunca me faltaram.

À minha irmã Lizzandra, e estendo ao meu sobrinho Cauã, pela amizade, o amor e a certeza de que não importam as circunstâncias estaremos sempre juntos, nos apoiando e evoluindo.

Aos professores que compuseram a banca examinadora, pela disponibilidade, ensinamentos e colaboração no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos docentes desse programa por tanto conhecimento e sabedoria que, pacientemente, se empenharam para transmitir a mim e a meus colegas de turma.

Aos meus colegas de turma por toda parceria, foram anos de luta, mas conseguimos, ajudando uns aos outros, alcançar nossos objetivos.

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela oportunidade de fazer parte dessa escola e programa, que tanto contribuem na formação e desenvolvimento da sociedade.

À CAPES pelo suporte financeiro com a bolsa de estudos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho fosse construído, meus sinceros agradecimentos, isto prova que tive parceiros ao longo de minha caminhada.

RESUMO

A região semiárida brasileira ao longo dos anos vem enfrentando problemas quanto à disponibilidade hídrica para o abastecimento da população, uma vez que, apresenta regime de chuvas marcado pela insuficiência e irregularidade, exibindo volumes de água escassos em seus mananciais e, sendo também composta por áreas de aquíferos cristalinos de baixa potencialidade hidrogeológica e má qualidade da água. Dessa forma, a utilização de sistemas de dessalinizadores de água, destacam-se como solução para o combate da falta de água potável. Muitas comunidades rurais vêm se beneficiando com o sistema, contudo, dificuldades com a falta de monitoramento, custos elevados de manutenção e operação dos dessalinizadores, acabam afetando na quantidade e qualidade recomendada para o consumo humano. Nesse contexto, o presente estudo propõe-se analisar as condições de operação e gestão de sistemas de dessalinização implantados nos municípios de Riacho das Almas e São Caetano, situados no semiárido pernambucano. Selecionou-se como amostragem 3 dessalinizadores, sendo 2 situados em Riacho das Almas e 1 em São Caetano, visando assim gerar um diagnóstico da sua atual situação. Focou-se a análise quanto aos aspectos de conservação, manutenção e operacionalização dos equipamentos; à qualidade da água; à destinação da água salina; à eficiência da utilização dos sistemas no abastecimento das comunidades e à gestão dos sistemas junto aos governos estaduais e municipais. Dessa forma, realizou-se visitas *in loco*, aplicação de questionários aos moradores beneficiados e aos gestores. Coletou-se amostras da água do poço, da água dessalinizada e da água concentrada, através de 6 monitoramentos mensais, observando assim o comportamento de seus parâmetros físico-químicos e a eficiência do dessalinizador. Em relação aos sistemas de Riacho das Almas (Salinas e Nova Esperança), todos os usuários entrevistados encontravam-se satisfeitos ou muito satisfeitos, já para a unidade de São Caetano (Enganchada), esta porcentagem era de apenas 50%. Quanto aos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), a comunidade Enganchada ultrapassou nos 6 meses o Valor Máximo Permitido (VMP) da Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (500 ppm) e da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde - MS (500 ppm), em contrapartida as demais obedeceram ao VMP tanto do CONAMA quanto do MS. Os resultados indicaram que todos os sistemas apresentaram bom desempenho da membrana Osmose Reversa (OR) em termos de Taxa de Rejeição de Sais (TRS) média mensal, dentro da faixa de operação de 90 a 98%. Quanto ao destino da água salina, apenas a unidade Enganchada utiliza uma metodologia sustentável para sua destinação, o tanque de rejeito. Quanto aos governos estaduais e municipais, pôde-se perceber a presença tanto do governo estadual, quanto do municipal, nos dessalinizadores das comunidades Salinas e Nova Esperança, e apenas o municipal na unidade de Enganchada. A partir daí, pode-se concluir que, apenas os sistemas de dessalinização de Riacho das Almas apresentaram-se eficientes, uma vez que seus equipamentos passavam por manutenções regulares. Já o sistema de São Caetano, mesmo com valor elevado de TRS, não obteve resultados satisfatórios em relação à qualidade da água e nível de satisfação pelos usuários. Dessa forma, destaca-se a importância da realização de manutenções periódicas, para que se permita a produção de um permeado com boa qualidade, uma vez que a falta de investimento constante limita uma gestão eficiente.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica; semiárido pernambucano; águas salobras; dessalinizadores.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region over the years has been facing problems regarding water availability to supply the population, since it has a rainfall regime marked by insufficiency and irregularity, exhibiting scarce volumes of water in its sources and, also being composed of areas of crystalline aquifers with low hydrogeological potential and poor water quality. Therefore, the use of water desalination systems stands out as a solution to combat the lack of drinking water. Many rural communities have benefited from the system, however, difficulties with the lack of monitoring, high costs of maintenance and operation of desalination plants end up affecting the quantity and quality recommended for human consumption. In this context, the present study proposes to analyze the operating and management conditions of desalination systems implemented in the municipalities of Riacho das Almas and São Caetano, located in the semi-arid region of Pernambuco. Three desalination plants were selected as sampling, 2 of which were located in Riacho das Almas and 1 in São Caetano, thus aiming to generate a diagnosis of their current situation. The analysis focused on aspects of conservation, maintenance and operationalization of equipment; water quality; the disposal of saline water; the efficiency of using systems to supply communities and managing systems with state and municipal governments. In this way, on-site visits were carried out and questionnaires were administered to the benefiting residents and managers. Samples of well water, desalinated water and concentrated water were collected through 6 monthly monitoring sessions, thus observing the behavior of their physical-chemical parameters and the efficiency of the desalter. In relation to the Riacho das Almas systems (Salinas and Nova Esperança), all users interviewed were satisfied or very satisfied, while for the São Caetano unit (Enganchada), this percentage was only 50%. Regarding the values of Total Dissolved Solids (TDS), the Enganchada community exceeded the Maximum Value Allowed (MVA) in Resolution 357/2005 of the National Council for the Environment - CONAMA (500 ppm) and Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health - MS (500 ppm) in 6 months, on the other hand, the others complied with the MVA of both CONAMA and MS. The results indicated that all systems showed good performance of the Reverse Osmosis (RO) membrane in terms of monthly average Salt Rejection Rate (SRR), within the operating range of 90 to 98%. As for the destination of saline water, only the Enganchada unit uses a sustainable methodology for its disposal, the tailings tank. As for state and municipal governments, it was possible to notice the presence of both the state and municipal governments in the desalination plants in the Salinas and Nova Esperança communities, and only the municipal government in the Enganchada unit. From there, it can be concluded that only the Riacho das Almas desalination systems were efficient, since their equipment underwent regular maintenance. The São Caetano system, even with a high SRR value, did not obtain satisfactory results in relation to water quality and level of user satisfaction. Therefore, the importance of carrying out periodic maintenance is highlighted, to allow the production of a good quality permeate, since the lack of constant investment limits efficient management.

Keywords: water availability; semi-arid region of Pernambuco; brackish waters; desalinators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativo delimitação do Semiárido 2017 e 2021.....	20
Figura 2 - 17 ODS.	25
Figura 3 - Mapa poços no Brasil, cadastrados no sistema SIAGAS.	34
Figura 4 - Esquema geral da planta de dessalinização – abastecimento de água subterrânea.	38
Figura 5 - Esquema do processo de evaporação DMEF.....	39
Figura 6 - Esquema do processo de dessalinização por DME.....	40
Figura 7 - Diagrama esquemático das unidades CV (CMV e CTV).	41
Figura 8 - Processo de dessalinização por OR.	42
Figura 9 - Processo de dessalinização por ED.....	43
Figura 10 - Sistema de dessalinização por filtração com membranas.	45
Figura 11 - Processo de osmose reversa (ou inversa).....	45
Figura 12 - ICAA nos municípios do Semiárido brasileiro.....	59
Figura 13 - Dessalinizador comunidade Salinas – Riacho das Almas/PE.....	64
Figura 14 - Dessalinizador comunidade Nova Esperança – Riacho das Almas/PE.	64
Figura 15 - Localização dessalinizador comunidade Salinas – Riacho das Almas/PE.	65
Figura 16 - Localização dessalinizador comunidade Nova Esperança – Riacho das Almas/PE.	66
Figura 17 - Mapa geológico do município de Riacho das Almas.	67
Figura 18 - Localização dessalinizador comunidade Enganchada – São Caetano/PE.	68
Figura 19 - Dessalinizador comunidade Enganchada – São Caetano/PE.....	69
Figura 20 - Mapa geológico do município de São Caetano.	70
Figura 21 - Fluxograma dos objetivos e suas respectivas atividades.	72
Figura 22 - Coleta de amostras de água do sistema de dessalinização.....	76
Figura 23 - Dessalinizador na comunidade Salinas, Riacho das Almas – PE.	77
Figura 24 - Dessalinizador na comunidade Nova Esperança, Riacho das Almas – PE.	77
Figura 25 - Dessalinizador na comunidade Enganchada, São Caetano – PE.....	78
Figura 26 - Distribuição da água comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas), reservatório e chafariz.....	79
Figura 27 - Destinação da água salina, após dessalinizadores.	87
Figura 28 - Córrego de destinação do concentrado comunidade Salinas.....	87

Figura 29 - Tanque de destinação do concentrado comunidade Enganchada.	88
Figura 30 - Destinação da água salina quando o tanque está cheio.....	88
Figura 31 - STD das amostras de água dessalinizada.....	90
Figura 32 - Concentrações de turbidez das amostras de água dessalinizada.....	91
Figura 33 - Condutividade elétrica, monitoramento na Comunidade Salinas.....	92
Figura 34 - Condutividade elétrica, monitoramento na Comunidade Nova Esperança.	92
Figura 35 - Condutividade elétrica, monitoramento na Comunidade Enganchada.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo da destinação de água salobra utilizando OR em algumas regiões brasileiras.....	48
Quadro 2 - Relação dos componentes e dos subcomponentes do PAD.	60
Quadro 3 - Parâmetros físicos e químicos.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demonstração das receitas e despesas de sistemas de dessalinização do PAD, no estado do Ceará, em 2015.....	54
Tabela 2 - Resumo da quantidade de entrevistas a partir de cálculo amostral.	71
Tabela 3 - Resumo das informações obtidas de cada dessalinizador.	81
Tabela 4 - Resultados obtidos a partir das entrevistas.....	82
Tabela 5 - Controle de qualidade da água dessalinizada e considerações dos usuários.....	83
Tabela 6 - STD no monitoramento dos dessalinizadores, maio a outubro de 2023.	84
Tabela 7 - TRS no monitoramento de maio a outubro de 2023.	84
Tabela 8 - Vazões do rejeito e permeado dos dessalinizadores, no monitoramento de maio-outubro/2023.....	85
Tabela 9 - NR no monitoramento de maio-outubro/2023.	86
Tabela 10 - Valor Máximo Permitido (VMP) CONAMA N° 357/2005 e MS N° 888/2021. ..	89
Tabela 11 - Turbidez da água dessalinizada, no monitoramento de maio a outubro de 2023..	91
Tabela 12 - Condutividade elétrica (μS), no monitoramento de maio a outubro de 2023.	93
Tabela 13 - Condutividade elétrica média das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.	94
Tabela 14 - Temperatura das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.	94
Tabela 15 - OD das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.....	95
Tabela 16 - pH das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.....	96
Tabela 17 - Tabela resumo do VMP pelo CONAMA 357/2005 e MS 888/2021 para as amostras de água dessalinizada.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASA	Articulação Semiárido Brasileiro
CCG	Conselho de Cooperação do Golfo
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CERB	Companhia de Engenharia Rural da Bahia
CMV	Compressão Mecânica de Vapor
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Antiga Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e atual Serviço Geológico do Brasil
CSWG 2030A	<i>Civil Society Working Group for the 2030</i>
CTV	Compressão Térmica de Vapor
CV	Destilação por Compressão de Vapor
DME	Destilação de Múltiplos Efeitos
DMEF	Destilação de Múltiplos Efeitos Flash
ED	Eletrodialise
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMMCA	Emergência Marinha e Mútua Centro de Ajuda
FBB	Fundação Banco do Brasil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAA	Índice de Condição de Acesso à Água
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPA	Instituto Agrônomo De Pernambuco
MD	Ministério da Defesa
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MENA	Oriente Médio e Norte da África
MINTER	Ministério de Interior
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
MTI	Membranas de Troca Iônica

MTC	Membranas de Troca Catiônica
NR	Nível de Recuperação do Sistema
OCP	Operação Carro-Pipa
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OR	Osmose Reversa
ORPMAM	Organização Regional para a Proteção do Meio Ambiente Marinho
PAD	Programa Água Doce
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PH	Potencial Hidrogênioônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMA	Planos de Monitoramento Ambiental
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
PRORURAL	Programa de Saneamento Rural
RIMAS	Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas
SEDEC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SRHS-PE	Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TRS	Taxa de Rejeição de Sais
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.2	Objetivos.....	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil.....	18
2.1.1	O Nordeste Semiárido.....	20
2.2	Disponibilidade e qualidade da água para fins de abastecimento.....	24
2.3	Águas subterrâneas e a salinidade	33
2.4	Sistemas de dessalinização	37
2.4.1	Tipos de dessalinizadores	39
2.4.2	Dessalinização por osmose reversa	44
2.4.3	Água salina e destinação.....	47
2.5	O uso de dessalinizadores no Semiárido do Nordeste	51
2.6	Programas e incentivo aos sistemas de dessalinização	55
3	METODOLOGIA.....	63
3.1	Área de estudo.....	63
3.1.1	Município de Riacho das Almas.....	63
3.1.1.1	<i>Aspectos socioeconômicos, fisiográficos e geológicos.....</i>	<i>66</i>
3.1.2	Município de São Caetano.....	68
3.1.2.1	<i>Aspectos socioeconômicos, fisiográficos e geológicos.....</i>	<i>69</i>
3.2	Sujeitos do estudo	71
3.3	Trabalho de campo	72
3.3.1	Questionários	73
3.3.2	Análise do estado de conservação e manutenção dos sistemas	74
3.3.3	Análise dos parâmetros técnicos e operacionais.....	74

3.3.4	Análise físico-química da água.....	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4.1	Sistemas de dessalinização	77
4.1.1	Observação do estado de conservação, manutenção e operacionalização dos sistemas...	78
4.1.2	Eficiência da dessalinização dos sistemas	81
4.1.3	Destinação da água salina.....	86
4.2	Análise físico-química da água	89
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	98
	REFERÊNCIAS.....	101
	APÊNDICE A.....	116
	APÊNDICE B.....	119

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um bem indispensável à vida; completando seu ciclo global a partir das precipitações, retornando à atmosfera por meio da evaporação de corpos de água e transpiração das plantas. Os elementos hidrológicos deste ciclo se disseminam de maneira desuniforme entre as distintas regiões do planeta, motivo este pelo qual são afetados por ações antrópicas com capacidade de modificar sua disponibilidade, tanto em termos quantitativos como em termos qualitativos (Medeiros *et al.*, 2011).

Regiões semiáridas enfrentam dificuldades quanto à disponibilidade hídrica para o abastecimento da população. O Semiárido brasileiro, tipicamente, apresenta regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (Silva *et al.*, 2010). Mesmo com elevada quantidade de fontes de água doce no Brasil, sua má distribuição acaba acarretando em uma piora do cenário de escassez hídrica que atinge elevada parte da população (Moreira *et al.*, 2021), principalmente a do semiárido nordestino (Castro, 2022).

Novas tecnologias para complementar a baixa disponibilidade de água, de maneira sustentável, apresentam um papel de destaque na redução dos problemas da falta de água para consumo humano, sobretudo, no Semiárido brasileiro; sendo as águas subterrâneas um significativo manancial que colabora para o atendimento da demanda hídrica (Amorim *et al.*, 2004; Grossi; Lange; Amaral, 2024). A disponibilidade de água subterrânea do Brasil é avaliada em aproximadamente 13.205 m³/s e, de forma similar às águas superficiais, sua distribuição e propriedades hidrogeológicas e de produtividade não são uniformes, acarretando em regiões de carência e outras de abundância (ANA, 2023).

A região do semiárido brasileiro é composta por bacias sedimentares e áreas de aquíferos cristalinos de baixa potencialidade hidrogeológica, que comprometem a quantidade e a qualidade dessas águas (Santos; Freire; Souza, 2009; Marques *et al.*; 2014). No que se refere à ocorrência dessas águas no Nordeste brasileiro, o território é constituído em mais de 80% por rochas cristalinas, havendo, de acordo com as características locais, predominância de águas com teor elevado de sais (Cirilo, 2008). Embora, além do problema quantitativo, a água contida nos aquíferos cristalinos do semiárido brasileiro esteja sujeita a problemas significativos de salinização (Kreis *et al.*, 2020), a tecnologia de dessalinização possibilita a potabilização dessas águas, destinando-as assim, principalmente ao consumo doméstico.

Pernambuco apresenta 89% do território inserido na região semiárida, sendo considerado o Estado do País mais pobre em quantidade de água. O volume aproveitável dos recursos hídricos pode alcançar 80% de sua potencialidade nas bacias do litoral e Zona da Mata pernambucanos, enquanto que no Agreste e Sertão, estes valores aproximam-se de 20%. As águas subterrâneas estão distribuídas em reservatórios fissurais, granulares e cársticos, que cobrem respectivamente 83%, 17% e 1% da superfície do Estado. Assim, surge a necessidade de analisar o gerenciamento de abastecimento hídrico do território estadual; abrangendo a utilização de águas subterrâneas salobras, e o processo de potabilizar estas águas (Pernambuco, 2012; Pernambuco, 2022a).

Dessa forma, como solução para o combate da falta de água potável, tem-se a utilização de sistemas de dessalinizadores de água, que convertem as águas salinas em água doce. O processo de osmose reversa (OR) vem se destacando como metodologia mais utilizada para a dessalinização de água subterrânea no Nordeste. Diversas comunidades rurais vêm se beneficiando com o sistema, entretanto, deve-se ressaltar a falta de monitoramento, custos bastante elevados de manutenção e operação dos dessalinizadores, operadores não qualificados e, as vazões reduzidas, características dos poços de cristalino, que acabam limitando a quantidade disponibilizada de água doce tratada (Medeiros *et al.*, 2011; Silva; Silva; Silva, 2015).

Diante da necessidade de estabelecer uma política pública de acesso à água de qualidade para o consumo humano através do aproveitamento de águas subterrâneas, integrando cuidados técnicos, ambientais e sociais, o governo federal criou o Programa Água Doce (PAD), sucessor do Programa Água Boa. O PAD foi lançado para auxiliar os estados e recuperar os sistemas de dessalinização parados, desenvolvendo núcleos gestores estaduais (Prêmio Jovem Cientista, 2013).

Neste contexto, o presente estudo pretende analisar a gestão de sistemas de dessalinização implantados nos municípios de Riacho das Almas e São Caetano, situados no semiárido pernambucano, gerando um diagnóstico da atual situação dos sistemas, principalmente quanto aos aspectos de conservação, manutenção e operacionalização destes equipamentos; à qualidade da água; à destinação da água salina e à eficiência da utilização dos sistemas no abastecimento das comunidades. Dessa forma, a geração deste diagnóstico, poderá apontar as principais causas dos problemas e assim possibilitar um melhor estudo de soluções viáveis e eficazes para o auxílio na oferta de água da região, além de entender a importância desses sistemas para a população atendida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as condições de operação e gestão de sistemas de dessalinização implantados nos municípios de Riacho das Almas e São Caetano, situados no semiárido pernambucano.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o estado de conservação, manutenção e operacionalização de sistemas de dessalinização implantados nos municípios de Riacho das Almas e São Caetano;
- b) Analisar a eficiência da dessalinização dos sistemas estudados no abastecimento das comunidades;
- c) Avaliar os parâmetros físico-químicos da água tratada nos sistemas estudados;
- d) Avaliar a destinação da água salina nos sistemas estudados;
- e) Analisar a gestão dos sistemas junto aos governos estadual e municipais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil

A importância da água é indiscutível, tendo em vista que todos os organismos vivos dependem dela para sobreviver, sendo direito fundamental e componente essencial para a dignidade da pessoa humana. Considerando a importância da água e sua indispensabilidade para a manutenção das atividades das populações, destaca-se que, em virtude, sobretudo, da sua dinâmica espacial e temporal, a mesma, vem apresentando-se como centro de conflitos, os quais têm sido cada vez mais constantes (Varella, 2012). Mais de 2 bilhões de pessoas são afetadas pelo estresse hídrico, o que só vem aumentando com o crescimento populacional e as mudanças climáticas (United Nations, 2018).

O Brasil apresenta 8.547.403,5 km² de território, abrangendo 47,7% da área da América do Sul, sendo dividido pela Linha do Equador e pelo Trópico de Capricórnio, o que o torna um país tropical (Rebouças, 2003). No contexto mundial, o país situa-se como quinto maior e com a sexta maior população, a quinta maior área superficial e entre as dez maiores economias mundiais (OECD, 2015; Oliveira *et al.*, 2018). Em termos hidrológicos, o Brasil foi apreciado com 12% das reservas de água doce superficiais acessíveis no Planeta e 28% das disponíveis nas Américas, o país conta também com algumas das mais amplas bacias hidrográficas do mundo. No seu território encontra-se a maior reserva de água doce subterrânea, o Aquífero Guarani, composto por 1,2 milhão de quilômetros quadrados (Silva, 2012).

Todavia, a distribuição espacial da população do Brasil não se apresenta na proporção da disponibilidade de água doce. Suas reservas (superficiais ou subterrâneas) são distribuídas de forma irregular em seu território, possuindo reservas maiores exatamente em regiões menos povoadas. A região amazônica acumula em torno de 81% das reservas hídricas do país e apenas 5% da população, e, em contraposição, a área semiárida do Nordeste, mesmo englobando ampla extensão da bacia do Rio São Francisco, possui apenas 4% dos recursos hídricos do país e é ocupada por 35% da população brasileira (Cirilo, 2015).

Apesar do Brasil estar em uma posição parcialmente confortável, se comparado com outros países situados no oriente médio, vive-se uma crise hídrica no país relacionada à disponibilidade, ao acesso e à qualidade da água. Mulheres e crianças, habitualmente, necessitam percorrer vários quilômetros para alcançar uma quantia mínima de água para dessedentação e atividades cotidianas, como de cozinha e higiene pessoal (Cirilo, 2015).

A maioria dos estados brasileiros já convive com problemas de abastecimento de água, senão uma escassez hídrica. A preocupação de que a água venha a faltar só tende a aumentar, logo, medidas como racionamento e rodízio de abastecimento já são previstas, como já ocorreram no Distrito Federal (ADASA, 2018) e alguns municípios da Paraíba (Pereira e Miranda, 2023), respectivamente. Essa crise está relacionada, sobretudo, com o aumento desordenado das cidades e o ritmo de desenvolvimento incompatível com a disposição de manutenção do meio ambiente, uma vez que nos últimos 100 anos, a população mundial triplicou, enquanto o consumo de água cresceu em torno de seis vezes (Cirilo, 2015; Ribeiro e Rolim, 2017).

Em um dos países mais ricos em água doce do planeta, os municípios enfrentam crises de abastecimento, dos quais estão inclusos até os localizados na região Norte, onde estão próximos de 80% das descargas de água dos rios do Brasil (Rebouças, 2003). A crise de água não é resultado apenas de fatores climáticos e geográficos, mas especialmente da utilização irracional dos recursos hídricos. Como causas do problema destacam-se: o fato de a água não ser utilizada como um bem estratégico no País, os críticos problemas envolvendo o saneamento básico e a maneira como a água doce é abrangida, uma vez que muitos a ponderam como um recurso infinito (Silva, 2012).

Apesar de o cuidado com os recursos hídricos não ser recente, os debates acerca de temas englobando o uso sustentável e as maneiras de assegurar quantitativa e qualitativamente esses recursos, somente no fim do século XX alcançaram ênfase (Ribeiro e Rolim, 2017). A concepção de inesgotabilidade dos recursos hídricos foi reduzindo força, dado que, no Brasil, com a concepção da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, se institui o dispositivo legal que objetiva a regulamentação e gestão dos recursos hídricos, que constituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e originou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Dessa forma, a lei baseia-se no fundamento da água como um bem de propriedade pública e um recurso natural limitado, onde, além de ser um bem indispensável à vida, necessita também exercer um emprego social e sua proteção, reutilização, mediante tratamento, é uma necessidade a ser considerada de maneira iminente, a fim de evitar o surgimento de sérias dificuldades (Marques *et al.*, 2021).

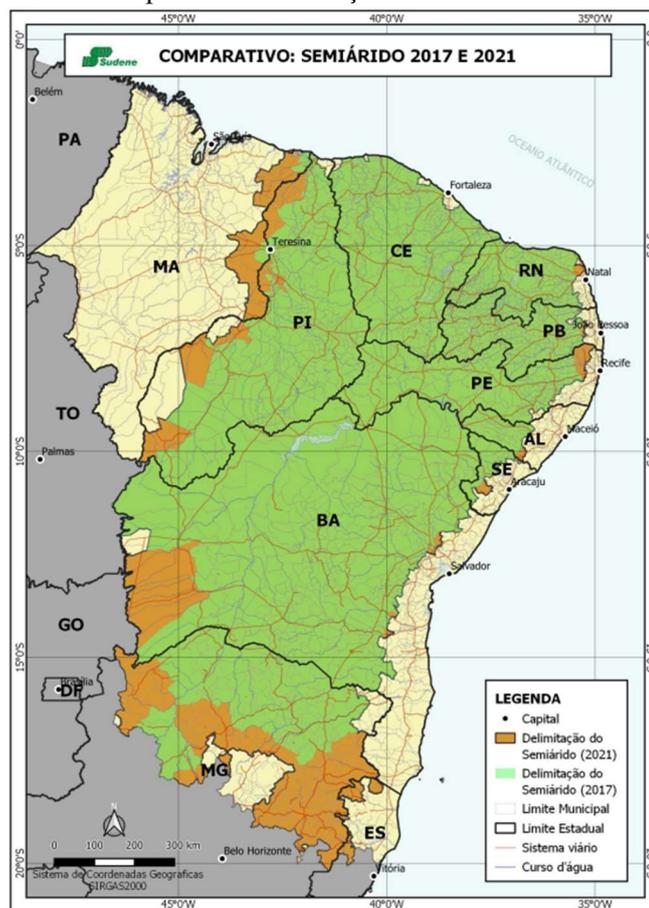
Para reduzir os impactos e analisando a precisão de amplo detalhamento acerca das diretrizes para uso dos recursos hídricos, a Lei Federal nº 9.433/97 surgiu para amparar a afirmativa de que a água é um bem de domínio público, composto de valor econômico, onde, determina como um de seus princípios uma gestão descentralizada e mútua, contando com o apoio do poder público, dos usuários e da população e estipula como ferramentas de gestão, a

outorga de direito de utilização dos recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água e a cobrança pelo proveito da água (Ribeiro e Rolim, 2017).

2.1.1 O Nordeste Semiárido

Em 2021, o Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) atualizou a delimitação das fronteiras do Semiárido brasileiro e a quantidade de municípios que integravam a região, onde, em comparação a de 2017 (Figura 1), foram agregados mais 215 municípios e excluídos outros 50, sendo, 42 do Nordeste e 8 de Minas Gerais. Dessa forma, o Semiárido brasileiro que abrangia 1.262 municípios passou a ser composto por 1.427 municípios, com 1.212 situados no Nordeste, o equivalente a 85% do total (SUDENE, 2021).

Figura 1 - Comparativo delimitação do Semiárido 2017 e 2021.



Fonte: SUDENE (2021).

O estado de Pernambuco conta com 184 municípios, mais o Arquipélago de Fernando de Noronha, e desses, 137 compõem a região semiárida brasileira. Em relação ao polígono em

2017, o mesmo possuía uma extensão total de 1.128.272km², ocupando cerca de 13% do território nacional, e com a revisão em 2021, aumentou 190.478km² (16,9% de acréscimo), passando a possuir 1.318.750km² e tomando em torno de 15% da área do país (SUDENE, 2021).

Em torno de 59,1%, ou seja, mais da metade dos brasileiros que se encontram em situação de extrema pobreza estão no Nordeste, e, destes, 52,5%, também mais da metade, vivem na área rural. Em 60,1% das cidades situadas do Semiárido, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), que utiliza como indicadores a longevidade, educação e renda, varia de Muito Baixo a Baixo, onde, todos os municípios do Semiárido apresentam Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,727, estando abaixo do Brasil. O índice de Gini, que mensura o nível de desigualdade conforme a renda, está acima de 0,60 para mais de 32% dos municípios do Semiárido, exibindo uma alta concentração da renda na região (IBGE, 2010; SUDENE, 2021).

A região semiárida brasileira possui como reflexo das condições climáticas, a hidrografia frágil, em seus diversos aspectos, sendo insuficiente para amparar rios caudalosos que se conservem perenes ao longo dos períodos de carência de precipitações, constituindo-se exceção o rio São Francisco. Devido às características hidrológicas que apresenta, as quais possibilitam a sua sustentação ao longo de todo o ano, o rio São Francisco conquista uma posição especial para as populações ribeirinhas e da zona do Sertão (IBGE, 2014).

Em relação à distribuição pluviométrica no nordeste brasileiro, que insere a região semiárida, as chuvas podem ser superiores a 1000 mm no litoral leste e à medida que se prossegue para o interior da região semiárida, as precipitações diminuem e alcançam valores médios inferiores a 500 mm anuais (Silva *et al.*, 2010). A evapotranspiração potencial média pode chegar a 2.500 mm ano, nesses locais, gerando elevados déficits hídricos (Montenegro e Montenegro, 2012) e significativa oscilação na disponibilidade hídrica em superfície (PBMC, 2014).

A região semiárida do Nordeste brasileiro possui características, do ponto de vista climático, elevada variabilidade espacial e temporal de seus índices pluviométricos e períodos de estiagens, que geralmente acontecem em intervalos que podem modificar em torno de alguns anos a décadas. Os resultados, dessa modificação climática, acerca do ciclo hidrológico podem ser drásticos, ocasionando aumento da escassez hídrica e originando um aumento das áreas com elevado risco climático na região (Lacerda *et al.*, 2009).

Desde 2012, em distintas áreas brasileiras foram observadas estiagens e secas que acabaram lesando a oferta de água para o abastecimento urbano. Na região Nordeste, 78,5% das cidades decretaram situação de emergência entre 2003 e 2016. No Semiárido, região de

elevada escassez hídrica, em especial nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, foram exibidas recargas tão limitadas que diversos de seus reservatórios de abastecimento chegaram a secar (ANA, 2021). Estudos demonstram que o Nordeste brasileiro, poderá sofrer diminuição dos recursos hídricos devido às alterações climáticas (Kundzewicz *et al.*, 2007) corroborando o informe anual da Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020 da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) que coloca esta região como bastante vulnerável, representando, assim, as primeiras áreas a serem afetadas em condições de mudanças climáticas.

Nesse contexto, quanto à escassez hídrica, a região brasileira que mais sofre é a do Nordeste, devido às propriedades climáticas da região, principalmente no Semiárido, onde a disposição hídrica é majoritariamente baixa, quando se engloba a população local e o acontecimento de eventos climáticos extremos (seca) que são muito maiores quando comparados ao restante do país (Castro, 2022). No horizonte de 2035, prevalecem áreas com inferior segurança hídrica na região Nordeste, em que se constata o resultado do clima semiárido, qualificado por disponibilidade hídrica nula em ampla parte do tempo e extensa oscilação pluviométrica inter e intra-anual, com reflexos especialmente nos apontadores das dimensões ecossistêmica e de resiliência (ANA, 2019).

A crise hídrica no Brasil e sobretudo na região semiárida sempre foi uma realidade, entretanto, com o passar dos anos, observa-se um agravamento deste cenário devido ao crescente aumento populacional, as mudanças climáticas, e a ocorrência das secas. Unindo-se a esta condição, grande parte da água é utilizada sem racionalidade, desde o âmbito domiciliar, industrial e agrícola (Cirilo, 2015; Moccock *et al.* 2015; Santana *et al.*, 2019). Dessa forma, as incertezas relacionadas à disponibilidade de água destinada aos múltiplos usos tendem a ser superiores, prejudicando consideravelmente o planejamento destinado ao uso racional dos recursos hídricos (Medeiros *et al.*, 2011).

No Semiárido nordestino, a variabilidade climática, em especial a relacionada à seca, afeta as populações rurais do interior da região e, dessa forma, é buscado a atenção da sociedade e dos setores do governo, no decorrer dos anos (Marengo *et al.*, 2011). Diversas intervenções hídricas realizadas no Brasil acabaram não ofertando os resultados desejados, devido a, principalmente, falhas no planejamento, como infraestruturas hídricas com impactos no meio ambiente e reduzido retorno para a sociedade, reservatórios mal dimensionados e obras que não garantiriam o acesso a algumas populações, como exemplo a população rural dispersa. No Semiárido nordestino, essa população é bastante considerável, contudo, a maior parte dos projetos de infraestrutura hídrica efetivados ao longo da história ainda não solucionou a

dificuldade do acesso dessas pessoas à água. A despesa de implantação de um sistema de distribuição que atenda a essa população é bastante elevado em razão principalmente da sua extensão, logo, é notável que prováveis respostas para esse problema da segurança hídrica nas distintas áreas brasileiras, embora possuam características comuns, englobam diversos fatores específicos de uma região para outra (Castro, 2022).

Almeida *et al.* (2023) destacam que a participação social nos procedimentos de gestão ou governança é de extrema importância para elaboração, oferecimento, efetuação e análise de políticas públicas, tendo em vista que o cumprimento de políticas públicas voltadas para a convivência com o semiárido resultou em modificações na evolução rural desse território. Evidencia-se também a importância das políticas públicas de captação, manejo e gestão da água como o P1MC e P1+2 e políticas de educação contextualizada.

No decorrer dos anos também foram elaboradas diversas políticas públicas regionais, como exemplo, a construção de açudes, tanto em amplos reservatórios com capacidade plurianual, como em curtos reservatórios, também conhecidos como barreiros. Outra solução muito utilizada é a cisterna, que é essencial no atendimento das necessidades mais imprescindíveis da comunidade rural. A perfuração de poços vem sendo realizada durante os anos, onde é estimado que aproximadamente 100.000 poços já foram perfurados (Cirilo, 2010).

As características climáticas, pedológicas e hidrológicas concedem à região semiárida brasileira restrições destinadas à utilização regular dos recursos hídricos. Ainda que exista a predominância de um subsolo composto pelo embasamento cristalino, este apresenta fraturas, onde verificam-se deslocamento e armazenamento de águas subterrâneas, que, acabam sendo preservadas de agentes poluidores e da evaporação, o que beneficia na atividade de perfuração de poços, amplamente utilizada pela população do Semiárido (Bezerra *et al.*, 2019).

O Nordeste semiárido é constituído em sua maioria por formações cristalinas, e nessa situação a captação está exposta a reduzidas vazões e elevado teor de sais (Cirilo, 2010). No domínio fraturado do semiárido brasileiro, os poços construídos para exploração das águas nos aquíferos cristalinos apresentam condutividade elétrica média de 6,33 dS/m (Amorim *et al.*, 2004) e sólidos totais dissolvidos (STD) entre 1.000 e 15.000 mg/L (ANA, 2005).

Muitos moradores, sem opção, consomem a água com salinidade acima do limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde - OMS, que é de 500 ppm, utilizando-a também na atividade de irrigação das áreas cultivadas e na criação de animais. Logo, é imprescindível, um maior empenho e coerência na gestão recursos naturais em geral e da água, em especial, uma vez que, inúmeras comunidades rurais nordestinas, possuem como única fonte

de água o aquífero subterrâneo, que, em sua maioria, dispõe de águas salinas que necessitam de tratamento para torná-las potáveis (Bezerra *et al.*, 2019; Oliveira, 2016).

No Semiárido nordestino amplo desafio de convívio com a escassez de recursos hídricos é considerável, procurando-se a progressão de ações produtivas para impedir o êxodo rural, como também reduzir o quadro de pobreza do extenso contingente populacional situado na área (Montenegro *et al.*, 2005).

2.2 Disponibilidade e qualidade da água para fins de abastecimento

Em âmbito global, a capacidade per capita do armazenamento de água em reservatórios construídos está encurtando, tendo em vista que a ampliação dos reservatórios naturais não tem sido suficiente de seguir o aumento populacional e também em razão da capacidade de depositar água dos reservatórios recentes está diminuindo (UNESCO, 2021). Nesse contexto, a água tem provocado atenção especial não apenas aos órgãos internacionais e do poder público de cada país, como também, em larga ou pequena escala, da comunidade civil (Pahl-Wostl, 2002).

A Austrália passou por uma importante adequação, onde, visando evitar a escassez a solução foi investir na infraestrutura, a fim de evitar vazamentos e economizar, por meio de técnicas de tratamento e reúso da água. A China também passou por uma advertência de seca em seu Nordeste e para solucionar esse problema, foi desenvolvido um programa hídrico integrado de ações, sendo, duas fundamentais providências tomadas, a implantação de cisternas e um programa de selos de eficiência hídrica. Já na Califórnia, também houveram diversas secas. As ações para minimizar esse problema focaram na economia individual através do aumento das tarifas de água, multas de desperdício e também mudanças no paisagismo (CEBDS, 2018).

Água potável insegura, saneamento inseguro e deficiência de higiene permanecem destacando-se como contribuintes para a mortalidade global, acarretando aproximadamente 870.000 mortes em 2016, devido principalmente às doenças diarreicas ocasionadas por essas falhas (United Nations, 2018). Diversas implicações nasceram da crise do setor hídrico, entre elas se tem a provável guerra pela água, a água como procedência de doenças e o aumento de valor desse recurso. Mediante tais acontecimentos, as questões englobando os recursos hídricos são uma preocupação séria atual. A presente realidade requer o tratamento correspondente da problemática dos recursos hídricos e na superação da crise ambiental, agrupando-se uma recente ideia que exceda a camada individualista (Varella, 2012).

Nas últimas décadas, visando a garantia do acesso universal à água e esgotamento sanitário, as Nações Unidas e os referentes estados-membros, progrediram através de uma soma de políticas por meio dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), produzidos em 2015, como componente da Agenda 2030, conforme exibidos na Figura 2. Entre os objetivos, engloba-se O ODS 6 (Água potável e saneamento), o qual pretende certificar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento em âmbito internacional. O ODS 6 é de extrema importância para a sobrevivência do planeta e possui efeito direto em 9 dos 17 objetivos (1, 3, 5, 7, 10, 11, 13, 14 e 15). Em escala mundial, informações recentes apresentam um avanço na materialização do ODS 6, contudo, ainda é necessário trilhar uma extensa distância (Nações Unidas Brasil, 2020; Ferreira *et al.*, 2023).

Figura 2 - 17 ODS.



Fonte: Nações Unidas Brasil (2020).

Conforme o último relatório de evolução dos ODS publicado pela ONU (Organização das Nações Unidas) em 2023, em torno de 2,2 bilhões de pessoas permanecem sem acesso à água potável, abrangendo aproximadamente 703 milhões sem um serviço básico de água. Ainda, 3,5 bilhões de pessoas necessitam de saneamento, onde, 1,5 bilhão destas não possuem nem instalações sanitárias básicas. Em busca do alcance da cobertura universal até 2030, é indispensável triplicar ou acrescentar em pelo menos seis vezes as taxas atuais de desenvolvimento (Iberdrola, 2020). Conforme dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), em 2022, no Brasil, somente 56% da população possuía acesso à rede pública de esgotos, em que, o maior valor do índice se encontrava na macrorregião Sudeste (80,9%) e o menor, na macrorregião Norte (14,7%) (Brasil, 2023c).

A ONU e seus parceiros no Brasil estão batalhando em busca de alcançar os ODS, uma vez que são 17 objetivos ambiciosos e inter-relacionados que englobam os relevantes desafios de desenvolvimento confrontados por pessoas residentes no Brasil e no mundo (Nações Unidas Brasil, 2020). Entretanto, conforme o VII Relatório Luz sobre a Agenda 2030 no Brasil, lançado em 2023, o país não progrediu em 95,8% das 169 metas dos ODS, destacando que 102 metas (60,35%) estão em regressão, 14 (8,28%) em risco, 16 (9,46%) paradas, 29 com avanço insuficiente (17,1%) e apenas 3 (1,77%) com avanço aceitável (CSWG 2030A, 2023).

Dessa forma, para que esse contexto seja revertido, é indispensável que exista um maior investimento em políticas públicas de saneamento e saúde, em obras de tratamento de água e esgoto, e que essas medidas sejam realmente executadas (Cerezini e Castro, 2023). A política pública é caracterizada como um grupo de ações iniciadas pelo Estado com a intenção de atender a alguns campos da sociedade civil. As mesmas podem ser elaboradas em conjunto com organizações não governamentais, bem como, com a iniciativa privada (Castro, 2022).

O tema hídrico, situado como uma dificuldade a ser combatida pelo governo federal brasileiro desde a segunda metade do século XIX, foi instrumento de políticas públicas descontínuas em um seguimento de idas e vindas que já perdura a mais de um século (Castro, 2022). No Brasil, os compromissos da participação social nas políticas públicas possuem como marco a Constituição Federal de 1988 (CF/1988). Mais que uma soma de experimentos espalhados em áreas determinadas, a atuação vem atingindo modelos institucionais constantes e chegando aos mais diferentes setores de política pública (Avritzer, 2008).

Nesse contexto, surgiu no Brasil, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, aprovado através da Lei Federal nº 14.026/2020 (Brasil, 2020b), atualizando o marco legal do saneamento básico. Ele promoveu mudanças significativas na Lei Federal nº 11.445/2007, através da fixação de metas de expansão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Dentre as metas, foi previsto a universalização dos serviços públicos que garantam o atendimento de 99% da população com água potável e de 90% com coleta e tratamento de esgotos até a data de 31 de dezembro de 2033, bem como metas quantitativas de não intermitência do abastecimento, de diminuição de perdas e de avanço dos procedimentos de tratamento. Os contratos que se encontrarem em vigor e que não possuírem as metas terão até 31 de março de 2022 para possibilitar essa inserção (Brasil, 2020b).

Segundo Capanema (2022), o principal objetivo do Novo Marco Legal do Saneamento Básico é formar um meio normativo que beneficie a universalização do acesso ao saneamento básico. Dessa forma, a lei procura, incentivar investimentos privados no setor, principalmente ao proibir a assinatura de novos contratos sem a existência de prévia licitação e ao confiar à

ANA a função de alterar normas de referência e monitorar a regulação do setor, minimizando a heterogeneidade regulatória e ampliando a segurança jurídica, bem como viabilizando investimentos no setor.

Apesar da ANA ter recebido a função de proporcionar boas práticas de regulação no Novo Marco Legal do Saneamento Básico, essa etapa levará tempo. No decorrer desse período de transição, o desempenho dos financiadores, principalmente dos bancos públicos federais, deve colaborar para o progresso da regulação do setor ao verificarem os dispositivos legais e regulatórios em vigência. Assim, a atividade destes estruturadores de projeto, estabelece um significativo apoio aos estados e municípios na procura do melhor recurso para auxiliar na universalização dos serviços de saneamento (Capanema, 2022).

As providências a serem oferecidas pelos agentes no Novo Marco Legal do Saneamento Básico para que os contratos de programa possam ser aditados, visando a incorporação das novas metas de universalização e garantia da monitoração do equilíbrio econômico-financeiro, precisam almejar resultados que satisfaçam o interesse público, através de uma prestação apropriada e eficaz dos serviços públicos de água e esgoto. As metas de universalização são exigentes, principalmente porque há municípios que não têm redes de esgoto, e o tempo é reduzido, uma vez que as metas devem ser adicionadas até o primeiro trimestre de 2022 para o seu atendimento até 2033. Sendo assim, é de extrema importância a existência de ações e decisões ágeis, a partir também de estudos, para que os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário tornem-se universalizados e a população não fique desamparada, sem acesso a serviços públicos essenciais e que cuidam dos direitos fundamentais (Puschel; Munck; Lahoz, 2023).

As políticas públicas de saneamento são, de modo multidimensional, metodologias, socioeconômicas e culturais, essencialmente como de saúde pública, possuindo como objetivo o alcance de níveis progressivos de salubridade ambiental. Contudo, existem singularidades na provisão de serviços apropriados às populações rurais, em virtude de condicionantes característicos como o isolamento político e geográfico das regiões e seu afastamento das sedes municipais, a limitação financeira ou de pessoal, a carência de estratégias que estimulem a participação social e a inexistência ou carência de políticas públicas de saneamento rural. Entretanto, esses impedimentos não podem justificar a insuficiente ação ou a inação do Estado, contudo, há que se reconhecer as melhorias históricas (Brasil, 2019).

Entre meados da década de 1980 com o Projeto Nacional de Saneamento Rural e no início dos anos 1990 com o Programa de Saneamento Rural - ProRural, existiu uma inédita busca de estipulação de diretrizes nacionais, visando dirigir estados e municípios em seu

delineamento de ações de saneamento em áreas rurais. Entretanto, destacaram-se como esforços pontuais, de pequena proporção e estreita duração, logo, com a precisão de retificar este déficit histórico, o Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB, foi publicado em 2013, e previu a elaboração do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) (Brasil, 2019).

O PNSR, com atuação nas esferas estaduais e municipais, está pautado na matéria da Lei Federal nº 11.445/2007 (atualizada pelo Novo Marco Legal do Saneamento Básico - Lei nº 14.026/2020). Ele avançou na argumentação e materialização de um conceito rural, direcionador do planejamento em saneamento no Brasil e no entendimento de dificuldades que vêm causando a falta de resultados sanitários adequadas à população rural brasileira, apresentando, como uma das diretrizes a garantia de formas apropriadas para a assistência da população rural dispersa, desde a utilização de recursos pertinentes com suas propriedades socioeconômicas. As metas do PNSR, amparadas pelos seus marcos referenciais, princípios, finalidades e estratégias, foram constituídas prevendo-se esferas de curto, médio e longo prazos, em um intervalo de tempo de 20 anos, de 2019 a 2038 (Brasil, 2019). Logo, é possível afirmar que o programa consistiu no estabelecimento de uma tipologia de ruralidades para dirigir a concepção de matrizes tecnológicas para o saneamento (Senna; Pereira; Rezende, 2023).

A segurança hídrica global é capaz de servir como um direcionamento para guiar as decisões políticas no desenvolvimento sustentável, sobretudo quanto ao acesso à água potável e saneamento (Irannezhad *et al.*, 2022). Sadoff *et al.* (2015), Hoekstra, Buurman e Ginkel (2018) e WaterAid (2020) destacam a segurança hídrica como o estabelecimento de riscos admissíveis referentes à água. WWC (2018) a qualifica como a representação da garantia de água com qualidade e quantidade satisfatória para as precisões humanas fundamentais da vida cotidiana, alimentação, educação e saúde, e principalmente a possibilidade que a água retorne com segurança à natureza, enquanto, WaterAid (2020) destaca também que a mesma está intimamente envolvida à gestão apropriada dos recursos hídricos. Na Europa, foi realizada uma avaliação inicial a respeito da segurança hídrica em 15 países europeus. Os resultados do apontaram que a Dinamarca, o Reino Unido e a Finlândia tomam as melhores colocações no ranking, onde, estes países apresentaram uma excelente performance em segurança hídrica quando comparado aos outros países em estudo (Castro-Pardo; Martínez; Zabaleta, 2022).

As condições de desequilíbrio de balanço hídrico, acompanhadas da falta de programação e ações institucionais estruturadas e de investimentos em infraestrutura hídrica e saneamento, acabam originando panoramas de insegurança hídrica, em que, para reverter esse quadro, é necessário o estabelecimento de infraestrutura hídrica e o aprimoramento da gestão de recursos hídricos. Nessa circunstância, a ANA desenvolveu, em colaboração com o

Ministério do Desenvolvimento Regional, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), alinhado com a ideia internacional de Segurança Hídrica, e com as intervenções escolhidas através de estudo criterioso quanto à sua importância, prioridade e efeito sobre as adversidades fundamentais de segurança hídrica do País (ANA, 2019).

O Governo Federal iniciou em 2012, a elaboração do PNSH, e depois de cerca de sete anos em preparação, apresentou-o em 2019. Dessa forma, o conceito de segurança hídrica passou a alcançar mais força na manifestação de instituições governamentais e no ambiente político como resposta às dificuldades ocasionadas pela falta de água (Castro, 2022). A segurança hídrica é um estado fundamental para o desenvolvimento social e econômico, principalmente devido aos impactos ocasionados pelos eventos hidrológicos extremos sucedidos na atual década no Brasil, especialmente na região do semiárido brasileiro. A introdução do tema segurança hídrica fortifica a estrutura institucional para programação, execução, operação e conservação da infraestrutura hídrica estratégica para o País (ANA, 2019). Desse modo, o PNSH lida com a segurança hídrica, integrante de uma dificuldade desigual para cada região brasileira, em que, é necessário a análise de soluções particulares para cada uma das áreas (Castro, 2022).

O armazenamento em épocas de fartura é imprescindível para os tempos de escassez, onde, essa máxima se utiliza plenamente no Semiárido, uma vez que, nessa região a água da chuva tem sido reservada para o uso de pessoas, animais e plantas. Nesse contexto, possuir água constitui segurança hídrica e também segurança alimentar e nutricional, tendo em vista que a água pluvial retida se adequa igualmente para a produção de alimentos e sementes (ASA, 2021b).

O Programa Cisternas, no Brasil, iniciou a sua execução em 2003, operando intensamente no Semiárido brasileiro, e posteriormente ampliando sua atuação para outras regiões do Nordeste e atuando também em outros biomas, como o amazônico. Ao longo de 20 anos, foram construídas mais de 1,14 milhões de cisternas no país, onde, até 2016 foram entregues mais de 1 milhão de reservatórios (Brasil, 2023a).

Dessa forma, também se destacam como programas e políticas públicas de combate à seca: o Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) e o Programa Cisternas nas Escolas. A partir deles foi iniciada a introdução de estruturas de reservatórios de forma que as águas fossem armazenadas e distribuídas para o uso geral (Macêdo, 2022). Através do armazenamento da água da chuva em cisternas, as famílias que moram na zona rural terão a água potável mais próxima, logo, não será mais necessário a locomoção de grandes distâncias em busca de água (ASA, 2015).

Em meados de 2000, a ASA (Articulação Semiárido Brasileiro) desenvolveu um programa, em busca do atendimento da insuficiência básica da população que reside no campo, a água. Dessa forma, com esse objetivo nasceu o P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas), que buscava aprimorar a vida das famílias da região Semiárida do Brasil, assegurando o acesso à água de qualidade para o consumo. A prática do P1MC mostra um direcionamento para a constituição das políticas públicas, uma vez que exprime uma ação que surge da estruturação de experiências locais e da mobilização da sociedade civil para indicar uma política eficaz e inclusiva para o Semiárido (ASA, 2015). A ASA Brasil elaborou mais dois programas seguintes ao P1MC: o Programa 1 Terra, 2 Águas (P1+2), que presume a água para produção, promovendo a economia local e o Programa Cisternas nas Escolas, com a finalidade de assegurar água para a correspondente atividade das unidades de ensino no semiárido. A constituição destes programas evidencia o seu fortalecimento na região (Medeiros e Silveira, 2021).

O P1+2 foi criado pela ASA em 2007, com o propósito de assegurar o acesso à terra e à água das famílias, comunidades rurais e populações comuns, visando atender às demandas tanto para consumo da família como dos plantios e da pecuária. Também conhecido como programa-guarda-chuva, até 2021 através dele já havia sido construído 104.113 tecnologias que armazenam água destinadas à produção de alimentos (ASA, 2021b).

O Projeto Cisternas nas Escolas possui como finalidade levar água para as escolas rurais do Semiárido, por meio do uso de cisternas com capacidade de 52 mil litros como metodologia social para depósito da água de chuva. O projeto envolve escolas de nove estados situados no Semiárido (PE, PB, AL, SE, BA, CE, RN, PI e MG) que não possuem acesso à água, às quais foram esquematizadas pelo Governo Federal. Até 2021 esse programa já havia construído 7.186 cisternas com volume de armazenamento de 30 ou 52 mil litros em escolas. A chegada da água na escola apresenta um significado excepcional, uma vez que permite o integral funcionamento deste espaço de estudos e convivência até nas épocas de maiores secas (ASA, 2021a).

Em estudo de Medeiros e Silveira (2021), os mesmos destacam que o P1MC se qualifica como um programa de inovação social institucionalizada, no qual existe a atuação eficaz de agentes sociais, organizacionais e institucionais. Contudo, é necessário que exista o envolvimento entre estes atores para que seja possível dar seguimento a esta política social, aumentando sua expansão e concretização de seus resultados fundamentais. O progresso almejado do P1MC é diretamente relacionado às novas práticas sociais ajustadas e novas parcerias que possibilitem a manifestação entre os agentes fomentadores, unidades executoras e beneficiários. A respeito também do P1MC, Henig (2023) destacou que os efeitos se

mostraram satisfatórios, contudo, conseguiriam ter sido mais efetivos se as ações políticas não colidissem com a burocracia estatal e as curvas de interesse dos agentes executores das políticas.

Macêdo (2022) analisou os efeitos do papel das políticas públicas P1MC e P1+2 em comunidades no Semiárido pernambucano na convivência com a seca, os quais foram avaliados conforme relatos de moradores que expõem a função pertinente das tecnologias sociais no seu dia a dia. Os relatos obtidos indicaram que a implementação dos programas colaborou positivamente no bem-estar destas pessoas, contudo, essas políticas ainda não responderam a toda a população rural do semiárido Pernambucano, uma vez que ainda se faz indispensável vontade política e maiores investimentos para que englobe toda a localidade.

Vieira *et al.* (2022) avaliaram os efeitos alcançados pelo Programa Cisternas nas Escolas nos vales do Jequitinhonha e do Mucuri em Minas Gerais, onde, posteriormente à coleta e avaliação das informações, conferiu que o Programa cumpre o seu objetivo, sendo de forma total bem avaliado pelos representantes das escolas beneficiadas, que, em sua maior parte, manifestaram-se satisfeitos com a cisterna e seu efeito na vida dos alunos. Contudo, algumas unidades não estavam sendo usadas devido à desativação da escola ou por adversidades estruturais que impossibilitaram o seu funcionamento. Logo, é necessário que sejam estudadas providências que impeçam ou ajudem na resolução de problemas estruturais, com vazamentos, na bomba de água, no encanamento e no sistema de captação e de escoamento da água das chuvas.

Em 2023, com investimento em torno de R\$ 562 milhões, o Governo Federal retomou o Programa Cisternas, através do lançamento de dois editais, um para contratação de cisternas de consumo e produção de alimentos na região do semiárido e outro para sistemas individuais de alcance à água na Amazônia, ajudando assim aproximadamente 60 mil famílias. Desde 2017, o programa havia sofrido elevada diminuição de sua capacidade, onde, foram entregues, somente 4,3 mil unidades no ano de 2021 e 5,9 mil em 2022. Por outro lado, no ano de 2014 foram instaladas mais de 149 mil cisternas e em 2013 cerca de 142 mil (Brasil, 2023a).

Também como alternativa para a escassez da água, destaca-se a Operação Carro-Pipa (OCP), iniciada a partir de 2012, pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), representado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), em parceria com o Ministério da Defesa/Exército (MD). Ela foi criada com o propósito de ajudar nas ações da Defesa Civil Municipais, através de atuações integrantes de suporte às atividades de distribuição de água potável às comunidades principalmente rurais atingidas por estiagem e seca na região do semiárido brasileiro. A princípio, a operação ocorria em períodos de seca e estiagem

prolongada, contudo, constatou-se a precisão da operação ser contínua, tendo em vista a severidade deste período (MD, 2023). Em 2023, a população atendida de Pernambuco pela OCP era de 476.925 pessoas, em 88 municípios, através de 915 carros-pipa (SEDEC, 2023).

Para minimizar a demanda e as despesas das aquisições dos carros-pipa, o MDR também desenvolveu 18 projetos-pilotos para compor o PAD em áreas com populações rurais situadas no Nordeste. Os sistemas dessalinizadores já implantados serão otimizados e novos mananciais serão gerados para abastecimento de comunidades rurais, valendo-se de poços existentes que se apresentam subutilizados ou abandonados. Os novos mananciais diminuirão os percursos dos carros-pipa e, como efeito poderão reduzir em até 74,5% o custo operacional da OCP, garantindo, ainda, o abastecimento perene de regiões rurais. Os 18 projetos serão executados nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, e beneficiarão cerca de 72,1 mil pessoas (Brasil, 2022a).

O sucessivo crescimento da escassez dos recursos hídricos, principalmente superficiais, incentiva estudos acerca das análises da demanda por esse recurso, especialmente com vistas a proposta de habilidades poupadoras (Schmitz e Bittencourt, 2017). Dessa forma, pesquisadores têm estudado maneiras de suprir a demanda de água a partir do emprego de técnicas como a exploração de água subterrânea (Adagunodo *et al.*, 2018; Oyeyemi *et al.*, 2018; Kouadio *et al.*, 2020); dessalinização (Grueso-Dominguez *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2020; Stein *et al.*, 2020; Altmann; 2021; Bejjanki *et al.*, 2021; Blazyte *et al.*, 2021; Moharram *et al.*, 2021); captação e uso de águas pluviais (Catulé *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2020), reúso (Barbosa; Tavares; Navoni, 2019; Oliveira *et al.*, 2020b; Silva *et al.*, 2020a) e preservação das águas doces superficiais (Gallego-Elvira *et al.*, 2010; Haas *et al.*, 2020; Lopes *et al.*, 2020). Estudos de alternativas para a escassez da água vêm sendo realizados em diversos países. No Brasil, especialmente na região Nordeste (Ferreira *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2020b), mas também em outras regiões brasileiras como Minas Gerais (Catulé *et al.*, 2018).

Catulé *et al.* (2018) realizaram um estudo de verificação da viabilidade de captação e uso de água da chuva no município de Teófilo Otoni – MG, uma vez que tem se impulsionado o racionamento de água e a procura de saídas alternativas para a escassez hídrica em razão do cuidado com a redução das reservas, logo, dentre diversas fontes mais estudadas como opções, estão a captação e aproveitamento das águas pluviais, e a reutilização das águas servidas.

Barbosa; Tavares e Navoni (2019) caracterizaram e analisaram o potencial da água produzida como alternativa para reutilização, e, nesse contexto, também em busca da mitigação da escassez hídrica e o fomento da agricultura, Oliveira *et al.* (2020b) realizaram um estudo de caso em Arapiraca, no Nordeste do Brasil, acerca do reúso do esgoto tratado para fins agrícolas.

Silva *et al.* (2020b) estudaram a viabilidade da implantação de sistema de reúso de águas cinzas e pluviais em empreendimento público, e alcançaram uma economia de 42,7% do consumo total de água potável do empreendimento. Paula e Fernandes (2018), visando otimizar o tratamento da água cinza, associaram os coagulantes químicos sulfato de alumínio e cloreto férrico para possibilitar a reutilização da água tratada.

A política de reservação de água através de açudes, é típica fonte de água das comunidades da região semiárida brasileira, entretanto, devido aos altos índices de evaporação, trazem sério problema à política de acumulação de água superficial da região (Cirilo *et al.*, 2003; Moccock *et al.*, 2015; Santana *et al.*, 2019). Logo, destacam-se as águas subterrâneas, como formas naturais de reservação dos aquíferos, apresentando-se assim como alternativa viável para garantir o acesso à água pela população. Contudo, estas fontes hídricas propiciam, em sua maior parte, restrições acerca de sua utilização para consumo humano por apresentarem elevados teores de salinidade a depender do local onde se situam (Neves *et al.*, 2017).

2.3 Águas subterrâneas e a salinidade

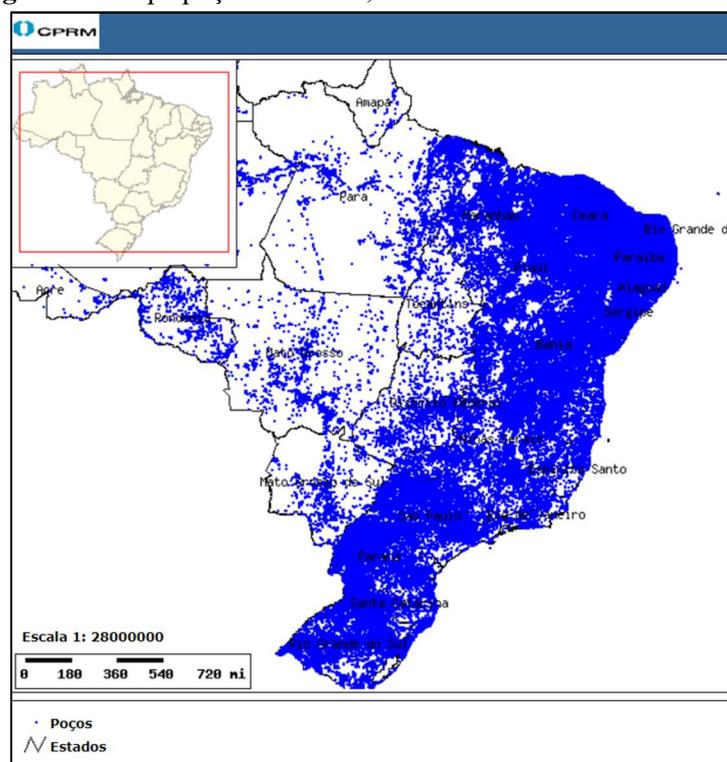
Com a escassez das águas superficiais, a utilização de águas subterrâneas tem aumentado de forma bastante gradativa em todo mundo. É estimado que 300 milhões de poços foram perfurados no mundo no decorrer das três últimas décadas. Todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, usam a água subterrânea buscando atender suas necessidades. Na Europa, por exemplo, 75% de sua população é abastecida com água do subsolo, e, já em países como Suécia, Holanda e Bélgica essa quantidade vem se aproximando dos 90% (Silva; Araújo; Souza, 2007; Medeiros *et al.*, 2011; Oster *et al.*, 2012). Em momentos de escassez, os usuários, sobretudo do meio rural, buscam o acesso à água por meio da exploração das águas subterrâneas.

A disponibilidade de água subterrânea do Brasil é avaliada em aproximadamente 13.205 m³/s e, de forma similar às águas superficiais, sua distribuição e propriedades hidrogeológicas e de produtividade não são uniformes, acarretando em regiões de carência e outras de abundância (ANA, 2023). Diversas atividades econômicas usam as águas subterrâneas para atender suas necessidades pelo país, sendo a sua utilização distribuída entre atividade doméstica (30%), agropecuária (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), sendo que o destino da água é na grande maioria diversificado para o fornecimento de serviços urbanos (Hirata *et al.*, 2019).

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas ainda é bastante incipiente no Brasil, quando comparado ao das águas superficiais. O CPRM (antiga Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e atual Serviço Geológico do Brasil) implantou a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), visando acompanhar as alterações espaciais e temporais quali-quantitativas das águas nos principais aquíferos a nível nacional. Em 2021, a RIMAS apresentava 409 pontos de monitoramento, espalhados em 24 aquíferos em 20 UFs. Os volumes extraídos pelas captações subterrâneas ou poços possibilitam analisar a quantidade de disponibilidade hídrica subterrânea que está sendo retirada. Em 2021, um total de 347.095 poços estavam registrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do CPRM, um acréscimo de 5% quando comparado ao ano de 2020 (ANA, 2023).

A Figura 3 exibe um mapa com os poços cadastrados no Brasil, independentemente de seu estado atual, se em uso, desativado ou abandonado. Conforme exibido, a região Nordeste apresenta elevada instalação de poços, onde, destaca-se também o Estado de Pernambuco com 43.209 poços cadastrados segundo dados coletados através do CPRM no SIAGAS (CPRM, 2023).

Figura 3 - Mapa poços no Brasil, cadastrados no sistema SIAGAS.



Fonte: CPRM (2023).

As propriedades químicas das águas subterrâneas espelham os meios por onde percolam, conservando uma estreita relação com as categorias de rochas drenadas e com os

resultados das atividades humanas alcançadas no decorrer de sua trajetória, logo, a maior parte dos poços perfurados no semiárido do Nordeste brasileiro possuem elevado teor de sais (Cartaxo *et al.*, 2006).

De acordo com a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) - resolução para enquadramento de corpos hídricos -, as águas podem ser categorizadas conforme o teor de sais. A água doce necessita ter salinidade igual ou inferior a 5‰, enquanto a água salobra deve possuir salinidade intermediária, variando entre 5‰ e 30‰. A salinidade é o termo utilizado para detalhar a quantidade de sais presentes em uma amostra de água, onde, é habitualmente medida em termos de STD, em miligramas de sólidos por litro (mg/L). Dessa forma, pode-se considerar que a água salobra é uma combinação de água doce com água salgada.

A relevância da concentração de sais dissolvidos na água pode influenciar de forma direta ou indiretamente alguns de seus usos múltiplos, chegando até, a inviabilizar seu consumo (ANA, 2005). Em diversas comunidades rurais do semiárido, a fonte de água disponível é o aquífero subterrâneo, onde, sem escolha, muitos consomem a água com salinidade acima do limite de potabilidade recomendado pela OMS, que é de 500 ppm (Silva *et al.*, 2017).

Os corpos hídricos podem ter suas características de salinidade modificadas pelos processos de evaporação (Cartwright; Gilfedder; Hofmann, 2013; Rajmohan; Masoud; Niyazi, 2021), intemperismo mineral (Gamboa *et al.*, 2019), trocas iônicas (Rajmohan; Al-Futaisi; Al-Touqi, 2009), intrusões de água salina (Han *et al.*, 2011), fatores antropológicos, despejo e contaminação por resíduos (Mondal e Singh, 2011), atividades agrícolas (Ziadi; Hariga; Tarhouni, 2019), entre outros fatores.

A qualidade da água subterrânea é caracterizada, especialmente, como produto da interação água-rocha (Mazumder *et al.*, 2014), onde a natureza e a taxa de intemperismo das rochas na área de captação controlam as concentrações de elementos principais e também traços na água que influi em sedimentos nos estuários e lagoas (Angeli *et al.*, 2019). Tan *et al.* (2020) destacam o processo de intemperismo como uma das possíveis origens da salinização em águas subterrâneas, que pode influenciar a crescente demanda por água doce. Além disso, a qualidade da água será influenciada pelas frações de água que percolarem as diversas rochas que sofrem o intemperismo, ou seja, as características das rochas irão influenciar em sua composição final.

A evaporação também foi reconhecida como um importante mecanismo para fluxo de água subterrânea e transporte de soluto associado, de acordo com Geng e Boufadel (2015). Em áreas semiáridas a evaporação é um dos principais fatores que controlam a salinidade da água subterrânea e do solo, juntamente com a dissolução mineral e transpiração (Liu *et al.*, 2013).

De acordo com Hocking e Dyson (2006), a evaporação das águas subterrâneas aumenta exponencialmente com a proximidade da superfície do solo, e pode ser de 30% a 80% da evaporação de referência. A evaporação na superfície do solo faz com que a água ascenda neste meio, assim, quando essa água evapora, sua carga de sal se precipita, formando uma crosta de sal espessa que pode se acumular na superfície do solo. Além disso, o acúmulo de sal próximo à superfície do solo faz com que a água próxima à esta superfície se torne mais salina e, portanto, mais densa do que abaixo dela, desta forma, pode ocorrer o deslocamento de sal e a redistribuição de água salina no solo profundo, podendo contaminar o aquífero (Il'ichev *et al.*, 2008).

As águas subterrâneas são uma opção viável para assegurar o acesso à água das populações rurais do Nordeste, entretanto, estas fontes hídricas proporcionam, em sua maioria, restrições de utilização para consumo humano por possuírem elevados teores de salinidade (Neves *et al.*, 2017). As elevadas pressões pelo recurso, as dificuldades ambientais e a carência de água doce em diversas populações do planeta, solicitam tratamento avançado para águas salobras, que possibilitem o acesso à água potável para reduzidos e extensos núcleos populacionais (Grueso-Dominguez *et al.*, 2019). Logo, segundo Oliveira (2016), são necessários sistemas de dessalinização para oferta de água de boa qualidade oriunda de poços tubulares, uma vez que a presente técnica se demonstra como uma das soluções para a população adiar ou vencer a escassez da água, tendo em vista que já é uma situação real em diversas regiões do planeta.

Após tratamento através do dessalinizador, a água subterrânea converte-se em potável, apresentando isenção de impurezas e bactérias, e atendendo aos parâmetros regidos pela Resolução 396/2008 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e condições e padrões de qualidade das águas (Neves *et al.*, 2017).

Para os sistemas convencionais, a dessalinização de água salobra custa aproximadamente a metade, quando comparada com o custo da dessalinização da água do mar. Quando se utilizam fontes de energia renováveis, o custo é bem mais elevado, podendo em alguns casos atingir cerca de 10 vezes mais o seu valor, tendo em vista que a energia para os sistemas de abastecimento se torna mais cara. Entretanto, este custo acaba sendo compensado em virtude dos benefícios ambientais ofertado (Laranjeira, 2010).

No Semiárido brasileiro prevalece o embasamento cristalino com poços de água salobra, logo, a metodologia de dessalinização se apresenta como possibilidade da sua potabilização, uma vez que é uma tecnologia viável, que possui o objetivo de impedir e/ou minimizar as crises

de águas de boa qualidade, assim como o beneficiamento do potencial hídrico nas regiões do semiárido que se deparam com a água sem condições de utilização (Oliveira, 2016). Nesse cenário, como forma de minimizar a carência de recursos hídricos no Semiárido brasileiro, os Governos Federal e Estaduais do Brasil têm procurado investir em equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas, com o objetivo de geração de água doce para abastecer comunidades mais afastadas dos centros urbanos no Nordeste (Oliveira, 2016).

2.4 Sistemas de dessalinização

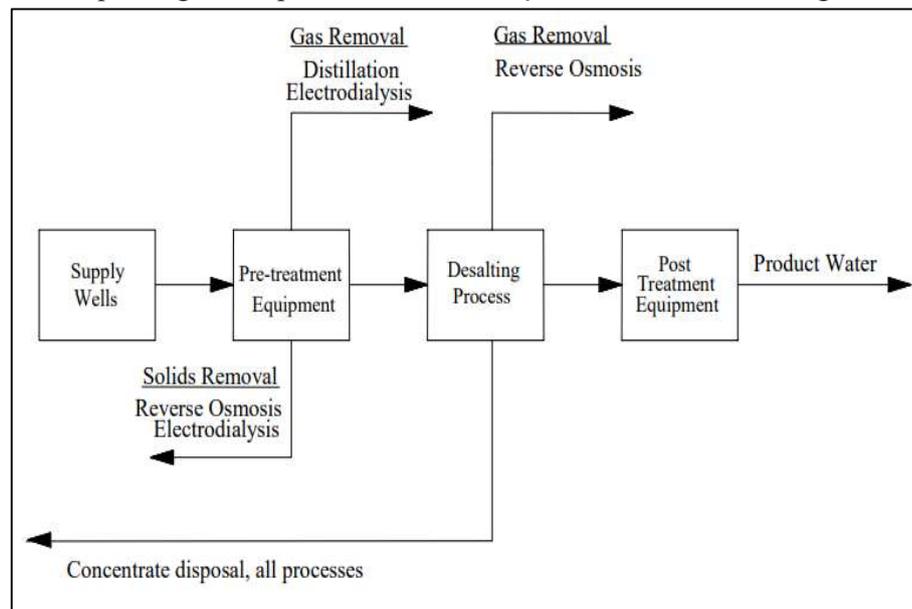
Na busca da amenização do problema da escassez de água, diversos países vêm investindo no processo de dessalinização. Ele é um procedimento físico-químico, que engloba duas tecnologias: os processos de destilação térmica e os que utilizam filtração com membranas. Ambas as metodologias possuem como objetivo a redução da quantidade de sais presentes na água bruta (Fracasso e Moraes, 2020), sobretudo nas águas subterrâneas, transformando-as em uma água de boa qualidade e aproveitável para a população (Moura *et al.*, 2008).

A maior parte dos sistemas de dessalinização encontram-se em países de alta renda, retratando em média 71% da capacidade global de dessalinização, enquanto, poucas usinas de dessalinização estão estabelecidas em países de baixa renda, reproduzindo uma quantidade menor que 0,1%. Aproximadamente metade da capacidade global de dessalinização está situada na região do Oriente Médio e Norte de África (MENA), representando 48%, com a Arábia Saudita (15,5%), Emirados Árabes Unidos (10,1%) e Kuwait (3,7%), destacando-se como os produtores principais da região e também mundialmente. Grandes potências econômicas como a China e EUA também apresentam grandes capacidades de respectivamente 7,5% e 11,2% (Jones *et al.*, 2019). Na região do MENA, embora existam investimentos financeiros consideráveis, terras costeiras preciosas e energia, a água dessalinizada também acabou se tornando uma fonte de água imprescindível em virtude da aridez e do elevado consumo de água da região (Barau e Al Hosani, 2015; Heck *et al.*, 2017).

Segundo Guerreiro (2009), a partir do nível de retirada de sais, a água dessalinizada pode ser designada ao abastecimento humano, à dessedentação de animais, à irrigação ou aos empregos industriais. O dimensionamento de um sistema de dessalinização varia conforme a finalidade da utilização da água, da concentração de sais da água bruta e de taxas de vazão da fonte de água bruta. A recuperação do volume de água salinizada pode alterar de 35%, em relação a água do mar, a aproximadamente 80%, considerando a água salobra.

O esquema geral do método utilizado para dessalinizar a partir do abastecimento de água bruta retirada do lençol freático é demonstrado na Figura 4 (Watson; Morin; Henthorne, 2003). A utilização de dessalinizadores têm ganhado cada vez mais frequência, uma vez que as medidas convencionais de obtenção de água não têm sido suficientes para suprir o consumo humano, sobretudo, no período da estiagem (Mocock *et al.*, 2015). O processo traduz-se numa maneira de tratamento de água que está em forte extensão e com um futuro promissor. Parte da ampliação estimada deve-se principalmente ao extenso avanço nas metodologias de dessalinização, cada vez mais eficientes, que possibilitam uma minimização acentuada do valor do metro cúbico de água tratada. Outra razão para o crescimento dessa técnica deve-se à contínua carência de se descobrir fontes alternativas de água em razão da poluição ou escassez de água doce, cada vez mais extremas (Guerreiro, 2009).

Figura 4 - Esquema geral da planta de dessalinização – abastecimento de água subterrânea.



Fonte: Watson, Morin e Henthorne (2003).

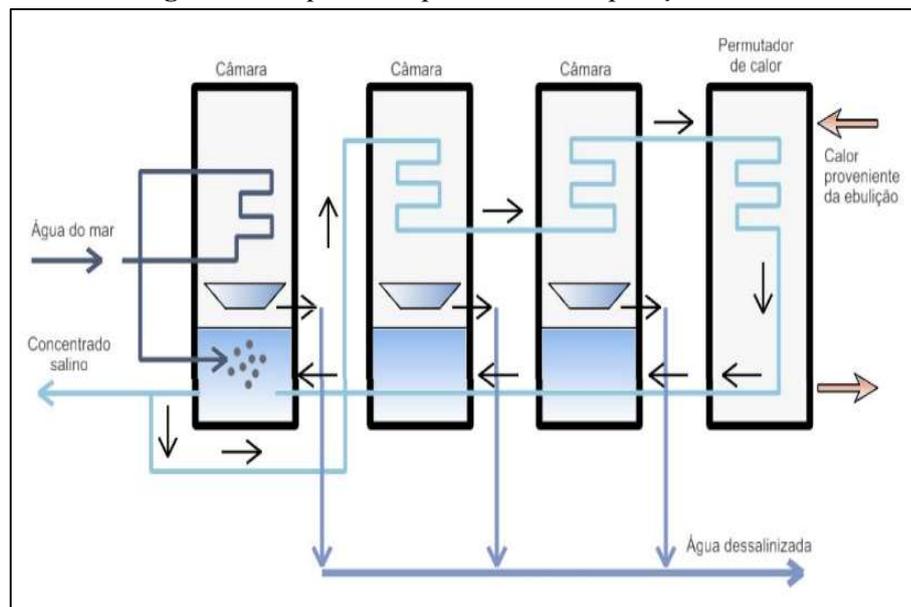
Muitos municípios recorrem a abastecimentos emergenciais, após terem esgotado soluções alternativas como a perfuração de poços. Logo, mesmo com a técnica de dessalinização se destacando como tratamento das águas subterrâneas salobras em busca de sua potabilidade (ANA, 2020), é importante que o sistema não seja a única fonte de água para as comunidades (Pimentel da Silva e Sharqawy, 2020). O que distingue os diversos dessalinizadores disponíveis no mercado são as qualidades dos materiais neles utilizados, a tecnologia de produção, o grau de automação associada e o modelo adotado (Moura *et al.*, 2008).

2.4.1 Tipos de dessalinizadores

Os métodos de dessalinização são subdivididos em dois subgrupos: os processos térmicos e os processos por membranas. Entre alguns dos processos de dessalinização térmica estão a Destilação de Múltiplos Efeitos Flash (DMEF), a Destilação de Múltiplos Efeitos (DME) e a Destilação por Compressão de Vapor (CV). Quanto aos processos de dessalinização por membranas, destaca-se a Osmose Reversa (OR) e a Eletrodialise (ED) (Ghaffour; Missimer; Amy, 2013).

A dessalinização de água pelo processo DMEF (Figura 5) envolve o aquecimento da salmoura seguido de destilação em flash de múltiplos estágios e posterior recuperação de calor, onde, neste método a água aquecida é direcionada para tanques com pressão decrescente e atinge um ponto de baixa pressão que ocasiona a sua evaporação repentina (Khoshgoftar Manesh *et al.*, 2020).

Figura 5 - Esquema do processo de evaporação DMEF.

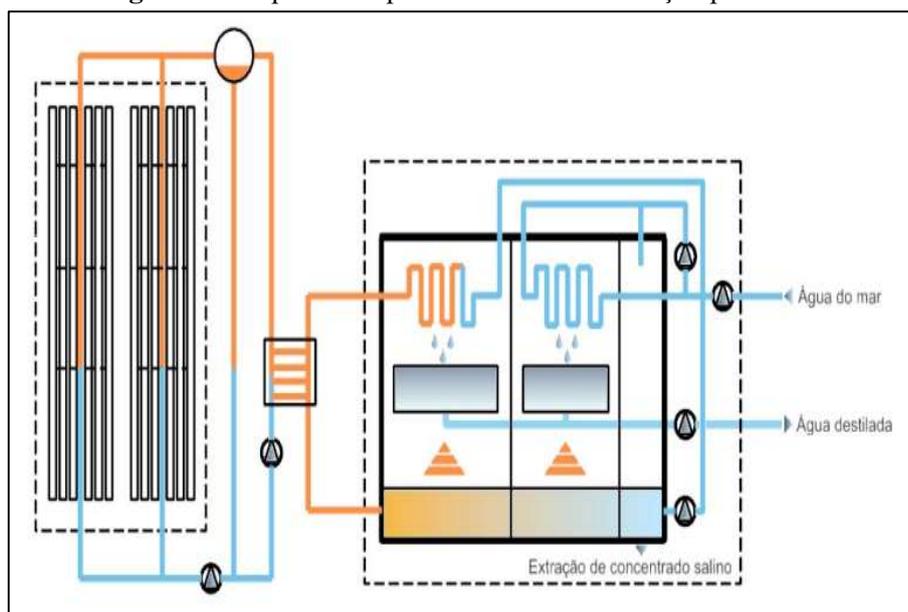


Fonte: Araújo (2013).

A técnica DMEF é preferível para usinas de dessalinização de água do mar em grande escala, uma vez que a ingestão de água do mar é aproximadamente o dobro quando comparado ao método OR (Al-Mutaz, 1996), entretanto, o processo apresenta desvantagens como maiores custos de energia térmica, eletricidade e outras despesas de capital maiores do que a dessalinização do tipo por membrana para a produção de água (Dincer e Dincer, 2018; Napoli e Rioux, 2016).

Já o processo de DME, segundo Warsinger *et al.* (2015), apresenta como base um sistema de destilação e dessalinização de múltiplos efeitos com vaporização, onde cada unidade de destilação possui diversos efeitos e um condensador. Entretanto, nesse método, o vapor passa pelo efeito subsequente (menos quente) através da troca de calor, e em seguida, passa por uma caixa instantânea para condensar o destilado puro. A Figura 6 demonstra o esquema da metodologia de DME.

Figura 6 - Esquema do processo de dessalinização por DME.



Fonte: Araújo (2013).

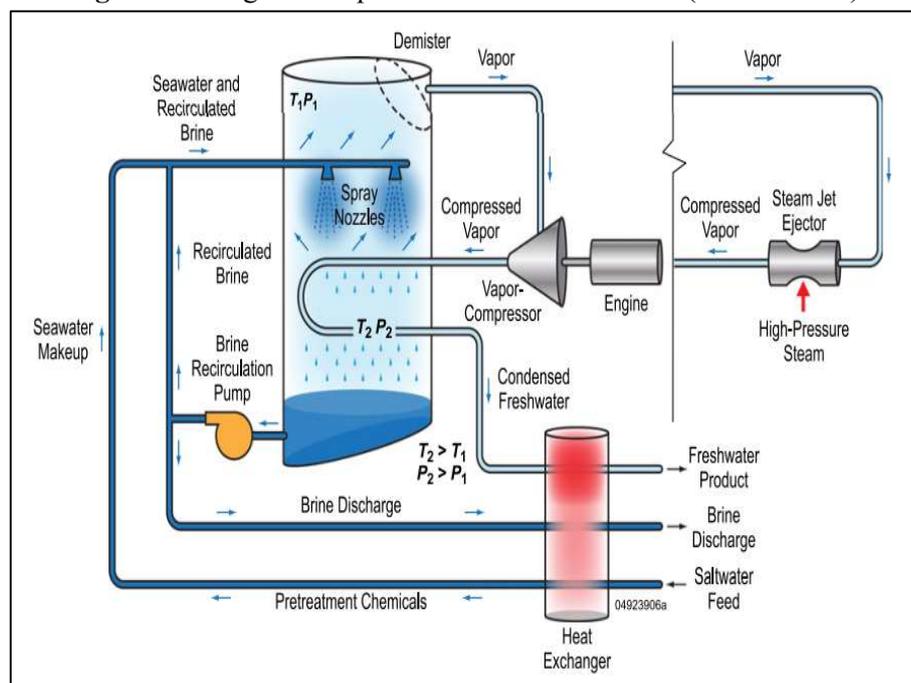
No DME, uma série de efeitos de evaporador fornece água a pressões sucessivamente rapidamente mais reduzidas. Como a água entra em ebulição em temperaturas mais baixas conforme a pressão reduz, o vapor de água do primeiro efeito do evaporador serve como meio de aquecimento para o segundo efeito do evaporador e assim sucessivamente, logo, quanto mais efeitos, superior será a taxa de desempenho (Watson; Morin; Henthorne, 2003). Napoli e Rioux (2016) destacam o DME como um processo de destilação para separar a água doce do sal e outras impurezas, onde, por meio da dessalinização térmica pode utilizar o calor residual de usinas de cogeração de energia, possibilitando que as necessidades de água e energia sejam atendidas simultaneamente de um utilitário.

Fracasso e Moraes (2020) demonstraram resultados satisfatórios e com benefícios econômicos, a instalação de uma planta de dessalinização de 15.000 m³/dia de água por evaporação em múltiplo efeito, com cogeração de energia, a partir de biomassa de florestas de eucalipto, plantadas perto da planta de dessalinização. Os resultados obtidos demonstraram o

retorno do investimento ao longo dos anos, além do uso da biomassa como combustível sustentável ambientalmente. Para Napoli e Rioux (2016) a técnica de DME é preferível particularmente em ambientes altamente salinos, como o mar, uma vez que na dessalinização por membrana a água passa por duas ou três membranas antes que seu conteúdo de sal seja completamente removido, enquanto no DME, o processo é mais rápido. Em comparação com o DMEF, o DME possui consumo de energia e custos operacionais e de capital mais baixos, entretanto, quando comparado aos métodos de dessalinização por osmose, o DME apresenta maiores custos e consumo de energia (Loutatidou e Arafat, 2015), tornando-se assim menos utilizado na dessalinização de águas subterrâneas salobras.

O processo CV é similar ao método de evaporação multi-flash, entretanto, necessita da utilização de um compressor para o vapor de água originado na evaporação da água a elevadas temperaturas de maneira a ampliar a temperatura da água para que esta evapore mais aceleradamente (Levy, 2008). Quanto ao princípio de funcionamento do processo CV, existem duas formas diferentes de operação nessa técnica: a compressão do vapor pode ser realizada através de um compressor mecânico (Compressão Mecânica de Vapor - CMV) ou podem ser acrescentadas pequenas quantidades de vapor a alta pressão por meio de um ejetor (Compressão Térmica de Vapor - CTV) (Al-Karaghoulí; Renne; Kazmerski, 2009). As duas maneiras são exibidas em Figura 7.

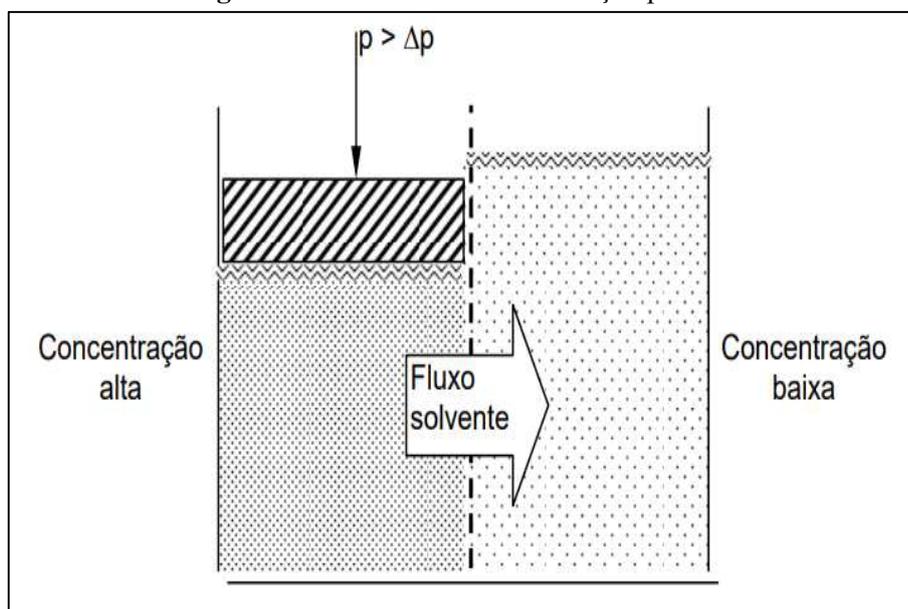
Figura 7 - Diagrama esquemático das unidades CV (CMV e CTV).



Fonte: Al-Karaghoulí e Kazmerski (2013).

Quanto ao processo de dessalinização por Osmose, o mesmo se dá através do fenômeno do fluxo de água por meio de uma membrana semipermeável que impede o transporte de sais ou outros solutos através da membrana. No método da OR (Figura 8), quando duas soluções aquosas são desassociadas por uma membrana semipermeável, a água fluirá do lado de baixa concentração de soluto para o lado de alta concentração de soluto, logo, o fluxo é interrompido ou mesmo revertido aplicando pressão externa na lateral de maior concentração (Chen *et al.*, 2011).

Figura 8 - Processo de dessalinização por OR.



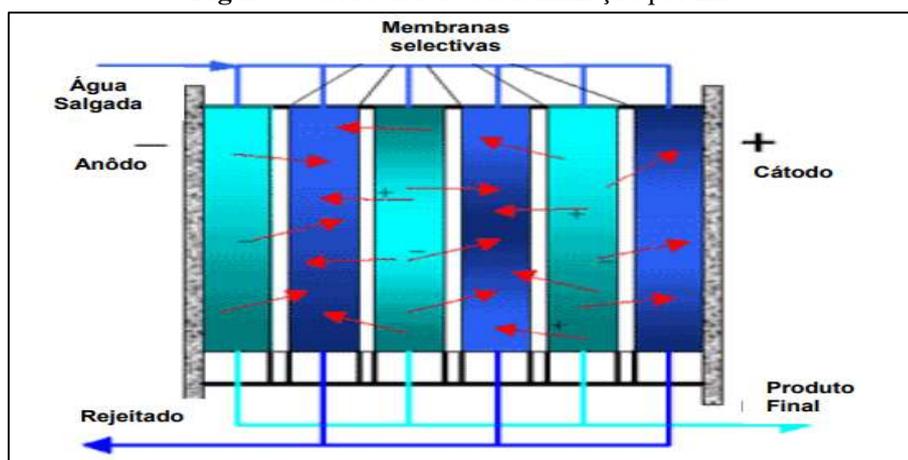
Fonte: Levy (2008).

O desempenho do procedimento de OR fundamenta-se no efeito da pressão, superior à pressão osmótica, em uma solução salina sobre uma membrana semipermeável, onde, a mesma é composta por poros microscópicos, por meio dos quais a água atravessa e os sais, microrganismos e outras impurezas ficam retidos (Levy, 2008). A água produto do processo de OR da água salobra comumente varia de 25 a 500 mg/L STD, conforme STD da água de alimentação e membrana escolhida. Dessa forma, membranas de alto desempenho rejeitam aproximadamente 99% ou mais dos minerais dissolvido (Watson; Morin; Henthorne, 2003).

Já a ED, é um processo que se baseia em membranas de troca iônica, entre ânions e cátions dispostos em um padrão alternado entre um ânodo e um cátodo e um potencial eletroquímico como condutor de força (Strathmann, 2010). O procedimento consiste em um método de separação eletroquímica em que os íons são transportados sobre membranas seletivas de íons, através de um potencial elétrico (Levy, 2008).

No processo de dessalinização por ED, a água salina circula através de uma pilha de diálise que abrange uma série de membranas de troca iônica (MTI) e membranas de troca catiônica (MTC), onde MTIs apenas passam ânions, enquanto os MTCs apenas passam cátions, assim, constituem canais alternados de diluído e concentrado. A Figura 9 demonstra o processo da metodologia (Wright *et al.*, 2018).

Figura 9 - Processo de dessalinização por ED.



Fonte: Levy (2008).

A ED, como metodologia de tratamento da água, é bastante eficiente para a dessalinização das águas salobras. Por vezes, a água tratada é adicionada à água que está a entrar inicialmente no processo de tratamento, para assim aprimorar o seu rendimento. Em águas com concentrações em cloretos maiores que 2.000 mg.L^{-1} , o custo do processo torna-se elevado devido à quantidade de energia essencial, sendo o seu valor maior quando comparado a outros processos (Levy, 2008). A ED trata-se de uma tecnologia de separação que, de maneira geral, não envolve mudança de fase, logo, apresenta uma economia em seu consumo de energia elétrica (Walha *et al.*, 2007), tornando-se ainda mais atraente para ser utilizada em combinação com fontes de energia renovável como a energia solar ou eólica, proporcionando assim uma maior redução em seu consumo energético (Tsiakis e Papageorgiou, 2005).

Lee *et al.* (2002) estudaram um projeto de otimização de uma planta de ED a ser utilizada para dessalinização de água salobra, a qual apresentou taxa de recuperação maior que 75%, e Wright *et al.* (2018) através de análise de modelo robusto de dessalinização por ED de água salobra, mostraram taxa de recuperação igual a 80%, contudo, estes não apresentaram custos e durabilidade do equipamento.

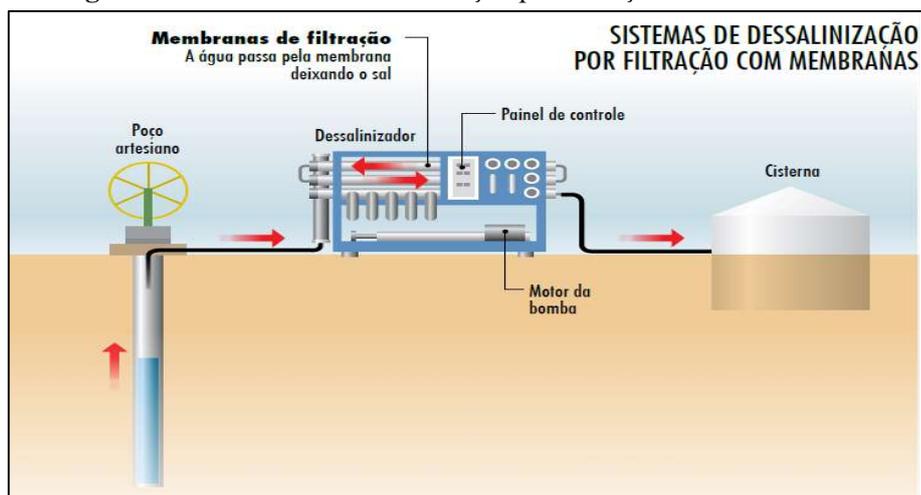
A produção de água potável a partir de água salobra constitui-se como principal aplicação da ED, uma vez que apresenta uma vantagem econômica maior do que outras técnicas de dessalinização. Contudo, a ED pode remover apenas íons da água potável, e componentes não carregados, como micro-organismos, não podem ser eliminados, logo, o método torna-se menos vantajoso quando em comparação com outros processos de dessalinização por membrana (Liu e Cheng, 2020).

Walha *et al.* (2007) consideram que a OR se destaca como processo de dessalinização mais eficaz e econômico para as águas subterrâneas, quando comparada ao método de ED. Nesse contexto, tem-se que as técnicas de dessalinização térmica são preferíveis em ambiente altamente salinos, como o mar (Al-Mutaz, 1996; Napoli e Rioux, 2016), enquanto que na dessalinização de águas salobras se destacam, os processos por membrana, sobretudo, a metodologia de OR, uma vez que proporciona vantagens quanto à comparação aos processos térmicos de dessalinização; ao consumo de energia, tendo em vista que não existe mudança de fase dos componentes; à simplicidade de operação; ao tratamento da água; à ampliação de escala de produção, entre outros (Walha *et al.*, 2007; Moura *et al.*, 2008; Liu e Cheng, 2020).

2.4.2 Dessalinização por osmose reversa

A tecnologia de OR vem destacando-se como um dos métodos mais baratos e promissores de dessalinização, apresentando como vantagens o baixo custo de investimento; baixo consumo energético; ocupação de área de instalação reduzida; aproveitamento dos efluentes; qualidade constante da água produzida; procedimento contínuo; flexibilidade em futuras instalações e tratamento de até 99,4% do volume de água encaminhada ao dessalinizador (Moura *et al.*, 2008). A OR se destaca como um dos principais procedimentos, quanto aos processos de dessalinização por membranas (Figura 10), sendo um dos mais apropriados na indução da passagem das águas e remoção de seus sais. Ela é considerada um fenômeno natural de caráter físico-químico, verificado quando duas soluções de distintas concentrações são desassociadas por uma membrana semipermeável em um recipiente (Prêmio Jovem Cientista, 2013).

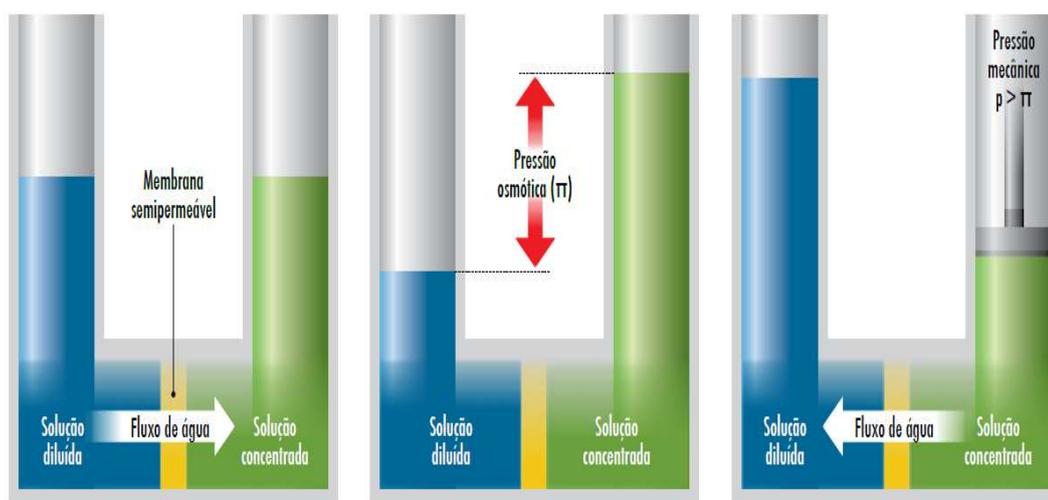
Figura 10 - Sistema de dessalinização por filtração com membranas.



Fonte: Prêmio Jovem Cientista (2013).

No processo da Osmose, a água mobiliza-se sempre de um meio menos concentrado em soluto (hipotônico) para um meio mais concentrado em soluto (hipertônico), visando alcançar um equilíbrio na concentração em ambos os meios (isotônicos) por meio de uma membrana semipermeável, isto é, uma membrana que contém poros que permitem o acesso de moléculas de água, mas impossibilitam a passagem de outras moléculas. A OR é exatamente o processo inverso, ou seja, a água passa por uma membrana seguindo o sentido hipertônico para hipotônico, conforme demonstrado em Figura 11 (Guerreiro, 2009).

Figura 11 - Processo de osmose reversa (ou inversa).



Fonte: Prêmio Jovem Cientista (2013).

Conforme Mathioulakis *et al.* (2007), a OR é um procedimento por membrana onde um fluxo de alimentação decorre sob pressão por meio de uma membrana semipermeável,

desassociando duas correntes aquosas, uma com alto teor em sal e a outra com pequeno teor em sal. A água passará por meio da membrana quando a pressão utilizada é superior que a pressão osmótica, ao passo que o sal é retido. Como consequência, um fluxo com baixa concentração de sal é alcançado, e uma salmoura concentrada conserva-se no lado da alimentação. No método, é possível obter uma corrente de água purificada com a remoção além dos sais, de dureza, turbidez, vírus, bactérias, fungos, compostos orgânicos, pesticidas, entre outros contaminantes presentes na água.

No processo a taxa de fluxo de água de alimentação e pressão operacional afetam positivamente a salinidade do produto, enquanto a salinidade da água de alimentação e temperatura operacional afetam negativamente (Al-Obaidi *et al.*, 2018). A fim de expandir ainda mais as aplicabilidades da metodologia de dessalinização de RO, as condições ideais de processos devem ser escolhidas para reduzir os custos de produção de água, associados também ao consumo de energia, custos de substituição de membrana, utilização de produtos químicos e gerenciamento de concentrado de salmoura residual (Zhu *et al.*, 2010).

Os aspectos econômicos do processo de OR variam segundo aspectos individuais de cada instalação, podendo partir de um custo de água dessalinizada de aproximadamente 0,15US\$/m³ (0,11£/m³) referente a um sistema com capacidade proposta de 24.000 m³/dia (Sarai Atab; Smallbone; Roskilly, 2016) e alcançar o valor de 4,93 US\$/m³ (25,00 R\$/m³), referente a uma produtividade do sistema de 3,6m³/dia (800 L/h) (Sales *et al.*, 2017). Contudo, visando ainda a redução dessas tarifas, é imprescindível a realização de pesquisas direcionadas à inclusão de energias alternativas (Grueso-Dominguez *et al.*, 2019). A vida útil da membrana depende da operação correta e manutenções realizadas no decorrer do processo (Sales *et al.*, 2017) onde, podem variar de 5 anos (Lee *et al.*, 2002) e chegar até 25 anos (Pimentel da Silva e Sharqawy, 2020).

A dessalinização por OR é a metodologia mais aconselhada, uma vez que seu custo é bem abaixo do abastecimento da população através de caminhões-pipa, além de assegurar a autonomia de gestão às populações. A partir da instalação do dessalinizador, o valor operacional se delimita ao fornecimento de filtros de cartucho, aos custos com energia elétrica e outros gastos. De início, os órgãos municipais e estaduais implantam os sistemas de dessalinização e os concedem às comunidades, que se responsabilizam pela operação e manutenção. As adversidades aparecem quando existe a precisão de suporte técnico, visto que os órgãos responsáveis não dão conta dos sistemas instalados como um todo (Prêmio Jovem Cientista, 2013).

Amorim *et al.* (2004) e Bezerra *et al.* (2019) atribuem à OR a desvantagem da geração de líquidos de água salina (também conhecido como rejeito salino), uma água residuária do procedimento que apresenta concentração de sais minerais elevada, sobretudo, quando comparado a água salobra, onde, como consequência, apresenta risco de contaminação ambiental alto.

2.4.3 Água salina e destinação

O custo da água dessalinizada reduziu ao longo das últimas décadas, contudo, não refletiu essa redução nos crescentes impactos ambientais causados pelo processo. A dessalinização pode ocasionar impactos negativos desfavoráveis no meio ambiente, através de alterações nos ecossistemas terrestres e marinhos. Dessa forma, a dessalinização sustentável destaca-se como solução para essas dificuldades ambientais (Amery *et al.*, 2023).

A dessalinização sustentável é uma atividade de diversos participantes que devem incorporar a concepção dos formuladores de políticas hídricas com a dos gestores e operadores das matrizes de dessalinização. A liderança pública é de extrema importância para minimizar o custo da dessalinização, através de investimentos em tecnologias de dessalinização verde, oferecendo assim políticas institucionais claras e aperfeiçoando a conscientização acerca da conservação da água em conjunto com a sociedade civil (Amery *et al.*, 2023).

A distribuição final da água salina é o tema ambiental mais significativo em uma instalação de dessalinizador. A formação do concentrado modifica bastante de acordo com o método de dessalinização usado, assim, o impacto ambiental da destinação final do rejeito também muda muito (Silveira *et al.*, 2015). Dessa forma, a partir do Quadro 1 pode-se observar um resumo de alguns autores acerca da destinação do rejeito salino em algumas regiões do Brasil.

Com a ampliação da utilização da OR, surge a preocupação acerca dos rejeitos originados no processo de dessalinização, uma vez que, apesar da eficiência da membrana e da estrutura instalada dos dessalinizadores, o método fornece a água potável, entretanto, também o rejeito salino, estimado em cerca de 60% da água bruta inicialmente tratada, com acúmulo de sais superior à salinidade da água original e risco de contaminação ambiental elevado. Desta forma, o grande desafio do uso do sistema de tratamento de água com OR encontra-se na disposição e/ou reutilização da água de rejeito de maneira a impedir impactos negativos ao meio

ambiente, pois usualmente são lançados em cursos d'água e/ou no solo sem qualquer critério de tratamento (Oliveira, 2016).

Quadro 1 - Resumo da destinação de água salobra utilizando OR em algumas regiões brasileiras.

Referência	Destinação	Região	Detalhes
Almeida e Fernandes (2023)	Barreiro	Gravatá - PE	Estudo realizado em uma comunidade
Silva (2022)	Solo	Pernambuco	25% dos 165 sistemas estudados
Silva (2022)	Tanque de Rejeito	Pernambuco	27% dos 165 sistemas estudados
Silva (2022)	Rede coletora de esgotos	Pernambuco	7% dos 165 sistemas estudados
Silva (2022)	Rio	Pernambuco	2% dos 165 sistemas estudados
Silva (2022)	Consumo doméstico e/ou animal	Pernambuco	8% dos 165 sistemas estudados
Oliveira <i>et al.</i> (2020a)	Solo	Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte	Estudo realizado em duas comunidades
Amorim <i>et al.</i> (2004)	Solo	Paraíba	85% dos 21 sistemas estudados
Amorim <i>et al.</i> (2004)	Rede coletora de esgotos	Paraíba	5% dos 21 sistemas estudados
Amorim <i>et al.</i> (2004)	Consumo animal	Paraíba	10% dos 21 sistemas estudados

Fonte: Autora.

Os valores de condutividade elétrica para o rejeito variaram de 4,2 a 7,6 dS.m⁻¹, desempenhando riscos para o ambiente conforme padrões constituídos mundialmente. A maior parcela do rejeito originado é usada na alimentação animal e ampla parte da população, independentemente do local, não possui conhecimento se a utilização desse rejeito ocasiona algum prejuízo à saúde humana ou à natureza (Neves *et al.*, 2017).

No Brasil, em sua maioria, o rejeito originado pela dessalinização não está adquirindo qualquer tratamento; e, ainda está sendo lançado ao solo, concedendo alto acúmulo de sais nas camadas superficiais do terreno. Ao ser depositado diretamente o rejeito no solo, pode-se colaborar para a ascensão da sua salinização e contaminação das águas superficiais, próximas à localidade (Porto; Amorim; Silva Júnior, 2001).

Segundo Silveira *et al.* (2015), o emprego do concentrado em solos agrícolas, bem como seu lançamento em águas superficiais, pode lesionar tanto o solo, como os recursos hídricos superficiais e as águas subterrâneas. A irrigação por aspersão pode ser usada se houver a precisão de irrigação dos solos agrícolas junto à estação de dessalinização e se os STD existentes no concentrado forem admissíveis no crescimento da cultura agrícola. As lagoas de

evaporação/usinas de sal são de construção simples, exibem baixo custo de manutenção e carecem de amplas áreas, logo, são admissíveis apenas onde o valor das terras é reduzido, sendo adequadas para pequenas sistemas dessalinizadores.

Existem distintas concentrações de sais no rejeito salino do semiárido nordestino, em virtude da qualidade de água subterrânea que vem sendo explorada, precisando assim de estudos e monitoramento destes rejeitos para se obter um melhor entendimento acerca das suas consequências sobre a qualidade do solo. Logo, é de extrema relevância a busca por alternativas racionais que proporcionem a disposição e/ou reúso desses rejeitos de maneira adequada, visando sua importância tanto do ponto de vista ambiental, como do ponto de vista econômico, especialmente, em regiões semiáridas, onde situam-se grande parte dos dessalinizadores (Porto; Amorim; Silva Júnior, 2001). Nesse cenário, devido o lançamento de água concentrada de processos de dessalinização ser uma dificuldade progressiva, sobretudo em regiões semiáridas, diversos estudos têm sido desenvolvidos sobre as utilizações que podem ser destinadas à água salina, comumente chamada de rejeito.

Um estudo no Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte, confirmou a salinização do solo e sua influência nas modificações das propriedades físico-químicas causada pelo despejo originado do processo de OR de dessalinizadores instalados em comunidades rurais, onde, 93% das amostras de água de rejeito se qualificaram como águas de alto ou extremamente alto risco de salinização e as distintas classes de solos receptores do rejeito salino exibiram alterações significativas acerca de seus atributos e qualidade (Oliveira *et al.*, 2020a).

No estado da Paraíba, Amorim *et al.* (2004), após avaliação de 21 sistemas de dessalinização, observaram que em 85% dos sistemas, os rejeitos salinos são lançados no solo sem qualquer tratamento, e em 90% das maneiras de despejo o tema ambiental não está sendo considerado, uma vez que o exercício de lançar o rejeito na rede coletora de esgotos (5% dos sistemas) também é um modo de contaminação do meio ambiente. O restante (10%) do rejeito é ofertado aos animais.

No Estado de Pernambuco, Silva (2022) analisou a destinação da água salina produzida pelos dessalinizadores do estado, através da avaliação de 165 sistemas. Um dos maiores destinos é para os tanques de rejeito, equivalente a 27% (44 dessalinizadores) dos sistemas, posteriormente tem-se o despejo no solo, contando com 25% (41 dessalinizadores). Em relato de 7% das comunidades (12 locais) foi identificado o local de despejo da água salina como sendo a rede coletora de esgoto, e de em 2% (3 locais) o descarte no rio. Em 8% (13 locais), sua água salina é destinada a realização de atividades domésticas e/ou cuidado com animais, e,

em 3% (05 locais), são realizadas outras atividades, como a utilização em plantações e para a criação de peixes.

Dias *et al.* (2021) apresentaram resultados de melhoria de sistemas dessalinizadores em pequenas comunidades distintas situadas no Nordeste brasileiro e avaliações químicas da entrada de água salina, dessalinizada, da salmoura do rejeito originado e dos solos que receberam a água dessalinizada. Os resultados indicaram que a utilização de salmoura, rejeito do processo de dessalinização na produção agrícola familiar é técnica, econômica e ambientalmente viável, sobretudo quando se usa sistemas de produção interligados e sustentáveis.

Com o objetivo de reduzir o impacto ambiental da salmoura do processo de dessalinização, existe uma extensa quantidade de metodologias de tratamento e descarte, como exemplo, a utilização de alguns tipos de salmoura para outras finalidades, como hidroterapia, regeneração de zonas úmidas ou agricultura salina (Rodríguez-Delanuez *et al.* 2012). Contudo, é necessário que todas essas aplicações para reutilização e descarte seguro sejam estudadas, uma vez que podem ocasionar impactos significativos nos ambientes receptores, e assim não extinguir o problema da salmoura. Nesse contexto, Gomes Filho (2019) realizou estudos calculando, construindo e analisando protótipo de colunas de leito fixo com as sementes da *Moringa* como adsorvente e a fluidodinâmica na retirada de sais existentes no rejeito salino originário de dessalinizadores do semiárido pernambucano, na cidade de Riacho das Almas. O protótipo construído apresentou significativo potencial de implantação no tratamento do rejeito, uma vez que após a observação físico-química, os dados estatísticos evidenciaram que cinco minutos de contato foi satisfatório para a retirada do sódio, cálcio, magnésio e cloreto, permitindo ao rejeito um admissível proveito na agricultura.

Oliveira *et al.* (2019) estudaram o cultivo de plantas como a *Atriplex nummularia* para o reúso dessas águas salinas, a qual apresentou elevado potencial de extração de sais do perfil de solo. Matos *et al.* (2018) investigaram a produtividade ao ar livre de uma microalga (*Chlorella Vulgaris*) semeada em dois meios distintos sob cultivo autotrófico, no estado da Paraíba. O estudo demonstrou a viabilidade do cultivo em meio opcional à base de concentrado de dessalinização, visando a valorização do efluente através de sua aplicação, o qual demonstrou que a utilização do concentrado como matéria-prima de nutrientes, pode minimizar a precisão de água doce e nutrientes exteriores, sendo considerado assim uma melhoria na valorização do manejo da salmoura através do cultivo em massa de algas. Mata *et al.* (2020) também estudaram microalgas cultivadas em águas residuais do processo de dessalinização e destacaram como forte candidata a alternativa de cultivo.

Dubon e Pinheiro (2001) verificaram efeitos promissores ao analisar o crescimento da tilápia vermelha em água com salinidade final em torno 36.000 mg/L, resultantes do rejeito do processo de OR, além de que, os resultados com a criação de camarão também se apresentaram satisfatórios. O governo federal brasileiro, através de investimento para ampliar acesso à água no Semiárido brasileiro, por meio de ações do PAD, busca implementar a carcinicultura, um processo de criação de camarões em viveiros, destacando-se como solução sustentável para o uso da água concentrada em sais (Brasil, 2022a).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Semiárido em parceria com a Companhia de desenvolvimento dos Vales do Rio São Francisco e Parnaíba e com a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), busca alternativas de uso dos referidos rejeitos (Porto *et al.*, 1997), logo, a Fundação Banco do Brasil (FBB) realizou em união com a EMBRAPA, por meio do convênio de nº 60/13494-5/01, onde instituiu-se habilidades técnicas para progresso e expansão em nível de comunidade, do projeto “Sistema Integrado de Reúso dos Rejeitos da Dessalinização por Osmose Inversa”, tomando como uma das metas a verificação e análise de 21 sistemas de dessalinização doados e implantados no Estado da Paraíba (Amorim *et al.*, 2004).

Adotando ainda, um método para o emprego sustentável dos rejeitos originados do processo de dessalinização, visando não ocasionar impactos negativos ao meio ambiente, Silva, Silva e Silva (2015) mostram que a construção dos tanques de rejeito se apresenta como uma metodologia sustentável de uso da água subterrânea, uma vez que os resíduos derivados da dessalinização são armazenados em reservatórios, minimizando assim os efeitos adversos sobre a natureza, apoiado, sobretudo, pela ação do projeto de recuperação e manutenção de dessalinizadores no semiárido pernambucano. No PAD, a recuperação dos sistemas está associada ao aproveitamento do rejeito salino, possibilitando à população a vantagem de conservá-lo autossustentável (Prêmio Jovem Cientista, 2013).

2.5 O uso de dessalinizadores no Semiárido do Nordeste

Os métodos de dessalinização ainda possuem custos bastante elevados, entretanto, muitos países já investem em estações de tratamento para abastecimento de municípios e para procedimentos industriais. O procedimento de dessalinização de água do mar é a indispensável aposta de países do Oriente Médio, norte da África, Índia, China e Austrália, ao passo que a dessalinização de águas salobras é bastante utilizada nos Estados Unidos. No Brasil, os dessalinizadores atendem a ilhas, a indústrias e ao nordeste (Prêmio Jovem Cientista, 2013).

No mundo todo, devido à fabricação de dessalinizadores em grande escala, a esperança é a redução de custos e a busca da sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o Brasil ainda apresenta necessidade de dessalinização pequena frente à abundância de recursos hídricos. Os métodos de dessalinização conquistam importância local, em algumas regiões como o semiárido do Nordeste, atingidas por métodos de salinização dos aquíferos, em razão das condições de solo cristalino e elevada evaporação, e também no emprego da indústria, para alimentar procedimentos que necessitam da desmineralização da água. É estimado que possuam em todo o Nordeste, mais de 30 mil poços com vazão excedente a 2.000 L/h (Prêmio Jovem Cientista, 2013).

As zonas semiáridas se ressaltam entre as áreas submetidas a cenários de escassez de água, uma vez que, estão sujeitas às chuvas irregulares, no tempo e no espaço, ocasionando períodos de estiagem aguda e fluxos altos de evapotranspiração, intensificando assim os déficits hídricos, sobretudo, nas épocas sem chuvas (Medeiros *et al.*, 2011). Os dessalinizadores de água salobra de poços são muito usados para atender as comunidades rurais do Semiárido brasileiro com água potável, sendo conceituada uma metodologia social de convívio com a seca. A escassez de água na região, associada à oportunidade para se ter água de boa qualidade, vem servindo para disciplinar as pessoas a fazer uso racional desse recurso, evitando os desperdícios e o mau uso das fontes de água disponíveis (Neves *et al.*, 2017).

Uma elevada quantidade de sistemas por OR já funciona em comunidades do Nordeste e no arquipélago de Fernando de Noronha. Na ilha de Fernando de Noronha é realizada a dessalinização de água do mar, sendo uma solução de grande importância para o litoral nordestino, contudo ainda necessita da minimização dos custos da tecnologia e de seus impactos ambientais ocasionados pelos rejeitos para que seja mais distribuída. Em Fortaleza, existe um projeto de dessalinização da água do mar com capacidade de produção de até 1.000 L/s de água, que poderá servir como referência para ampliação da oferta hídrica em outros estados (Pernambuco, 2022c).

Com 811 sistemas de dessalinização já em atividade, sendo, 252 sistemas no Ceará; 251 na Bahia; 93 na Paraíba; 87 no Rio Grande do Norte; 73 em Alagoas; 29 em Sergipe e 26 no Piauí. Mais de aproximadamente 88 mil pessoas são beneficiadas pelas novas estruturas em Alagoas, na Bahia, Paraíba, no Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, encontrando-se em estado de conclusão de contratação de sistemas o estado de Pernambuco, e em realização de designação de comunidades a serem atendidas os estados do Maranhão e de Minas Gerais (Brasil, 2020a).

Segundo Oliveira (2016), a extensa área do Oeste Potiguar, no Rio Grande do Norte (RN), conta com cerca de 70 estações de tratamento de dessalinizadores, abrangendo desde o litoral, no município de Areia Branca até a extremidade mais ao norte, de José da Penha. Ainda, de acordo com estudos de Oliveira (2016), a água dessalinizada das estações de tratamento pelo método de OR nas comunidades rurais, apresentou concentrações baixas de sais, com aproximadamente 68% das amostras na classificação C1S1 (baixa salinidade), 25% na C2S1 (média salinidade) e, somente 7% na classe C3S1 (alta salinidade).

Em Pernambuco, no ano de 2019, do total de 285 sistemas de dessalinização no estado, foi observado que 165 sistemas estavam em funcionamento e 120 sistemas estavam sem funcionamento, tendo como principais razões do não funcionamento as bombas elétricas, a reduzida capacidade dos poços, as más condições do equipamento e a insuficiente vazão do manancial subterrâneo (Silva, 2022).

Atualmente, de acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS-PE), existem 255 dessalinizadores em Pernambuco, destacando-se o município de Riacho das Almas com 20 dessalinizadores, sendo a cidade com maior quantidade, seguida de outras como Cumaru com 19, Sertânia com 17 e Passira com 14. Contudo, em contrapartida tem-se o município de São Caetano com apenas 1.

Almeida e Fernandes (2023) avaliaram um sistema de dessalinização do PAD no município de Gravatá-PE, situado no Sítio Telha Branca, em que são beneficiadas 80 famílias. O dessalinizador é o único em funcionamento na região, e o restante que foi implementado a partir do PAD se encontra em situação de abandono ou desativado. Essa tecnologia social é apta a proporcionar uma maior autonomia hídrica para as famílias rurais, assim como melhorar sua qualidade de vida, logo, é de extrema importância sua ampliação para beneficiar mais comunidades.

Ferreira *et al.* (2015) realizaram uma análise em 11 comunidades da zona rural, na cidade de Mossoró-RN, que apresentavam, como fonte de abastecimento hídrico, poços de água salobra com tratamento para consumo através de sistemas de dessalinização introduzidos pelos governos federal e estadual, através dos programas Água Boa e Água de beber. Os autores verificaram que cerca de 63% das águas dos poços avaliados apresentaram salinidade bastante elevada, não sendo recomendadas para a irrigação, senão em condições muito especiais.

Negrão *et al.* (2000) realizaram o monitoramento de poços no semiárido do Estado da Bahia, visando acompanhar uma provável melhoria das propriedades dessas águas, induzidas pelo bombeamento. A rede é combinada por 31 poços, compostos por dessalinizadores instalados pela Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), em 16 cidades do Estado.

Através desse estudo pode-se observar que reduções bruscas nos valores de STD são evidenciadas para valores históricos e o bombeamento contínuo também possibilita medidas constantes de rebaixamento permitindo o planejamento da exploração racional e sustentada de aquíferos fissurais, com o propósito de impedir o esgotamento de poços.

Segundo Amorim *et al.* (2004), a atual situação dos sistemas de dessalinização do estado da Paraíba encontrava-se em boa condição de conservação com percentual de 61%; e funcionamento de 62%; entretanto, foi destacado que os dessalinizadores que param de operar ficam extensos períodos inativos, devido, sobretudo a falta de pessoal qualificado que impede não só as manutenções preventivas como as corretivas; a taxa de rejeição de sais (TRS) média foi de 88,5%, e o produto das avaliações da água dessalinizada, mostrou que as mesmas estão em concordância com os coeficientes de potabilidade.

Neves *et al.* (2017) também realizaram estudo no estado do Ceará, em 8 comunidades situadas no município de Pentecoste. Foi possível constatar que as distintas fontes de água presentes na região não perderam sua utilização com a instalação dos dessalinizadores, e, onde os equipamentos se encontravam em completo funcionamento, a população usufruía das águas dessalinizadas, porém, a grande maioria não possuía conhecimentos acerca dos aspectos socioambientais relacionados ao uso dessa metodologia.

Em análise financeira das atividades de captação, acumulação e suprimento de água no estado do Ceará, Sales *et al.* (2017) fazem referência aos 26 sistemas dessalinizadores instalados pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) no ano de 2015, os quais fazem parte do PAD. Uma característica válida que motivou o nível das vantagens foi o preço da água captada pelo dessalinizador de R\$25,00/m³, bem abaixo do custo médio da água de R\$41,29/m³, avaliado com base no funcionamento do sistema 4,5 horas por dia durante 5 dias por semana e na soma dos investimentos mais os custos de operação e manutenção. A demonstração das receitas formadas pela instalação dos dessalinizadores no Estado é visualizada na Tabela 1.

Tabela 1 - Demonstração das receitas e despesas de sistemas de dessalinização do PAD, no estado do Ceará, em 2015.

Especificações	Valor (R\$)
1 - Investimento	113.960,03
2 - Custos de manutenção e operação	18.603,50
3 - Receitas	21.600,00

Fonte: Sales *et al.* (2017).

No Semiárido brasileiro diversos sistemas de dessalinização encontram-se a grandes períodos parados, visto que há equipamentos sem ser utilizados há 3 anos, observando-se assim

a falta de pessoal qualificado, o que acaba dificultando tanto as manutenções preventivas como as corretivas dos sistemas (Amorim *et al.*, 2004), logo, a partir de estudos realizados, Silva, Silva e Silva (2015) destacam a ação do projeto de recuperação e manutenção de sistemas dessalinizadores de águas subterrâneas no semiárido pernambucano, como uma solução viável e segura para reduzir os efeitos diversos da escassez hídrica, sobretudo por meio do abastecimento público, para que assim possa existir uma melhor oferta às comunidades.

2.6 Programas e incentivo aos sistemas de dessalinização

Assuntos envolvendo a dessalinização necessitam envolver questões mais extensas de governança e regulamentação, em conjunto com temas sobre a segurança e a variação de abastecimento de água. A partir de estudos na Península Arábica, pode-se destacar a necessidade de algumas sugestões correlacionadas, visando a promoção da dessalinização, sobretudo a sustentável, como a introdução de quesitos mais razoáveis referentes à governança, políticas regulatórias e finanças e colaboração entre partes envolvidas. Dessa forma, evidenciam-se como exemplos a regulamentação da eliminação de salmoura, a dessalinização solar e os acordos público-privados. No Qatar, tem-se uma empresa de eletricidade e água, a qual participou de múltiplos empreendimentos conjuntos de dessalinização, funcionando através de fornecedores independentes de água e energia ou gestão de abastecimento a partir da dessalinização. Logo, é notável que essas soluções podem ampliar as atividades de dessalinização na região, alcançar mais recursos financeiros e aumentar a sustentabilidade ambiental (Amery *et al.*, 2023).

Sola, Sáez e Sánchez-Lizaso (2021) destacam como uma ótima prática de regulamentação ambiental em atividades de dessalinização a utilização de 240 Avaliações de Impacto Ambiental (AIAs). Essas AIAs também compreendem Planos de Monitoramento Ambiental (PMA) e protocolos de emergência complementar, que unidos definem limites, práticas e processos. Esse modelo é seguido em alguns países como EUA, Espanha, Austrália, Chile, Israel e Arábia Saudita, porém, com distintos padrões e graus de execução. Hosseini *et al.* (2021) apontam que também é realizável a imposição de determinadas qualidades ou limites, e atribuição de atividades de monitoramento a autoridades regulatórias, mesmo sem o uso de PMAs, como, no Kuwait, por exemplo, o Kuwait Environment Public Authority que assume trabalhos de monitoramento da qualidade e compatibilidade da água conforme limites.

Os países do Golfo buscam esforços de colaboração regional que englobam os impactos transnacionais da dessalinização e desenvolvimento de informações e planos para reduzir seus

riscos, uma vez que esses países podem auxiliar nos conhecimentos referentes à proteção das zonas costeiras e ecossistemas. Nesse contexto, houve colaboração regional e iniciativas como a organização da Emergência Marinha e Mútua Centro de Ajuda (EMMCA), que faz parte da Organização Regional para a Proteção do Meio Ambiente Marinho (ORPMAM), definida pela Convenção do Kuwait de 1982 e aplicada por todos os países do litoral do Golfo. Também nesse sentido, englobam-se os atuais planos fundamentados no CCG (Conselho de Cooperação do Golfo) que compreendem a determinação de um centro de pesquisa climática, o qual aumenta o auxílio a partir da ciência (Amery *et al.*, 2023).

No México, em 2015, foi apresentado o projeto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-013-CONAGUA-2015, pelo Comitê Consultivo Nacional para a normalização do setor das águas, com a cooperação de organizações, instituições e empresas privadas. Esta norma procura determinar fundamentos e condições que precisam ser atendidas pelos sistemas de dessalinização em seus processos de extração e descarga que originam águas salinas e a descarregam no ambiente, visando assim sua proteção. Também foi anunciada a Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015 que indicou a eficiência energética essencial para sistemas de bombeamento de poços de extração de água, limites e método de teste, utilizados em usinas de dessalinização que trabalham com a extração de água de poços subterrâneos. Ainda, nesse contexto, pode-se destacar como Norma Oficial Mexicana aplicável à dessalinização a NOM-001-SEMARNAT-2021, que determinou o nível máximo de poluentes que são autorizados para a descarga de águas residuais em águas nacionais, o qual se emprega à descarga de salmoura derivada por meio de usinas de dessalinização (Ríos-Arriola *et al.* 2022). Em Israel, desde 2005, foi desenvolvido um departamento de dessalinização, o qual auxiliou no fornecimento de aproximadamente 50% do consumo integral de água doce e no consumo doméstico em quase sua totalidade (Teschner, Garb, Paavola, 2013; Bar-Nahum *et al.* 2022).

No Brasil, destaca-se o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que consiste em um documento que conduz o estabelecimento da Política Nacional de Recursos Hídricos e da atuação do SINGREH, abrangendo todo o país a nível federal com rebatimentos na gestão estadual (Brasil, 2022b). Os planos de recursos hídricos, como uma das ferramentas previstas no PNRH, cobrem-se de relevância estratégica para a gestão dos recursos hídricos por estimular e constituir um guia orientativo de ações para a conquista de metas estipuladas. Em 2022, foi lançado o segundo PNRH, com vigência até 2040, sucessor do primeiro PNRH, cuja vigência foi de 2006 a 2021 (ANA, 2023).

Para se obter uma estratégia resistente, é necessário que o PNRH 2022-2040 responda em sua totalidade aos desafios presentes nos possíveis cenários exibidos. Dessa forma, foram

sugeridos elementos diretivos que conduzam a identificação e o desenvolvimento das ações e metas previstas no Plano de Ação, englobando sobretudo os sistemas dessalinizadores. Nesse contexto, como elemento diretivo com abrangência na zona costeira da Região Nordeste, apresenta-se o Programa de desenvolvimento da dessalinização, em âmbito nacional, com alcance de economias de escala para aquisição e desenvolvimento de equipamentos e tecnologias (Brasil, 2022b).

Para o PNRH 2022-2040, como macrodiretrizes, destacam-se: a) Incorporar novas tecnologias que garantam a operação, manutenção e recuperação dos sistemas de dessalinização e contribuam para a segurança hídrica; b) Incentivar a utilização da energia solar como forma de conferir maior sustentabilidade aos sistemas de dessalinização e considerar novas tecnologias como a dessalinização; c) Utilização de membranas para reúso como alternativas para ampliar a segurança hídrica (Brasil, 2022b). Um grande progresso para a dessalinização de águas salobras é o fornecimento de energia por geração solar, uma fonte de energia renovável, ocasionando diversos impactos positivos como a minimização do uso de rede elétrica trifásica e do pagamento mensal dos custos de energia, além da redução da intervenção do operador do sistema (Pernambuco, 2022c).

Para assegurar excelentes condições de água potável, através do programa Água Boa, o governo brasileiro financiou a instauração de estações de tratamento de OR destinada a dessalinização de água salobra dos poços montados nas comunidades. A área semiárida situada no nordeste do país conta com cerca de 3.000 plantas de dessalinização pelo método RO, que provocam uma rejeição em torno de 40 a 70% do total da água salobra. O rejeito salino originado é utilizado em elevado alcance nas atividades de agricultura, piscicultura, mineração e também na alimentação animal, para reduzir assim, os impactos ambientais que pode causar (Neves *et al.*, 2017).

Com a busca da melhora do potencial hídrico no Semiárido brasileiro, veio o PAD, sucessor do Programa Água Boa, promovido para ofertar suporte aos estados e implantação e recuperação dos sistemas de dessalinização parados, buscando além de atender às políticas públicas de acesso a água de boa qualidade, a construção de tanques do concentrado e ações de mobilização social, sustentabilidade ambiental e gestão de maneira a ofertar a utilização sustentável dos recursos hídricos (Silva; Silva; Silva, 2015). O PAD foi proporcionado pelo governo federal em 2003, tendo seu lançamento no ano de 2004 (Brasil, 2010).

O PAD é uma política contínua de obtenção do abastecimento de água destinada ao consumo humano, através do uso sustentável de águas subterrâneas, onde, considerando os níveis elevados de salinidade em 70% dos poços da localidade, são inseridos sistemas de

dessalinização. Desde o início de 2023, o programa já havia implantado cerca de 28 sistemas de abastecimento de água, sendo 6 no Piauí, 5 no Rio Grande do Norte, 4 em Minas Gerais, 12 na Paraíba e 1 em Pernambuco. Ao total, no Semiárido brasileiro existem aproximadamente 951 dessalinizadores em operação e 42 em construção (Brasil, 2023b). Na primeira fase do PAD, foram instalados 905 sistemas de dessalinização, que produzem, a cada dia, cerca de 3,6 milhões de litros de água potável, beneficiando em torno de 216 mil pessoas, e 295 sistemas da primeira fase já se encontram em execução (Brasil, 2022a).

O Governo Federal, por meio do MDR, está investindo cerca de R\$ 130,3 milhões no aumento da oferta de água no Semiárido brasileiro. Em que, entre as ações, destacam-se a implantação, por meio do PAD, de 426 novos dessalinizadores em todos os nove estados da Região Nordeste do País, e também em Minas Gerais. Através desse investimento, serão implantados 20 sistemas dessalinizadores em Alagoas, 60 na Bahia, 20 no Ceará, 20 em Sergipe, 60 no Rio Grande do Norte, 100 na Paraíba, 20 no Piauí, 69 em Minas Gerais, 27 no Maranhão e 30 em Pernambuco. A totalidade do investimento com os dessalinizadores será em torno de R\$ 122,2 milhões (Brasil, 2022a).

Através do PAD, o MDR estuda a recuperação, implantação e gestão de sistemas dessalinizadores em comunidades escolhidas previamente. Em 2020 foi destinado aproximadamente R\$ 33,2 milhões na instalação de 170 sistemas de dessalinização no semiárido pernambucano. O projeto favorecerá milhares de pessoas situadas em 21 municípios, sendo eles: Águas Belas, Iati, Itaíba, Manari, Paranatama, Venturosa, Alagoinha, Caetés, Capoeiras, Cumarú, Frei Miguelinho, Jataúba, Riacho das Almas, Salgadinho, Sanharó, Santa Maria do Cambucá, Vertente do Lério, Afrânio, Dormentes, Santa Cruz e Trindade (Brasil, 2020c).

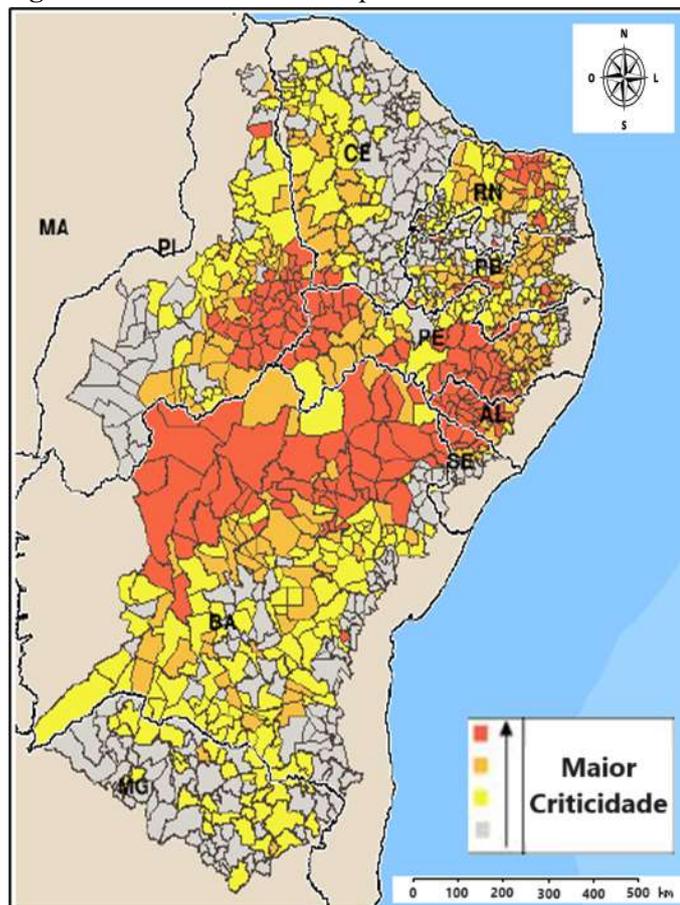
Ainda, em 2020, o MDR concluiu o repasse de mais cerca de R\$ 8,2 milhões para execução do PAD em Pernambuco, visando levar água de qualidade às comunidades rurais do sertão. Os sistemas do PAD possuem capacidade para atender com água de qualidade até aproximadamente 68 mil pessoas residentes em áreas rurais do semiárido pernambucano (Brasil, 2020d).

Nesse contexto, vale ressaltar o quanto o PAD transformou-se também em um apoio importante no confronto ao coronavírus em setores do semiárido, uma vez que proporciona acesso a água de boa qualidade em épocas de pandemia (Brasil, 2020a). Contudo, tem-se constatado que mesmo com dedicação do Governo Federal bastantes desses dessalinizadores situam-se desativados, destacando os obstáculos de sustentabilidade dessa metodologia (Marinho *et al.*, 2015).

Como maneira de definição das cidades mais críticas envolvendo as condições de acesso de água no Semiárido brasileiro, técnicos da Coordenação Nacional do PAD desenvolveram o Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA). Ele é efeito de uma média ponderada que é composta pelos dados do IDHM, Pluviometria, Taxa de Mortalidade Infantil e Intensidade de Pobreza. A Figura 12 exhibe o ICAA referente aos municípios do Semiárido brasileiro (Brasil, 2010).

A fase de finalização da hierarquia dos municípios mais críticos leva em análise parâmetros particulares constituídos por cada um dos estados, segurados no ICAA. O ICAA é definido como um indicador avaliado por cidade, expondo o grau de carência de abastecimento de todo o município para a caracterização dos locais a serem atendidos, efetuando-se visita técnica nas cidades que forem selecionadas antecipadamente (Brasil, 2010). Entretanto, este índice pode disfarçar a presença de algum lugar, que mesmo situado em um município menos crítico, esteja em uma circunstância de elevada carência hídrica, tornando-se prejudicado, uma vez que não está representado pelos apontadores do ICAA.

Figura 12 - ICAA nos municípios do Semiárido brasileiro.



Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

O PAD passou por importantes alterações segundo o exame realizado no antigo Programa Água Boa, apresentando assim estrutura de 6 componentes constituídas de outros subcomponentes, conforme exibido em Quadro 2 (Brasil, 2010).

Desde os componentes e subcomponentes de gestão integrados ao programa, o mesmo começou a envolver o tripé da sustentabilidade, agindo nas vertentes ambientais, sociais e econômicas mostradas na realidade do semiárido, que conforme as suas propriedades naturais transforma ainda mais complexo o método de elaboração e inserção de políticas públicas. Segundo o Quadro 2, esse método consegue resumir o cenário que é originado pela seca como um todo, fazendo com que todos os temas sejam estimados em sua execução, a qual é efetivada através da atuação de distintas instituições que cooperam efetivamente para a prática e conquista do programa (Costa, 2019).

Quadro 2 - Relação dos componentes e dos subcomponentes do PAD.

COMPONENTES	SUBCOMPONENTES
Gestão	• Apoio ao Gerenciamento
	• Formação de Recursos Humanos
	• Diagnóstico técnico e ambiental
	• Consolidação dos Centros de Referência
	• Sistemas de Informação e de Monitoramento
	• Operacionalização e Manutenção dos Sistemas
Estudos/Pesquisas/Projetos	• Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias apropriadas
Sustentabilidade Ambiental	• Análise de risco socioambiental das comunidades
	• Definição das comunidades a serem atendidas
	• Acompanhamento dos resultados obtidos
	• Monitoramento da qualidade ambiental
Mobilização Social	• Diagnóstico social
	• Acordos de gestão
	• Acompanhamentos dos acordos
Sistema de dessalinização	• Recuperação de equipamentos já instalados
	• Implantação de sistemas de dessalinização novos
	• Monitoramento da qualidade da água e dos tanques de contenção
Unidade de aproveitamento do concentrado	• Implantação de unidades demonstrativas
	• Implantação de unidades produtivas

Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

O Estado do Ceará vem atuando através da inserção de sistemas de dessalinização, visando à garantia do acesso à água de qualidade, considerando os níveis altos de salinidade existentes na água de diversos poços construídos no Estado. Esse trabalho vem sendo realizado por meio de dois órgãos, a Sohidra (Superintendência de Obras Hidráulicas) e a SRH, as quais

têm inserido sistemas com vazões de 400, 800 e até 1.200 l/h de água, entretanto, com estruturas diferentes. Em 2015, a SRH instalou 70 sistemas, enquanto que a Sohidra 37 (Sales *et al.*, 2017).

Pernambuco possui um Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, lançado em 1998 e que foi atualizado em 2022, apresentando como objetivo principal o planejamento do uso dos recursos hídricos para garantir sua qualidade, disponibilidade, conservação e aproveitamento de forma racional, em benefício das gerações atuais e futuras, ensejando o desenvolvimento sustentável (Pernambuco, 2022a).

No PERH, as medidas de compatibilização foram utilizadas como forma de analisar as suas efetividades em função da combinação das duas dimensões da equação de balanço hídrico: aumento da eficiência de uso de água e das disponibilidades hídricas. Para o meio urbano, como proposta de abordagens facultativas para o abastecimento humano, tem-se a contratação de estudo de concepção e viabilidade de uma usina de dessalinização da água do mar. A Ação C.4.2.A - Contratação de estudo de concepção e viabilidade de uma usina de dessalinização da água do mar, visa o estudo da implantação de uma usina de dessalinização em ampla escala, como abordagem alternativa para a ampliação da disponibilidade hídrica no Estado. Com o recolhimento da água no oceano, a água dessalinizada poderia ser usada para atender a Região Metropolitana do Recife, como também, ser transportada para o abastecimento de comunidades e fortalecimento dos métodos de produção do Agreste, necessitando, sobretudo, de um estudo subsequente de viabilidade (Pernambuco, 2022c).

O Governo de Pernambuco estabeleceu contrato de manutenção e acompanhamento da operação dos equipamentos de dessalinização em um período de cinco anos, com início em 2015 para até 450 dessalinizadores. Contudo, a infrequência de disponibilização de recursos financeiros acabou prejudicando o serviço e a ampliação do programa. No ano de 2021, 69 cidades foram atendidas através das manutenções, 318 localidades foram visitadas e 152 sistemas foram recuperados, favorecendo assim 15.200 pessoas. Em relação às comunidades rurais mais distantes, o PERH/PE sugere o desenvolvimento de estudos e projetos específicos de novas alternativas para ampliação da disponibilidade hídrica na área rural, além do uso de políticas já firmadas como os dessalinizadores e as cisternas, ou projetos de manutenção da infraestrutura presente. Trazendo assim um expressivo progresso da qualidade de vida da população rural (Pernambuco, 2022c).

Em Pernambuco, destaca-se também o Plano Estratégico de Desenvolvimento de Longo Prazo de Pernambuco 2035, que trouxe análises de extrema relevância para o PERH/PE, através de avaliações e visões de futuro internas ao Estado. O Plano PE 2035 consiste na preparação de um Plano Estratégico de Desenvolvimento de Longo Prazo (20 anos) pretendendo alcançar o

progresso do Estado concedendo flexibilidade diante de novos contextos e desafios futuros, englobando a sociedade em seu projeto. A estrutura é ajustada por meio da análise da presente situação do Estado e trazendo uma abordagem expressiva na área de recursos hídricos e meio ambiente, que será explorada para buscar interconexões entre ele e o PERH/PE. A estratégia deve estabelecer as ações e iniciativas dos governos estadual e municipais e conduzir as propostas e decisões da sociedade e dos agentes econômicos (Pernambuco, 2022b).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Como área de estudo, no contexto do uso de dessalinizadores, foram selecionados dois municípios do Agreste pernambucano, que fazem parte do Semiárido, Riacho das Almas e São Caetano. A escolha foi feita a partir da quantidade (maior e menor) de sistemas instalados nos municípios, bem como pela receptividade dos gestores municipais. Também se considerou a sua proximidade com o Campus Caruaru da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), devido à viabilidade financeira, logística e à necessidade das análises das amostras de água serem realizadas no mesmo dia da coleta. De acordo com a SRHS-PE existem 255 dessalinizadores em Pernambuco, destacando-se o município de Riacho das Almas com 20 sistemas, quase 8% do total do estado, em contrapartida ao município de São Caetano com apenas 1, equivalente a somente 0,4% da totalidade.

Segundo dados coletados pelo CPRM no SIAGAS, o Estado de Pernambuco possui 43.209 poços cadastrados. Destes, 97 estão localizados no município de Riacho das Almas e 77 em São Caetano. Os valores são considerados relevantes, quando comparados a municípios próximos, como exemplo Caruaru, que possui a população maior que 300.000 habitantes e apenas 323 poços cadastrados. No estado, a cidade que possui mais poços cadastrados é a do Recife, com 13.294, e as que contam com as menores quantidades são Flores com um total de zero, e Cortês com seis (CPRM, 2023).

3.1.1 Município de Riacho das Almas

O município de Riacho das Almas está situado no Agreste do Estado de Pernambuco, mais essencialmente na microrregião do Médio Capibaribe, limitando-se a norte com as cidades de Surubim e Frei Miguelinho, a Sul com Caruaru, a Leste com Cumaru e Bezerros e a Oeste com Caruaru. A cidade está inserida na mesorregião do Agreste Pernambucano e na microrregião do Vale do Ipojuca, predominantemente nas Folhas Surubim (SB.25-Y-C-IV) e Caruaru (SB.25-V-A-I), na escala 1:100.000, preparadas pela SUDENE do Ministério de Interior (MINTER) em 1973. A sede do município possui uma altitude aproximada de 407 m e coordenadas geográficas de 8°08'02'' de latitude sul e 35°51'23'' de longitude oeste (CPRM, 2005a). Em 2023, a população da cidade de era atendida pela OCP, chegando a 8.945 pessoas, através de 16 carros-pipa (SEDEC, 2023).

Na comunidade denominada Sítio Camurim, município de Riacho das Almas, foi montado o primeiro dessalinizador da América Latina movido à energia solar, um equipamento de custo reduzido de implantação e manutenção, com capacidade para produzir água potável sem utilização de eletricidade e livre de produtos químicos, podendo ser utilizado como alternativa para o enfrentamento à escassez de água de boa qualidade (IPA, 2006). A realização da presente pesquisa contou com visitas aos dessalinizadores localizados nas comunidades Salinas (Figura 13) e Nova Esperança (Figura 14), ambos situados em Riacho das Almas – PE.

Figura 13 - Dessalinizador comunidade Salinas – Riacho das Almas/PE.



Fonte: Autora.

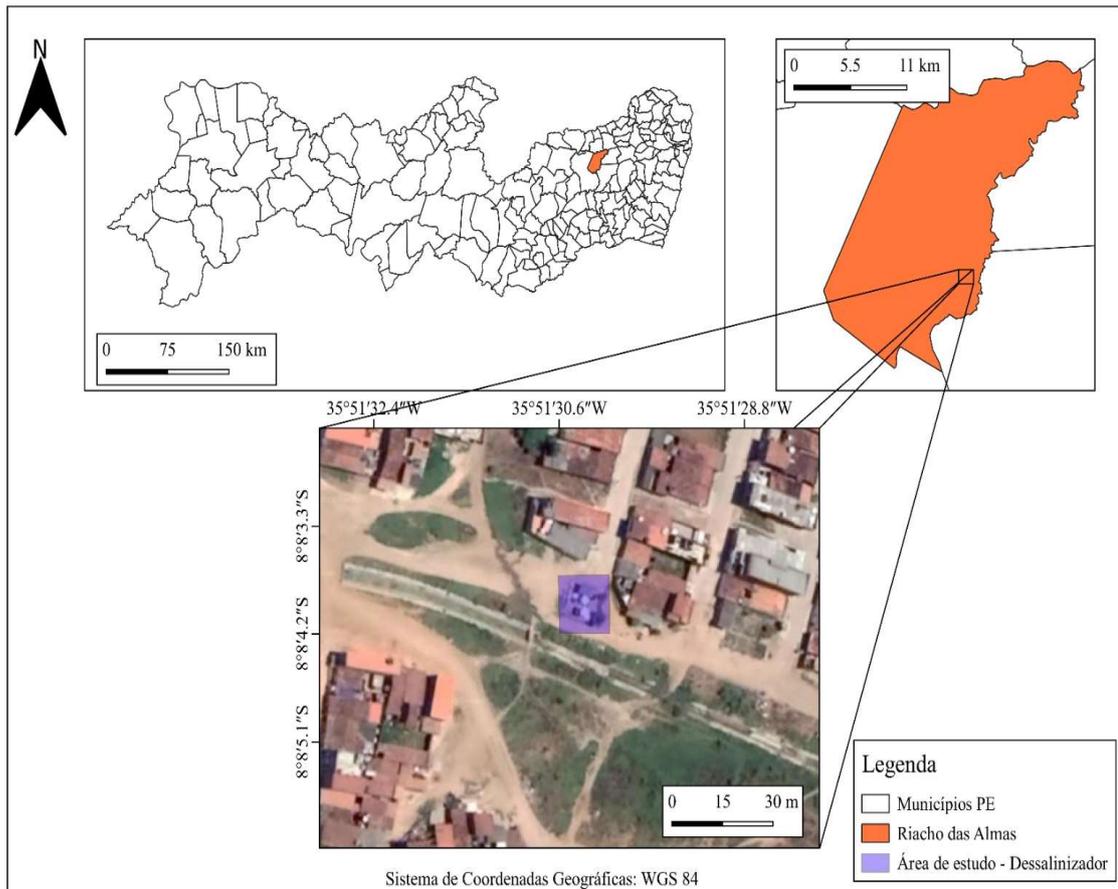
Figura 14 - Dessalinizador comunidade Nova Esperança – Riacho das Almas/PE.



Fonte: Autora.

O dessalinizador situado na comunidade Salinas possui coordenadas geográficas de $8^{\circ}8'3.86''$ de latitude sul e $35^{\circ}51'30.55''$ de longitude oeste, e o da comunidade Nova Esperança apresenta coordenadas geográficas de $8^{\circ}07'59.1''$ de latitude sul e $35^{\circ}51'04.0''$ de longitude oeste. A Figura 15 e Figura 16 ilustram as localizações dos sistemas.

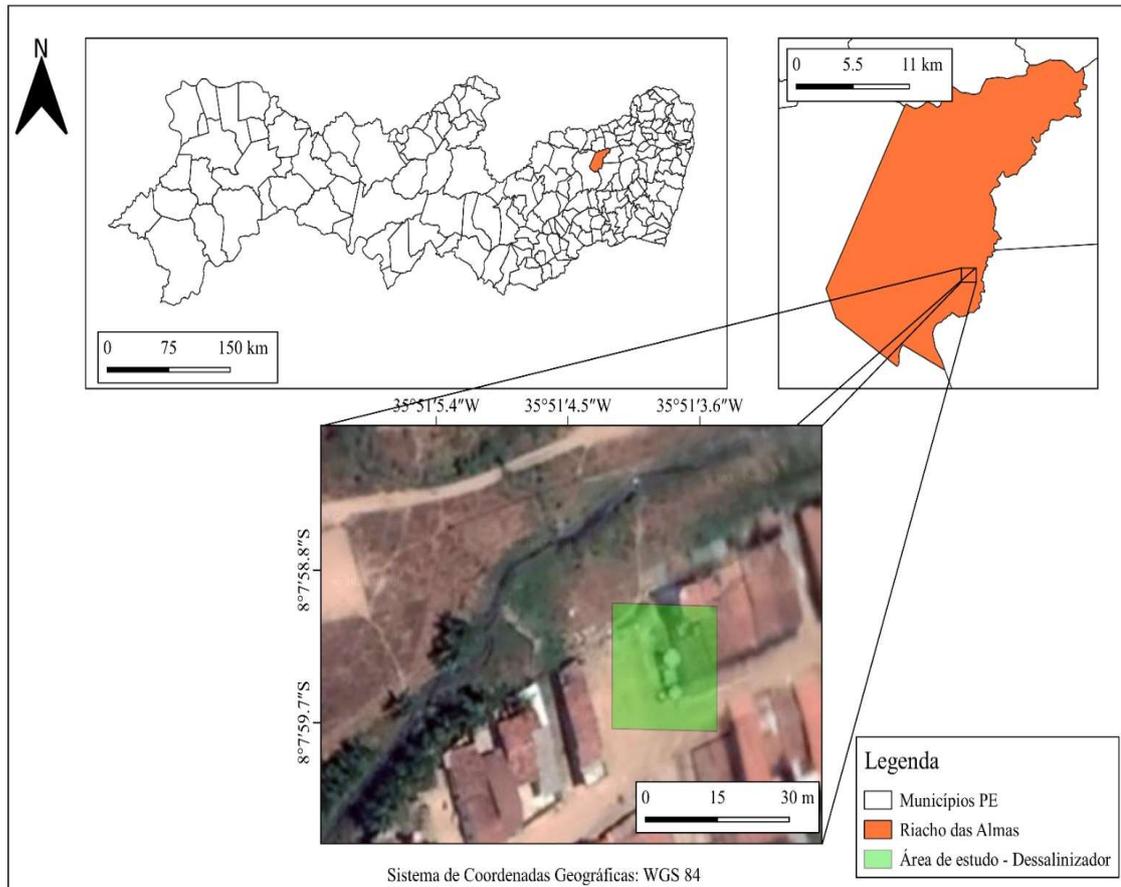
Figura 15 - Localização dessalinizador comunidade Salinas – Riacho das Almas/PE.



Fonte: Autora.

Conforme visualizado nas Figuras 15 e 16, ambos os dessalinizadores encontram-se nas áreas urbanas do município de Riacho das Almas-PE.

Figura 16 - Localização dessalinizador comunidade Nova Esperança – Riacho das Almas/PE.



Fonte: Autora.

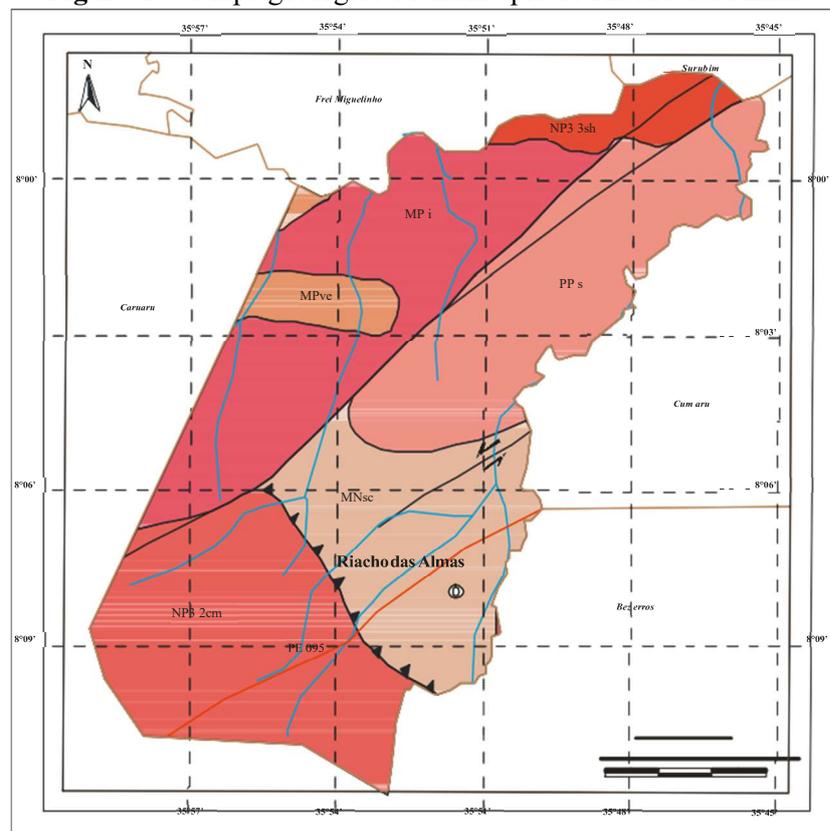
3.1.1.1 Aspectos socioeconômicos, fisiográficos e geológicos

O município de Riacho das Almas foi criado em 29/12/1953, através da Lei Estadual n. 1.818, sendo formado pelos distritos: Sede, Couro d'Antas e Trapia; e pelos povoados de: Capivara, Passagem e Patos. Os setores de atividade econômica formais com maior destaque são a Indústria de transformação, o Comércio, a Administração pública, a Agropecuária, a Caça e a Pesca (CPRM, 2005a).

Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), o município possui área territorial de aproximadamente 314,003 km², população residente total de 20.639 habitantes e densidade demográfica de 65,73 hab/km². Contudo, em relação ao esgotamento sanitário adequado, os últimos dados são conforme o IBGE (2010), sendo equivalente a 49,4% da população. Quando comparado com outras cidades do estado de Pernambuco, fica na posição 77 de 185, e, já quando comparado a outros municípios do Brasil, sua posição é 2.256 de 5.570. O IDHM era de 0,570, situando o município em 136º no ranking estadual (136/185 municípios).

Segundo o CPRM (2005a), o relevo do município de Riacho das Almas, na sua porção leste, está inserido na região dos Maciços e Serras Baixas, com relevos relativamente altos, com grandes dissecamentos. A vegetação com predominância é do tipo caatinga hipoxerófila. O clima caracteriza-se como árido ou semiárido, muito quente, com chuvas no outono e inverno, com período normal de chuva a partir de fevereiro/março, podendo prolongar até agosto, e temperaturas modificando, conforme a época das precipitações pluviométricas. A cidade está inserida, geologicamente, na Província Borborema, sendo composta pelos litotipos dos complexos Salgadinho, Vertentes e Surubim-Caroalina, dos Granitóides Indiscriminados e das suítes Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga e Salgueiro/Terra Nova (Figura 17).

Figura 17 - Mapa geológico do município de Riacho das Almas.



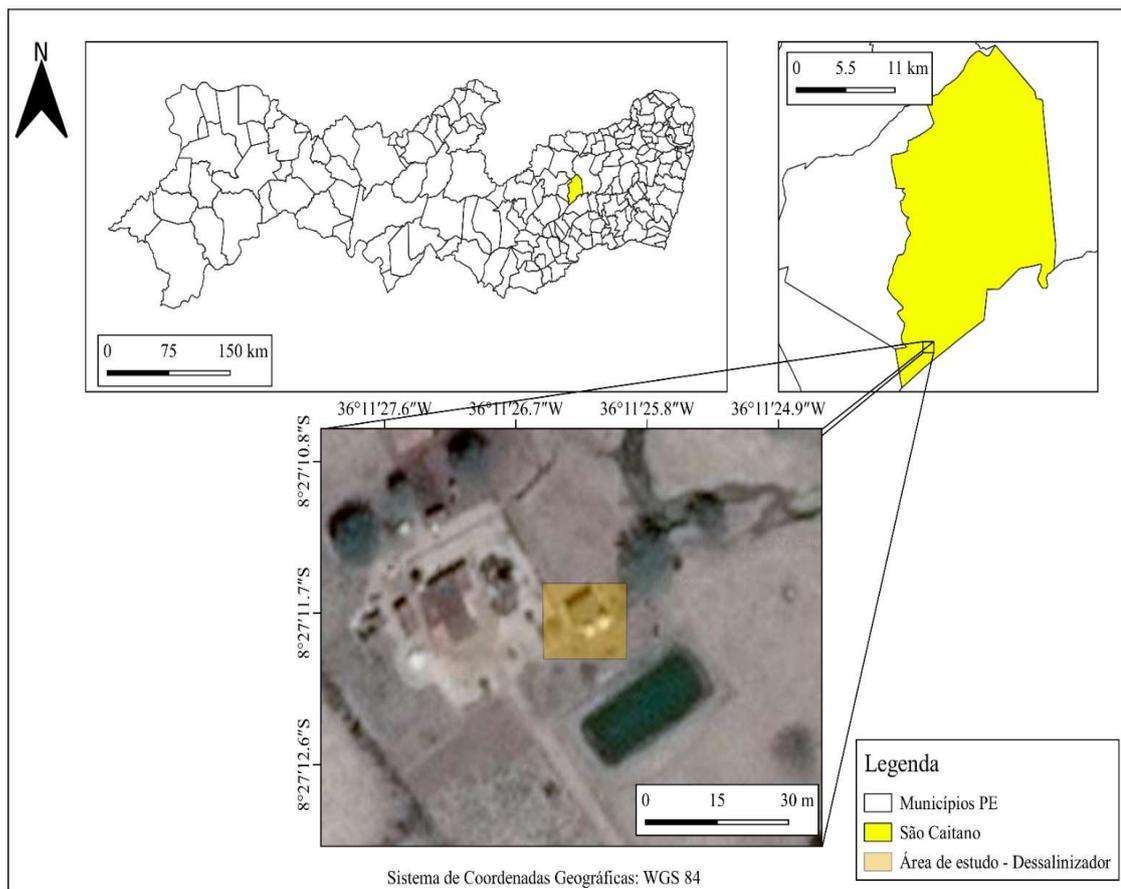
Fonte: CPRM (2005a).

3.1.2 Município de São Caetano

O município de São Caetano está situado na mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Brejo da Madre de Deus, a Sul com Altinho, a Leste com Caruaru, e a oeste com Tacaimbó e Cachoeirinha. A sede do município possui uma altitude aproximada de 552 metros e coordenadas geográficas de $08^{\circ}19'33''$ de latitude sul e $36^{\circ}04'21''$ de longitude oeste, distando 148,2 km da capital, com acesso através da BR-232 (CPRM,2005b). Em 2023, a população atendida pela OCP era de 3.930 pessoas, através de 9 carros-pipa (SEDEC, 2023).

A realização da presente pesquisa contou com visitas ao dessalinizador na comunidade Enganchada, em São Caetano-PE. O presente dessalinizador possui coordenadas geográficas de $8^{\circ}27'11.9''$ de latitude sul e $36^{\circ}11'25.7''$ de longitude oeste (Figura 18).

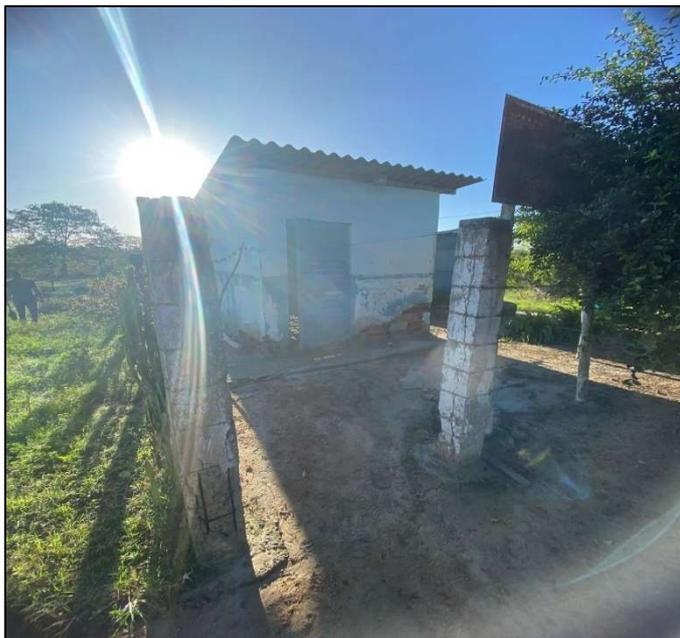
Figura 18 - Localização dessalinizador comunidade Enganchada – São Caetano/PE.



Fonte: Autora.

Conforme visualizado na Figura 19, o dessalinizador encontra-se na área rural do município de São Caetano-PE.

Figura 19 - Dessalinizador comunidade Enganchada – São Caetano/PE.



Fonte: Autora.

3.1.2.1 Aspectos socioeconômicos, fisiográficos e geológicos

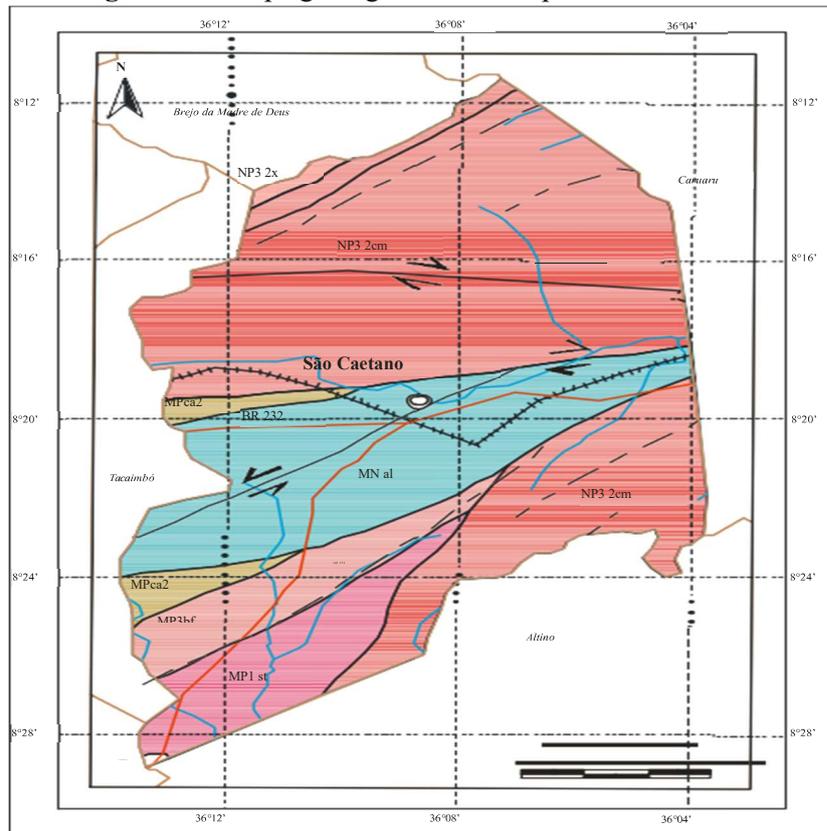
O município de São Caetano foi criado em 11/09/1928, através da Lei Estadual n. 1.931, sendo formado pelos distritos-sede, Maniçoba e Tapiraim; e pelo povoado de Santa Luzia. Os setores de atividade econômica formais com maior destaque são a Indústria de transformação, o Comércio, a Administração pública, a Agropecuária, a Caça e a Pesca (CPRM, 2005b).

Segundo o censo do IBGE (2022), o município possui área territorial de aproximadamente 382,483 km², população residente total de 37.126 habitantes e densidade demográfica de 97,07 hab/km². Contudo, em relação ao esgotamento sanitário adequado, os últimos dados são conforme o IBGE (2010), sendo equivalente a 50,2% da população. Quando comparado com outras cidades do estado de Pernambuco, fica na posição 73 de 185, e, já quando comparado a outros municípios do Brasil, sua posição é 2.225 de 5.570. O IDHM era de 0,591, situando o município em 104º no ranking estadual (104/185 municípios).

Segundo o CPRM (2005b), o município de São Caetano, está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, composto por maciços e outeiros altos, com altitude modificando entre 650 a 1.000 metros. O relevo é regularmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. A área da cidade é recortada por rios perenes, entretanto, possuem uma pequena vazão e potencial de água subterrânea baixo. O clima caracteriza-se como Tropical Chuvoso, com verão seco, apresentando estação chuvosa com início em

janeiro/fevereiro e término em setembro, podendo se prolongar até outubro. A vegetação do município é composta por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, característica das áreas agrestes. A cidade está inserida, geologicamente, na Província Borborema, sendo composta pelos litotipos da Suíte Serra de Taquaritinga, dos complexos Cabrobó e Belém do São Francisco e das suítes Leucocrática Peraluminosa, Peraluminosa Xingó e Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga, como pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 - Mapa geológico do município de São Caetano.



Fonte: CPRM (2005b).

3.2 Sujeitos do estudo

O universo do estudo foi constituído por 54 voluntários. Para cada sistema de dessalinização distinto foram aplicados os questionários à amostra de representantes das famílias beneficiadas e ao gestor da localidade/operador. Totalizando 3 gestores (1 para cada sistema) e 51 representantes de famílias. A pesquisa foi realizada em 2 dessalinizadores (10% do total de sistemas na cidade) situados no município de Riacho das Almas e 1 (100% do total de sistemas no município) em São Caetano.

A quantidade de questionários aplicados aos representantes dos lares foi determinada a partir de amostra obtida segundo o número de famílias atendidas por cada dessalinizador. Foi usado o tipo de amostra probabilística para se trabalhar com as informações obtidas, logo, sendo possível alcançar 90% de confiança e 10% de erro amostral, calculados a partir da Equação 1 de cálculo amostral, segundo Lakatos e Marconi (2002), em que, 'N' é o tamanho da população, 'e' é o erro amostral, 'Z' é a variável normal padronizada associada ao nível de confiança e 'p' é a verdadeira probabilidade do evento.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1-p) + e^2 \cdot (N-1)} \quad (1)$$

Dessa forma, a partir do cálculo amostral realizado, foi montado a Tabela 2 com um resumo acerca da quantidade de entrevistas realizadas aos representantes das famílias e sua representação em relação ao total.

Tabela 2 - Resumo da quantidade de entrevistas a partir de cálculo amostral.

Comunidade dessalinizador	Quantidade aproximada de famílias atendidas	Quantidade de entrevistas realizadas aos representantes das famílias	Representação (%)
Salinas (Riacho das Almas - PE)	44	27	61%
Nova esperança (Riacho das Almas - PE)	14	12	85%
Enganchada (São Caetano - PE)	14	12	85%

Fonte: Autora.

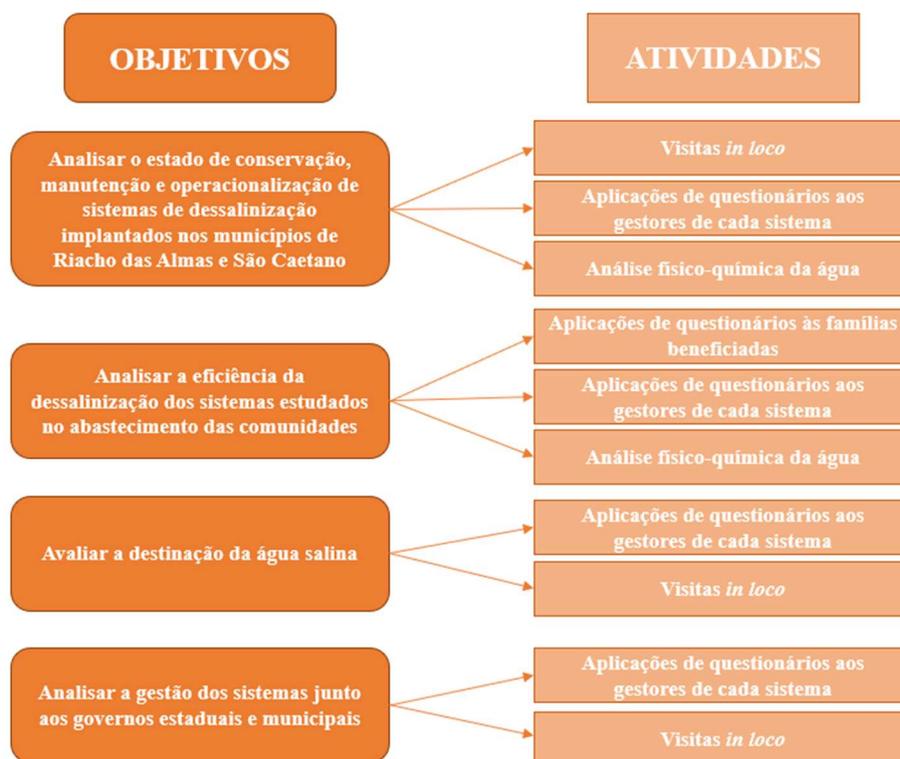
Os voluntários selecionados são, obrigatoriamente, maiores de 18 anos, residentes da zona rural do Semiárido pernambucano. Também foi levada em consideração o tempo na utilização da tecnologia. Logo, são considerados diversos benefícios diretos aos voluntários entrevistados, dentre eles, o retorno que a pesquisadora destinará aos mesmos, sob a forma de

orientações, visando um manejo mais adequado do sistema de dessalinização, possibilitando assim o melhor uso possível desta tecnologia.

3.3 Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado através da aplicação de questionários, da realização de análises físico-químicas da água que compõe o processo, bem como das análises dos parâmetros técnicos e operacionais dos sistemas de dessalinização. A realização da presente pesquisa contou com visitas às comunidades para analisar o funcionamento do dessalinizador, identificando assim fatores positivos e negativos e sua importância para as famílias abastecidas pela água por ele tratada. Todas as atividades foram desenvolvidas conforme coerência com os objetivos do estudo, assim como apresenta o fluxograma abaixo (Figura 21).

Figura 21 - Fluxograma dos objetivos e suas respectivas atividades.



Fonte: Autora.

Na data 10 de janeiro de 2023, realizou-se uma visita experimental para o planejamento da quantidade de tempo necessária para a coleta de informações. Dessa forma, no período de

janeiro a outubro de 2023, foram visitadas as comunidades com sistemas de dessalinização nos municípios de Riacho das Almas e São Caetano.

3.3.1 Questionários

Inicialmente, foram efetuadas verificações *in loco* e uma pesquisa por meio da aplicação de um questionário com perguntas, a 51 representantes de famílias beneficiadas e que já utilizam a tecnologia há mais de um ano e 3 gestores da localidade/operadores do sistema de dessalinização.

Foram aplicados dois modelos de questionários adaptados a partir do modelo utilizado por Silva (2022), um aos representantes das famílias beneficiadas - tipo A (Apêndice A) e o outro aos gestores da localidade do sistema – tipo B (Apêndice B).

Os voluntários participaram da pesquisa por meio das respostas a um questionário, que foi conduzido pela própria pesquisadora. A coleta de dados buscou alcançar informações sobre o equipamento e a gestão dos sistemas de dessalinização, possibilitando assim uma posterior avaliação da tecnologia como um todo. Todas as questões foram desenvolvidas, conforme coerência com os objetivos do estudo.

Através da aplicação de um questionário e verificações *in loco* foram realizados os seguintes levantamentos:

- a) Observação do estado de conservação dos sistemas de dessalinização;
- b) Se os mesmos se encontram em funcionamento;
- c) Periodicidade da realização de manutenções nos sistemas;
- d) Verificação dos problemas mais comuns ocorridos nos sistemas;
- e) Destinação da água salina gerada no processo de dessalinização;
- f) Uso dos sistemas no abastecimento das comunidades;
- g) Gestão dos sistemas junto aos governos estaduais e municipais.

Para análise da eficiência dos sistemas também foram utilizadas as informações dos questionários aplicados aos beneficiados, por meio de resultados acerca da suficiência da quantidade de água ofertada e do nível de satisfação.

Quanto ao olhar ético, este se fez presente em todos os momentos da pesquisa. Antes da realização das entrevistas, e mesmo após o consentimento dos entrevistados, os mesmos

estavam cientes que poderiam ou não responder alguma pergunta que achassem desnecessária. Ainda, foi esclarecido, que as informações obtidas através das técnicas e instrumentos foram processadas e analisadas de maneira integrada, onde, após a análise final, os resultados serão apresentados em formato de dissertação e artigos, sem personalizar e/ou identificar nenhuma fonte individualmente. Os dados coletados nesta pesquisa ficarão armazenados em computador, perante a responsabilidade do pesquisador em sua residência pelo período de no mínimo cinco anos.

3.3.2 Análise do estado de conservação e manutenção dos sistemas

O estado de conservação e manutenção dos sistemas de dessalinização foi realizado a partir das visitas *in loco* e da aplicação de um questionário - tipo B (Apêndice B) a cada gestor da localidade/operador do sistema dessalinizador. Dessa forma os mesmos foram avaliados conforme as seguintes situações:

- a) Sistemas em bom estado de conservação (equipamento em funcionamento e com manutenções periódicas, abrigo do dessalinizador em boas condições, peças do dessalinizador em bom estado de conservação);
- b) Sistemas em estado regular de conservação (equipamento em funcionamento e com manutenções periódicas, abrigo do dessalinizador em condições regulares, peças do dessalinizador em estado regular de conservação);
- c) Sistemas em mau estado de conservação (equipamento em funcionamento e sem manutenções periódicas, abrigo do dessalinizador em más condições, peças do dessalinizador em mau estado de conservação).

3.3.3 Análise dos parâmetros técnicos e operacionais

Os parâmetros técnicos dos sistemas de dessalinização foram obtidos a partir da análise físico-química da água e da aplicação de um questionário - tipo B (Apêndice B), aplicado a cada gestor da localidade/operador do sistema dessalinizador, tratando das informações técnicas operacionais como a vazão do poço, da água salina, da água dessalinizada, manutenções e quantidade de horas de funcionamento dos dessalinizadores. Dessa forma, foram determinadas

as variáveis de performance dos sistemas, isto é, a TRS e o nível de recuperação do sistema (NR), podendo assim avaliar sua eficiência.

A TRS é definida como a capacidade da membrana de rejeitar sais no decorrer do processo de purificação da água. A TRS será calculada segundo a Equação 2, em que, C_1 é a concentração de sais da água do poço (mg.L^{-1}) e C_2 é a concentração de sais do permeado (água dessalinizada - mg.L^{-1}) (Chen *et al.*, 2011).

$$\text{TRS (\%)} = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \times 100 \quad (2)$$

A TRS indica a efetividade da remoção de sais e outros parâmetros químicos através da membrana, variando de 90 a 98% para a maioria dos íons presentes na água (Chen *et al.*, 2011). Ainda, conforme Chen *et al.* (2011), a membrana polimérica OR apresentou rejeição de sal de mais de 96% no final de seu estudo após 6 meses.

Segundo Amorim *et al.* (2004) o NR é definido como a porcentagem da água de alimentação convertida em água dessalinizada, onde depende de diversos fatores, como a formação de incrustações na superfície das membranas e também da qualidade do permeado. O NR pode ser definido de acordo com a Equação 3, em que, Q_p é a vazão do permeado (água dessalinizada - m^3/h) e Q_c é a vazão do concentrado (rejeito - m^3/h).

$$\text{NR} = \frac{Q_p}{(Q_p + Q_c)} \quad (3)$$

O aumento do NR transforma mais água salobra em água doce, diminuindo assim a quantidade de água a ser rejeitada e, por conseguinte, aumenta a concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, como também a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana (Amorim *et al.*, 2004).

3.3.4 Análise físico-química da água

Para verificação da qualidade da água dos sistemas de dessalinização, coletou-se amostras da água do poço, da água dessalinizada e da água concentrada (rejeito), através de 6 monitoramentos mensais ocorrido nos meses de maio a outubro de 2023. Objetivou-se observar assim o comportamento de seus parâmetros físico-químicos e a eficiência do dessalinizador

com o passar dos meses, visando sobretudo, se estão sendo cumpridos alguns parâmetros de qualidade necessários para consumo da água, uma vez que ampla parte dos moradores utilizam a água dessalinizada em bebidas e preparo de alimentos.

A coleta foi realizada em recipientes de 500 mL, identificados conforme o líquido a ser acomodado, a localidade e a data (Figura 22), sendo posteriormente enviadas ao Laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Figura 22 - Coleta de amostras de água do sistema de dessalinização.



Fonte: Autora.

No laboratório foram verificados os parâmetros físico-químicos da água referentes a condutividade elétrica, temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD) e teor de STD (Quadro 3). Estes parâmetros foram determinados a partir dos equipamentos disponibilizados em laboratório e análise da viabilidade financeira e do tempo necessário para a realização das visitas e ensaios.

Quadro 3 - Parâmetros físicos e químicos.

PARÂMETROS FÍSICOS	PARÂMETROS QUÍMICOS
Condutividade Elétrica	pH
Temperatura	Oxigênio Dissolvido (OD)
Turbidez	Teor de Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistemas de dessalinização

A partir das visitas realizadas e questionários aplicados no período de janeiro a outubro de 2023, realizou-se a caracterização de 2 dessalinizadores situados em Riacho das Almas – PE (Figuras 23 e 24) e 1 dessalinizador em São Caetano – PE (Figura 25), e demonstrada a análise dos dados e informações.

Figura 23 - Dessalinizador na comunidade Salinas, Riacho das Almas – PE.



Fonte: Autora.

Figura 24 - Dessalinizador na comunidade Nova Esperança, Riacho das Almas – PE.



Fonte: Autora.

Figura 25 - Dessalinizador na comunidade Enganchada, São Caetano – PE.



Fonte: Autora.

A partir das Figuras 23, 24 e 25 são observados os sistemas e seus estados atuais conforme a localização.

4.1.1 Observação do estado de conservação, manutenção e operacionalização dos sistemas

Em cada sistema de Riacho das Almas, observou-se a existência de um funcionário da prefeitura responsável pelo equipamento. Enquanto que o de São Caetano fica apenas um voluntário que mora na área em que foi instalado o dessalinizador, contudo, sem nenhum auxílio do governo, mas, que também demonstra o mesmo compromisso que os outros, independente do aporte financeiro. Quanto ao tempo de instalação dos equipamentos, os 3 sistemas apresentaram período superior a 15 anos. Em relação aos custos com a energia elétrica, quem arca com estas despesas de todos dessalinizadores é a prefeitura municipal. O sistema de Nova Esperança beneficia em torno de 14 famílias, a comunidade Enganchada uma média também de 14, e a comunidade Salinas com aproximadamente 44.

A distribuição da água potável para a comunidade é realizada próxima ao abrigo do dessalinizador através de um chafariz construído em alvenaria, onde as pessoas da comunidade têm acesso à água. Na comunidade Nova Esperança o acesso é através de fichas (2x morador), onde cada ficha equivale a 20 litros (Figura 26), enquanto que na comunidade Salinas não possui ficha, mas o acesso também é de 40 litros por família. Em Enganchada, o acesso é limitado também a 40 litros por família, porém, apenas em épocas de seca, já que em períodos chuvosos a demanda é menor e se consegue atender a necessidade de cada família.

Figura 26 - Distribuição da água comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas), reservatório e chafariz.



Fonte: Autora.

A partir das visitas *in loco* e da aplicação do questionário ao gestor do sistema, observou-se o estado de conservação, onde, cada sistema se encontrava em uma situação diferente. O sistema da comunidade Nova Esperança se encontrava em bom estado de conservação, enquanto o Salinas estava em estado regular e o Enganchada em mau estado. O que levou o sistema Salinas a encontrar-se em estado regular e não em bom estado de conservação, foi o abrigo do dessalinizador não está em boas condições, apresentando áreas com infiltrações e com ferrugens, além de peças do sistema que estavam em estado regular de conservação. Já o sistema Enganchada se caracterizou em mau estado de conservação, devido a não existência de manutenções periódicas, e conseqüentemente más condições do abrigo do dessalinizador e das peças que compõem o equipamento.

O pré-tratamento e o pós-tratamento são de extrema importância em um sistema de dessalinização. A maioria das unidades de OR requer pré-tratamento para remover alguns minerais e partículas maiores, tendo em vista que seus altos níveis tendem a reduzir a eficácia da membrana. Já para a unidade de pós-tratamento, sua principal função é remover qualquer sabor e odor, bem como qualquer resíduo orgânico da água tratada (Chen *et al.*, 2011).

Os sistemas de Riacho das Almas apresentaram pré-tratamento, que consiste na filtração de partículas maiores e é complementado com a adição de produtos que auxiliam no controle de depósito em membranas, limpeza e proteção, como o HSSI 410, HSSI 310, Flocon 135 e antincrustante Hypersperse MSI410. Também se realiza as trocas dos elementos filtrantes, proporcionando assim, tempo de operação mais longo, prolongação da vida dos componentes e redução dos custos operacionais e de capital. O sistema de São Caetano não apresentou unidades de pré-tratamento e pós-tratamento, tendo em vista que o sistema estava sem manutenções do governo há mais de 2 anos.

As manutenções são imprescindíveis para garantir um bom funcionamento do sistema e maior vida útil do equipamento, dessa forma, tem-se a manutenção preventiva que auxilia na redução de adversidades e prevenção de falhas e, a corretiva que é realizada quando o aparelho apresenta defeitos, e são realizados reparos para corrigir e prevenir uma piora do quadro.

Quanto aos problemas ocorridos e as manutenções, os resultados mostraram que apenas os sistemas de Riacho das Almas passavam por manutenções preventivas e corretivas periódicas, enquanto que o sistema de São Caetano, além de não ter nenhum funcionário contratado, também não passava por manutenções há mais de 2 anos. Quem realiza as manutenções preventivas e corretivas é o Governo Estadual, através da empresa terceirizada, contratada pelo Estado por meio de licitação. Em meados de setembro de 2023, o operador da comunidade Enganchada relatou a visita e a volta da empresa responsável pelas manutenções.

Atualmente, existe uma maior quantidade de sistemas dessalinizadores no município de Riacho das Almas e também uma maior atuação do Governo do Estado em suas manutenções, quando em comparação ao município de São Caetano. Logo, para mudar esse cenário, é necessário uma maior cobrança e atuação do governo municipal de São Caetano, em busca de mais sistemas para o município e manutenção dos mesmos, uma vez que se vê uma operação estadual maior em Riacho das Almas.

Dessa forma, quanto à análise da gestão dos sistemas junto aos governos estadual e municipais, pôde-se perceber a presença tanto do Governo Estadual, quanto do Municipal, nos dessalinizadores das comunidades Salinas e Nova Esperança, e apenas o Municipal na unidade de Enganchada. O Governo Estadual se fez presente nos sistemas de Riacho das Almas, através das visitas, controles de qualidade e manutenções realizadas, e a Prefeitura Municipal por meio dos custos com a operação, através da contratação dos operadores no município de Riacho das Almas e despesas com energia elétrica nos 2 municípios estudados.

Dos sistemas avaliados ambos já apresentaram algum tipo de problema, sendo os problemas mais comumente relatados com as bombas e membranas (67%) e apenas com as

bombas (33%). As bombas são um dos instrumentos mais delicados do sistema, devido a, além de energia, necessitarem de manutenção constante e uma correta operação, para maior durabilidade, uma vez que estão expostas às reações químicas entre os materiais que compõem a bomba e o fluido sendo bombeado e são um dos itens do sistema que mais são manuseados pelos operadores.

A partir das visitas *in loco* e dos questionários aplicados aos gestores de cada sistema, obteve-se informações técnicas operacionais como a vazão do poço, da água salina, da água dessalinizada, manutenções e quantidade de horas de funcionamento dos dessalinizadores. De acordo com as informações obtidas, os 2 dessalinizadores das comunidades em Riacho das Almas funcionam em média 3,0 horas/dia de segunda a sexta, contudo o de São Caetano funciona em média 1,5 horas/dia, com variações entre 0,0 e 3,0 horas/dia a depender do período, se chuvoso ou de seca. Conforme Tabela 3, observa-se um resumo das informações de cada dessalinizador.

Tabela 3 - Resumo das informações obtidas de cada dessalinizador.

Comunidade dessalinizador	Quantidade aproximada de famílias atendidas	Realização de manutenções periódicas	Funcionamento médio	Distribuição da água dessalinizada
Salinas (Riacho das Almas - PE)	44	Sim	3,0 horas/dia	40 litros / morador
Nova esperança (Riacho das Almas - PE)	14	Sim	3,0 horas/dia	40 litros / morador
Enganchada (São Caetano - PE)	14	Não	1,5 horas/dia	40 litros / morador

Fonte: Autora.

4.1.2 Eficiência da dessalinização dos sistemas

A análise da eficiência da dessalinização dos sistemas estudados no abastecimento das comunidades foi realizada através dos questionários aplicados e da análise físico-química da água.

Os serviços de saneamento são indispensáveis para a oferta da saúde para a população, uma vez que a coleta e o tratamento de esgoto dificultam a contaminação e transmissão de doenças e a poluição de rios e mares. Dessa forma, a partir das entrevistas, analisou-se se os moradores possuíam acesso à água encanada e redes de esgoto. Logo, pôde-se constatar que, em relação à comunidade Salinas, 89% dos entrevistados possuíam acesso à água encanada e esgoto, já na comunidade Nova Esperança, esse valor foi de 100%, em contrapartida à comunidade Enganchada, que nenhum dos entrevistados possuíam esse acesso.

Em épocas de chuva, as comunidades alternam o consumo entre a água armazenada na cisterna e a água dessalinizada, contudo, em relação à coleta da água dessalinizada, esta é realizada por meio de baldes. Dessa forma, verificou-se a dificuldade com a busca e transporte da água dessalinizada, em que foi obtido que na comunidade Salinas, apenas 11% encontra dificuldade e na comunidade Nova Esperança esse número é de 25%, valores esses devido a alguns moradores morarem mais distantes e necessitarem caminhar um percurso maior para o acesso ao dessalinizador. Já na comunidade Enganchada, a porcentagem é bem maior, de 50%, devido ao sistema encontrar-se na área rural e a distância às casas dos moradores ser maior, e nem todos possuem automóvel, necessitando assim fazer o percurso a pé ou solicitar auxílio de vizinhos. Como possível solução para esses moradores seria a instalação de mais dessalinizadores na área rural, ficando assim mais próximos das famílias que moram mais longe do atual sistema.

Nas entrevistas, analisou-se se a oferta de água pelo sistema era considerada suficiente, e, para todas as comunidades, 100% dos entrevistados a consideraram como suficiente. Dessa forma, verificou-se a destinação da água dessalinizada pelos moradores, e, foram obtidas finalidades como higiene pessoal, limpeza geral e bebida e preparo de alimentos. Na comunidade Enganchada, 100% dos entrevistados, utilizam a água dessalinizada para higiene pessoal e/ou limpeza em geral, entretanto, não a utilizam para consumo, devido ao gosto e cheiro desagradáveis. Já as comunidades Salinas e Nova Esperança, 100% dos questionários mostram que os moradores a utilizam para bebidas e preparo de alimentos, mesmo não sendo indicada. Logo, o presente trabalho também buscou a análise de alguns padrões de potabilidade e qualidade dessa água, tendo em vista a sua principal destinação nos sistemas de Riacho das Almas. A Tabela 4 resume alguns resultados obtidos a partir das entrevistas.

Tabela 4 - Resultados obtidos a partir das entrevistas.

	Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)
Residências com água encanada	89%	100%	0%
Residências com ligação de esgoto	89%	100%	0%
Dificuldade com a busca e transporte da água dessalinizada	11%	25%	50%
Água ofertada pelo sistema é considerada suficiente	100%	100%	100%
Uso da água dessalinizada para higiene pessoal	22%	50%	100%
Uso da água dessalinizada para limpeza geral	33%	25%	100%
Uso da água dessalinizada para bebidas e preparo de alimentos	100%	100%	0%

Fonte: Autora.

O controle de qualidade da água é uma tarefa fundamental para a preservação da saúde dos consumidores, bem como a segurança e o conforto de se consumir uma água boa, segura e agradável. Este controle das águas dessalinizadas é realizado pela empresa contratada pelo Estado, porém é feito apenas nos sistemas de Riacho das Almas. O dessalinizador da comunidade Enganchada não tem esse controle, confirmado pela falta de manutenção há mais de 2 anos.

A partir dos questionários, analisou-se a consideração da qualidade da água dessalinizada pelos consumidores e seu nível de satisfação. Para os sistemas das comunidades Salinas e Nova Esperança, 100% dos entrevistados consideraram a qualidade da água como boa, em contrapartida ao de Enganchada, que apenas 42% a considerou como boa, 50% como razoável e 8% como ruim, devido a características como gosto e cheiro desagradáveis. Quanto aos sistemas das comunidades Salinas e Nova Esperança, todos os usuários entrevistados encontravam-se satisfeitos ou muito satisfeitos, já para a de Enganchada, esta porcentagem era de apenas 50%. Conforme Tabela 5, é perceptível que os sistemas que realizam o controle de qualidade da água apresentam melhores considerações de sua qualidade e nível de satisfação pelos usuários.

Tabela 5 - Controle de qualidade da água dessalinizada e considerações dos usuários.

		Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)
Realização de controle de qualidade da água dessalinizada		SIM	SIM	NÃO
Quantidade de entrevistas realizadas aos representantes das famílias		27	12	12
Consideração da qualidade da água dessalinizada	Ruim	0%	0%	8%
	Razoável	0%	0%	50%
	Boa	100%	100%	42%
Nível de satisfação com o sistema	Não Satisfeito	0%	0%	50%
	Satisfeito	67%	100%	50%
	Muito satisfeito	33%	0%	0%

Fonte: Autora.

A partir da análise físico-química da água, obteve-se os dados de STD (Tabela 6). Logo, obteve-se a TRS, e de acordo com os dados das vazões foi determinado o NR. Dessa forma, a partir do monitoramento mensal ocorrido nos meses de maio a outubro de 2023, analisou-se se a dessalinização vem sendo eficiente ao longo do tempo.

Os resultados indicaram que o desempenho da membrana OR em termos de TRS na comunidade Salinas foi estável na faixa de 97,96–98,45% durante o estudo de 6 meses, em que,

no último mês do estudo, a rejeição de sal permaneceu 98,36%. Isto indica que a membrana OR teve um bom desempenho, dentro do intervalo de operação da OR de 90 a 98%. Contudo, na comunidade Nova Esperança, a TRS variou no intervalo de 67,12–98,98%, indicando que a membrana OR não teve um bom desempenho nos meses de maio e junho, que foi de apenas 67,12% e 89,77%, respectivamente. Entretanto, no último mês, a rejeição aumentou para 98,98%. Já na comunidade Enganchada, a TRS foi estável na faixa de 93,56–94,98% e, no último mês, permaneceu 94,98%, indicando que a membrana OR teve um bom desempenho, mesmo com o sistema sem manutenções, possivelmente devido aos valores bastante elevados da salinidade da água do poço, quando em comparação às outras comunidades.

Tabela 6 - STD no monitoramento dos dessalinizadores, maio a outubro de 2023.

PARÂMETROS		SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS - STD (PPM)					
PERÍODO		mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	30	30	30	40	30	30
	Água poço	1.900	1.850	1.930	1.960	1.880	1.830
	Água concentrada	3.840	3.130	3.440	3.060	3.400	3.530
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	240	180	90	40	30	20
	Água poço	730	1.760	1.840	1.870	1.860	1.960
	Água concentrada	1.920	3.840	2.260	1.920	2.380	2.460
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água dessalinizada	780	610	650	690	610	700
	Água poço	12.120	11.300	11.700	11.940	12.150	11.800
	Água concentrada	14.400	13.600	13.800	13.900	15.000	14.800

Fonte: Autora.

Dessa forma, o sistema da comunidade Salinas apresentou a TRS média mensal mais alta de 98,33%, dentro da faixa de operação da OR de 90 a 98%, seguida da comunidade Enganchada, que também se encontrou dentro do intervalo, com TRS média mensal de 94,31%, e da unidade Nova Esperança que apresentou a menor TRS média mensal de 91,21%, mas também dentro deste intervalo. O valor da TRS mensal e da respectiva média mensal pode ser observado na Tabela 7, em que as setas azuis sinalizam a TRS dentro da faixa de operação, e as setas vermelhas a TRS abaixo desse intervalo.

Tabela 7 - TRS no monitoramento de maio a outubro de 2023.

PARÂMETROS	TAXA DE REJEIÇÃO DE SAIS (TRS)						Média Mensal
	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23	
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	98,42% ↑	98,38% ↑	98,45% ↑	97,96% ↑	98,40% ↑	98,36% ↑	98,33% ↑
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	67,12% ↓	89,77% ↓	95,11% ↑	97,86% ↑	98,39% ↑	98,98% ↑	91,21% ↑
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	93,56% ↑	94,60% ↑	94,44% ↑	94,22% ↑	94,98% ↑	94,07% ↑	94,31% ↑

Fonte: Autora.

As vazões dos sistemas dessalinizadores foram determinadas a partir da leitura dos equipamentos em funcionamento no dia da coleta das amostras. A comunidade Salinas apresentou vazão média de 1,34 m³/h para o rejeito (com vazão máxima de 1,80 m³/h e mínima de 0,91 m³/h) e 1,11 m³/h para o permeado (com vazão máxima de 1,14 m³/h e mínima de 1,08 m³/h). A comunidade Nova Esperança exibiu como vazão média 2,17 m³/h para o concentrado (com máxima de 2,27 m³/h e mínima de 1,83 m³/h) e para a água dessalinizada 0,62 m³/h (com máxima de 0,91 m³/h e mínima de 0,48 m³/h). Já o Sítio Enganchada apresentou vazão média de 1,13 m³/h para o rejeito (máxima e mínima de 1,13 m³/h) e 0,43 m³/h para o permeado (máxima de 0,45 m³/h e mínima de 0,42 m³/h).

Em relação ao rejeito, a comunidade Nova Esperança, exibiu a maior vazão média, com 2,17 m³/h, já a comunidade Enganchada apresentou a menor, com 1,13 m³/h. Acerca do permeado, a comunidade Salinas foi a de maior vazão com 0,62 m³/h, já a de Enganchada também apresentou a menor, com apenas 0,43 m³/h. A leitura das vazões de todos os meses do rejeito da comunidade Enganchada foi igual, devido a esse ser o valor de leitura máximo do equipamento, e as vazões se encontrarem nessa medida. A Tabela 8 apresenta os dados de vazão dos sistemas de dessalinização e seus respectivos períodos.

Tabela 8 - Vazões do rejeito e permeado dos dessalinizadores, no monitoramento de maio-outubro/2023.

PERÍODO		VAZÕES (m ³ /h)						Média Mensal
		mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23	
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água Concentrada (Rejeito)	1,11	0,91	1,32	1,80	1,53	1,35	1,34
	Água Dessalinizada (Permeado)	1,14	1,14	1,08	1,08	1,14	1,08	1,11
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água Concentrada (Rejeito)	2,27	2,27	2,27	1,83	2,07	2,27	2,17
	Água Dessalinizada (Permeado)	0,73	0,90	0,91	0,48	0,54	0,54	0,62
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água Concentrada (Rejeito)	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
	Água Dessalinizada (Permeado)	0,42	0,42	0,42	0,42	0,45	0,45	0,43

Fonte: Autora.

A partir das vazões, obteve-se o NR, conforme resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - NR no monitoramento de maio-outubro/2023.

Nível de Recuperação do Sistema - NR (%)							
PERÍODO	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23	NR Médio
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	50,67%	55,72%	45,00%	37,50%	42,70%	44,44%	46,00%
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	24,35%	28,36%	28,63%	20,78%	20,69%	19,19%	23,67%
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	27,03%	27,03%	27,03%	27,03%	28,41%	28,41%	27,49%

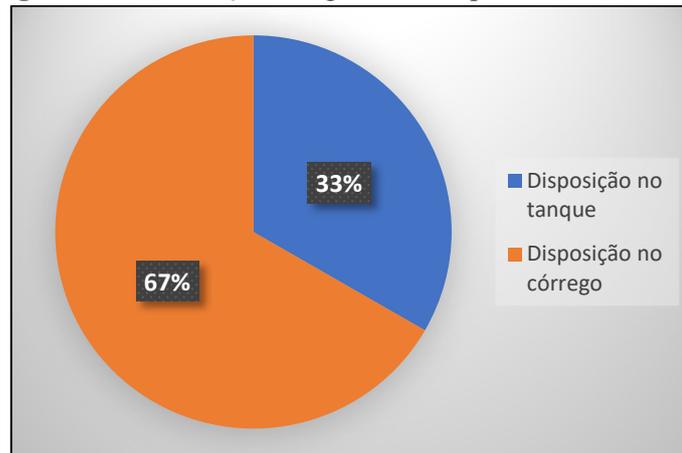
Fonte: Autora.

O NR médio do dessalinizador do povoado Salinas foi de 46,0% (NR máximo de 55,72% e mínimo de 37,5%), ou seja, para cada 1.000 litros de água salobra cerca de 460 litros são transformados em água doce e 540 em rejeito. A comunidade Nova Esperança exibiu NR média de 23,67% (NR máximo de 28,63% e mínimo de 19,19%), e já Enganchada apresentou 27,49% (máximo de 28,41% e mínimo de 27,03%). A recuperação média máxima foi de 46% para o dessalinizador do povoado Salinas e a média mínima foi de 23,67% para o dessalinizador de Nova Esperança, retratando um volume muito elevado de rejeito, cerca de 763,3 litros a cada 1.000 litros, necessitando assim de estudos que possibilitem o sistema ofertar um NR maior para que se reduza essa produção de rejeito e aumente a de água doce, e o mesmo possa cumprir o seu objetivo com eficiência. Contudo, segundo Amorim *et al.* (2004), deve-se considerar que, para a maximização do NR do sistema, ou tentativa de redução da produção de concentrado, deve-se respeitar o limite de recuperação do mesmo, isto é a concentração em que acontece a precipitação de alguma espécie química dissolvida no concentrado.

4.1.3 Destinação da água salina

A destinação final da água salina é de extrema importância em uma instalação de dessalinizador, devido ao seu significativo impacto ambiental. Quanto ao seu destino, a presente pesquisa considerou três tipos de manejo: a) disposição no córrego; b) disposição no solo; c) disposição em tanque de rejeito. Conforme Figura 27, em 2/3 dos sistemas analisados a água salina é despejada diretamente em um córrego (Figura 28), sem qualquer critério de tratamento, e em apenas 1/3 o concentrado é despejado em um tanque de rejeito (Figura 29), minimizando assim os efeitos adversos sobre a natureza.

Figura 27 - Destinação da água salina, após dessalinizadores.



Fonte: Autora.

A água salina despejada diretamente no córrego também é uma forma de contaminação ambiental, tendo em vista que o problema está sendo apenas deslocado para longe do local de sua produção. Este concentrado certamente encontrará um corpo d'água receptor e terá suas características alteradas, sendo assim necessário um tratamento especial dessa água concentrada.

Figura 28 - Córrego de destinação do concentrado comunidade Salinas.



Fonte: Autora.

Figura 29 - Tanque de destinação do concentrado comunidade Enganchada.



Fonte: Autora.

Na comunidade Enganchada é utilizado um tanque para despejo da água salina, com capacidade de armazenamento de aproximadamente 400 m³, contudo em tempos chuvosos, com as cheias, ocorre o transbordamento, e a destinação do concentrado acaba sendo diretamente no solo (Figura 30), sem nenhum tratamento, o que pode ocasionar na degradação do solo devido ao acúmulo de sais. Dessa forma, são necessários estudos de viabilidade da construção de um tanque de maior volume ou destinação desse excedente para a realização de atividades como plantações e/ou criação de animais, para que assim sejam minimizados os impactos ambientais. Nas visitas realizadas é constatado visualmente que esse lançamento já vem promovendo algumas consequências, como o afloramento de sais em áreas do solo, que se apresentavam esbranquiçadas.

Figura 30 - Destinação da água salina quando o tanque está cheio.



Fonte: Autora.

4.2 Análise físico-química da água

A partir do monitoramento mensal ocorrido nos meses de maio a outubro de 2023, em que os meses de maio e junho são considerados como períodos chuvosos na região, foi observado o comportamento dos parâmetros físico-químicos da água tratada, e também analisado se a dessalinização vem sendo eficiente ao longo do tempo e manteve alguns padrões de qualidade necessários para consumo da água.

Dentre os diversos padrões de qualidade, um dos mais rigorosos são os de potabilidade, pois estão associados à água destinada ao consumo humano. No Brasil, as águas superficiais seguem classificação e padrões de qualidade determinados pela Resolução 357/2005 do CONAMA, sobre o enquadramento de corpos hídricos, e também pela Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde - MS, que trata dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

As águas dos dessalinizadores apresentam uso compatível com águas de Classe 2 do CONAMA, as quais são destinadas: ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação; à aquicultura e à atividade de pesca. Dessa forma, os parâmetros físicos e químicos foram avaliados em comparação aos limites estabelecidos para as águas de Classe 2 da Resolução 357/2005 do CONAMA e também de acordo com a Portaria nº 888/2021 do MS (Tabela 10).

Tabela 10 - Valor Máximo Permitido (VMP) CONAMA Nº 357/2005 e MS Nº 888/2021.

Parâmetros	VMP CONAMA 357/2005	VMP MS 888/2021
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Oxigênio dissolvido - OD (ppm)	≥5,0	-
Sólidos totais dissolvidos (ppm)	500,00	500,00
Turbidez (UNT)	100,00	5,0

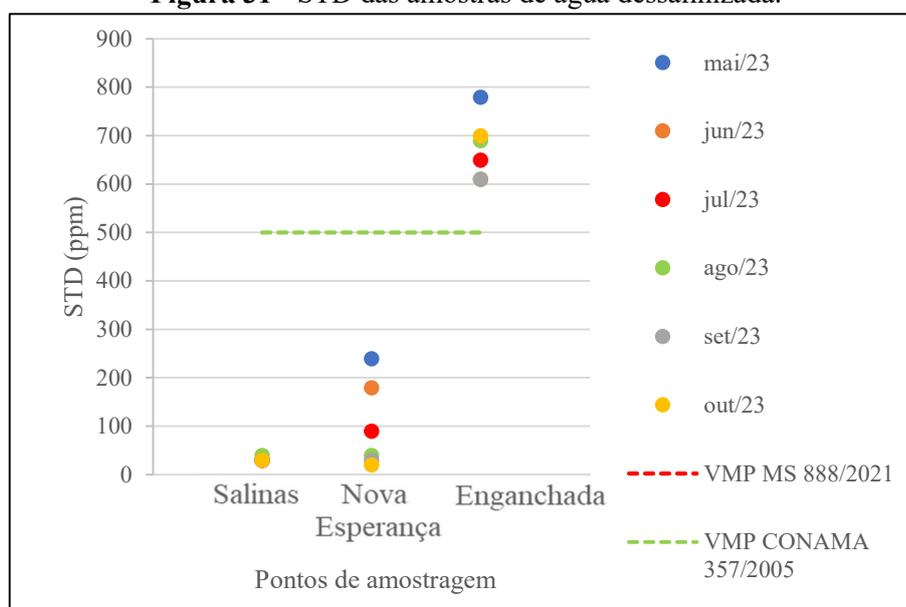
Fonte: Autora.

A Resolução 357/2005 do CONAMA classifica as águas doces (salinidade igual ou inferior a 0,5‰), salobras (salinidade entre 0,5 e 30‰) e salinas (salinidade igual ou superior a 30‰) do território nacional de acordo com a qualidade requerida para seus usos preponderantes. Dessa forma, a partir dos dados das amostras (Tabela 6), pode-se concluir que realmente todas as amostras da água de poço são classificadas como águas salobras, impróprias para o consumo humano, sendo, portanto, passíveis de dessalinização. Vale destacar a comunidade Enganchada, em que o rejeito apresentou maior salinidade, chegando a 15.000 ppm.

Ainda, segundo os valores de STD, apenas as amostras de água dessalinizada das comunidades Salinas e Nova Esperança, se classificaram como água doce, uma vez que apresentaram salinidade igual ou inferior a 0,5‰; já a de Enganchada, mesmo após dessalinização continuou classificada na classe de água salobra, devido a apresentar salinidade entre 0,5 e 30‰.

Analisando os valores de STD, a comunidade Enganchada apresentou os índices de água dessalinizada mais elevados, conforme Figura 31, ultrapassando nos 6 meses o Valor Máximo Permitido (VMP) da Resolução 357/2005 do CONAMA e da Portaria nº 888/2021 do MS. Em contrapartida as demais apresentaram as melhores condições de STD, obedecendo ao VMP pelo CONAMA e também pelo MS.

Figura 31 - STD das amostras de água dessalinizada.



Fonte: Autora.

Ao se realizar a comparação da TRS (Tabela 7) com o valor de STD da água dessalinizada (Tabela 6) é possível pontuar que um percentual elevado na remoção de sais não demanda necessariamente na ideal quantidade de STD para consumo humano. No Sítio Enganchada, por exemplo, a eficiência da TRS foi estável na faixa de 93,56–94,98%, com média mensal de 94,31%, contudo, ainda possui STD superior a 500 ppm. A remoção de sal é perceptível para o sistema, mas ainda é insuficiente para propiciar água de boa qualidade para a comunidade, segundo VMP do CONAMA e MS. Já na unidade Nova Esperança, a TRS variou no intervalo de 67,12–98,98%, com a menor média mensal, de 91,21%, porém ainda alcançou valores de STD para o permeado inferior a 500 ppm.

Para a garantia da qualidade da água, em complementação aos quesitos relativos aos indicadores microbiológicos, é necessário que seja atendido também o padrão de turbidez. Conforme a classe 2 da Resolução 357/2005 do CONAMA, a turbidez deve apresentar valor máximo de 100 UNT. Já, de acordo com a Portaria nº 888/2021 do MS, para a turbidez, o VMP é 5 UNT, conforme tabela de padrão organoléptico de potabilidade. Mesmo com os parâmetros de turbidez e sólidos totais associados, eles não são absolutamente equivalentes, contudo, um parâmetro diretamente adjunto à turbidez é a transparência da água. Na Figura 32 o gráfico apresenta a turbidez da água dessalinizada das comunidades, montado a partir da Tabela 11.

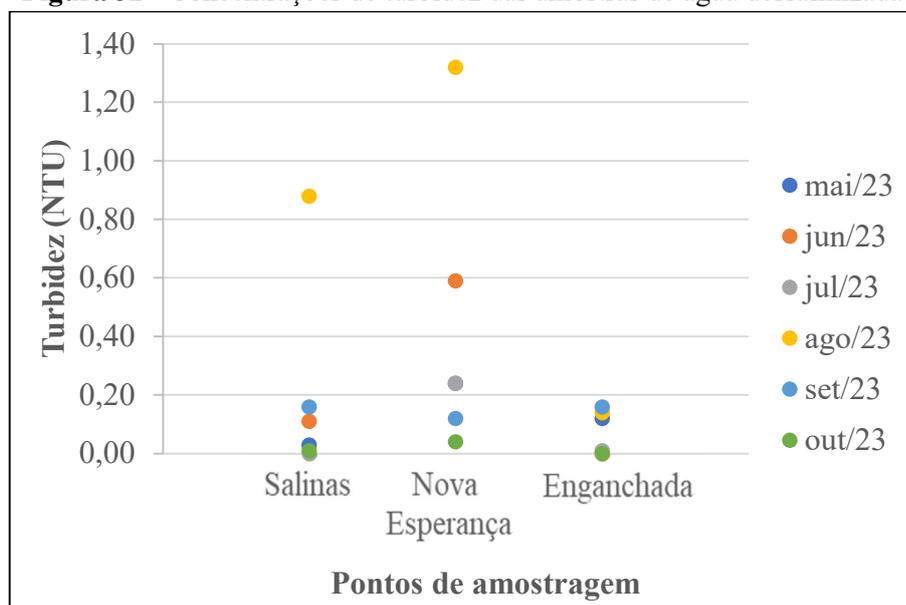
Tabela 11 - Turbidez da água dessalinizada, no monitoramento de maio a outubro de 2023.

	TURBIDEZ (UNT)					
	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	0,03	0,11	0,00	0,88	0,16	0,01
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	0,24	0,59	0,24	1,32	0,12	0,04
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	0,12	0,00	0,01	0,14	0,16	0,00

Fonte: Autora.

Conforme Figura 32, a turbidez da água dessalinizada das comunidades apresentou valores que se enquadram no limite estabelecido para classe 2 da Resolução 357/2005 do CONAMA (VMP 100 UNT), e também com a Portaria nº 888/2021 do MS (VMP 5,0 UNT). É possível observar que a comunidade Enganchada mostrou menor turbidez ao passar dos meses, quando comparada à Salinas e Nova Esperança, mesmo sem pré-tratamento.

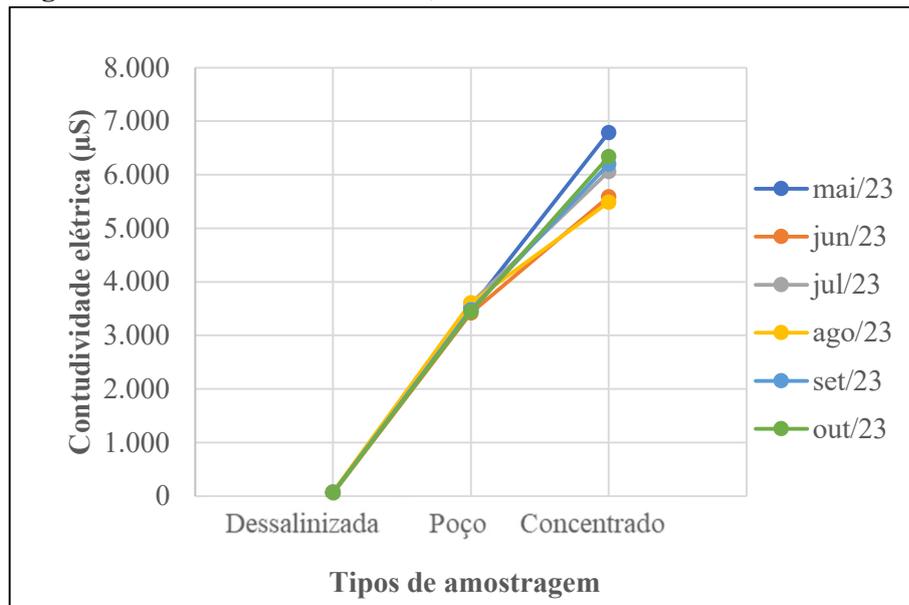
Figura 32 - Concentrações de turbidez das amostras de água dessalinizada.



Fonte: Autora.

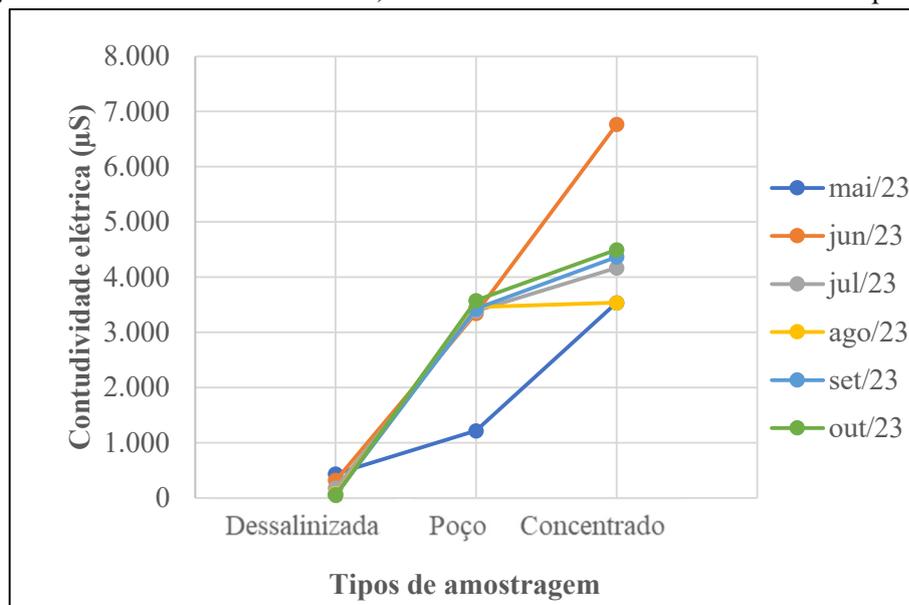
Segundo Brasil (2014), a condutividade elétrica da água indica sua capacidade de conduzir a corrente elétrica de acordo com a presença de substâncias dissolvidas que se desassociam em ânions e cátions. Este é um parâmetro útil na identificação da presença de sais na água e permite sua quantificação, uma vez que existe uma relação direta com os STD presentes, como pode-se observar com os resultados mostrados nas Figuras 33, 34 e 35.

Figura 33 - Condutividade elétrica, monitoramento na Comunidade Salinas.



Fonte: Autora.

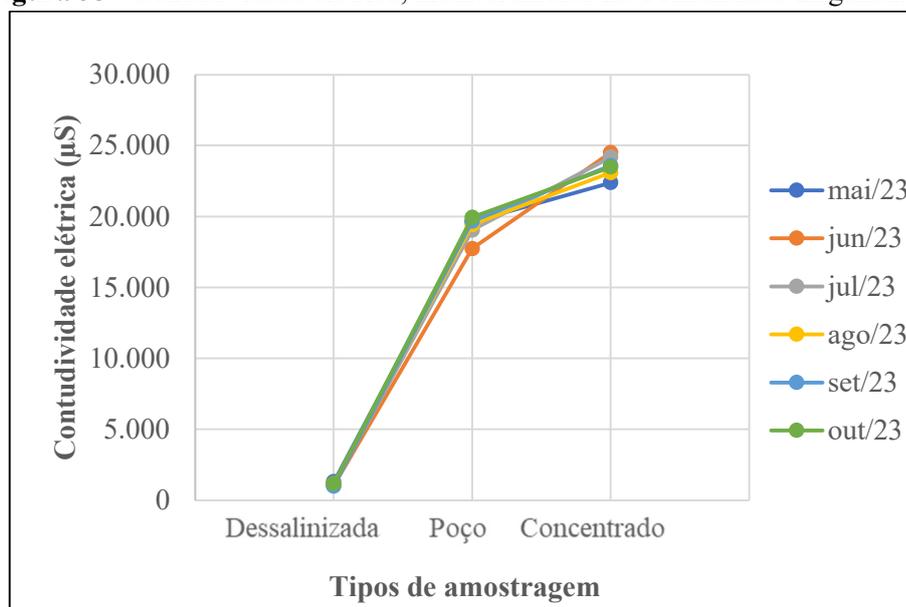
Figura 34 - Condutividade elétrica, monitoramento na Comunidade Nova Esperança.



Fonte: Autora.

Conforme Figura 34 a condutividade elétrica da comunidade Nova Esperança foi a que apresentou maior variação das coletas ao longo dos meses estudados, como pode-se observar quando comparada aos gráficos das outras comunidades.

Figura 35 - Condutividade elétrica, monitoramento na Comunidade Enganchada.



Fonte: Autora.

Analisando-se a condutividade elétrica das coletas de água dessalinizada, do poço e do concentrado, pode-se observar que o valor aumentou conforme o aumento da salinidade, também seguindo a ordem de água dessalinizada, água do poço e concentrado conforme STD. Constatou-se também que os maiores valores ocorreram na comunidade Enganchada, sendo superiores a 24.000 μS para o concentrado, conforme Tabela 12, como já era esperado, uma vez que também apresentou maior salinidade quando em comparação às outras.

Tabela 12 - Condutividade elétrica (μS), no monitoramento de maio a outubro de 2023.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (μS)		mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	64,1	60,4	57,6	80,0	73,1	65,1
	Água poço	3.510,0	3.420,0	3.600,0	3.610,0	3.480,0	3.440,0
	Água concentrada	6.790,0	5.590,0	6.060,0	5.490,0	6.200,0	6.340,0
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	440,0	322,0	182,3	88,0	65,9	50,5
	Água poço	1.221,0	3.350,0	3.390,0	3.460,0	3.430,0	3.580,0
	Água concentrada	3.540,0	6.770,0	4.170,0	3.540,0	4.370,0	4.500,0
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água dessalinizada	1.311,0	1.070,0	1.110,0	1.193,0	1.015,0	1.181,0
	Água poço	19.630,0	17.750,0	19.050,0	19.440,0	19.670,0	19.940,0
	Água concentrada	22.400,0	24.520,0	24.200,0	23.100,0	23.600,0	23.500,0

Fonte: Autora.

A partir da Tabela 12, a condutividade elétrica média da água do poço, do rejeito e da água dessalinizada dos sistemas foi calculada e exibida na Tabela 13.

Tabela 13 - Condutividade elétrica média das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA MÉDIA MENSAL (μS)		
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água Dessalinizada	66,72
	Água Poço	3.510,00
	Água Concentrada	6.078,33
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água Dessalinizada	191,45
	Água Poço	3.071,83
	Água Concentrada	4.481,67
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água Dessalinizada	1.146,67
	Água Poço	19.246,67
	Água Concentrada	23.553,33

Fonte: Autora.

Em relação às águas para consumo humano, temperaturas extremamente altas ou baixas podem ocasionar a rejeição ao seu uso. Dessa forma, analisou-se as temperaturas das amostras coletadas no sistema, conforme exibido em Tabela 14. Logo, as amostras conforme localidades apresentaram temperaturas constantes, de acordo com a temperatura ambiente, uma vez que são armazenadas em reservatórios, com exceção do concentrado, sendo assim influenciadas pelo clima de acordo com o período de coleta.

Tabela 14 - Temperatura das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.

TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)							
PERÍODO		mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	25,20	23,30	23,20	26,00	25,90	27,10
	Água poço	25,20	23,30	23,20	26,00	25,90	27,10
	Água concentrada	25,20	23,30	23,20	26,00	25,90	26,90
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	25,20	23,1	24,70	25,90	25,90	27,00
	Água poço	24,50	23,1	24,80	25,90	25,90	26,80
	Água concentrada	24,50	23,1	24,70	25,90	25,90	26,80
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água dessalinizada	25,00	23,00	23,70	25,80	25,80	26,80
	Água poço	25,00	23,00	23,70	25,80	25,80	26,70
	Água concentrada	25,00	23,00	23,70	25,80	25,80	26,70

Fonte: Autora.

O OD é uma medida relativa da quantidade de oxigênio que está dissolvido num determinado fluido e é utilizado na avaliação de sua qualidade. Segundo Santos (2008), os valores de O_2 costumam ser menores em águas subterrâneas, variando entre 0 e 5 mg/L, contudo, conforme Laureano *et al.* (2020), se a coleta da água do poço for realizada diretamente

nas torneiras, os valores de OD da água subterrânea podem se apresentar mais elevados que o normal, uma vez que, ocorre uma maior aeração da amostra e conseqüentemente eleva o resultado de OD. De acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, aplicam-se às águas doces de Classe 2 as condições e padrões da classe, em que o OD não pode ser inferior a 5,0 ppm. A partir de análise das amostras coletadas conforme Tabela 15, os ODs de todas amostras de água não se mostraram inferiores a 5,0 ppm, atendendo assim o presente critério do CONAMA.

Tabela 15 - OD das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.

		OXIGÊNIO DISSOLVIDO - OD (ppm)					
		mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	13,10	9,30	7,10	7,25	6,75	6,50
	Água poço	11,00	8,50	7,40	5,75	6,25	6,25
	Água concentrada	11,20	8,10	6,90	5,50	6,75	6,25
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	11,90	9,10	6,70	7,75	8,25	6,25
	Água poço	12,90	7,50	6,60	7,50	8,25	6,00
	Água concentrada	12,30	9,30	7,30	7,00	8,25	6,00
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água dessalinizada	8,40	12,6	8,70	8,00	8,25	6,25
	Água poço	7,80	10,5	8,40	6,25	9,00	6,25
	Água concentrada	8,70	11,9	8,30	6,25	7,50	6,25

Fonte: Autora.

O potencial hidrogênio (pH) demonstra a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido através da medição da presença de íons hidrogênio (H⁺). O mesmo pode situar-se na faixa de 0 a 14, em que se inferior a 7 se encontrará em condição ácida; e quando superior a 7, em condição alcalina. O valor do pH influencia na distribuição das formas livres e ionizadas de alguns compostos químicos, além de colaborar em relação ao grau de solubilidade das substâncias (Brasil, 2014). Conforme Portaria nº 888/2021 do MS é recomendável que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,0, em conformidade também com a resolução 357/2005 do CONAMA.

Conforme análise de pH das amostras coletadas, observados na Tabela 16, realizou-se a classificação de sua condição, se ácida ou alcalina conforme Brasil (2014), através da média mensal. Obteve-se que apenas a amostra de água do poço do Sítio Enganchada se apresentou com condição ácida, e todo o restante das amostras mostraram condição alcalina. Em relação à Portaria nº 888/2021 do MS e resolução 357/2005 do CONAMA, todas as médias mensais das amostras de água dessalinizada se encontraram nos 2 intervalos sugeridos, inclusive as de água do poço e concentrado. Contudo, vale citar que a água dessalinizada da unidade Salinas nos meses de maio e junho, e da comunidade Nova Esperança, no mês de junho não se apresentaram nestes intervalos recomendáveis.

Tabela 16 - pH das amostras coletadas nos sistemas de dessalinizadores.

		pH						Média Mensal	Classificação segundo Brasil (2014)
		mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23		
Comunidade Salinas (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	10,28	10,38	5,07	7,40	7,90	8,20	8,21	Alcalina
	Água poço	7,49	8,14	6,25	7,60	8,10	7,00	7,43	Alcalina
	Água concentrada	7,72	7,81	6,03	7,50	7,70	6,40	7,19	Alcalina
Comunidade Nova Esperança (Riacho das Almas - PE)	Água dessalinizada	7,48	9,78	5,40	8,20	7,90	8,00	7,79	Alcalina
	Água poço	7,11	7,70	6,25	7,50	7,50	7,40	7,24	Alcalina
	Água concentrada	7,48	7,36	6,67	7,50	7,40	7,30	7,29	Alcalina
Comunidade Enganchada (São Caetano - PE)	Água dessalinizada	6,62	8,58	6,60	7,50	6,70	7,00	7,17	Alcalina
	Água poço	6,18	7,13	6,50	7,30	7,30	6,80	6,87	Ácida
	Água concentrada	6,85	8,30	6,70	7,30	7,30	6,40	7,14	Alcalina

Fonte: Autora.

A partir dos resultados das análises e valores médios mensais do STD, pH, turbidez e OD das amostras de água dessalinizada, avaliou-se se as mesmas atendiam aos parâmetros (Tabela 10) determinados pelo CONAMA 357/2005 e MS 888/2021, visualizado na Tabela 17.

Tabela 17 - Tabela resumo do VMP pelo CONAMA 357/2005 e MS 888/2021 para as amostras de água dessalinizada.

		COMUNIDADE SALINAS (Riacho das Almas - PE)	COMUNIDADE NOVA ESPERANÇA (Riacho das Almas - PE)	COMUNIDADE ENGANCHADA (São Caetano - PE)
STD (ppm)	STD médio mensal	31,67	100,00	673,33
	VMP CONAMA 357/2005	SIM	SIM	NÃO
	VMP MS 888/2021	SIM	SIM	NÃO
pH	pH médio mensal	8,21	7,79	7,17
	VMP CONAMA 357/2005	SIM	SIM	SIM
	VMP MS 888/2021	SIM	SIM	SIM
Turbidez (UNT)	Turbidez média mensal	0,20	0,43	0,07
	VMP CONAMA 357/2005	SIM	SIM	SIM
	VMP MS 888/2021	SIM	SIM	SIM
OD (ppm)	OD médio mensal	8,33	8,33	8,70
	VMP CONAMA 357/2005	SIM	SIM	SIM

Fonte: Autora.

Dessa forma, pôde-se concluir que apenas a média mensal da amostra de água dessalinizada da comunidade Enganchada não atendeu ao critério determinado pelo CONAMA e MS em relação ao STD, mas todo o restante das amostras médias dos sistemas atenderam aos padrões sugeridos. Todavia, vale ressaltar que foram analisados apenas alguns dos parâmetros de potabilidade, uma vez que é necessário para sua determinação, a realização também de outras análises laboratoriais de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como exemplo análises de cor, coliformes totais, bactérias e concentrações de componentes como ferro e cobre.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A eficiência dos sistemas foi obtida através dos questionários e análise físico-química da água. Dessa forma, concluiu-se que 100% dos entrevistados consideraram a quantidade de água ofertada como suficiente. Em relação à consideração da qualidade da água dessalinizada pelos consumidores e seu nível de satisfação, 100% dos entrevistados dos sistemas das comunidades Salinas e Nova Esperança consideraram a qualidade da água como boa. Em contrapartida ao de Enganchada, que apenas 42% a considerou como boa, 50% como razoável e 8% como ruim, devido a características desagradáveis como o gosto e cheiro. Quanto aos sistemas das unidades Salinas e Nova Esperança, todos os usuários entrevistados encontravam-se satisfeitos ou muito satisfeitos, já para a de Enganchada, esta porcentagem era de apenas 50%.

Pôde-se concluir uma maior insatisfação da comunidade Enganchada em relação ao sistema, em virtude da falta de manutenções e realização de controle de qualidade da água, que ocasionaram mau estado de conservação do dessalinizador e perda da qualidade da água dessalinizada, uma vez que, a realização de manutenções regulares dos sistemas permite produzir uma água dessalinizada com maior qualidade e garantem a eficiência de remoção por um período maior. Além disso, a manutenção preventiva não só reduz os custos operacionais e de capital, como também garante o bom funcionamento do equipamento e prolongação da vida útil dos componentes.

A água potável deve estar de acordo com o padrão de aceitação de consumo. Em relação aos valores de STD, a comunidade Enganchada apresentou os índices de água dessalinizada mais elevados, ultrapassando nos 6 meses o VMP da Resolução 357/2005 do CONAMA e da Portaria nº 888/2021 MS, podendo oferecer riscos à saúde humana se consumidas sem tratamento adequado. Em contrapartida, as demais apresentaram as melhores condições de STD, obedecendo ao VMP pelo CONAMA e também pelo MS.

A distribuição final da água salina é um tema ambiental de suma importância em uma instalação de dessalinizador, devido a relevância de seu impacto ambiental. Quanto à sua destinação, em 2/3 dos sistemas analisados o rejeito é despejado diretamente em um córrego, sem qualquer critério de tratamento, e em apenas 1/3 é despejado em um tanque de rejeito. Apenas o sistema da comunidade Enganchada utiliza uma metodologia sustentável para destinação final da água salina, o tanque de rejeito. Contudo, ainda é necessário o estudo de uma destinação alternativa para o concentrado que transborda do reservatório em tempos de

chuva, como exemplo, a construção de um tanque de maior volume ou destinação desse excedente para a realização de atividades como plantações e/ou criação de animais.

Também em relação aos sistemas do povoado Salinas e Nova Esperança são imprescindíveis opções de manejo da água salina que estejam de acordo com as características do meio ambiente local, uma vez que, a água salina ser despejada diretamente no córrego também é uma forma de contaminação ambiental, tendo em vista que o problema está sendo apenas deslocado para longe do local de sua produção, sendo assim necessário o desenvolvimento do processo de melhoria da oferta hídrica no semiárido, sem deixar de preservar o meio ambiente.

Apenas os sistemas de dessalinização de Riacho das Almas apresentaram-se eficientes no tratamento de água salobra de poços artesianos, uma vez que seus equipamentos passavam por manutenções regulares. Já o sistema de São Caetano, mesmo com valor elevado de TRS, não obteve resultados satisfatórios em relação à sua qualidade e nível de satisfação pelos usuários. Dessa forma, é imprescindível a volta de investimentos na manutenção periódica do sistema Enganchada, para que permita a produção de um permeado com boa qualidade e/ou realização de um segundo ciclo de dessalinização para garantir a eficiência da remoção.

Quanto à análise da gestão dos sistemas junto aos governos estaduais e municipais, existe a presença tanto do Governo Estadual, quanto do Municipal, nos dessalinizadores das comunidades Salinas e Nova Esperança, e apenas o Municipal na unidade de Enganchada. Para se mudar esse cenário, é indispensável uma maior cobrança e atuação do governo municipal de São Caetano, em busca do aumento de dessalinizadores para o município e manutenção dos mesmos.

É de grande importância a aliança do poder público com a população através destas políticas públicas, uma vez que, os dessalinizadores permitem o aproveitamento da água de poços no Semiárido brasileiro em razão das águas subterrâneas salobras e salinas, e possibilitam o acesso à água para diversas famílias. A falta de investimento constante limita uma gestão eficiente, uma vez que é indispensável uma gestão integrada dos recursos hídricos, tendo em vista que os problemas hídricos, por diversas vezes, ultrapassam divisas.

Os municípios estudados possuem diversos poços de captação de água subterrânea, o que evidencia a importância do recurso natural. Através dos questionários aplicados aos moradores beneficiados pelos sistemas, pôde-se concluir que o dessalinizador melhorou a qualidade de vida de todos, uma vez que após a implementação do sistema houve uma redução da dependência de recargas d'água, como carros-pipas. Diante do exposto, é notável a

importância dos sistemas de dessalinização para as comunidades, uma vez que representam um amplo subsídio na convivência em regiões expostas à vulnerabilidade hídrica.

O presente estudo pode ser considerado um suporte bibliográfico para que sejam levantadas discussões entre os distintos níveis de órgãos públicos, visando melhorias e aprimoramento das políticas hídricas estudadas, e também a respeito de sua ampliação para que se beneficiem mais famílias. O estudo também permitiu identificar as características das águas antes e após passarem pelos sistemas dessalinizadores, resultados estes que podem dar suporte a gestão dos recursos locais, de maneira a garantir uma oferta de água com qualidade à população. O monitoramento das variáveis físico-químicas também pode estar auxiliando a melhorar o banco de dados sobre a qualidade das águas dessalinizadas dos municípios.

Recomenda-se para pesquisas futuras a análise de outros parâmetros de potabilidade, como de cor, coliformes totais, bactérias e concentrações de componentes como ferro e cobre e se os mesmos se encontram dentro dos limites máximos permitidos para consumo humano.

A amostra de água do poço do município de São Caetano apresentou alta salinidade, quando em comparação às coletadas em Riacho das Almas. Esse valor elevado pode ser influenciado pela profundidade de captação da água subterrânea dos poços, logo, recomenda-se para trabalhos futuros o estudo da salinidade da água captada de outros poços do município, e comparação de suas características.

Sugere-se também o estudo de alternativas para uso do rejeito nas localidades que possuem o sistema de dessalinização, mas não reutilizam esse subproduto e o descartam de forma incorreta, além da análise dos impactos ambientais que esse descarte indevido vem ocasionando.

REFERÊNCIAS

- ADAGUNODO, T. A.; AKINLOYE, M. K.; SUNMONU, L. A.; AIZEBEOKHAI, A. P.; OYEYEMI, K. D.; ABODUNRIN, F. O. Groundwater exploration in aaba residential area of Akure, Nigeria. **Frontiers in Earth Science**, v.6, p.1-12, 2018.
- ADASA - Agência reguladora de águas, energia e saneamento básico do Distrito Federal. **Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal**. Brasília: Adasa, 2018. 328p.
- AL-KARAGHOULI, A.; KAZMERSKI, L. L. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 343-356, 2013.
- AL-KARAGHOULI, A.; RENNE, D.; KAZMERSKI, L. L. Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n.9, p. 2397-2407, 2009.
- ALMEIDA, A. C. O.; MACHADO, M. R. I. M.; ANDRADE, H. M. L. S.; ANDRADE, L. P. Políticas públicas para o desenvolvimento rural: Desafios para a territorialidade. **Revista Grifos - Unochapecó**, v. 33, n. 61, 2023.
- ALMEIDA, B. F. M.; FERNANDES, A. C. G. Avaliação do sistema de dessalinização do programa água doce no município de Gravatá, PE. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 2, p. 170-179, 2023.
- ALMEIDA, J. P.; KUMMER, A. C. B.; CARRANZA, G.; CAMPOS, L. C.; SZÉLIGA, M. R.; ACEVEDO, M.; GERVASONI, R.; WIECHETECK, G. K. Eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 107-114, 2020.
- AL-MUTAZ, I. S. A comparative study of RO and MSF desalination plants. **Desalination**, v. 106, n. 1-3, p. 99-106, 1996.
- AL-OBAIDI, M. A.; ALSARAYREH, A. A.; AL-HROUB, A. M.; ALSADAIE, S.; MUJTABA, I. M. Performance analysis of a medium-sized industrial reverse osmosis brackish water desalination plant. **Desalination**, v. 443, n. May, p. 272-284, 2018.
- ALTMANN, T.; DAS, R. Process improvement of sea water reverse osmosis (SWRO) and subsequent decarbonization. **Desalination**, v. 499, p. 114791, 2021.
- AMERY, H. A.; MAHMOUD, M.; ZAWAHRI, N.; DAOUDY, M.; SALEM, H. S.; AL-SAIDI, M. **Enhancing water security in the middle east**. Al Sharq Forum, 2023.
- AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; MATOS, A. N. B.; SILVA, D. F. Diagnóstico de sistemas de dessalinização de água salobra subterrânea em municípios do Estado da Paraíba – Brasil. **Águas Subterrâneas**, p. 1-17, 2004.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Nordeste - Abastecimento Urbano de Água - Relatório Síntese**. Brasília - DF: ANA, 2005. 188 p.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura de Recursos Hídricos 2020**. Brasília - DF: ANA, 2020. 118 p.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: Informe Anual**. Brasília: ANA, 2023. 103p.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. 112 p.

ANGELI, J. L. F.; RUBIO, B.; KIM, B. S. M.; FERREIRA, P. A. L.; SIEGLE, E.; FIGUEIRA, R. C. L. Environmental changes reflected by sedimentary geochemistry for the last one hundred years of a tropical estuary. **Journal of Marine Systems**, v.189, n. September 2018, p. 36-49, 2019.

ARAÚJO, A. C. S. P. A. **Contribuição para o Estudo da Viabilidade / Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

ASA - Articulação Semiárido Brasileiro. **Ações - Cisternas nas Escolas**. 2021a. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/cisternas-nas-escolas#categoria_img>. Acesso em: 10 set. 2023.

ASA - Articulação Semiárido Brasileiro. **Ações - P1+2**. 2021b. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1-2#categoria_img>. Acesso em: 10 set. 2023.

ASA - Articulação Semiárido Brasileiro. **Ações - P1MC**. 2015. Disponível em: <<https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 10 set. 2023.

AVRITZER, L. Instituições participativas e desenho institucional: algumas considerações sobre a variação da participação no Brasil democrático. **Opinião Pública**, v.14, n.1, p. 43-64, 2008.

BARAU, A. S.; AL HOSANI, N. Prospects of environmental governance in addressing sustainability challenges of seawater desalination industry in the Arabian Gulf. **Environmental Science & Policy**, v. 50, p. 145-154, 2015.

BARBOSA, A. M. D. A.; TAVARES, J. L.; NAVONI, J. A. Caracterização e análise do potencial da água produzida como alternativa para reuso. **Holos**, v. 8, p. 1-15, 2019.

BAR-NAHUM, Z.; REZNIK, A.; FINKELSHTAIN, I.; KAN, I. Centralized water management under lobbying: Economic analysis of desalination in Israel. **Ecological Economic**, v. 193, 2022.

BEJJANKI, D.; MUTHUKUMAR, K.; RADHAKRISHNAN, T. K.; ALAGARSAMY, A.; PUGAZHENDHI, A.; NAINA MOHAMED, S. Simultaneous bioelectricity generation and water desalination using *Oscillatoria* sp. as biocatalyst in photosynthetic microbial desalination cell. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142215, 2021.

BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P.; MELO, V. S.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; MONTERO, L. R. R. Reutilização de rejeito de dessalinizadores na Paraíba. **Mix Sustentável**, v. 05, p. 105-116, 2019.

BLAZYTE, A.; ALAYANDE, A. B.; NGUYEN, T. T.; ADHA, R. S.; JANG, J.; AUNG, M. M.; KIM, I. S. Effect of size fractionated alginate-based transparent exopolymer particles on initial bacterial adhesion of forward osmosis membrane support layer. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 94, 2021.

BRASIL. **Com investimento de R\$ 562 milhões, Governo Federal retoma Programa Cisternas.** Notícias [site], Brasília, 2023a. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/assistencia-social/2023/07/com-investimento-de-r-562-milhoes-governo-federal-retoma-programa-cisternas>>. Acesso em: 10 set. 2023.

BRASIL. **Dessalinizadores garantem água potável no semiárido no enfrentamento ao coronavírus.** Notícias [site], Brasília, 2020a. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2020/04/dessalinizadores-garantem-agua-potavel-no-semi-arido-no-enfrentamento-ao-coronavirus>>. Acesso em: 10 set. 2022.

BRASIL. **Governo Federal investe mais R\$ 130,3 milhões para ampliar acesso à água no semiárido brasileiro.** Notícias [site], Brasília, 2022a. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/governo-federal-investe-mais-r-130-3-milhoes-para-ampliar-acesso-a-agua-no-semiarido-brasileiro>>. Acesso em: 07 set. 2023.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União:** Brasília, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em: 18 dez. 2022.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico [...]. **Diário Oficial da União:** Brasília, 2020b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm> Acesso em: 16 out. 2021.

BRASIL. **MDR investe R\$ 33,2 milhões na instalação de dessalinizadores em Pernambuco.** Notícias [site], Brasília, 2020c. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2020/04/mdr-investe-r-33-2-milhoes-na-instalacao-de-dessalinizadores-em-pernambuco#:~:text=O%20Minist%C3%A9rio%20do%20Desenvolvimento%20Regional,mil%20pessoas%20de%202021%20munic%C3%ADpios.>>. Acesso em: 10 out. 2022.

BRASIL. **MIDR investe R\$ 2 milhões para garantir água a oito comunidades rurais da Paraíba.** Notícias [site], Brasília, 2023b. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/midr-investe-r-2-milhoes-para-garantir-agua-a-oito-comunidades-rurais-da-paraiba>>. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília: Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR.** Brasília: Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 2019. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf>. Acesso em: 9 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União:** Brasília, 2021.

- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral: ano de referência 2022.** Brasília: Ministério das Cidades/SNSA, 2023c.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa Água Doce - Documento Base.** Brasília: MMA, 2010.
- BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040.** Plano de ação, v. II. 2022b.
- BRASIL. **Programa Água Doce conclui repasse de recursos para Pernambuco.** Notícias [site], Brasília, 2020d. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/programa-agua-doce-conclui-repasse-de-recursos-para-pernambuco>>. Acesso em: 10 out. 2023.
- CAPANEMA, L. X. L. Implementação do novo marco legal do saneamento – a importância da regulação por contrato em um cenário atual de transição regulatória. **BNDES**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, p. 5-40, 2022.
- CARTAXO, J. D. M.; FERREIRA, W. B.; SILVA, S. K.; PEREIRA, M. L. F.; SILVA, J. N.; MONTEIRO, G. D. S.; FRANÇA, K. B. Avaliação de técnicas de pré-tratamentos de águas salobras para fins de dessalinização via osmose inversa. **Águas Subterrâneas**, 2006.
- CARTWRIGHT, I.; GILFEDDER, B.; HOFMANN, H. Chloride imbalance in a catchment undergoing hydrological change: Upper Barwon River, southeast Australia. **Applied Geochemistry**, v. 31, p. 187-198, 2013.
- CASTRO, C. N. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Rio de Janeiro: Ipea, 2022.
- CASTRO-PARDO, M.; MARTÍNEZ, P. F.; ZABALETA, A. P. Global water security: A shining star in the dark sky of achieving the sustainable development goals. **Sustainable Technology and Entrepreneurship**, v. 1, ed. 1, 2022.
- CATULÉ, P. F.; SALOMÃO, P. E. A.; CANGUSSÚ, L.; CARVALHO, P. H. V. Estudo de verificação da viabilidade de captação e uso de água da chuva no município de Teófilo Otoni - MG. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 11, p. 01-25, 2018.
- CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **6 soluções de países diferentes contra a escassez de água.** Rio de Janeiro. 2018.
- CEREZINI, M. T.; CASTRO, C. N. **Texto para discussão / Projeto de Integração do São Francisco e a Segurança Hídrica da Região Beneficiada.** Brasília: Ipea, 2023.
- CHEN, J. P.; CHIAN, E. S. K.; SHENG, P.; NANAYAKKARA, K. G. N.; WANG, L. K. Desalination of Seawater by Reverse Osmosis. **Membrane and Desalination Technologies**, v. 13, p. 559-601, 2011.
- CIRILO, J. A. Crise hídrica: Desafios e superação. **Revista USP**, p. 45-48, n. 106, 2015.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.
- CIRILO, J. A. Vulnerabilidade e Potencialidades do Semi-Árido Brasileiro. **Cadernos Temáticos**, 2010.
- CIRILO, J.; ABREU, G.; COSTA, M.; BALTAR, A.; AZEVEDO, L. Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semi-árido brasileiro: Avaliação de barragens subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 5-24, 2003.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, 2008.

COSTA, M. H. C. **Programa Água Doce no Estado da Paraíba: O caso da cidade de Amparo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar- CCTA da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de Riacho das Almas, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005a.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de São Caetano, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005b.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2023. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 25 dez. 2023.

CSWG 2030A - Civil Society Working Group for the 2030 Agenda. **2030 Agenda for Sustainable Development: Spotlight Report 2023 Brazil Synthesis**. 2023. Disponível em: <https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2023/11/eng_rl_2023_webcompleto_v1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; BATISTA, O. N. S. N.; SILVA, C. R.; FERREIRA, J. F. S.; SÁ, F. V. S.; COSME, C. R.; SOUZA, A. C. M.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, C. N. Potential agricultural use of reject brine from desalination plants in family farming areas. *In*: TALEISNIK; E., LAVADO; R.S. (ed.). **Saline and Alkaline Soils in Latin America**. Springer, Cham, p. 101-118, 2021.

DINCER, S.; DINCER, I. Comparative Evaluation of Possible Desalination Options With Various Nuclear Power Plants. **Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions**, p. 569-582, 2018.

DUBON, J. A. M.; PINHEIRO, J. C. V. Aproveitamento de águas residuais provenientes de dessalinizadores instalados no estado de Ceará. **Encuentro de Las Aguas**, v. 3, p. 1-10, 2001.

FERREIRA, D. A. C.; FERREIRA, A. K. C.; MARINHO, A. C. C. S.; CAVALCANTE, F. L.; TRAVASSOS, K. D.; SOUZA, A. C. M. Qualidade da água dessalinizada destinada às comunidades rurais de Mossoró/RN. *In*: 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química, 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher Chemistry Proceedings, 2015.

FERREIRA, J. G.; GOMES, M. F. B.; FIGUEREDO, E. S.; XAVIER, J. S. Água, semiárido e sustentabilidade: Aplicando o ODS 6 aos municípios do Rio Grande do Norte. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.9, n.2, p.75-90, 2023.

- FERREIRA, L. V. S.; NETO, J. M. F.; RIBAS, L. V. S.; ALCÂNTARA, L. R. P.; NETO, S. M. S.; ANTONINO, A. C. D.; COUTINHO, A. P. Análise dos métodos da norma ABNT NBR 15527/2007 para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais em municípios do semiárido pernambucano no Brasil. **Research, Society and Development**, v.9, n.8, 2020.
- FRACASSO, M. F. B.; MORAES, F. A. B. Processo de dessalinização de água do mar acoplado a um processo de cogeração de energia utilizando biomassa de eucalipto. **Interciência & Sociedade**, v.5, n.2, p.51-74, 2020.
- GALLEGO-ELVIRA, B.; BAILLE, A.; MARTÍN-GÓRRIZ, B.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, V. Energy balance and evaporation loss of an agricultural reservoir in a semi-arid climate (south-eastern Spain). **Hydrological Processes**, v.24, p.758-766, 2010.
- GAMBOA, C.; GODFREY, L.; HERRERA, C.; CUSTODIO, E.; SOLER, A. The origin of solutes in groundwater in a hyper-arid environment: A chemical and multi-isotope approach in the Atacama Desert, Chile. **Science of the Total Environment**, v.690, p.329-351, 2019.
- GENG, X.; BOUFADEL, M. C. Impacts of evaporation on subsurface flow and salt accumulation in a tidally influenced beach. **Water Resources Research**, v.51, n.7, p.5547-5565, 2015.
- GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. **Desalination**, v.309, n.2013, p.197-207, 2013.
- GOMES FILHO, A. J. **Empacotamento de filtro de dessalinizador do Semiárido pernambucano para avaliação da moringa Oleifera Lam. como biossorvente**. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento em Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2019.
- GROSSI, L. B.; LANGE, LISÉTE C.; AMARAL, MÍRIAM C. S. Transition pathway towards more sustainable waste management practices for end-of-life reverse osmosis membranes: Challenges and opportunities in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.435, 2024.
- GRUESO-DOMINGUEZ, M. C.; CASTRO-JIMÉNEZ, C. C.; CORREA-OCHOA, M.A.; SALDARRIAGA-MOLINA, J.C. Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v.18, n.35, p.69-89, 2019.
- GUERREIRO, M. L. B. **Dessalinização para Produção de Água Potável**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2009.
- HAAS, J.; KHALIGHI, J.; DE LA FUENTE, A.; GERBERSDORF, S. U.; NOWAK, W.; CHEN, P. J. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. **Energy Conversion and Management**, v.206, 2020.
- HAN, D.; SONG, X.; CURRELL, M. J.; CAO, G.; ZHANG, Y.; KANG, Y. A survey of groundwater levels and hydrogeochemistry in irrigated fields in the Karamay Agricultural Development Area, northwest China: Implications for soil and groundwater salinity resulting from surface water transfer for irrigation. **Journal of Hydrology**, v.405, p.217-234, 2011.

HECK, N.; PAYTAN, A.; POTTS, D. C.; HADDAD, B.; PETERSEN, K. L. Management priorities for seawater desalination plants in a marine protected area: A multi-criteria analysis. **Marine Policy**, v.86, p.64-71, 2017.

HENIG, E. V. Breves reflexões sobre os resultados do Programa 1 Milhão de Cisternas. **Revista Serviço Social em Revista**, v.26, n.1, p.305-329. 2023.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019.

HOCKING, M.; DYSON, P. Mallee water balance - The role of evaporation on salinity area in the Victorian Mallee dryland. **Proceedings of the Royal Society of Victoria**, v.118, p.211-227, 2006.

HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; GINKEL, K. C. H. V. Urban water security: A review. **Environmental Research Letters**, v.13, n.5, 2018.

HOSSEINI, H.; SAADAOU, I.; MOHEIMANI, N.; AL SAIDI, M.; AL JAMALI, F.; AL JABRI, H.; HAMADOU, R.B. Marine health of the Arabian Gulf: Drivers of pollution and assessment approaches focusing on desalination activities. **Marine Pollution Bulletin**, v.164. 2021.

IBERDROLA. **ODS 6: Água potável e saneamento: Somos uma das 'utilities' com melhor produtividade de água**. 2023. Disponível em:

<<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/comprometidos-objetivos-desenvolvimento-sustentavel/ods-6-agua-potavel-e-saneamento>>. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/riacho-das-almas/panorama>>. Acesso em: 20 set. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Semiárido Brasileiro**. 2014. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?edicao=16195&t=sobre>>. Acesso em: 20 set. 2020.

IL'ICHEV, A. T.; TSYPKIN, G. G.; PRITCHARD, D.; RICHARDSON, C. N. Instability of the salinity profile during the evaporation of saline groundwater. **Journal of Fluid Mechanics**, v.614, p.87-104, 2008.

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Agricultura inicia Programa Água Doce em PE**. Notícias [site], Recife, 2006.

IRANNEZHAD, M.; AHMADI, B.; LIU, J.; CHEN, D.; MATTHEWS, J. H. Global water security: A shining star in the dark sky of achieving the sustainable development goals. **Sustainable Horizons**, v.1, ed.1, 2022.

JONES, E.; QADIR, M.; VAN VLIET, M. T.; SMAKHTIN, V.; KANG, S. The state of desalination and brine production: A global outlook. **Science of the Total Environment**, v.657, p.1343-1356, 2019.

- KHOSHGOFTAR MANESH, M. H.; KABIRI, S.; YAZDI, M.; PETRAKOPOULOU, F. Thermodynamic evaluation of a combined-cycle power plant with MSF and MED desalination. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v.10, n.2, p.146-157, 2020.
- KOUADIO, K. L.; XU, Y.; LIU, C. M.; BOUKHALFA, Z. Two-dimensional inversion of CSAMT data and three-dimensional geological mapping for groundwater exploration in Tongkeng Area, Hunan Province, China. **Journal of Applied Geophysics**, p.104204, 2020.
- KREIS, M.; TAUPIN, J. D.; PATRIS, N.; MARTINS, E. S. P. R. Isotopic characterisation and dating of groundwater recharge mechanisms in crystalline fractured aquifers: example of the semi-arid Banabuiú watershed (Brazil). **Isotopes in Environmental and Health Studies**, v.56, n.5-6, p.418-430, 2020.
- KUNDZEWICZ, Z. W.; MATA, L. J.; ARNELL, N. W.; DÖLL, P.; KABAT, B.; JIMENEZ, B.; MILLER, K. A.; OKI, T.; SEN, Z.; SHIKLOMANOV, I. A. Freshwater resources and their management. **Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p.173-210, 2007.
- LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; DIAS, H.; SANTOS, A. A. Um estudo de detecção de mudanças climáticas no semi-árido de Pernambuco. *In*: III Simpósio Internacional de Climatologia, 2009, Canela - RS. **Anais [...]**. Canela - RS, 2009.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M.A. **Técnicas de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- LARANJEIRA, C. P. D. F. **Estudo numérico dos escoamentos em canais de dessalinização por osmose**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharias, Portugal, 2010.
- LAUREANO, J. J.; MENDONÇA, A. G.; LOPES, D. S.; SOUSA, L. M.; LIMA, T. O.; ROSA, A. L. D.; BASTOS, W. R.; NASCIMENTO, E. L. Análise da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso na microbacia do Igarapé Nazaré (Rondônia, Amazônia ocidental). **Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**, 2020.
- LEE, H. J.; SARFERT, F.; STRATHMANN, H.; MOON, S. H. Designing of an electro dialysis desalination plant. **Desalination**, v.142, n.3, p.267-286, 2002.
- LEVY, J. Q. **Novas Fontes de Abastecimento - Reutilização e Dessalinização**. Ecoserviços, 2008.
- LIU, G. M.; YANG, J. S.; HE, L. D.; LV, Z. Z.; SHAO, H. B.; YU, S. P. Salt dynamics in soil profiles during long-term evaporation under different groundwater conditions. **Plant Biosystems**, v.147, n.4, p.1211-1218, 2013.
- LIU, L.; CHENG, Q. Mass transfer characteristic research on electro dialysis for desalination and regeneration of solution: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.134, p.110115, 2020.
- LOPES, M. P. C.; NETO, S. A.; BRANCO, D. A. C.; FREITAS, M. A. V.; FIDELIS, N. S. Water-energy nexus: Floating photovoltaic systems promoting water security and energy generation in the semiarid region of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.273, 2020.
- LOUTATIDOU, S.; ARAFAT, H. A. Techno-economic analysis of MED and RO desalination powered by low-enthalpy geothermal energy. **Desalination**, v.365, p.277-292, 2015.

MACÊDO, J. T. C. **O Papel das Políticas Públicas: o Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais (PIMC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) na Convivência com a Seca no Semiárido Pernambucano.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Ciências Econômicas, Caruaru, 2022.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** Instituto Nacional do Semiárido, v.1, p.385-422, 2011.

MARINHO, F. J. L.; UCHOA, T. R.; LEITE, S. F.; AGUIAR, R. L.; NASCIMENTO, A. S. Dessalinizador solar associado a coletor de águas de chuvas para fornecer água potável. **Enciclopedia Biosfera**, v.11, n.20, p.68-82, 2015.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B. **Solos do Nordeste.** Recife: Embrapa Solos, 2014.

MARQUES, H. F. M.; REIS, B. C.; FEITOZA, V. S.; SILVA, J. G.; MONTE-MOR, R. C. A. Conflitos na gestão de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais: Estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Córrego dos Quatis, Itueta – Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v.10, n.1, 2021.

MATA, S. N.; SANTOS, T. S.; CARDOSO, L. G.; ANDRADE, B. B.; DUARTE, J. H.; COSTA, J. A. V.; SOUZA, C. O.; DRUZIAN, J. I. Spirulina sp. LEB 18 cultivation in a raceway-type bioreactor using wastewater from desalination process: Production of carbohydrate-rich biomass. **Bioresource Technology**, v.311, n. May, 2020.

MATHIOULAKIS, E.; BELESSIOTIS, V.; DELYANNIS, E. Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. **Desalination**, v.203, p.346-365, 2007.

MATOS, P.; FERREIRA, W. B.; MORIOKA, L. R. I.; MOECKE, E. H. S.; FRANÇA, K. B.; SANT'ANNA, E. S. Cultivation of *Chlorella vulgaris* in medium supplemented with desalination concentrate grown in a pilot-scale open raceway. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.35, n.4, p.1183-1192, 2018.

MAZUMDER, Q. H.; JAHAN, C. S.; MAZUMDER, F.; ISLAM, M. A.; JAMAN, S.; ALI, M. N.; RAHAMAN, A. T. M. S.; AREFIN, M. R.; AHASAN, A. Geoelectric model and hydrochemistry of salinity affected lower Atrai floodplain aquifer, NW Bangladesh: An approach for irrigation management. **Journal of the Geological Society of India**, v.84, n.4, p.431-441, 2014.

MD - Ministério da Defesa. Comando da 6ª Região Militar. Região Marechal Cantuária. **Operação Carro PIPA.** 2023. Disponível em: < <https://6rm.eb.mil.br/index.php/operacao-pipa> >. Acesso em: 12 de dez. 2023.

MEDEIROS, C. B.; SILVEIRA, S. K. Programa um milhão de cisternas: Uma inovação social institucionalizada. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, Itajaí, v.9, n.1, 2021.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas.** Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 440p.

MOCOCK, J. F. B.; PESSÔA, C. N.; MONTEIRO, A. T. S.; TORRES, A. S. C. G.; RABBANI, E. R. K. Estudo comparativo entre os principais métodos de dessalinização de águas subterrâneas: revisão de literatura. **Escola Politécnica de Pernambuco**, p.4, 2015.

- MOHARRAM, N. A.; BAYOUMI, S.; HANAFY, A. A.; EL-MAGHLANY, W. M. Hybrid desalination and power generation plant utilizing multi-stage flash and reverse osmosis driven by parabolic trough collectors. **Case Studies in Thermal Engineering**, v.23, p.100807, 2021.
- MONDAL, N. C.; SINGH, V. P. Hydrochemical analysis of salinization for a tannery belt in Southern India. **Journal of Hydrology**, v 405, p.235-247, 2011.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, Hans Raj; PAZ, Vital Pedro da Silva; MEDEIROS, Salomão de Sousa; GALVÃO, Carlos de Oliveira (ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e Aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, T. A.; NETTO, M. L. C. Uso de águas subterrâneas para a sustentabilidade da pequena agricultura no semi-árido do Nordeste do Brasil. In: Resumos de Comunicações do 7º SILUSBA, 2005. **Anais [...]**. 2005.
- MOREIRA, F. S.; LOPES, M. P. C.; FREITAS, M. A. V.; ANTUNES, A. M. S. Future scenarios for the development of the desalination industry in contexts of water scarcity: A Brazilian case study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 167. 2021.
- MOURA, J. P.; MONTEIRO, G. S.; SILVA, J. N.; PINTO, F. A.; FRANÇA, K. P. APLICAÇÕES DO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA PARA O APROVEITAMENTO DE ÁGUA SALOBRA DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2008.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 5 set. 2023.
- NAPOLI, C.; RIOUX, B. Evaluating the economic viability of solar-powered desalination: Saudi Arabia as a case study. **International Journal of Water Resources Development**, v. 32, n. 3, p. 412-427, 2016.
- NEGRÃO, F. I.; LIMA, N. R. P.; ANDRADE, J. B. M.; MASCARENHAS, H. M. Monitoramento em rede de poços equipados com dessalinizadores no semi-árido do Estado da Bahia: Resultados preliminares. **Águas Subterrâneas**, 2000.
- NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 1, p. 124-135, 2017.
- OECD. **Water Resources Governance in Brazil**. Paris: OECD Publishing, 2015. 286 p.
- OLIVEIRA, A. M. **Impactos físico-químicos da disposição de rejeito de dessalinizadores das águas de poços em solos do Oeste Potiguar**. 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Mossoró, 2016.
- OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; FERNANDES, C. D. S.; GURGEL, G. C.; MIRANDA, N. O.; FREITAS, J. J. R.; NETO, H. S. L.; SILVA, C. R.; SANTOS, M. M.; SILVA, M. R. F.; SOUSA SÁ, F. V.; SILVA, J. F. Disposal of waste brine from desalination in eutrophic red argisol and fluvic neosol in the western potiguar region, brazil. **Desalination and Water Treatment**, v. 195, p. 213-221, 2020a.

- OLIVEIRA, A. S. L.; SOUZA, E. S.; PESSOA, L. G. M.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SOUZA, R. M. S.; ANTONINO, A. C. D. Growth and photosynthetic efficiency of *Atriplex nummularia* under different soil moisture and saline tailings. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 493-505, 2019.
- OLIVEIRA, D. S.; EPSTEIN, J.; KUROSE, J.; ROCHA, A. Cybersecurity and Privacy Issues in Brazil: Back, Now, and Then. **Copublished by the IEEE Computer and Reliability Societies**, v. 16, n. December, p. 10–12, 2018.
- OLIVEIRA, E. J. C.; NETTO, A. O.; ALEXANDRE, J. I. S.; BARROS, V. H. O.; NETO, J. M. F.; CARVALHO, L. M. A. L. A. A reutilização do esgoto tratado para fins agrícolas: estudo de caso em Arapiraca (Nordeste, Brasil). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020b.
- OSTER, J. D.; LETEY, J.; VAUGHAN, P.; WU, L.; QADIR, M. Comparison of transient state models that include salinity and matric stress effects on plant yield. **Agricultural Water Management**, v. 103, p. 167-175, 2012.
- OYEYEMI, K. D.; AIZEBOKHAI, A. P.; OLOFINNADE, O. M.; SANUADE, O. A. Geoelectrical investigations for groundwater exploration in crystalline basement terrain, sw nigeria: Implications for groundwater resources sustainability. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 6, p. 765-772, 2018.
- PAHL-WOSTL, C. Towards sustainability in the water sector - The importance of human actors and processes of social learning. **Aquatic Sciences**, v. 64, n. 4, p. 394-411, 2002.
- PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 951-961, 2018.
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação: Primeiro relatório de avaliação nacional**. 2014. 414 p.
- PEREIRA, MARIA CAROLINE DE MEDEIROS; MIRANDA, ROBERTO DE SOUSA. A intensificação das desigualdades sociais como consequência da crise do abastecimento de água no semiárido nordestino. *In: XX ENANPUR 2023, 2023, Belém. Anais [...].* Belém, 2023.
- PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Tomo I: Diagnósticos, v. 1. Recife: SEINFRA, 2022a.
- PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Tomo II: Prognósticos, v. 2. Recife: SEINFRA, 2022b.
- PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Tomo III: Mobilização social, proposições de ações, implementação e acompanhamento, v. 2. Recife: SEINFRA, 2022c.
- PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos (SRH); Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). **Projeto de Sustentabilidade Hídrica – PSHPE - Manual de Operações do Projeto**. 2012.
- PIMENTEL DA SILVA, G. D.; SHARQAWY, M. H. Techno-economic analysis of low impact solar brackish water desalination system in the Brazilian Semiarid region. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119255, 2020.

- PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; ARAUJO, O. J.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Aproveitamento dos rejeitos da dessalinização. *In: Simpósio sobre captação de água de chuva no semi-árido brasileiro, 1997, Petrolina. Anais [...].* Petrolina: Embrapa Semi-Árido/IRPAA/IRCSEA, 1999. p. 51-57.
- PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 111-114, 2001.
- PRÊMIO JOVEM CIENTISTA. Água: Desafios da Sociedade. **XXVII Prêmio Jovem Cientista**. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2013.
- PUSCHEL, A. F. S.; MUNCK, L. R.; LAHOZ, R. A. L. As metas de universalização do novo marco do saneamento básico e os desafios para assegurar o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de programa. **Revista de Direito Setorial e Regulatório**, v. 9, n. 1, p. 283-312.
- RAJMOHAN, N.; AL-FUTAISI, A.; AL-TOUQI, S. Geochemical process regulating groundwater quality in a coastal region with complex contamination sources: Barka, Sultanate of Oman. **Environmental Earth Sciences**, v. 59, p. 385-398, 2009.
- RAJMOHAN, N.; MASOUD, M.H.Z.; NIYAZI, B.A.M. Impact of evaporation on groundwater salinity in the arid coastal aquifer, Western Saudi Arabia. **Catena**, v. 196, p. 104864, 2021.
- REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, p. 341-345, 2003.
- RIBEIRO, L. G. G.; ROLIM, N. D. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce como direito fundamental e sua valoração mercadológica. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 7-33, 2017.
- RÍOS-ARRIOLA, J.; VELÁZQUEZ, N.; AGUILAR-JIMÉNEZ, J.A.; DÉVORA-ISIORDIA, G. E.; TORRE, C. A. C. D. L.; CORONA-SÁNCHE, J.A.; ISLAS, S. State of the art of desalination in Mexico. **Energies** **2022**, v. 15. 2022.
- RODRÍGUEZ-DELANUEZ, F.; FRANQUIZ-SUÁREZ, N.; SANTIAGO, D. ESTHER; VEZA, J. M.; SADHWANI, J. J. Reuse and minimization of desalination brines: a review of alternatives. **Desalination and Water Treatment**, v. 39, p. 137-148, 2012.
- SADOFF, C. W.; HALL, J. W.; GREY, D.; AERTS, J. C. J. H.; AIT-KADI, M.; BROWN, C.; COX, A.; DADSON, S.; GARRICK, D.; KELMAN, J.; MCCORNICK, P.; RINGLER, C.; ROSEGRANT, M.; WHITTINGTON, D.; WIBERG, D. **Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth**. University of Oxford, UK, 2015.
- SALES, M. L. S.; CAMPOS, K. C.; CAMPOS, R. T.; GUIMARÃES, J. W. A. Avaliação financeira das ações de captação, acumulação e suprimento de água no estado de Ceará. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 139-154, out./dez., 2017.
- SANTANA, R. A.; BEZERRA, S. T. M.; SANTOS, S. M.; COUTINHO, A. P.; COELHO, I. C. L.; PESSOA, R. V. S. Assessing alternatives for meeting water demand: A case study of water resource management in the Brazilian Semiarid region. **Utilities Policy**, v. 61, n. October, p. 100974, 2019.

- SANTOS, A. C. Qualidade das águas subterrâneas. *In*: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3^o ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.
- SANTOS, M.; FREIRE, C.; SOUZA, V. Comportamento Do Fluxo Subterrâneo Em Um Aquífero Aluvial No Semi-Árido Alagoano. *In*: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009. **Anais [...]**. 2009.
- SARAI ATAB, M.; SMALLBONE, A. J.; ROSKILLY, A. P. An operational and economic study of a reverse osmosis desalination system for potable water and land irrigation. **Desalination**, v. 397, p. 174–184, 2016.
- SCHMITZ, A. P.; BITTENCOURT, M. V. L. Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos. **Estudos Economicos**, v. 47, n. 2, p. 329-363, 2017.
- SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil. 5^o Centro de Telemática de Área. **Portal da Operação Carro-Pipa**. 2023. Disponível em: < <https://sedec.5cta.eb.mil.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- SENNA, D. A.; PEREIRA, L. P.; REZENDE, S. Desafios para a expansão do saneamento em áreas rurais: Caracterização de ruralidades por meio de algoritmos de aprendizado de máquina. **RACEF – Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace**. v. 14, n. 4, p. 59-76, 2023.
- SILVA, C. H. R. T. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. **Núcleo de Estudos e Pesquisas/Consultoria Legislativa**., 2012.
- SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, p. 136-159, dez., 2007.
- SILVA, H. K. P.; SILVA, V. N. L.; SILVA, M. M. Projeto de recuperação e manutenção de dessalinizadores de água subterrânea no semiárido do Estado de Pernambuco. **Revista Águas Subterrâneas**, 2015.
- SILVA, J. L. A.; AIRES, U. R. V.; CAMPOS, J. A.; FRAGA, M. S.; SILVA, D. D. Espacialização da condutividade elétrica e vazão produzida por poços tubulares em Mossoró – RN. **IV INOVAGRI International Meeting**, 2017.
- SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES-FILHO, C. G. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Org.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa, 2010. p.18–48.
- SILVA, T. L. **Uso e eficiência de dessalinizadores para o abastecimento de água de população difusa do semiárido de Pernambuco**. 2022. Dissertação (Mestrado – Construção Civil), Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco, 2022.
- SILVA, T. M. T.; SILVA, E. C.; TABOSA, J. H. R. C.; MELO, W. O. Reuso de águas cinzas em residência unifamiliar: Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de sistema. *In*: SILVA; Helenton Carlos da (Org.). **A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil [recurso eletrônico]**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020a.
- SILVA, T. M. T.; TABOSA, J. H. R. C.; SILVA, D. P.; SANGUINETO, G. W. S. Viabilidade da implantação de sistema de reuso de águas cinzas e pluviais em empreendimento público. *In*: SILVA, E. C.; GUSMÃO, L. O.; SANTANA, C. F. D.;

SANTOS, W. J. S. (org.). **Reuso de água: sustentabilidade hídrica**. Maceió-Alagoas: Editora HAWKING, 2020b. p. 286.

SILVEIRA, A. P. P.; NUVOLARI, A.; DEGASPERI, F. T.; FIRSOFF, W. **Dessalinização de águas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SOLA, I., SÁEZ, C. A., SÁNCHEZ-LIZASO, J. L. Evaluating environmental and socioeconomic requirements for improving desalination development. **Journal of Cleaner Production**, v. 324. 2021.

STEIN, S.; SIVAN, O.; YECHIELI, Y.; KASHER, R. Redox condition of saline groundwater from coastal aquifers influences reverse osmosis desalination process. **Water Research**, v. 188, p. 116508, 2020.

STRATHMANN, H. Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. **Desalination**, v. 264, n. 3, p. 268-288, 2010.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido – 2021. Relatório Final**. Recife, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2023.

TAN, S. P. V.; BAUTISTA, A. T.; MENDOZA, N. D. S.; RACADIO, C. D. T.; PUTHENPUREKAL, M.; RESURRECCION, A. C.; MATSUZAKI, H. Iodine-129 for determining the origin of salinity in groundwater in Pampanga, Philippines. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 218, n. March, p. 106239, 2020.

TESCHNER, N., GARB, Y., PAAVOLA, J. The role of technology in policy dynamics: The case of desalination in Israel. **Environmental Policy and Governance**, v. 23, p. 91-103, 2013.

TSIAKIS, P.; PAPAGEORGIOU, L. G. Optimal design of an electrodialysis brackish water desalination plant. **Desalination**, v.173, n.2, p.173-186, 2005.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021. O valor da água; fatos e dados**. 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por?posInSet=9&queryId=6262e8f0-1973-4f26-a03c-379232b0aeab>. Acesso em: 04 set. 2023.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report**. 2018.

VARELLA, J. S. A essencialidade da água frente ao direito de propriedade e a Constituição Federal de 1988. In: BUTZKE, Alindo; PONTALTI, Siele. (Org.). **Os recursos naturais e o homem: O direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado frente à responsabilidade solidária**. Caxias do Sul, RS: Educs, 2012. p.123-135.

VIEIRA, N. S.; LOPES, D. P. T.; SILVA, F. A. G. H.; SOARES, N. S. F.; HIGUCHI, A. K. O programa cisternas nas escolas nos vales do Jequitinhonha e do Mucuri, Minas Gerais, Brasil. **Administração Pública e Gestão Social**, v. 14, n. 2, 2022.

WALHA, K.; AMAR, R. B.; FIRDAOUS, L.; QUÉMÉNEUR, F.; JAOUEN, P. Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse osmosis and electrodialysis in Tunisia: performance and cost comparison. **Desalination**, v. 207, n. 1-3, p. 95-106, 2007.

WARSINGER, D. M.; MISTRY, K. H.; NAYAR, K. G.; CHUNG, H. W.; LIENHARD, J. H. V. Entropy generation of desalination powered by variable temperature waste heat. **Entropy**, v. 17, n. 11, p. 7530–7566, 2015.

WATERAID. **Water security**. Londres: WaterAid, 2020. Disponível em: <<https://washmatters.wateraid.org/water-security>>. Acesso em: 10 out. 2023.

WATSON, I. C.; MORIN, O. J.; HENTHORNE, L. **Desalting Handbook for Planners**. Desalination Research and Development Program Report No. 72, 2003.

WRIGHT, N. C.; SHAH, S. R.; AMROSE, S. E.; WINTER, A. G. A robust model of brackish water electro dialysis desalination with experimental comparison at different size scales. **Desalination**, v. 443, n. April, p. 27-43, 2018.

WWC - World Water Council. **Water Security, Sustainability and Resilience: WWC Strategy 2019-2021**. 2018. Disponível em: <https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/2018-12/WWC-Strategy_2019-21_WEB.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

ZHU, A.; RAHARDIANTO, A.; CHRISTOFIDES, P.D.; COHEN, Y. Reverse osmosis desalination with high permeability membranes - Cost optimization and research needs. **Desalination and Water Treatment**, v. 15, n. 1-3, p. 256-266, 2010.

ZIADI, A.; HARIGA, N. T.; TARHOUNI, J. Mineralization and pollution sources in the coastal aquifer of Lebna, Cap Bon, Tunisia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 151, p. 391-402, 2019.

APÊNDICE A

Questionário Tipo A (Representante de Família Beneficiada)

Data: _____	Entrevistador: _____
Município: _____	Localidade: _____
Representante: _____	
Qual quantidade de residentes no domicílio? _____	
A sua residência possui acesso à água potável?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Na sua residência possui água encanada?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Na sua residência possui rede de esgoto?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Utilizam qual(is) fonte(s) de abastecimento de água?	
<input type="checkbox"/> Poço	<input type="checkbox"/> Carro-Pipa
<input type="checkbox"/> Açude	<input type="checkbox"/> Outro: _____
Com que frequência?	
<input type="checkbox"/> Diariamente.	
<input type="checkbox"/> Três a quatro vezes por semana.	
<input type="checkbox"/> Uma vez por semana.	
<input type="checkbox"/> Duas vezes por mês.	
<input type="checkbox"/> Outro: _____	
Para qual finalidade utiliza a água?	
<input type="checkbox"/> Higiene Pessoal (Banho, escovar os dentes...)	
<input type="checkbox"/> Bebidas e Preparo de Alimento	
<input type="checkbox"/> Limpeza Geral (Lavagem de roupa, utensílios domésticos, piso...)	
<input type="checkbox"/> Bacia Sanitária (Descarga)	
<input type="checkbox"/> Pecuária	
<input type="checkbox"/> Agricultura (Irrigação)	
<input type="checkbox"/> Outro: _____	
Utilizam água do dessalinizador? Se sim, com que periodicidade?	
<input type="checkbox"/> SIM, diariamente.	<input type="checkbox"/> NÃO
<input type="checkbox"/> SIM, três a quatro vezes por semana.	
<input type="checkbox"/> SIM, uma vez por semana.	
<input type="checkbox"/> SIM, duas vezes por mês.	
<input type="checkbox"/> Outro: _____	
Para qual finalidade utiliza a água dessalinizada?	
<input type="checkbox"/> Higiene Pessoal (Banho, escovar os dentes...)	
<input type="checkbox"/> Bebidas e Preparo de Alimento	
<input type="checkbox"/> Limpeza Geral (Lavagem de roupa, utensílios domésticos, piso...)	
<input type="checkbox"/> Bacia Sanitária (Descarga)	
<input type="checkbox"/> Pecuária	
<input type="checkbox"/> Agricultura (Irrigação)	
<input type="checkbox"/> Outro: _____	
Se usada para beber e preparar alimentos, alguém apresentou sintomas de doenças diarreicas?	
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO
Qual o volume de água dessalinizada sua residência recebe (por dia/por semana/por mês)? _____	
Como é realizada a busca a água dessalinizada?	
<input type="checkbox"/> O sistema hidráulico leva até a residência familiar.	
<input type="checkbox"/> Com veículo automotor.	
<input type="checkbox"/> Através de tração animal (Com balde(s)).	
<input type="checkbox"/> A pé (Com balde(s)).	
<input type="checkbox"/> Outro: _____	
Existe dificuldade no transporte? Se sim, qual?	
<input type="checkbox"/> SIM, longa distância.	<input type="checkbox"/> NÃO

SIM, muito peso e longa distância.

SIM, com o armazenamento.

SIM, outra: _____

A quantidade de água ofertada é suficiente para a demanda de sua residência?

SIM, consegue atender todas as necessidades.

NÃO, entretanto atende as principais necessidades.

NÃO, sempre falta água para as principais necessidades.

Como você e sua família consideram a qualidade da água dessalinizada?

Ruim

Turva

Mau gosto

Razoável

Mau cheiro

Boa

Salobra

Outro: _____

Na sua residência é feita a reservação da água dessalinizada? Se sim, como?

SIM, através de cisterna.

NÃO

SIM, através de tonéis.

SIM, através de baldes e bacias.

SIM, outra: _____

O dessalinizador atende com que frequência a sua residência?

Sempre, exceto quando está em manutenção.

Poucas vezes, mesmo sem está em manutenção.

Poucas vezes, pois o sistema quebra bastante.

Outro: _____

Qual seu nível de satisfação com o sistema dessalinizador?

Muito satisfeito.

Satisfeito.

Não satisfeito.

O sistema apresenta problemas? Se sim, com que frequência?

SIM, semanalmente.

SIM, mensalmente.

SIM, trimestralmente.

SIM, semestralmente.

SIM, anualmente.

NÃO, apenas para quando está em manutenção.

É pago alguma taxa pelo acesso a água dessalinizada? Se sim, quanto?

SIM, _____

NÃO

Na sua residência é utilizado o rejeito salino? Se sim, para quê?

SIM, na pecuária.

NÃO

SIM, na agricultura (irrigação).

SIM, na piscicultura.

SIM, na limpeza geral (Lavagem de roupa, utensílios domésticos, piso...)

SIM, outra: _____

Na sua opinião, quão importante é o sistema de dessalinização para a comunidade?

Muito Importante.

Importante, entretanto existem outra(s) fonte(s) de água potável.

Pouco importante.

Na sua opinião, quais principais dificuldades existem atualmente na oferta de água do sistema de dessalinização?

Na sua opinião, quais medidas melhorariam a oferta de água do sistema de dessalinização?

Observações:

APÊNDICE B

Questionário Tipo B (Gestor/Operador do Sistema Dessalinizador)			
Data:	_____	Entrevistador:	_____
Município:	_____	Localidade:	_____
Gestor/Operador:	_____		
Diagnóstico Rural			
A localidade apresenta infraestrutura (posto de saúde, escola)? Se SIM, cite-a(s).			
	() SIM, _____		() NÃO
Quais as fontes de abastecimento da localidade? _____			
() Poço	() Carro-Pipa	() Açude	() Outro: _____
Utilizam água dessalinizada?			
	() SIM		() NÃO
O sistema dessalinizador atende a demanda da região de fornecimento de água para o consumo?			
	() SIM		() NÃO
Qual número de beneficiados? _____			
Existe uma associação ou cooperativa?		() SIM	() NÃO
Recurso estadual?		() SIM	() NÃO
Geração de renda?		() SIM	() NÃO
Dessalinizador			
Qual tempo de instalação do equipamento? _____			
Qual estrutura?		() Simples	() Cabinada
		() Membranas	() Outra: _____
Qual frequência de uso?		() Diária	() Outra: _____
Qual a quantidade de horas de funcionamento do dessalinizador? _____			
Qual a vazão do poço? _____			
Qual a vazão da água dessalinizada? _____			
Qual a vazão do rejeito? _____			
Qual capacidade de dessalinização diária? _____			
Qual pré-tratamento? _____			
Qual pós-tratamento? _____			
Como ocorre a distribuição da água dessalinizada? _____			
Se a distribuição é através de Fichário, qual o preço da ficha e o volume? _____			
Qual estado de conservação do dessalinizador?		() Ruim	() Regular
		() Bom	
O sistema já apresentou algum tipo de problema? Se sim, cite o(s) mais comum(ns).			
	() SIM, _____		() NÃO
É realizada alguma manutenção? Se sim, qual(is)?		() SIM, _____	() NÃO
Com que frequência ? _____			
Quem realiza a manutenção? _____			
De quem é a responsabilidade da manutenção? _____			
São realizados exames de controle de qualidade da água dessalinizada?		() SIM	() NÃO
Qual valor do preço médio de energia e quem paga? _____			
Rejeito Salino			
Qual o destino do concentrado (Se tanque, cite o volume)? _____			
São realizadas atividades com a salmoura? Se SIM, quais?		() SIM, _____	() NÃO
As famílias têm acesso? Se sim, qual o volume por família?		() SIM, _____	() NÃO
Observações:			